

A Física do Solo Aplicada à Irrigação: Metodologias para Otimização do Manejo de Água

Aurelir Nobre Barreto¹
Maria José da Silva e Luz²

As estratégias para programação, manejo e operação de irrigação, devem ter bases metodológicas comprovadas e adequadas à concepção de cada projeto e/ou de cada sistema de irrigação, de modo que se possa fornecer a quantidade adequada de água às plantas, no momento oportuno, evitando os déficits hídricos e de ar no perfil do solo. Práticas adequadas de manejo de irrigação são imprescindíveis para minimizar custos de investimento, de operação e de manutenção e, ainda, garantir a sustentabilidade dos sistemas hidroagrícolas com economia dos recursos hídricos.

As propriedades físicas do solo, como curvas características de retenção de água, intervalo de água útil e condutividade hidráulica, são de interesse para o manejo racional da agricultura irrigada, preservação e gestão dos recursos hídricos.

No processo de cálculo da quantidade de água a ser aplicada ao solo por meio da irrigação, para suprimento às plantas, pode-se adotar três metodologias distintas, ou a sua integração, assim descritas: demanda climática ou atmosférica; monitoramento da umidade no solo e medida direta do fluxo de seiva na planta (BARRETO et al., 2003).

Para cálculo da quantidade de água de irrigação com base nas características físicas do solo, são utilizados os valores das seguintes variáveis:

- . **Capacidade de campo** – % ou teor máximo de água que um solo pode reter nos microporos, após o processo de drenagem dos macroporos.
- . **Ponto de marcha permanente** – % ou teor de água que está presente no solo mas as plantas não conseguem absorvê-la.
- . **Densidade do solo** – constante física inerente ao solo que relaciona seu peso e volume.

Os aspectos físico-hídricos na programação, no manejo e na operação dos sistemas de irrigação, com ênfase na disponibilidade de água no perfil do solo e no monitoramento do seu teor de umidade, têm por base as características do solo aplicadas como alternativa de otimização dos eventos de irrigação.

Resultados e Discussão

Equacionando-se essas variáveis envolvendo o

¹Engº. Agrônomo, MSc. em irrigação e drenagem, especialista em drenagem de terras agrícolas. Pesquisador da Embrapa Algodão. E-mail aurelir@cnpa.embrapa.br

²Engª Agrônoma, MSc. em irrigação e drenagem. Pesquisadora da Embrapa Algodão. E-mail mariajos@cnpa.embrapa.br

intervalo de água disponível para as plantas em uma profundidade do perfil de solo, planeja-se quanto de água aplicar em cada evento de irrigação.

. Aplicação dos potenciais de água no solo na programação de irrigação

O teor de água no solo exerce uma série de efeitos sobre as plantas, afetando o seu potencial biológico de forma positiva ou reduzindo o seu rendimento. Numa forma didática e conceitual, a Figura 1 ilustra os aspectos dos potenciais de água no solo em relação ao intervalo hídrico ótimo, ao limite produtivo e à zona de risco, no tocante à capacidade de armazenamento e de disponibilidade para as plantas.

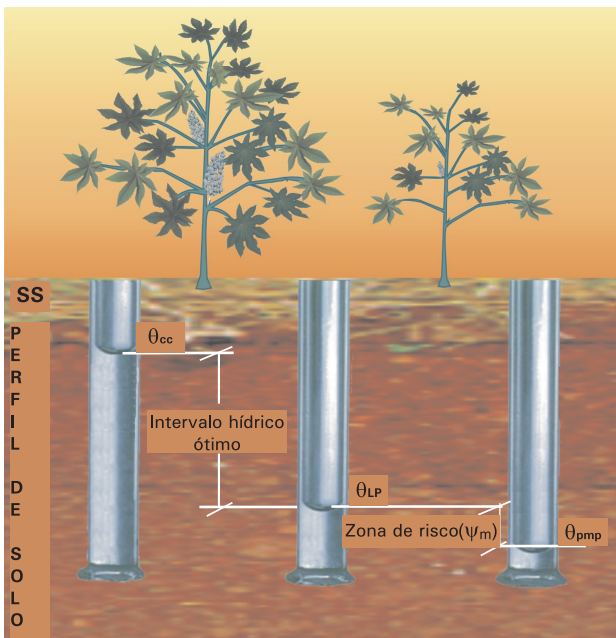


Fig 1. Esquema da teoria clássica dos potenciais de água no solo em relação ao consumo hídrico pela planta e aos eventos de irrigação, com base na física do solo

O intervalo hídrico ótimo corresponde à amplitude entre o teor de água à capacidade de campo (θ_{cc}) e o teor de água no limite produtivo (θ_{LP}), demonstrados na Figura 1, e o intervalo hídrico ótimo, quando se compreende o solo como sendo um reservatório de armazenamento de água nos espaços da porosidade estrutural e textural (microporosidade) e a planta como elemento de transferência de água para a atmosfera.

O conceito de intervalo hídrico ótimo está baseado nas práticas de reposição de água ao solo, em uma frequência tal que atenda às necessidades hídricas

das plantas em tempo hábil, ou seja, antes que elas sofram os efeitos de deficits hídricos; esta reposição deve ser administrada na quantidade certa, no momento oportuno e por meio do método e sistemas adequados.

Na zona de risco, intervalo entre o θ_{LP} e o θ_{PMP} , prevalece apenas a porosidade textural ou matricial (ψ_m), conforme ilustrado na Figura 1.

A equação 1 permite estimar a quantidade de água a ser aplicada ao solo para suprir a demanda de uma cultura, entre os intervalos ou frequência de irrigação, em função dessas variáveis físicas, a uma profundidade (P) para fins de reposição do consumo hídrico.

$$QAN = \frac{\theta_{cc} - \theta_{PMP} \cdot D_s \cdot P \cdot F_r}{100} \quad \text{(Equação 1)}$$

em que:

QAN – quantidade de água necessária à cultura (mm)

θ_{cc} – teor de água à capacidade de campo (%)

θ_{PMP} – teor de água correspondente ao ponto de murcha permanente (%)

D_s – densidade do solo ($g\ cm^{-3}$)

P – profundidade para reposição de água até a capacidade de campo (mm)

F_r – fator de reposição ou de disponibilidade de água (decimal < 1)

Para compensar as perdas de água em cada irrigação, inerentes ao sistema e às características pedológicas do perfil do solo no ambiente das raízes das plantas, deve-se calcular a quantidade de água total a ser aplicada (QAT). Este acréscimo de água pode ser equacionado inserindo-se o termo $1/Ea$, proposto por Martinez Beltrán (1986), que inclui a eficiência de aplicação de água do sistema (Ea), mudando a Equação 1 para a expressão na forma analítica descrita na Equação 2.

$$QAT = \frac{1}{Ea} \left(\frac{\theta_{cc} - \theta_{PMP} \cdot Ds \cdot P \cdot Fr}{100} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

QAT – quantidade de água total a ser aplicada ao solo (mm)

Ea – eficiência de aplicação de água do sistema (em decimal)

As equações anteriores são aplicadas para atender ao suprimento hídrico diário da cultura; no entanto, quando a programação é feita para irrigar em intervalos de dias maiores, ou seja, com menor frequência, acrescenta-se à Equação 2 o termo F_i (frequência de irrigação); agora, tem-se a Equação 3, assim escrita:

$$QAT = \frac{1}{Ea} \left(\frac{\theta_{cc} - \theta_{PMP} \cdot Ds \cdot P \cdot Fr}{100} \right) F_i \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

F_i – frequência de irrigação (dia)

. Aspectos operacionais de campo

A programação de irrigação e o seu manejo só terão êxito se o tempo de aplicação de água (T_a), por qualquer sistema de irrigação, em uma área ou unidade de irrigação, for corretamente operacionalizado, tendo em vista que o tempo de aplicação é o principal fator na execução de um evento de irrigação, no sentido de otimizá-la.

. Tempo de aplicação (T_a)

Esse intervalo de tempo deve ser cronometrado com rigor durante cada evento de irrigação e pode ser quantificado ou medido pela Equação 4.

$$T_a = \frac{QAT}{P_{MM}} \quad (\text{Equação 4})$$

em que:

T_a – tempo de aplicação de água (h: min)

QAT – quantidade de água total (mm ou em volume)

P_{MM} – precipitação média medida no sistema (mm) ou vazão (volume h^{-1})

. Jornada de trabalho (J_t)

Ainda se tratando do aspecto operacional aliado ao manejo otimizado, a jornada de trabalho (J_t) representa o número de horas que o sistema hidráulico de distribuição e aplicação de água deve operar diariamente, visando atender à irrigação das várias áreas ou setores do projeto. Quanto maior for a J_t nas áreas irrigadas, mais econômico se tornará o projeto de irrigação, devido à redução na potência motriz, no consumo de energia e nos materiais componentes das estruturas hidráulicas.

A jornada de trabalho dependerá da soma dos tempos de aplicação da água de irrigação (T_a), nas diversas áreas ou setores em operação simultânea no projeto e da frequência de irrigação (F_i). A equação 5, aplicada por Barreto et al. (2004), permite que se calcule o número de horas de operação diária do sistema de bombeamento, transporte e distribuição no campo.

$$J_t = \frac{\sum T_a}{F_i} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

J_t – jornada de trabalho diária (hora)

$\sum T_a$ – somatório dos tempos de aplicação de água nos setores (hora)

F_i – frequência de irrigação (dia)

Os resultados da aplicação da equação anterior podem ser otimizados para melhorias operacionais e de economia de água, de energia e de tempo, quando as características de engenharia hidráulica do projeto de irrigação estão em sincronia com os aspectos agronômicos inerentes às culturas, principalmente, com relação à capacidade de armazenamento da água no solo e da sua disponibilidade para as plantas. Um procedimento

simples e exequível para aumentar a frequência de irrigação é a incorporação sistemática de matéria orgânica na área de cultivo, prática indispensável no caso de solos com textura arenosa, pois melhora a estrutura do solo, aumentando a capacidade de armazenamento de água no ambiente das raízes.

Divergente da textura, a estrutura do solo é altamente dinâmica, podendo variar muito com o tempo em função das mudanças nas condições naturais ou com as práticas de manejo impostas pela ação antrópica (ANDRADE et al., 1998). Portanto, quando se utiliza a física do solo para manejar racionalmente a água de irrigação, é fundamental que a estrutura seja monitorada periodicamente para possíveis ajustes nas equações utilizadas nos procedimentos de cálculo.

. Funções matemáticas aplicadas à física dos solos irrigados

Com os estudos avançados envolvendo a água na física do solo, torna-se possível o cálculo do suprimento hídrico das culturas irrigadas, aplicando-se resultados da análise textural (mecânica) do solo e se utilizando as funções quadráticas e hiperbólicas nas suas formas analíticas, para o cálculo dos teores de água no solo na capacidade de campo (θ_{cc}) e no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), respectivamente.

Arruda et al. (1997), citados por Andrade et al. (1998), obtiveram os melhores ajustes nos dados de física de solo, para o limite superior do teor de água disponível ou capacidade de campo (θ_{cc}), com o modelo quadrático e para o limite inferior de água disponível (θ_{PMP}), com o modelo hiperbólico, apresentados analiticamente nas Equações 6 e 7, respectivamente.

$$\theta_{cc} = 3,1 + 0,629(S + A) - 0,0034(S + A)^2 \quad (\text{Equação 6})$$

em que:

θ_{cc} – teor de água no solo a capacidade de campo (%);

S + A – soma de silte + argila

$$\theta_{PMP} = \frac{398,9(S + A)}{1.308,1 + (S + A)} \quad (\text{Equação 7})$$

em que:

θ_{PMP} – teor de água no solo no ponto de murcha permanente

Para uma programação de irrigação com base nas propriedades texturais do solo e nas funções matemáticas dos modelos – quadrático e hiperbólico, aplicados ao intervalo hídrico ótimo, o especialista precisa da densidade do solo (Ds) e substituir os valores de θ_{cc} e de θ_{PMP} na Equação 1. Assim, a partir das constantes hídricas do solo e com base nas funções determinadas para cada solo, pode-se planejar facilmente a quantidade de água armazenada no solo e a que deve ser adicionada, em cada evento de irrigação. De acordo com Reichardt (1996), tanto a textura quanto a estrutura conferem ao solo um espaço poroso e um arranjo de partículas características que, dependendo do manejo, podem ser fundamentais para a conservação e/ou degradação do solo ou, por sua vez, afetarão, de alguma forma, suas propriedades hídricas, como curva de retenção de água no solo, limites de água disponível e condutividade hidráulica, todas fundamentais para a sua conservação e/ou degradação desse recurso natural de interesse para a irrigação e para a sustentabilidade hidroambiental.

Conclusão

A utilização da programação de irrigação com base na física do solo é uma metodologia eficaz para o cálculo da quantidade de água necessária às culturas, que reverte em maior eficiência de irrigação com correspondente economia de água, de energia e de mão-de-obra e em menor risco de degradação do solo.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, C. de L. T. de; COELHO, E. F.; COUTO, L.; SILVA, E. L. da. Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA

AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG.

Manejo de irrigação – Anais.... Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 1 – 45.

BARRETO, A.N.; AMARAL, J.A.B. do; SOUSA, E.F.

Avaliação da demanda hídrica das culturas irrigadas: estudo de caso - algodão herbáceo, amendoim, girassol e coco. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 73).

BARRETO, A. N; FACIOLI, G. G.; SILVA, A. A. da.

Operação e manejo dos sistemas de irrigação. In:

Barreto, A. N.; Silva, A. A. G. da; Bolfe, E. L.

(Eds.). **Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental x sustentabilidade.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004. cap.5, p.173-204.

MARTINEZ BELTRÁN, J. **Drenaje agrícola.** Madrid: Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1986. v.1.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas.** Paracicaba: USP/ESALQ, 1996. 505p.

Comunicado Técnico, 298

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1143 Centenário, CP 174
58107-720 Campina Grande, PB
Fone: (83) 3315 4300 Fax: (83) 3315 4367
e-mail: sac@cnpa.embrapa.br
1ª Edição
Tiragem: 500

**Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**



Comitê de Publicações

Presidente: Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão
Secretária Executiva: Nivia M.S. Gomes
Membros: Cristina Schetino Bastos
Fábio Akiyoshi Suinaga
Francisco das Chagas Vidal Neto
José Américo Bordini do Amaral
José Wellington dos Santos
Luiz Paulo de Carvalho
Nair Helena Castro Arriel
Nelson Dias Suassuna

Expedientes: Supervisor Editorial: Nivia M.S. Gomes
Revisão de Texto: Nisia Luciano Leão
Tratamento das ilustrações: Oriel Santana Barbosa
Editoração Eletrônica: Oriel Santana Barbosa