



Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste em aspersores de média pressão¹

Samuel Beskow², Lessandro C. Faria³, Alberto Colombo³ & Débora C. M. de Moura⁴

RESUMO

Neste estudo se avaliou a capacidade preditiva de cinco modelos empíricos visando estimar as perdas de água por evaporação e arraste dos aspersores Agropolo/NY (bocal 3,5 mm) e Naan/5024 (bocal 3,0 mm); para cada aspersor foram ajustados modelos específicos. Por meio de comparação entre resultados de distribuição de água medidos em ensaios de campo e resultados simulados com os modelos propostos por Yazar (1984), Trimmer (1987), Seginer et al. (1991), Tarjuelo et al. (2000) e Playán et al. (2005) foi possível concluir que os diferentes modelos considerados apresentaram índices de desempenho classificados como Péssimo ou, no máximo, Sofrível. Comparados com os cinco modelos empíricos considerados, os novos modelos ajustados apresentaram menores erros, qualificando-se para serem utilizados com índices de desempenho classificados como Bom e Muito Bom, indicando que a aplicação de modelos empíricos deve ser limitada às condições operacionais (diâmetro de bocal, pressão de operação, etc.) similares àquelas em que os modelos foram desenvolvidos.

Palavras-chave: simulação, irrigação por aspersão, vento

Modeling of evaporation and wind drift losses in medium-pressure sprinklers

ABSTRACT

Five empirical models were evaluated with respect to their ability to estimate evaporation and wind drift losses of Agropolo/NY (nozzle 3.5 mm) and Naan/5024 (nozzle 3.0 mm) sprinklers, and other specific models were developed for each sprinkler model. By comparing measured results, which were obtained in field trials, with simulated ones (models of Yazar, 1984; Trimmer, 1987; Seginer et al., 1991; Tarjuelo et al., 2000; and Playán et al., 2005), these models were classified as very bad or poor according to the index of performance. However, the new adjusted models presented lower errors, resulting in indexes of performance classified as good and very good, thus indicating that their application must be limited to operational conditions (nozzle size, operational pressure, etc.) similar to those in which they were developed.

Key words: simulation, sprinkle irrigation, wind

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Lavras, com bolsa da CAPES

² CDTec/Engenharia Hídrica/UFPEL, CEP 96060-290, Pelotas, RS. Fone: (53) 3277-6700, ramal: 43. E-mail: samuel.beskow@ufpel.edu.br

³ DEG/UFLA, CP 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG. Fone: (35) 3829-1388. E-mail: lessandrofaria@yahoo.com.br; acolombo@ufla.com

⁴ Engenharia Agrônoma, CEP 22710-045, Rio de Janeiro, RJ. Fone: (21) 3624-0191. E-mail: debcandeias@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Em regiões do País com elevado déficit hídrico ou distribuições irregulares de precipitação, a irrigação é considerada fator tecnológico imprescindível para produções agrícolas. Os sistemas de irrigação por aspersão convencional são de grande utilização no Brasil, porém muitas vezes, por dimensionamentos errados ou utilização em condições climáticas adversas, esses sistemas não operam com a sua máxima eficiência, desperdiçando água, energia e fertilizantes.

Conhecer as características de distribuição de água aplicada pelos aspersores como a forma geométrica do perfil de distribuição de água do aspersor (combinação de bocais, pressão de serviço e ângulo de saída do jato d'água) e a incidência de vento (velocidade e direção) na região em relação à disposição dos aspersores, é de suma importância para se obter níveis desejáveis de uniformidade e de eficiência de aplicação de água (Carrión et al., 2001).

Quantificar as perdas por evaporação e arraste é de grande significância, tanto no aspecto econômico quanto no ambiental, possibilitando a minimização das mesmas em sistemas de irrigação por aspersão, porém estimar separadamente as perdas por evaporação e arraste é uma tarefa bastante complexa, em virtude das dificuldades encontradas com as técnicas necessárias para medir tais perdas.

De acordo com Smajstrla & Zazueta (2003), a perda de água por evaporação é aquela parcela de água que evapora das gotas pulverizadas pelo ar, e a perda por arraste diz respeito à água carregada pelo vento para fora do limite da área irrigada, sendo que, de acordo com Tarjuelo (2005), os principais fatores que interferem nas perdas por evaporação e arraste são: a umidade relativa do ar, temperatura do ar e da água, altura do aspersor, tamanho de gotas e velocidade do vento.

Na determinação das perdas de água por evaporação e arraste em ensaios de laboratório, Kohl et al. (1987) obtiveram valores variando de 0,5 a 2%. Já em testes experimentais de campo, as perdas variaram entre 2 e 40%, com muitos valores dentro de um intervalo compreendido entre 10 e 20% (Yazar, 1984; Kohl et al., 1987; Kincaid et al., 1996; Beskow et al., 2008b).

A influência dos efeitos do vento em relação à uniformidade de distribuição de água de aspersores tem sido bastante discutida na literatura (Azevedo et al., 2000; Carrión et al., 2001; Conceição & Coelho, 2003; Beskow et al., 2008a; 2008b; Faria et al., 2009; Oliveira et al., 2009). Em seus estudos, Azevedo et al. (2000) observaram que a velocidade do vento foi o fator que mais influenciou na uniformidade de distribuição de água, seguido pela pressão de serviço, espaçamento entre aspersores na linha lateral, espaçamento entre linhas laterais, direção do vento em relação à linha lateral e velocidade de rotação do aspersor.

Em virtude da importância dos efeitos danosos do vento sobre a uniformidade de distribuição e perdas de água de aspersores, a modelagem matemática tem sido bastante utilizada (Oliveira et al., 2009). Carrión et al. (2001) e Playán et al. (2006) utilizaram a teoria balística para simular a distribuição espacial de água aplicada por aspersores de média pressão em diferentes condições de vento, sendo a adequação do modelo

SIRIAS (Carrión et al., 2001) comprovada no trabalho de Conceição & Coelho (2003).

Tendo em vista as vantagens decorrentes da utilização da modelagem empírica sobre os efeitos da evaporação e arraste no padrão de distribuição espacial da água de aspersores, o trabalho tem por objetivo: i) avaliar a capacidade preditiva de cinco diferentes modelos empíricos disponíveis na literatura, no que diz respeito às perdas de água por evaporação e arraste nos aspersores Agropolo/NY (bocal 3,5 mm) e Naan/5024 (bocal 3,0 mm) e ii) desenvolver modelos empíricos específicos para cada aspersor, no caso de não haver uma boa adequação dos modelos já existentes.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área experimental do Departamento de Engenharia (DEG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras MG, localizado nas coordenadas 21° 15' (latitude sul), 45° 00' longitude (longitude oeste) e altitude de 918 m. O clima da região, baseado na classificação de Köppen, é de transição entre Cwa e Cwb, variando de subtropical a temperado, com chuvas predominantes no verão e inverno considerado seco, temperatura média anual de 19,4 °C, precipitação média anual é de 1529,7 mm e a umidade relativa anual de 76,2%.

Na área experimental utilizou-se um sistema de irrigação por aspersão convencional operando de duas maneiras: i) com um único aspersor e ii) com quatro aspersores operando simultaneamente em linhas laterais (Beskow, 2006).

Os aspersores utilizados nos ensaios com ângulo de inclinação de 12°, foram da marca Agropolo/NY (bocal 3,5 mm) operando nas pressões de 196, 245 e 294 kPa e Naan/5024 (bocal 3,0 mm), operando nas pressões de 245, 294 e 343 kPa.

As variáveis meteorológicas pertinentes ao estudo (temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento) foram monitoradas e registradas em intervalos regulares de 5 minutos com uma estação automática, modelo Vantage Pro2, localizada a uma distância de 20 m da área de irrigação.

Para o aspersor operando isoladamente (Figura 1) dispôs-se de uma malha composta de 144 coletores espaçados em 2 m, com o aspersor instalado no centro a uma altura de 1,25 m da

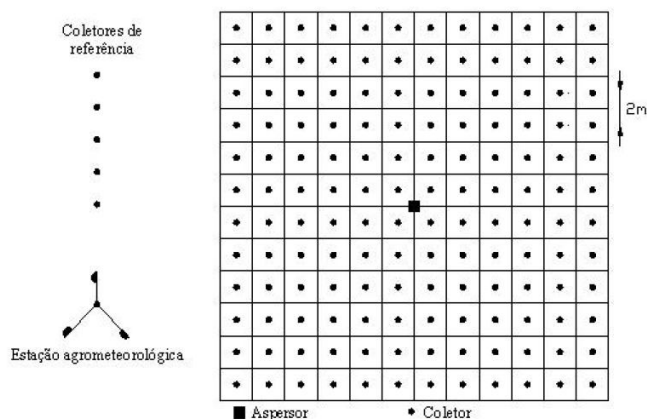


Figura 1. Representação esquemática dos ensaios de campo com o aspersor operando isoladamente

superfície, resultando uma diferença de altura de 0,75 m do bocal do aspersor em relação à borda superior do coletor. A coleta de água durante os ensaios foi feita com latas de óleo pintadas na cor branca, cujo diâmetro interno era 0,0835 m e altura de 0,190 m.

Durante os ensaios de campo utilizou-se um manômetro de Bourdon (graduado de 0 a 785 kPa, com intervalos de aproximadamente 5 kPa) para o acompanhamento da pressão de operação na entrada do bocal do aspersor. Para que se pudesse variar (para mais ou para menos) a pressão de operação do aspersor, foi instalada uma válvula de gaveta na derivação da linha lateral para o tubo de subida do aspersor. A duração de cada ensaio foi de 60 min, sendo o volume de água armazenado em cada coletor medido por proveta graduada logo após o término da irrigação.

Na estimativa da evaporação dos coletores durante a leitura dos volumes, foram dispostos cinco coletores como referência, posicionados a uma distância de 20 m da área de testes. Os coletores continham volumes conhecidos, sendo os volumes dos coletores de referência medidos novamente após o término da leitura dos volumes coletados na malha durante o ensaio. Em cada coletor da malha o volume de água coletado foi corrigido a partir da evaporação ocorrida durante o processo de leitura, de modo que a leitura de cada coletor da malha foi aumentada em um valor igual à metade da evaporação ocorrida durante o processo de leitura dos dados, estimada por meio dos coletores de referência, de acordo com o recomendado por Tarjuelo et al. (2000) e aplicado por Beskow et al. (2008b).

Nos ensaios com vários aspersores operando simultaneamente (Figura 2), os aspersores foram dispostos em duas linhas laterais no espaçamento de 12 x 12 m contendo dois aspersores cada linha lateral. Os coletores foram dispostos de maneira a formarem quadrados de 2 m de lado. Os ensaios tiveram duração de 50 min, com duração média de 10 min para a realização das leituras dos volumes de água nos coletores. Para controlar a pressão no sistema durante a realização dos testes de irrigação, foram utilizadas duas tomadas de pressão, uma localizada entre a válvula de gaveta e o primeiro aspersor e a outra localizada no tubo de subida do último aspersor. A obtenção dos dados meteorológicos e a correção da evaporação dos coletores da malha durante a leitura dos dados foram realizadas da mesma maneira que nos ensaios com um único aspersor.

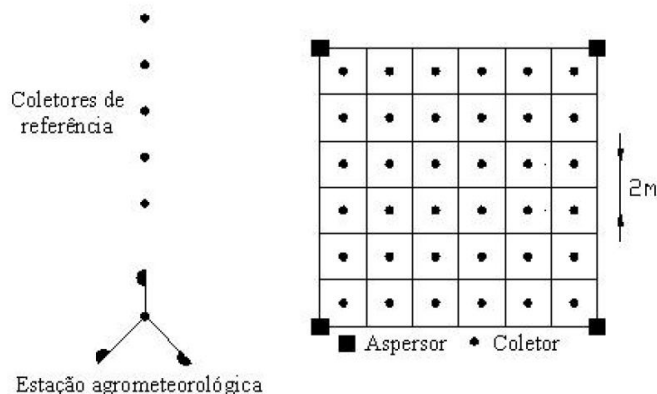


Figura 2. Representação esquemática dos ensaios de campo com quatro aspersores operando simultaneamente

Determinaram-se as perdas por evaporação e arraste (EA) para cada avaliação como sendo iguais à diferença entre o volume total aplicado pelo aspersor durante o teste de campo e o volume total registrado nos coletores (Eq. 1). As perdas por evaporação da água contida dentro dos coletores durante o tempo de medição foram consideradas e, portanto, acrescentadas a cada volume registrado nos coletores da malha.

Nos testes com um único aspersor realizou-se, depois de corrigido o volume, a sobreposição para o espaçamento de 12 x 12 m, de cada malha de dados, sendo possível calcular as perdas totais de água, já nos testes com laterais de aspersores não foi necessário realizar o processo de sobreposição.

$$EA = \frac{Q_a \cdot t - 4 \cdot \sum_{i=1}^{i=36} Z_i}{Q_a \cdot t} \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

- Q_a - vazão do aspersor, $m^3 h^{-1}$
- t - tempo da irrigação, h
- Z_i - lâmina armazenada em cada coletor, m

A vazão do aspersor para cada pressão de serviço foi obtida com três repetições pelo processo direto (método gravimétrico), fixando-se um tempo no cronômetro e se pesando o volume de água obtido nesse intervalo.

Nas simulações da porcentagem das perdas de água por evaporação e arraste (EA), para as mesmas condições climáticas e operacionais observadas nos ensaios, foram utilizados os modelos de Yazar (1984), Trimmer (1987), Seginer et al. (1991), Tarjuelo et al. (2000) e Playán et al. (2005), representados na Tabela 1, respectivamente, pelas Eqs. (2), (3), (4), (5) e (6).

Tabela 1. Modelos empíricos utilizados nas simulações das perdas de água por evaporação e arraste (EA)

Autor	Equação
Yazar	$EA = 0,003 \exp^{(0,20U)} \cdot (10\Delta e)^{0,59} \cdot T^{0,23} \cdot P_s^{0,76} + 0,27 \cdot U^{2,15}$ (2)
Trimmer	$EA = (1,98D^{-0,72} + 0,22\Delta e^{0,63} + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot P_s^{1,16} + 0,14 \cdot U^{0,7})^{4,2}$ (3)
Seginer	$EA = 3,22 \exp^{(0,075U)} \cdot (T - T_w)^{0,69}$ (4)
Tarjuelo	$EA = 0,007 \cdot P_s + 7,38 \cdot \Delta e^{0,5} + 0,844 \cdot U$ (5)
Playán	$EA = 20,3 + 0,214 \cdot U^2 - 2,29 \cdot 10^{-3} \cdot UR^2$ (6)

EA – perda de água por evaporação e arraste (%); D – diâmetro do bocal (mm); Δe – déficit de pressão de vapor (kPa); P_s – pressão de serviço do aspersor (kPa); U – velocidade média do vento ($m s^{-1}$); T – temperatura do ar ($^{\circ}C$); T_w – temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}C$), e UR – umidade relativa do ar (%)

No cálculo do déficit de pressão de vapor (Δe), seguiram-se as recomendações de Trimmer (1987), utilizando-se a Eq. 7.

$$\Delta e = 0,61 \cdot \exp\left(\frac{12,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \cdot \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (7)$$

Seginer et al. (1991) utilizaram a depressão de bulbo úmido ($T - T_w$) ao invés do déficit de pressão de vapor, sendo este valor obtido pela Eq. 8.

$$\Delta e = 0,00066 \cdot (1 + 0,00115 \cdot T_w) \cdot (T - T_w) \cdot P_{atm} \quad (8)$$

em que, P_{atm} é a pressão atmosférica (kPa).

No intuito de modelar os dados obtidos mediante ensaios de campo, utilizou-se o modelo geral para estimativa das perdas de água por evaporação e arraste recomendado por Tarjuelo (2005), Tarjuelo et al. (2000) e Ortega et al. (2006), conforme a Eq. 9. Para o ajuste dos parâmetros (a, b e c) presentes na Eq. 9, usou-se o programa computacional SAS, realizando-se o processo de regressão múltipla.

$$EA = aP_s + b\Delta e^{0.5} + cU \quad (9)$$

em que:

- P_s - pressão de serviço, kPa
- Δe - déficit de pressão de vapor, kPa
- U - velocidade média do vento, $m\ s^{-1}$.

A adequação dos resultados de perda de água por evaporação e arraste gerados com os diferentes modelos de simulação para sistemas convencionais de irrigação por aspersão, foi avaliada seguindo-se as recomendações de Conceição & Coelho (2003), no sentido de se determinar o índice de confiança de desempenho (c) de Camargo & Sentelhas (1997), que é obtido pela multiplicação do coeficiente de correlação (r) pelo índice de Willmott (d), conforme apresentado nas Eqs. 10 e 11.

$$c = r \cdot d \quad (10)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (11)$$

em que:

- P_i - valor estimado
- O_i - valor observado
- \bar{O} - média dos valores observados .

O índice de confiança de desempenho foi avaliado segundo escala proposta por Camargo & Sentelhas (1997): ótimo ($c > 0,85$); muito bom ($0,76 \leq c \leq 0,85$); bom ($0,66 \leq c \leq 0,75$); mediano ($0,61 \leq c \leq 0,65$); sofrível ($0,51 \leq c \leq 0,60$); mau ($0,41 \leq c \leq 0,50$) e péssimo ($c \leq 0,40$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de perda de água por evaporação e arraste simulados pelos modelos empíricos de Yazar (1984), Trimmer (1987), Seginer et al. (1991), Tarjuelo et al. (2000) e Playán et al. (2005), podem ser observados nas Figuras 3 e 4 para o aspersor Agropolo/NY e Naan/5024, respectivamente.

O modelo proposto por Yazar (1984), para prever as perdas por evaporação e arraste do aspersor Agropolo/NY, apresentou

desempenho classificado como Péssimo tanto para ensaios com um único aspersor (Figura 3A, $c = 0,20$) como para ensaios com linhas laterais de aspersores (Figura 3D, $c = 0,30$), bem como para o aspersor Naan/5024 operando com um único aspersor (Figura 4A, $c = 0,20$) e com linhas laterais de aspersores (Figura 4D, $c = 0,29$), estimando-se perdas menores do que realmente aconteceram. Para um aspersor Agropolo NY-7 (bocais de 4,6 x 4 mm e ângulo de inclinação de 7°), Beskow et al. (2008b) também obtiveram um índice de desempenho Péssimo quando o aspersor operou isoladamente, porém em laterais de aspersores os autores obtiveram desempenho Sofrível com o modelo de Yazar (1984). As limitações do modelo podem ser associadas aos diâmetros de bocais, os quais foram superiores aos utilizados neste trabalho e os intervalos de pressão para os quais o modelo tem validade.

O modelo proposto por Trimmer (1987) também apresentou desempenho classificado como Péssimo, para os aspersores Agropolo/NY e Naan/5024, com valores de $c = 0,22$ para os testes com um único aspersor (Figuras 3B e 4B) e $c = 0,28$ para linhas laterais de aspersores (Figuras 3E e 4E). Além disso, pode-se constatar, nessas figuras, que o modelo de Trimmer (1987) subestima as perdas de água por evaporação e arraste, fato já observado em estudos de Faci et al. (1991); Playán et al. (2005) e Beskow et al. (2008b).

O péssimo desempenho observado neste modelo pode ser atribuído à diferença no tamanho de diâmetro dos bocais utilizados nos ensaios, bocais menores que os testados por Trimmer (1987); além disso, este autor apresenta uma equação geral para estimativa das perdas de água por evaporação e arraste em diferentes condições ambientais e operacionais, a qual não foi confirmada para as condições operacionais deste estudo. Este modelo foi baseado no nomograma de Frost & Schwalen (1955) apresentado como modelo geral para utilização com diferentes tamanhos de bocais, pressões de operação e condições ambientais. No entanto, é oportuno ressaltar que este modelo foi obtido somente para as condições ambientais do Arizona (Estados Unidos), diferentes das condições brasileiras, o que limita sua utilização.

No modelo de Seginer et al. (1991), o melhor desempenho foi com o aspersor Agropolo/NY operando isoladamente ($c = 0,58$ - sofrível, Figura 3C) em comparação com aspersores operando em linhas laterais ($c = 0,37$ - péssimo, Figura 3F), pode ser atribuído ao fato de que este modelo foi gerado por meio de testes de campo com o aspersor operando isoladamente e com bocal de 3,5 mm (semelhante ao utilizado neste estudo).

Para o mesmo modelo, o aspersor Naan/5024 (bocal 3,0 mm) operando isoladamente (Figura 4C) não alcançou bom desempenho sendo classificado, portanto, como Péssimo ($c = 0,36$). Beskow et al. (2008b) obtiveram índice de desempenho, considerado Péssimo ao aplicarem o modelo de Seginer et al. (1991) na estimativa das perdas de água do aspersor NY-7 que tem bocais maiores (4,6 x 4,0 mm) que os bocais utilizados nos ensaios de Seginer et al. (1991), indicando que o modelo é válido somente para as mesmas condições operacionais propostas pelos autores.

Nas simulações dos aspersores Agropolo/NY (Figuras 3G e 3J) e Naan/5024 (Figuras 4G e 4J) com o modelo proposto por Tarjuelo et al. (2000), os índices de desempenho (c) foram classificados como Péssimo: $c = 0,29$ (aspersor NY-12 operando

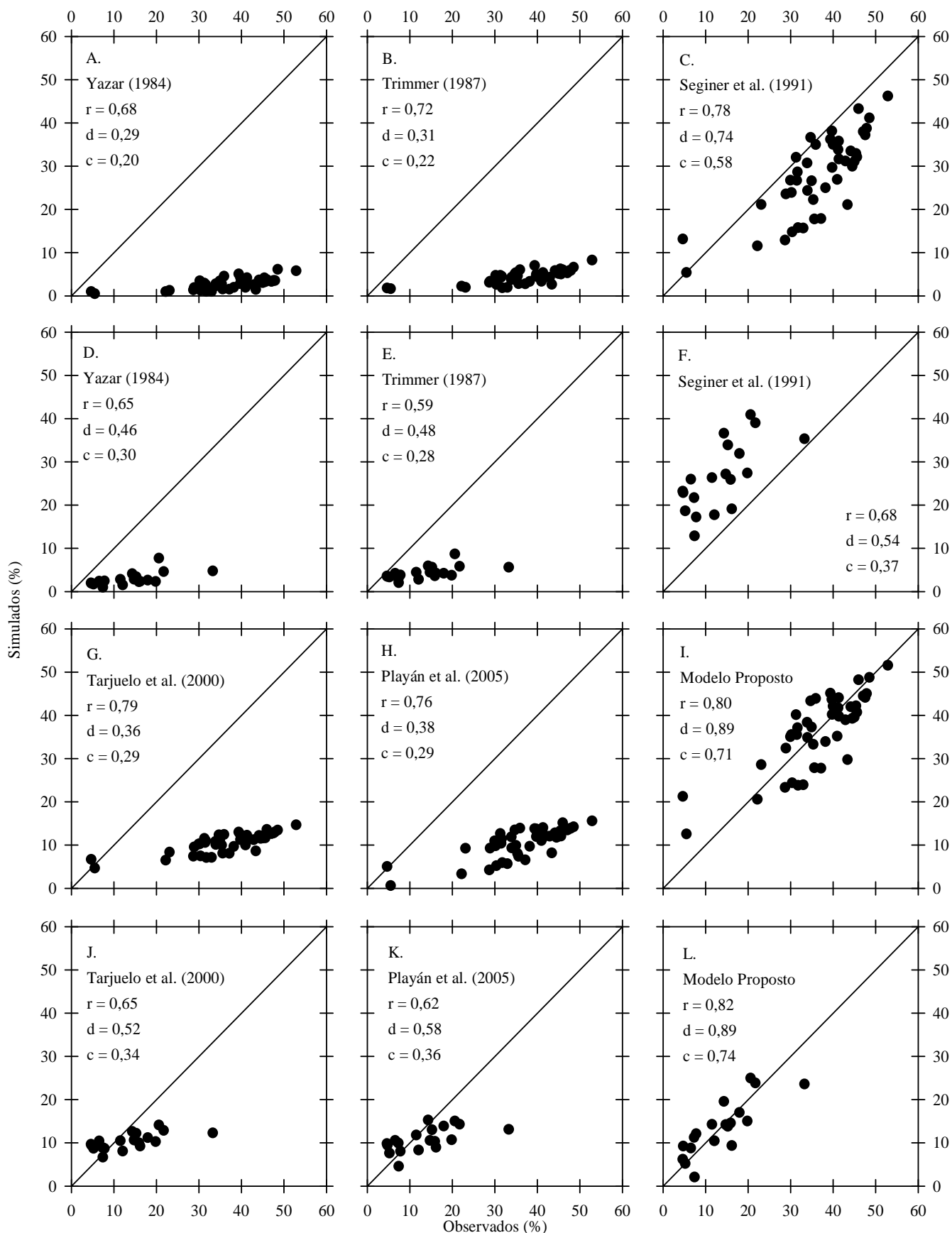
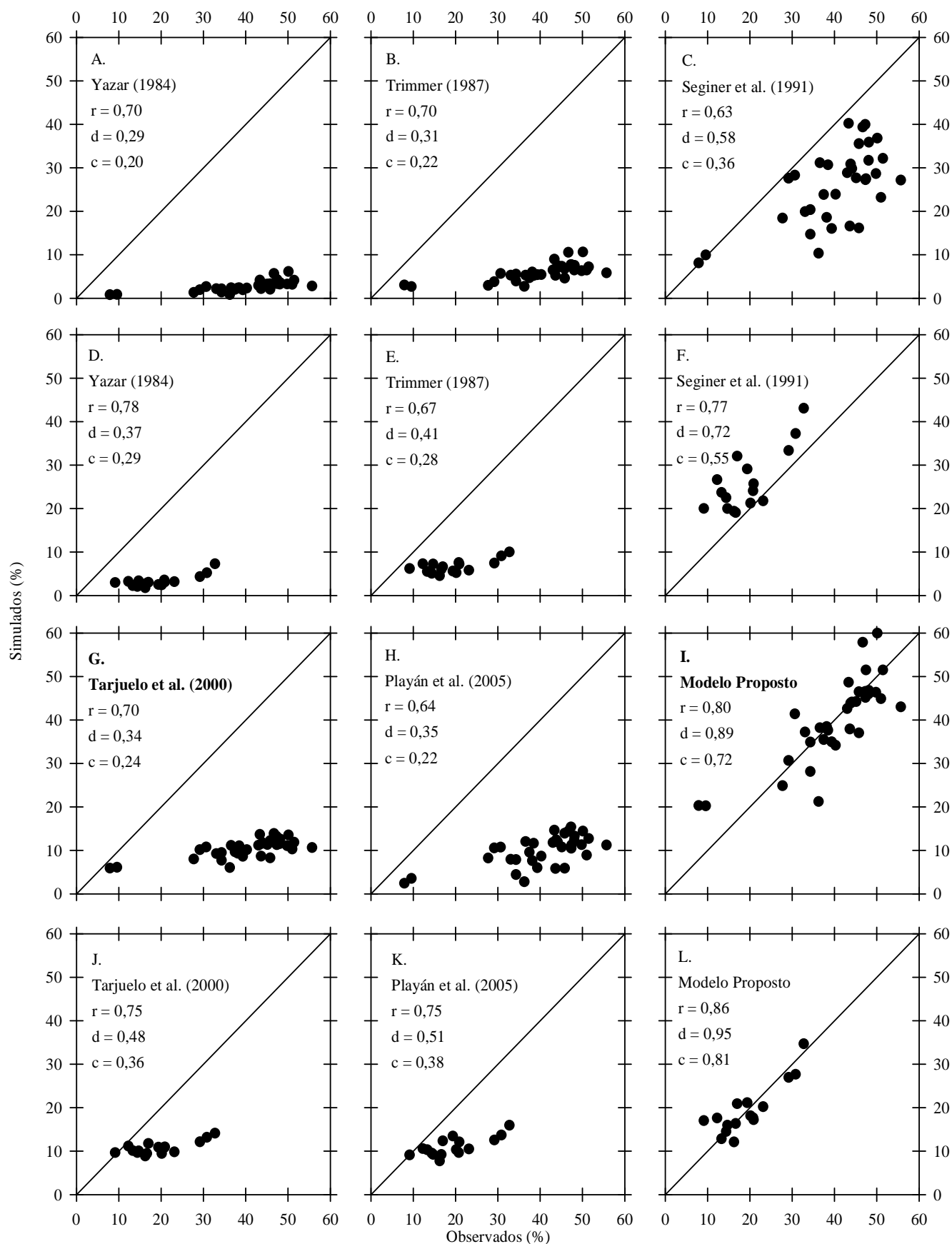


Figura 3. Valores de perda de água por evaporação e arraste do aspersor Agropolo/NY observados em testes de campo com um único aspersor (A, B, C, G, H e I) e em linhas laterais de aspersores (D, E, F, J, K e L) versus valores simulados pelos modelos



r = coeficiente de correlação; d = índice de Willmott; c = índice de confiança de desempenho

Figura 4. Valores de perda de água por evaporação e arraste do aspersor Naan/5024 observados em testes de campo com um único aspersor (A, B, C, G, H e I) e em linhas laterais de aspersores (D, E, F, J, K e L) versus valores simulados pelos modelos

isoladamente); $c = 0,34$ (linhas laterais de aspersores NY-12); $c = 0,24$ (aspersor Naan operando isoladamente); $c = 0,36$ (linhas laterais de aspersores NY-12). A não adequação deste modelo também foi observada por Playán et al. (2005), que utilizaram aspersores idênticos (marca e tamanho de bocais) e não obtiveram ajustes satisfatórios com este modelo de simulação, e por Beskow et al. (2008b) que, com aspersores de média pressão e bocais $4,6 \times 4,0$ mm, obtiveram índices de desempenho igual a 0,17 e 0,33 para um único aspersor e linhas laterais de aspersores, respectivamente.

Para o modelo de Playán et al. (2005) o índice de desempenho (c) obtido foi péssimo (Figuras 3H e 3K e Figuras 4H e 4K), desempenho este também obtido por Beskow et al. (2008b) na quantificação das perdas de água do aspersor Agropolo NY-7 operando isoladamente ($c = 0,19$) e em linhas laterais ($c = 0,26$). As diferenças entre os resultados obtidos por simulação com o modelo proposto por Playán et al. (2005) e os dados de ensaios de campo deste estudo, podem ser atribuídas aos diferentes tamanhos de diâmetros de bocais utilizados o que acarreta em diferentes pulverizações de gotas e, conseqüentemente, diferentes perdas por evaporação e arraste (Smajstrla & Zazueta, 2003; Beskow et al., 2008a).

Os modelos de simulação das perdas de água por evaporação e arraste utilizados não apresentaram boa adequação aos dados obtidos em ensaios de campo, nas condições locais de Lavras, MG, sentindo-se a necessidade de desenvolver modelos específicos para o aspersor Agropolo/NY (Figuras 3I e 3L) e para o aspersor Naan/5024 (Figuras 4I e 4L), sendo as Eqs. 12 e 13 obtidas para os testes de campo com um único aspersor Agropolo/NY e para ensaios com linhas laterais de aspersores Agropolo/NY, respectivamente. As Eqs. 14 e 15 foram obtidas, respectivamente, para os testes de campo com um único aspersor Naan/5024 e para ensaios com linhas laterais de aspersores Naan/5024.

$$EA = 0,00862P_s + 28,5454\Delta e^{0,5} + 3,4335U \quad (12)$$

$$EA = -0,0304P_s + 13,2976\Delta e^{0,5} + 5,485U \quad (13)$$

$$EA = 0,0315P_s + 20,1\Delta e^{0,5} + 10,173U \quad (14)$$

$$EA = -0,0282P_s + 20,8296\Delta e^{0,5} + 4,5242U \quad (15)$$

Os modelos gerados foram obtidos de acordo com o proposto por Tarjuelo (2005), Tarjuelo et al. (2000) e Ortega et al. (2000) e suas análises de adequação podem ser observadas pelas Figuras 3I e 3L (aspersor Agropolo/NY) e Figuras 4I e 4L (aspersor Naan/5024).

Os modelos desenvolvidos para prever as perdas de água por evaporação e arraste para o aspersor Agropolo/NY operando isoladamente (Eq. 12) e para linhas laterais de aspersores Agropolo/NY (Eq. 13) tiveram índices de desempenho classificados como Bom, com valores de $c = 0,71$ e $c = 0,74$, respectivamente; entretanto, é imprescindível ressaltar que os resultados observados se aplicam a

configurações de aspersores semelhantes ao utilizado (diâmetro de bocal igual a 3,5 mm e intervalo de pressão de 196 a 294 kPa).

Os modelos desenvolvidos para o aspersor Naan/5024 operando isoladamente (Eq. 14) e para linhas laterais de aspersores (Eq. 15) apresentaram índices de desempenho Bom ($c = 0,72$) e Muito Bom ($c = 0,81$), respectivamente, ressaltando-se que os resultados observados também devem ser aplicados para configurações de aspersores semelhantes ao utilizado (diâmetro de bocal igual a 3,0 mm e intervalo de pressão de 245 a 343 kPa).

CONCLUSÕES

1. Os modelos usados nas simulações das perdas de água por evaporação e arraste apresentaram índice de desempenho péssimo ou, no máximo, sofrível.
2. Nas estimativas das perdas de água por evaporação e arraste em sistemas de irrigação por aspersão convencional é de suma importância a escolha correta de um modelo de simulação de perdas de água por evaporação e arraste, devendo-se levar em consideração quais as condições de diâmetro de bocal, pressão de operação e inclinação do jato em que os modelos foram gerados.
3. Os modelos propostos neste estudo apresentaram melhor adequação aos dados observados para as condições locais brasileiras e, portanto, podem ser utilizados para condições operacionais e climáticas semelhantes.

LITERATURA CITADA

- Azevedo, H. J.; Bernardo, S.; Ramos, M. M.; Sedyama, G. C.; Cecon, P. R. Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p.152-158, 2000.
- Beskow, S. Avaliação de modelos empíricos para estimativa das perdas de água por evaporação e arraste em sistemas de aspersão convencional. Lavras: UFLA, 2006. 94p. Dissertação Mestrado
- Beskow, S.; Colombo, A.; Pereira, G. M.; Taveira, J. H. S.; Ricardo, C. M. Perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão nas condições climáticas de Lavras-MG, utilizando aspersores de tamanho médio. *Irriga*, v.13, p.113-127, 2008a.
- Beskow, S.; Colombo, A.; Ribeiro, M. S.; Ferreira, L. S.; Rossi, R. Simulação das perdas de água por evaporação e arraste, no aspersor NY-7 ($4,6 \times 4,0$ mm), em sistemas de aspersão convencional. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.427-437, 2008b.
- Camargo, A. P. de; Sentelhas, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, p.89-97, 1997.
- Carrión, P.; Tarjuelo, J. M.; Montero J. SIRIAS: A simulation model for sprinkler irrigation. Part I: Description of model. *Irrigation Science*, v.20, p.73-84, 2001.

- Conceição, M. A. F.; Coelho, R. D. Simulating wind effect on microsprinkler water distribution. *Scientia Agricola*, v.60, p.205-209, 2003.
- Faci, J. M.; Salvador, R.; Playán, E.; Sourell, H. Comparison of fixing and rotating spray plate sprinklers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.127, p.224-233, 1991.
- Faria, L. C.; Colombo, A.; Oliveira, H. F. E. de; Prado, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.427-437, 2009.
- Frost, K. R.; Schwalen, H. C. Sprinkler evaporation losses. *Agricultural Engineering*, v.36, p.526-528, 1955.
- Kincaid, D. C.; Solomon, K. H.; Oliphant, J. C. Drop size distributions for irrigation sprinklers. *Transactions of the ASAE*, v.39, p.839-845, 1996.
- Kohl, K. D.; Kohl, R. A.; DeBoer, D. W. Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. *Transactions of the ASAE*, v.30, p.1.071-1.074, 1987.
- Oliveira, F. E. de; Colombo, A.; Faria, L. C. Modelagem dos efeitos do vento sobre as dimensões do alcance do joto de um canhão hidráulico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.818-824, 2009.
- Ortega, J. F.; Tarjuelo, J. M.; Montero, J.; Juan, J. A. de. Discharge efficiency in sprinkling irrigation: analysis of the evaporation and drift losses in semi-arid areas. *Agricultural Engineering International, the CIGRE Journal*, v.2, p.1-21, 2000.
- Playán, E.; Salvador, R.; Faci, J. M.; Zapata, N.; Martínez-Cob, A.; Sánchez, I. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *Agricultural Water Management*, v.76, p.139-159, 2005.
- Playán, E.; Zapata, N.; Faci, J. M.; Tolosa, D.; Lacuerva, J. L.; Pelegri, J.; Salvador, R.; Sanches, I.; Lafita, A. Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model. *Agricultural Water Management*, v.84, p.89-100, 2006.
- Seginer, I.; Kantz, D.; Nir, D. The distortion by wind of the distribution patterns of single sprinklers. *Agricultural Water Management*, v.19, p.341-359, 1991.
- Smajstrla, A. G.; Zazueta, F. S. Evaporation loss during sprinkler irrigation. Gainesville: Agricultural and Biological Engineering Department, 2003. 8p.
- Tarjuelo, J. M. *El Riego por aspersión y su tecnología*. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 581p.
- Tarjuelo, J. M.; Ortega, J. F.; Montero, J.; Juan, J. A. Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, v.43, p.263-284, 2000.
- Trimmer, W. L. Sprinkler evaporation loss equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.113, p.616-620, 1987.
- Yazar, A. Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating condition. *Agricultural Water Management*, v.8, p.439-449, 1984.