



AULA 6 UNIFORMIDADE E EFICIÊNCIA DA IRRIGAÇÃO

LEB 1571 IRRIGAÇÃO ESALQ/USP
PROF. PATRICIA ANGÉLICA ALVES MARQUES

O DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO É FUNÇÃO DE COMO A ÁGUA ESTÁ SENDO APLICADA, DO SEU DESTINO E DA SUA UTILIZAÇÃO PELA PLANTA.

A partição física da água aplicada em um campo cultivado é representada pelo balanço hídrico, contabilizando as entradas e saídas de água num dado volume de solo, durante um intervalo de tempo.

O volume de solo considerado depende da cultura em estudo, pois ele deve englobar seu sistema radicular.

Assim é que se considera como limite superior a superfície do solo e como limite inferior a profundidade do sistema radicular da cultura.

A partição da água aplicada por irrigação quanto à possibilidade de RECUPERAÇÃO para uso é feito da seguinte forma:

Uso consuntivo (irrecuperável)

Uso não consuntivo (pode ser reutilizada na própria área, ou em outra área de jusante na bacia hidrográfica ou retornar à fonte)

Uso consuntivo – é a quantidade total de água absorvida pelas plantas para transpiração e constituição dos tecidos, mais a evaporação da água do solo e da água interceptada pela vegetação. Assim, toda água em trânsito para a atmosfera, pelos processos de evaporação e transpiração (ET) ou que permanece nos tecidos das plantas e nos produtos colhidos (água de constituição) é irrecuperável e se denomina uso consuntivo. Alguns usos consuntivos são:

- Evapotranspiração das culturas
- Evapotranspiração das ervas daninhas
- Evaporação da água aspergida pelos aspersores
- Evaporação de reservatórios
- Evaporação do solo úmido
- Água exportada com o produto, etc

Uso não consuntivo – É a água que, de alguma forma, transita para fora da área de cultivo, mas não se perde para a atmosfera na forma de vapor. A água de uso não consuntivo pode ser reutilizada na própria área, ou em outra área de jusante na bacia hidrográfica ou retornar à fonte. Está relacionada com a água que drena abaixo da zona radicular, a água que escoam superficialmente e a que infiltra nos canais. Alguns usos não consuntivos são:

- Água para lixiviação de sais no perfil do solo
- Percolação profunda em excesso
- Escoamento superficial
- Infiltração em canais e vazamento em tubulações, etc.

A partição da água aplicada por irrigação quanto aos BENEFÍCIOS AGRONÔMICOS é feita como segue:

Usos benéficos: A água consumida para a produção das culturas

Usos não benéficos: Uso não benéfico refere-se à fração da água aplicada que não tem objetivo agronômico.

Usos benéficos: A água consumida para a produção das culturas.

Assim, a água consumida para atingir um determinado objetivo agronômico é considerada água benéfica. São exemplos:

- água consumida no processo de evapotranspiração,
- água utilizada para lixiviação do excesso de sais do solo,
- controle climático,
- preparação do leito de semeadura para germinação das sementes,
- umedecimento do solo com o objetivo de quebrar a crosta superficial e facilitar a emergência das plântulas.

Usos não benéficos: Uso não benéfico refere-se à fração da água aplicada que não tem objetivo agronômico. São exemplos:

- excesso de percolação profunda em relação à necessária para remoção de sais;
- evapotranspiração de plantas daninhas,
- evaporação desnecessária da água na superfície de solo úmido de áreas vizinhas à área cultivada,
- deriva pelo vento além dos limites da área cultivada.
- área irrigada com excesso de água e percolação; todo excesso além da necessidade de irrigação é considerado uso não benéfico.

INDICADORES DE DESEMPENHO DA IRRIGAÇÃO

	Uso consuntivo	Uso não consuntivo		
Uso benéfico	– Evapotranspiração da cultura	– Lâmina de lixiviação	(EI)%	100%
Uso não benéfico	– Evaporação	– Percolação profunda – Runoff	(100-EI)%	

$$V_{\text{aplicado}} = (V_{\text{evaporado}} + V_{\text{deriva}}) + V_{\text{escoado}} + V_{\text{infiltrado}}$$

$$V_{\text{apl}} = (V_{\text{ev}} + V_{\text{der}}) + V_{\text{esc}} + V_{\text{percolado}} + V_{\text{armazenado}}$$

$$V_a = V_{\text{ev}} + V_d + V_e + V_p + V_s$$

$$L_a = L_{\text{ev}} + L_d + L_e + L_p + L_s$$



The background features a vibrant, abstract composition of organic shapes in shades of blue, cyan, and yellow. These shapes are filled with various patterns: white dots, white dashes, and white vertical lines. The overall aesthetic is modern and dynamic. In the top right corner, there is a cluster of small, light gray triangles pointing in various directions.

AVALIAÇÃO

EXEMPLO ASPERSÃO



A **uniformidade** refere-se aos parâmetros de desempenho associados à variabilidade da lâmina de irrigação aplicada.

A - COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN (1942)

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N \bar{X}} \right)$$

Recomendações para irrigação tradicional

- ✓ Culturas anuais: CUC mínimo = 80%
- ✓ Frutíferas: CUC mínimo = 70%
- ✓ Olerícolas: CUC mínimo = 85%

B – UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO

$$UD = \frac{\bar{q}_{25\%}}{\bar{q}} \times 100$$

Utilizada como indicador dos problemas de distribuição. $q_{25\%}$ é a precipitação média dos 25% menores valores (mm)

$$\text{CUC} = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N \bar{X}} \right)$$

16,9 mm	21,8 mm	22,0 mm	21,6 mm	16,6 mm	15,3 mm
14,9 mm	20,8 mm	21,8 mm	19,9 mm	17,4 mm	11,8 mm
16,6 mm	20,4 mm	23,0 mm	20,1 mm	15,8 mm	12,9 mm
17,6 mm	21,3 mm	23,8 mm	22,4 mm	18,1 mm	17,6 mm

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N \bar{X}} \right)$$

16,9 mm	21,8 mm	22,0 mm	21,6 mm	16,6 mm	15,3 mm
14,9 mm	20,8 mm	21,8 mm	19,9 mm	17,4 mm	11,8 mm
16,6 mm	20,4 mm	23,0 mm	20,1 mm	15,8 mm	12,9 mm
17,6 mm	21,3 mm	23,8 mm	22,4 mm	18,1 mm	17,6 mm

$N = \text{número de observações} = 24 \rightarrow \bar{X} = \text{lâmina média infiltrada} = 450,4/24 = 18,8 \text{ mm}$

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N \bar{X}} \right) = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - 18,8|}{24 \cdot 18,8} \right) = 85,1\%$$

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N \bar{X}} \right)$$

$$UD = \frac{\bar{q}_{25\%}}{\bar{q}} \times 100$$

16,9 mm	21,8 mm	22,0 mm	21,6 mm	16,6 mm	15,3 mm
14,9 mm	20,8 mm	21,8 mm	19,9 mm	17,4 mm	11,8 mm
16,6 mm	20,4 mm	23,0 mm	20,1 mm	15,8 mm	12,9 mm
17,6 mm	21,3 mm	23,8 mm	22,4 mm	18,1 mm	17,6 mm

$N = \text{número de observações} = 24 \rightarrow \bar{X} = \text{lâmina média infiltrada} = 450,4/24 = 18,8 \text{ mm}$

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N \bar{X}} \right) = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - 18,8|}{24 \cdot 18,8} \right) = 85,0\%$$

$$UD = \frac{\bar{q}_{25\%}}{\bar{q}} \times 100 = UD = \frac{14,6}{18,8} \times 100 = 77,6\%$$

Eficiência de aplicação (Ea)

Eficiência de irrigação: é função da quantidade de água mobilizada para a irrigação e a realmente incorporada ao solo. Esse valor varia em função do método de irrigação empregado. A eficiência total de irrigação é função das eficiências de condução, de distribuição e a de aplicação.

$$EA = \frac{V_s}{V_a} \times 100\%$$

$$EA = E_d \cdot E_{pa}$$

Eficiência de distribuição (Ed):

$$ED = \left(\frac{VS}{VS + VP} \right) \cdot 100$$

Eficiência em potencial de aplicação (Epa)

$$EPA = \frac{V \text{ infiltrado}}{V_a} \cdot 100$$

Eficiência de distribuição (Ed)

É a fração da água infiltrada que permaneceu disponível para contribuir com o objetivo de satisfazer o déficit e lixiviar o excesso de sais do solo e outros usos benéficos

$$ED = \left(\frac{VS}{VS + VP} \right) \cdot 100 = \left(\frac{VS}{V \text{ infiltrado}} \right) \cdot 100$$

- Estimativa das perdas por percolação profunda

Eficiência em potencial de aplicação (Epa)

É a fração da água aplicada na parcela que permaneceu disponível para infiltrar no solo

$$EPA = \frac{V \text{ infiltrado}}{V_a} \cdot 100$$

- Estimativa das perdas por evaporação + deriva (desconsiderado perdas por escoamento superficial)

Eficiência de armazenagem (Es)

Razão entre a lâmina média de irrigação infiltrada que ficou armazenada útil para as plantas (V_s) e a lâmina média de irrigação necessária para satisfazer o déficit (IRN)

$$Es = \frac{Vs}{IRN} \cdot 100$$

A ES avalia quanto a necessidade de água da planta foi satisfeita pela irrigação

Exemplo:

Considere os dados do exemplo anterior:

Lâmina média coletada = V infiltrado = 18,8 mm

Irrigação real necessária (IRN) = 17 mm

Lâmina média aplicada (V_a) = 21,3 mm

Lâmina média armazenada (V_s) =

Irrigação real necessária (IRN) = 17 mm

Todo valor infiltrado acima de 17 mm será perdido por percolação profunda

Nestes casos considera como armazenado o valor de 17 mm

16,9 mm	21,8 mm	22,0 mm	21,6 mm	16,6 mm	15,3 mm
14,9 mm	20,8 mm	21,8 mm	19,9 mm	17,4 mm	11,8 mm
16,6 mm	20,4 mm	23,0 mm	20,1 mm	15,8 mm	12,9 mm
17,6 mm	21,3 mm	23,8 mm	22,4 mm	18,1 mm	17,6 mm

Irrigação real necessária (IRN) = 17 mm

Todo valor infiltrado acima de 17 mm será perdido por percolação profunda

Nestes casos considera como armazenado o valor de 17 mm

16,9 mm	17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm	16,6 mm	15,3 mm
14,9 mm	17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm	11,8 mm
16,6 mm	17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm	15,8 mm	12,9 mm
17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm

Lâmina média armazenada (V_s) = $(16,9 + 14,9 + 16,6 + \dots + 17,0)/24 = 16,4$ mm

Exemplo:

Considere os dados do exemplo anterior:

Lâmina média coletada = V infiltrado = 18,8 mm

Irrigação real necessária (IRN) = 17 mm

Lâmina média aplicada (Va) = 21,3 mm

Lâmina média armazenada (Vs) = 16,4 mm

$$ED = \left(\frac{VS}{V \text{ infiltrado}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{16,4 \text{ mm}}{18,8 \text{ mm}} \right) \cdot 100 = 87,23\% \quad \rightarrow 12,77\% \text{ perdas por percolação profunda}$$

$$EPA = \frac{V \text{ infiltrado}}{VA} \cdot 100 = \frac{18,8 \text{ mm}}{21,3 \text{ mm}} \cdot 100 = 88,26\% \quad \rightarrow 11,74\% \text{ perdas por evaporação + deriva}$$

$$EA = \frac{Vs}{Va} \times 100 = \frac{16,4 \text{ mm}}{21,3 \text{ mm}} \times 100 = 77\%$$

$$Es = \frac{VS}{IRN} \cdot 100 = \frac{16,4 \text{ mm}}{17 \text{ mm}} \cdot 100 = 96,5\%$$

EXEMPLO DE IRRIGAÇÃO POR SULCOS



Exemplo de irrigação por sulcos:

Lâmina média infiltrada = 40,57 mm

Lâmina média armazenada = Lâmina útil = IRN = 37,8 mm

Lâmina aplicada = 111,8 mm

Desconsiderado perdas por deriva+evaporação

$$UD = \frac{\bar{q}_{25\%}}{\bar{q}} \cdot 100 = \frac{IRN}{V_{infiltrado}} \cdot 100 = \frac{37,8}{40,57} \cdot 100 = 93,18\%$$

$$EA = \frac{V_s}{V_a} \times 100 = \frac{37,8\text{mm}}{111,8\text{mm}} \times 100 = 33,8\%$$

$$P_p = \frac{V_{infiltrado} - V_s}{V_a} \cdot 100 = \frac{40,57 - 37,8}{111,8} \cdot 100 = 2,47\%$$

$$P_e = \frac{V_a - V_{infiltrado}}{V_a} \cdot 100 = \frac{111,8 - 40,57}{111,8} \cdot 100 = 63,7\%$$



OBRIGADA!!