

# **PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA ESTIMATIVA DO SELAMENTO SUPERFICIAL, EM FUNÇÃO DA TEXTURA DO SOLO, EM ÁREAS IRRIGADAS POR PIVÔ CENTRAL**

LINEU NEIVA RODRIGUES

**RESUMO:** No processo de tomada de decisão dentro da agricultura de precisão, os mapas temáticos desempenham papel de fundamental importância. Especificamente para a irrigação de precisão, a identificação de áreas com e sem risco de ocorrência de escoamento superficial e de como as gotas produzidas pelos aspersores se distribuem são de fundamental importância no momento de se decidir como variar a taxa de aplicação de água dentro da área irrigada. O selamento da camada superficial do solo reduz a taxa de infiltração, aumentando a possibilidade de ocorrência de escoamento superficial, que tem como consequência direta a redução da eficiência de irrigação. Essa variável, entretanto, na maioria das vezes, pela dificuldade envolvida na sua estimativa, não é levada em consideração nos projetos de irrigação. O presente trabalho objetivou desenvolver um programa computacional para estimar o selamento superficial, em áreas irrigadas por pivô central, em função de características do solo. A redução na taxa de infiltração é calculada em função do diâmetro médio e da velocidade de impacto das gotas, e das porcentagens de silte e areia. O software desenvolvido foi utilizado para simular o selamento superficial em uma área irrigada por pivô central. Os resultados obtidos possibilitaram verificar como o selamento variou dentro da área irrigada. Essa informação auxiliou na decisão sobre o valor mais adequado a ser utilizado no dimensionamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação, infiltração, escoamento superficial.

## **SOFTWARE TO CALCULATE SEAL SURFACE BASED ON SOIL CHARACTERISTICS IN AREAS IRRIGATED BY CENTER PIVOT**

**SUMMARY:** In precision agriculture thematic maps play an important role in the decision making process. When deciding how to vary the application rate inside the irrigated area, especially under precision irrigation, the identification of both areas with and without risk of runoff and the sprinkler droplet size distribution has a great importance. Surface sealing diminish infiltration rate and increases runoff, reducing irrigation efficiency. In general, due to the difficulty to measure surface sealing, this variable is not taken into account in project designs. The objective of this work was to develop software to calculate surface sealing in function of soil characteristics in areas irrigated by center pivot. The reduction in infiltration rate is calculated as function of the average drop size diameter and its end falling velocity and the percentages of silt and sand. Software was used to simulate seal surface in an area irrigated by center pivot. The results showed that the seal surface varied inside the irrigated area. This information was used to taken decision about the best value to use in pivot design.

**KEYWORDS:** irrigation, infiltration, runoff.

## **1. INTRODUÇÃO**

A aplicação de modelos computacionais ao dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação por aspersão do tipo pivô central constitui-se em uma valiosa ferramenta, a qual permite ao projetista visualizar o resultado advindo, por exemplo, de uma troca de aspersores,

antes da sua implantação no campo. Esses modelos têm contribuído para melhorar a eficiência dos sistemas de irrigação (Rodrigues et al., 2001). O desenvolvimento de modelos de simulação que auxiliem no entendimento de como a intensidade de precipitação é influenciada pelas características do solo e por fatores operacionais é fundamental para o adequado dimensionamento desses equipamentos. A estimativa da intensidade de precipitação máxima que pode ser aplicada ao solo de modo que não haja ocorrência de escoamento superficial é um dos desafios do projetista durante a etapa de dimensionamento de um pivô central. O escoamento superficial tem como consequências a redução da eficiência de irrigação e o aumento do transporte de partículas de solo, nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas, causando, além de prejuízos diretos à produção agrícola, a poluição dos cursos d'água. O impacto das gotas de água com a superfície do solo induz a formação de uma camada de solo compacta, com espessura variando de 3 a 6 mm, a qual é menos permeável à passagem de água que as camadas abaixo dela, sendo, normalmente, denominada selamento superficial (Hachum e Alfaro, 1980). É comum, no dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão, o projetista não considerar a redução da velocidade de infiltração provocada pelo surgimento do selamento superficial. Neste caso, após algum tempo, a capacidade de infiltração da água no solo torna-se menor que a intensidade de precipitação e deverá haver a ocorrência do escoamento superficial, comprometendo toda a eficiência de irrigação. Von Bernuth e Gilley (1984), citando diversos trabalhos, concluíram que a porcentagem de redução da infiltração da água no solo é dependente do diâmetro das gotas, da velocidade de impacto das gotas com a superfície do solo e das características do solo. Esses mesmos autores ajustaram uma equação aos valores de velocidade de infiltração da água (VI) obtidos por vários pesquisadores, sob diversas condições de solo e diâmetros de gotas, e utilizaram essa equação para calcular um fator redutor para a velocidade de infiltração, possibilitando considerar o efeito do selamento superficial (SS) na infiltração da água. A VI é afetada diretamente pelas condições da superfície do solo, e esta, por sua vez, varia com o tempo; em sistemas irrigados, sendo o selamento e o armazenamento superficial os principais responsáveis por esta variação. Atualmente com a irrigação de precisão, onde se pode variar a taxa de aplicação de água em função da posição do equipamento, tornou-se importante conhecer como o SS varia dentro da área irrigada. Visando contribuir para o entendimento sobre o comportamento de sistemas irrigados e para o aumento da eficiência de irrigação é que se desenvolveu o presente trabalho, que objetivou desenvolver um programa computacional para estimar o selamento superficial, em função das características do solo, em áreas irrigadas por pivô central.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada no desenvolvimento do software fundamenta-se basicamente no trabalho desenvolvido por von Bernuth (1985). Esse autor sugere utilizar a equação 1 para corrigir, na equação de Green-Ampt (GA), utilizada para estimar a infiltração da água no solo, o valor da condutividade hidráulica do solo saturado.

$$K_h = K_s \left( 1 - \frac{F_r}{100} \right) \quad (1)$$

em que  $K_s$  = condutividade hidráulica do solo saturado,  $\text{mm h}^{-1}$ ; e  $F_r$  = fator de redução da  $K_s$ , %.

sendo

$$F_r = 3,541 D_{g50}^{0,683} V_g^{1,271} S_{ar}^{-0,353} S_s^{0,257} \quad (2)$$

em que  $D_{g50}$  = diâmetro médio das gotas, mm;  $V_g$  = velocidade de impacto das gotas com a superfície do solo,  $m\ s^{-1}$ ;  $S_{ar}$  = porcentagem de areia, %; e  $S_s$  = porcentagem de silte, %.

Para determinar o fator de redução da velocidade de infiltração da água no solo, é necessário, primeiramente, determinar o diâmetro médio das gotas produzidas por cada aspersor. Uma vez que os catálogos apresentados pelos fabricantes normalmente não informam a respeito desse parâmetro, o software disponibiliza duas alternativas para sua estimativa. A primeira alternativa, equação 3, utiliza a função de densidade de probabilidade log-normal a três parâmetros, sendo os parâmetros da distribuição calculados pelas equações propostas por von Bernuth (1985).

$$f(D_{g50}) = \frac{\alpha e^{-0,5 \left[ \frac{\log \left( \frac{D_{g50}}{\alpha - D_{g50}} \right) - \mu}{\sigma} \right]^2}}{\sigma D_{g50} (\alpha - D_{g50}) (2\pi)^{0,5}} \quad (3)$$

em que  $\alpha$  = parâmetro da função de densidade de probabilidade log-normal a três parâmetros (diâmetro máximo de gota), mm;  $\sigma$  parâmetro da função de densidade de probabilidade log-normal a três parâmetros (desvio-padrão), mm; e  $\mu$  = parâmetro da função de densidade de probabilidade log-normal a três parâmetros (média), mm.

Segundo von Bernuth (1985), os parâmetros da distribuição de probabilidade log-normal a três parâmetros podem ser calculados em função do modelo do aspersor utilizado, do diâmetro do bocal e da pressão de operação. A probabilidade de se obter uma gota com determinado diâmetro, sendo conhecidos o diâmetro máximo da gota, o desvio-padrão e a média das gotas, é dada pela integral da equação 3. No presente caso, entretanto, conhece-se a probabilidade desejada (50%) e deseja-se conhecer o diâmetro de gota que corresponde a esta dada probabilidade. Uma vez que a integral da equação 3 não é explícita em  $D_g$ , tem-se que adotar técnicas iterativas para obtenção do valor desse parâmetro. A integral é resolvida numericamente pela técnica da quadratura de Gauss.

A segunda proposta para estimativa do diâmetro de gotas utiliza a equação proposta por Kincaid (1996), equação 4. Esse autor utilizou instrumentos a *laser* para analisar a distribuição do diâmetro de gotas de aspersores utilizados na irrigação. A partir desse trabalho, estes autores concluíram que, em aspersores de impacto, a distribuição das gotas é mais influenciada pela pressão no aspersor do que pelo diâmetro do bocal; o contrário é observado em aspersores do tipo difusor. Com base nesta constatação, eles sugerem utilizar a razão entre o diâmetro do bocal e a pressão de operação do aspersor para descrever a distribuição de gotas dos principais aspersores utilizados na irrigação.

$$D_{g50} = a_d + b_d \left( \frac{D_{bi}}{P_i} \right) \quad (4)$$

em que  $a_d$  e  $b_d$  são coeficientes de ajuste da equação do diâmetro médio das gotas.

Para utilizar a equação 2, é necessário conhecer a velocidade real de impacto da gota com a superfície do solo. O jato de água emitido por um aspersor fraciona-se em gotas de diferentes diâmetros, que podem ser tratadas, individualmente, como projéteis. O processo de fracionamento do jato de água em gotas não é bem determinado; entretanto, sabe-se que é função do número de Reynolds (von Bernuth e Gilley, 1984). Assumindo que o jato de água

emitido por um aspersor fraciona-se em gotas imediatamente ao sair do bocal do aspersor, pode-se estimar, com base nos princípios fundamentais da dinâmica, a velocidade de impacto da gota com a superfície do solo. As equações diferenciais que caracterizam a trajetória de uma gota podem ser representadas, segundo von Bernuth e Gilley (1984), pelas equações

$$m \frac{d^2x}{dt_g^2} = -\tau \cos \theta \quad (5)$$

$$m \frac{d^2y}{dt_g^2} = m g - \tau \sin \theta \quad (6)$$

em que  $m$  = massa da gota de água, kg;  $x$  = posição da gota em relação ao eixo  $x$ , a partir do aspersor, m;  $t_g$  = tempo de deslocamento da gota, s;  $\tau$  = resistência do ar ao deslocamento da gota, N;  $\theta$  = ângulo de trajetória da gota com a horizontal, radianos; e  $y$  = posição da gota em relação ao eixo  $y$ , a partir do aspersor, m.

O mercado oferece equipamentos de irrigação do tipo pivô central de diversas alturas e, além disso, eles podem trabalhar sob as mais diversas pressões. Por causa disso, em alguns casos, a velocidade de queda da gota pode atingir a velocidade terminal. Assim, foi utilizado o procedimento desenvolvido por Rodrigues et al. (1999), que calcula, em função do diâmetro médio, a velocidade máxima que a gota com  $D_{g50}$  pode alcançar ( $V_{max}$ ). Para isto, ajustou-se uma equação aos dados de  $V_{max}$  em função do  $D_g$  apresentados por Keller e Bliesner (1990). A equação obtida do ajuste foi

$$V_{max} = -0,6133 + 5,3844 D_{g50} - 1,0772 D_{g50}^2 + 0,0779 D_{g50}^3 \quad (7)$$

em que  $V_{max}$  é a velocidade máxima que a gota com  $D_{g50}$  pode atingir,  $m s^{-1}$ .

Se  $0,5 \text{ mm} \leq D_{g50} \leq 5,0 \text{ mm}$ ,  $V_{max}$  é calculado pela equação 7; se  $D_{g50} < 0,5 \text{ mm}$ ,  $V_{max}$  é a velocidade real de queda da gota calculada pelas equações 5 e 6; e se  $D_g > 5,0 \text{ mm}$ , adota-se  $V_{max} = 9,30 \text{ m s}^{-1}$ . As equações diferenciais 5 e 6 são resolvidas utilizando-se a técnica numérica de Runge-Kutta de quarta ordem, com as seguintes condições iniciais:  $x_0 = 0$ ;  $y_0 =$  altura do bocal do aspersor;  $V_{x0} = V_{r0} \cos(\theta_0)$ ; e  $V_{y0} = V_{r0} \sin(\theta_0)$ . O tempo é incrementado de 0,005 segundo, conforme recomendação de Li e Kawano (1992).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Orientado para a plataforma Windows 7, o programa desenvolvido foi elaborado de forma a possibilitar uma interface simples e interativa com o usuário. Ao usuário cabe configurar o sistema, definindo metodologias e valores para as variáveis conhecidas. Na Figura 1 apresenta-se uma tela do programa indicando o resultado da estimativa do fator de redução da  $K_s$ .

A configuração mínima do sistema requer a entrada de valores para o diâmetro médio de gotas, coeficiente de descarga, pressão de trabalho do aspersor, ângulo de saída do jato de água, altura do aspersor e porcentagens de silte e areia.

Analizando a equação 2, nota-se que, quanto maiores o diâmetro médio da gota, a velocidade de impacto da gota e a porcentagem de silte no solo, maior é o fator de redução da velocidade de infiltração. Por outro lado, quanto maior a porcentagem de areia no solo, menor é esse fator.

O Fr pode ser utilizado juntamente com a metodologia desenvolvida por Rodrigues et al. (1999), para estimativa da intensidade de precipitação máxima admissível. Dispondo-se de dados de porcentagens areia e silte, que represente adequadamente a composição textural do solo da área irrigada, pode-se por interpolação gerar mapas de textura, que serão utilizados como dados de entrada do software SS Aspersao. Com esses dados pode-se gerar mapas de

intensidade de precipitação máxima, possibilitando a aplicação de taxas de irrigação diferenciadas. Pode-se, ainda, utilizar a informação para definir um único valor de intensidade máxima, com base na frequência de ocorrência desse valor, que será utilizado no dimensionamento do equipamento.

Figura 1 - Tela de resultados do software SS Aspersao.

## 5. CONCLUSÕES

O software apresentado possibilita a estimativa fácil e rápida do fator de redução da condutividade hidráulica do solo saturado.

O software pode ser utilizado, entre outras coisas, para auxiliar na avaliação do comportamento da intensidade de precipitação máxima que pode ser aplicada por pivô central sem que haja a ocorrência de escoamento superficial, possibilitando a aplicação de taxas de irrigação diferenciadas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KELLER, J., BLIESNER, R.D. Sprinkler and trickle irrigation. New York, Van Nostrand Reinhold, 1990. 625p.
- KINCAID, D.C. Spraydrop kinetic energy from irrigation sprinklers Transactions of the ASCE, v.121, n.2, p.152-158, 1996.
- LI, J., KAWANO, H. Simulating water-drop movement from noncircular sprinkler nozzles. Journal of the Irrigation and Drainage Division, v.118, n.2, p.291-305, 1992.
- HACHUM, A.Y., ALFARO, J. F.. Rain infiltration into layered soils: prediction. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.106, n.4, p.311-319, 1980.
- RODRIGUES, L.N., PRUSKI, F.F., SILVA, D.D., MARTINEZ, M.A. GEOPIVO: Modelo para simulação do desempenho de sistemas de irrigação tipo pivô central. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 5, p. 397-402, 2001.
- RODRIGUES, L.N., PRUSKI, F.F., MARTINEZ, M.A., SILVA, D.D. Metodologia para estimativa da intensidade de precipitação máxima admissível em pivô central. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.19, n.2, p.151-162, 1999.
- von BERNUTH. A physically based analysis of potential runoff under center pivot irrigation incorporating infiltration reduction. Lincol, Nebraska, 1985. 124 p. (Tese Ph.D.).
- von BERNUTH, R.D., GILLEY, J.R. Sprinkler droplet size distribution estimation from single leg test data. Transactions of the ASAE, v.27, n.5, p.1435-1441, 1984.