

AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO APLICADO À MODELAGEM DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

ERICK COSTA FUGA¹; BERNARDO GOMES NOREMBERG²; HENRIQUE FONSECA ELIAS DE OLIVEIRA³; ALBERTO COLOMBO⁴; SAMUEL BESKOW⁵; LESSANDRO COLL FARIA⁶;

¹UFPEL. Centro de Desenvolvimento Tecnológico/Eng. De Computação – erick_fuga@inf.ufpel.edu.br

²UFPEL. Centro de Desenvolvimento Tecnológico/Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos – bernardo.norenberg@hotmail.com

³IF Goiano, Campus Ceres – henrique.fonseca@ifgoiano.edu.br

⁴UFLA. Departamento de Engenharia – acolombo@ufla.com

⁵UFPEL. Centro de Desenvolvimento Tecnológico/Eng. Hídrica – samuel.beskow@ufpel.edu.br;

⁶UFPEL. Centro de Desenvolvimento Tecnológico/Eng. Hídrica – lessandro.faria@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é uma técnica de grande utilização no Brasil, empregada em uma diversificada gama de culturas, destacando-se como uma das principais tecnologias envolvidas no processo de produção de alimentos, principalmente em regiões de baixos índices pluviométricos, ou com precipitações irregulares.

Diversos fatores afetam a irrigação por aspersão. Dentre estes, a velocidade do vento é o que mais contribui negativamente na uniformidade com que sistemas de irrigação por aspersão aplicam água sobre a superfície (AZEVEDO *et al.*, 2000). Avaliar os efeitos do vento em condições de campo, durante um evento de irrigação, é tarefa complexa e morosa, devido principalmente ao tamanho de algumas áreas irrigadas e aos equipamentos necessários para realização destas avaliações. Desta maneira, a modelagem dos efeitos do vento na distribuição de água de aspersores torna-se uma ferramenta de grande utilidade, auxiliando projetistas e irrigantes em tomadas de decisões quanto à escolha de aspersores e seus espaçamentos em condições reais de campo, que minimizem os efeitos do vento.

No modelo semiempírico desenvolvido por RICHARDS e WEATHERHEAD (1993), a distorção do padrão de distribuição de água de um aspersor ocorre por causa da ação de dois processos distintos: a deriva das gotas e redução do raio de alcance devido à interrupção do fluxo de ar junto ao jato de água do aspersor, sendo que para cada um destes processos necessitam-se, dentre outros fatores, de três parâmetros de ajuste, totalizando assim, seis parâmetros a serem ajustados pelo modelo (A, B, C, D, E e F), como demonstrado em diversos trabalhos (RICHARDS e WEATHERHEAD, 1993; GRANIER *et al.*, 2003; SMITH *et al.*, 2008; PRADO & COLOMBO, 2010; FARIA *et al.*, 2012a; OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Para o ajuste dos seis parâmetros empíricos do modelo de RICHARDS e WEATHERHEAD (1993), PRADO (2008) utilizou a combinação de dois métodos: o método das estimativas descendentes, para obter a estimativa inicial dos seis parâmetros ajustados e o método de Newton para sistemas de equações não lineares, para obter o valor final dos seis parâmetros de ajuste deste modelo.

Em estudos de simulações hidrológicas, BESKOW *et al.* (2011) utilizaram o método denominado *Shuffled Complex Evolution* (SCE-UA), desenvolvido na Universidade do Arizona (Duan *et al.*, 1992), obtendo excelentes resultados com a rápida convergência para um valor mínimo da função objetivo. Desta maneira, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do método *Shuffled Complex Evolution* (SCE-UA) no ajuste dos seis parâmetros empíricos (A, B, C, D, E e F), necessários ao modelo de RICHARDS e WEATHERHEAD (1993), para simular a

distorção causada pelo vento no perfil da lâmina de água aplicado por aspersores de tamanho médio utilizados em sistemas convencionais de irrigação.

2. METODOLOGIA

Foi desenvolvido um programa computacional na linguagem Java, baseado no modelo de RICHARDS e WEATHERHEAD (1993), para simular a distribuição espacial de água de um aspersor operando em condições de vento. A rotina desenvolvida gera os valores de intensidade de precipitação (mm h^{-1}) ao longo de uma malha de pontos (coletores fictícios) uniformemente distribuídos ao redor do aspersor, observando o mesmo arranjo de coletores utilizados nos ensaios de campo, de acordo metodologia descrita por FARIA *et al.* (2012a).

Uma rotina computacional, baseada no método de otimização *Shuffled Complex Evolution* (SCE-UA), foi implementada para realizar o ajuste dos seis parâmetros (A, B, C, D, E e F) empíricos do modelo de RICHARDS e WEATHERHEAD (1993), que definem os efeitos da deriva do vento (A, B e C) e a redução do alcance do jato (D, E e F) de água de aspersores.

Os parâmetros, combinados em pares, resultam em 15 diferentes situações de análise. Então, optou-se por avaliar, de acordo observado por PRADO (2008), um parâmetro de distorção relacionado com a deriva das gotas (A, B e C) combinado com um parâmetro relacionado com a redução do raio de alcance devido à interrupção do fluxo de ar junto ao jato de água do aspersor (D, E e F).

Seguindo metodologia proposta por DUAN *et al.* (1992), na implementação do método SCE-UA, primeiramente foi gerada aleatoriamente uma amostra inicial dentro do espaço amostral de cada um dos seis parâmetros a serem ajustados, tendo cada parâmetro um valor de limite superior e um valor de limite inferior, que foi de -1 e 1, respectivamente, sendo então todos os pontos classificados de acordo com a função objetivo utilizada, que neste caso era minimizar simultaneamente a soma do quadrado dos desvios (SQD) entre valores de intensidade de precipitação estimados em três malhas de ensaio geradas pelo programa computacional desenvolvido e valores de intensidade de precipitação observados em três malhas de ensaios de campo (FARIA *et al.*, 2012a).

Posteriormente, a rotina agrupou os pontos em diferentes complexos, que foram avaliados separadamente, por meio do algoritmo *Complex Evolution Competitiva* (CCE), de NELDER e MEAD (1965). Os complexos foram então misturados, gerando assim novos sub complexos baseados nas informações fornecidas pelos complexos anteriores. Por fim, a rotina verificou os critérios de convergência, de modo que os processos de evolução e substituição fossem repetidos, até atingir os critérios de convergência.

Na execução da rotina computacional, foram informados os seguintes dados de entrada: i) Dados do aspersor: diâmetro do bocal, ângulo de saída do jato de água, pressão de serviço, raio de alcance na ausência de vento. ii) Dados de vento: velocidade (m s^{-1}) e direção (graus) durante os ensaios de campo. iii) Dados requeridos pelo método SCE-UA: p = número de complexos ($p = 2$); m = o número de pontos em um complexo ($m = 2n + 1$, então $m = 13$); q = o número de pontos em um subcomplexo ($q = n + 1$, então $q = 7$); d) p_{\min} = ao número mínimo de complexos ($1 \leq p_{\min} \leq p$); α = ao número consecutivo de valores gerados por cada subcomplexo ($\alpha = 1$); β = ao número de evoluções de cada complexo ($\beta = m = 13$). Foram considerados seis parâmetros de ajuste ($n = 6$) com limite inferior e superior do espaço amostral de cada parâmetro igual a -1 e 1, respectivamente, conforme indicado por FARIA *et al.* (2012a).

No ajuste dos parâmetros do modelo de RICHARDS e WEATHERHEAD (1993), foram utilizados três ensaios de campo com as seguintes condições operacionais e climáticas: i) bocal = 3,5 mm, pressão = 245 kPa, ângulo do jato de água = 12°, raio de alcance = 10,9 m, velocidade do vento = 1,46 m s⁻¹ e direção do vento = 273,46°; ii) bocal = 3,5 mm, pressão = 245 kPa, ângulo do jato de água = 12°, raio de alcance = 10,9 m, velocidade do vento = 2,08 m s⁻¹ e direção do vento = 279,95°; e iii) bocal = 3,5 mm, pressão = 245 kPa, ângulo do jato de água = 12°, raio de alcance = 10,9 m, velocidade do vento = 2,40 m s⁻¹ e direção do vento = 239,64°.

Para facilitar a convergência, para o valor mínimo da função objetivo, dos valores das seis constantes empíricas do modelo, foram restringidos os valores das somas das constantes empíricas do modelo que definem os efeitos da deriva do vento ($A+B+C = 0,0295$) e a redução do alcance do jato ($D+E+F = 0,0300$), sendo estes valores obtidos pela análise das dimensões do alcance do jato do aspersor (FARIA *et al.*, 2012b). Além disso, foi utilizada a curva de aplicação de água do aspersor operando na ausência de vento, sendo esta disponibilizada no banco de dados do programa, conforme metodologia descrita por FARIA *et al.* (2012a).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos seis parâmetros empíricos do modelo de RICHARDS e WEATHERHEAD (1993) (A, B, C, D, E e F) ajustados pelo método SCE-UA, para aspersores de tamanho médio (bocal 3,5 mm e pressão 245 kPa), foram próximos aos valores obtidos por Prado (2008) para canhões hidráulicos (bocal 18x7 mm e pressão 392 kPa), Tabela 1. Conforme observado nesta tabela, valores obtidos neste trabalho seguem as mesmas tendências dos valores obtidos por Prado (2008), sendo este um indício da aplicabilidade do método SCE-UA na simulação da aplicação de água de aspersores. Cabe ressaltar que as diferenças numéricas ocorrem devido a diferentes condições operacionais e climáticas estudadas.

Tabela 1. Comparação entre valores dos seis parâmetros do modelo de RICHARDS e WEATHERHEAD (1993), ajustado pelo método SCE-UA, e por PRADO (2008).

Método	A (m m ⁻¹ s)	B (m m ⁻¹ s)	C (m m ⁻¹ s)	D (m m ⁻¹ s)	E (m m ⁻¹ s)	F (m m ⁻¹ s)
SCE-UA	0,1411	-0,3213	0,2097	0,0635	-0,2002	0,1667
Prado (2008)	1,011	1,352	-1,029	1,712	5,739	-4,086

Em um dos testes, estipularam-se, para as constantes C (0,2097) e E (-0,2002), valores 50% maiores e 50% menores que os obtidos para as mesmas constantes, que foram, respectivamente, $C_{maior} = 0,3146$ e $C_{menor} = 0,1049$ e $E_{maior} = -0,1001$ e $E_{menor} = -0,3003$, mantendo-se fixos os valores das demais constantes (Tabela 1), obtendo-se 120 novos valores de C, E e Log10 (SQD).

Pôde-se observar a ocorrência de um valor mínimo global (Log10 = 2,2 da soma do quadrado dos desvios SQD = 177,67) que corresponde aos parâmetros C = 0,2097 e E = -0,2002 ajustados, permitindo verificar existência de um valor mínimo da função objetivo, obtido com o método *Shuffled Complex Evolution* (SCE-UA) no ajuste das seis constantes (A, B, C, D, E e F) de distorção do vento do modelo de RICHARDS e WEATHERHEAD (1993). Porém, cabe ressaltar que, de acordo com Saramago (2003), muitas vezes não é possível garantir a existência e a unicidade de um ponto ótimo global, devido à existência de várias soluções, mau condicionamento numérico ou lenta convergência.

4. CONCLUSÃO

Os seis parâmetros (A, B, C, D, E e F) ajustados podem ser utilizados para simular a distribuição de água de aspersores em qualquer direção de vento e velocidades que não excedam aos valores observados nos ensaios de campo.

O Método Shuffled Complex Evolution (SCE-UA) demonstrou adequada convergência quando implementado para o ajuste dos parâmetros do modelo de RICHARDS e WEATHERHEAD (1993), em sistemas convencionais de irrigação, apresentando rápida convergência para o valor mínimo da função objetivo (SQD). Podendo assim, este método de otimização ser aplicado para modelagem de sistemas de irrigação por aspersão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. (2000). 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*, 4 (2), pp. 152-158.
- BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; SILVA, A.M. (2011). Performance of a distributed semi-conceptual hydrological model under tropical watershed conditions. *Catena* 86(3), pp. 160-171.
- DUAN, Q.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V. (1992). Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, 28 (4), pp. 1015-1031.
- FARIA, L. C.; BESKOW, S.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E. de. (2012a) Modelagem dos efeitos do vento na uniformidade da irrigação por aspersão: Aspersores de tamanho médio. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16 (2), pp.133-141.
- FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E. de.; BESKOW, S.; PRADO, G. do. (2012b). Distorção do vento na área molhada por canhões hidráulicos: Extensão da modelagem para aspersores médios. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16 (7), pp.699-705.
- GRANIER, J.; MOLLE, B.; DEUMIER, J. M. (2003). Irriparc, part 1: modeling spatial water distribution under a sprinkler in windy conditions. In: *Proceedings...*
- INTERNATIONAL COMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE WORKSHOP, 1. Montpellier: ICID, 2003. p. 14-19.
- NELDER, J. A.; MEAD, R. (1965). A simple method for functional minimization. *Computer Journal*, 7 (4), pp. 308-313.
- OLIVEIRA, H. F. E. de; COLOMBO, A.; FARIA, L. C.; BESKOW, S.; PRADO, G. do. (2013). SAI: Simulação da irrigação por aspersão – Calibração e validação. *Engenharia Agrícola*, 17 (3), pp.253-260.
- PRADO, G.; COLOMBO, A. (2010). Distribuição espacial de água aplicada por equipamentos autopropelidos de irrigação, parte I: modelagem com o Simulasoft. *Irriga*, 15 (1), pp. 51-62.
- RICHARDS, P. J.; WEATHERHEAD, E. K. (1993). Prediction of Raingun Application Patterns in Windy Conditions. *Journal Agricultural Engineering Research*, 54 (4), pp. 281-291.
- SARAMAGO, S. F. P. (2003). *Método de otimização randômica: algoritmos genéticos e "simulated annealing"*. São Carlos, SP: SBMAC, 37p. (Notas de Matemática aplicada,6).
- SMITH, R. J.; GILLES, M. H.; NEWELL, G.; FOLEY, J. P. (2008) A decision support model for travelling gun irrigation machines. *Biosystems Engineering*, 100 (1), pp. 126-136.