

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas
NEAS - Núcleo de Engenharia de Água e Solo
Campus Universitário de Cruz das Almas, Bahia

Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias
Mestrado e Doutorado

Área de Concentração

**Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Projetos
Hidroagrícolas**



Aureo S. de Oliveira

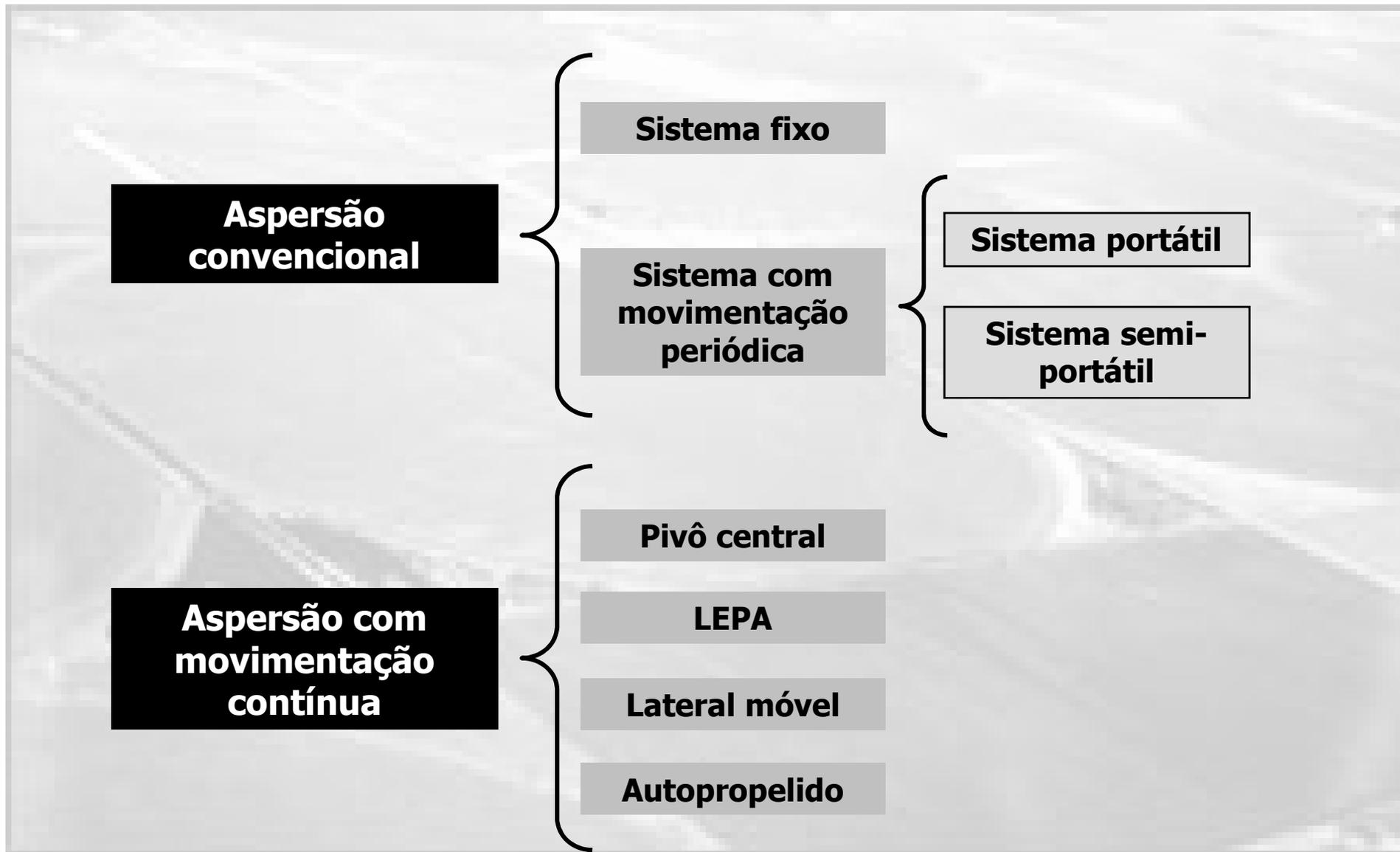
Prof. Adjunto IV

BSc, Universidade Federal da Bahia, 1988

MSc, Universidade Federal do Ceará, 1991

PhD, Universidade do Arizona, 1998

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

- **Aspersão com movimentação contínua:** neste tipo, os aspersores irrigam enquanto o equipamento movimenta-se segundo trajetórias curvilíneas ou retilíneas. Os principais sistemas deste grupo são o pivô central, a lateral móvel e o canhão hidráulico autopropelido.



Pivô central



Lateral móvel



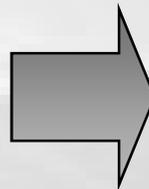
Autopropelido



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ ASPERSÃO COM MOVIMENTAÇÃO CONTÍNUA : Pivô Central

- Os sistemas pivô central consistem de uma única lateral em aço-galvanizado ou alumínio e que gira em círculo em torno de um ponto pivô fixo no centro do campo.



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

(A) uma extremidade é fixa e a outra é móvel;

(B) a lateral é constituída de vários "spans" (lances), com comprimentos variando de 30 a 60 m;

(C) os lances são sustentados 3 a 4 m acima do solo, e são conectados por meio de juntas flexíveis;

(D) entre dois lances há uma torre em formato de "A" movida por duas rodas, possuindo cada torre acionamento individual, geralmente por motor elétrico (0,5 a 1,0 kW).



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

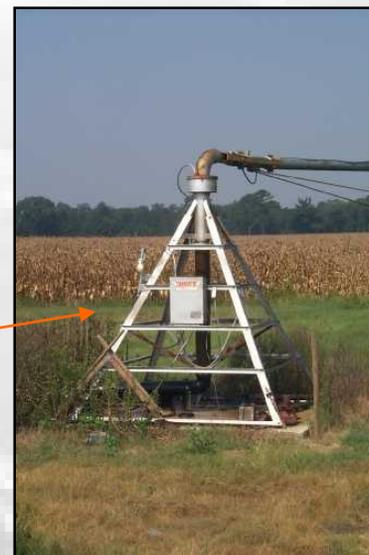
➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

(E) as laterais diferem em comprimento (100 a 800 m) e diâmetro (100 a 250 mm);

(F) o suprimento de água é feito via ponto pivô através de uma tubulação (linha principal) enterrada ou direto de poço profundo;

(G) uma volta completa do pivô pode variar de 12 a 100 h (TROUT & KINCAID, 2007) dependendo da quantidade de água a ser aplicada por rotação;

(H) lâminas de irrigação tipicamente aplicadas com pivô central variam de 5 a 30 mm. O pivô central efetivamente presta-se a irrigações com lâminas pequenas e frequentes;



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ **Pivô Central : Algumas características específicas**

(I) para percorrer a mesma velocidade angular no mesmo intervalo de tempo, a velocidade linear da lateral do pivô central aumenta do centro para a periferia da área. Assim, emissores mais distantes do ponto pivô deslocam-se a velocidades maiores relativamente aos mais próximos;

(H) a velocidade de rotação da lateral é função da velocidade da última torre; o alinhamento da lateral entre a última torre e o ponto pivô é garantido por “switches” que se ativam de acordo com o ângulo relativo entre lances adjacentes;

(J) uma a uma, da última torre para a primeira, a deflexão ativa o motor de acionamento da torre fazendo-a se movimentar e alinhar-se com o restante da lateral;

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Algumas características específicas

(K) como a lateral se move em círculos, aplicação uniforme de água é alcançada aumentando-se linearmente a vazão com a distância do ponto pivô. Isto é feito variando-se o diâmetro do bocal do emissor ou o espaçamento entre eles;

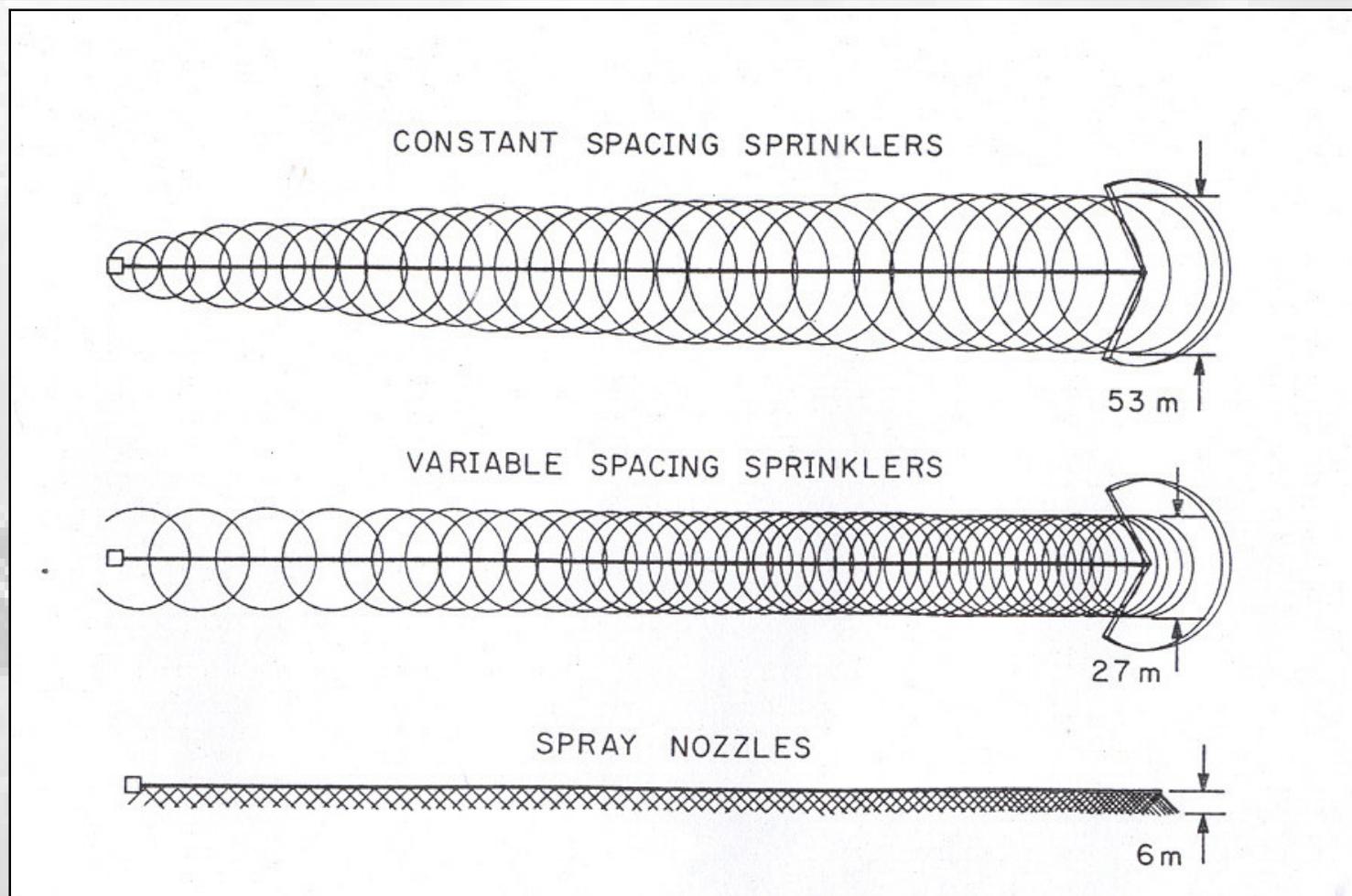


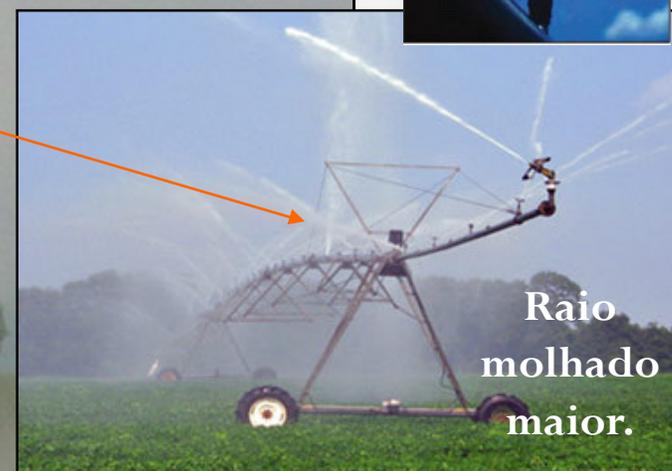
Figura 1 – Diferentes configurações de espaçamento entre emissores e área molhada (CUENCA, 1989).

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Algumas características específicas

(L) emissores (aspersores) usados em pivô central podem ser do tipo "spray" ou de impacto;

Requer 25 a 50% menos pressão e, portanto, requer menos energia.



Raio molhado maior.



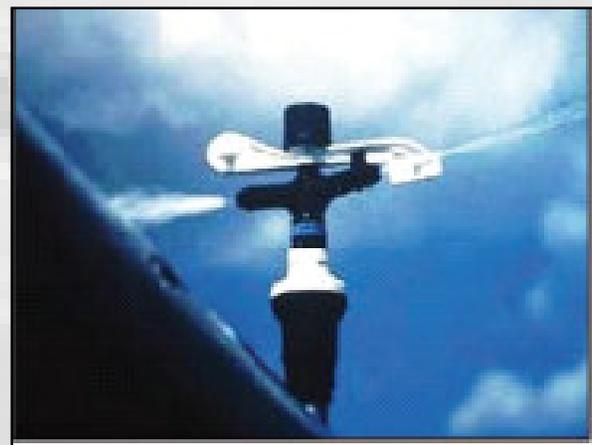
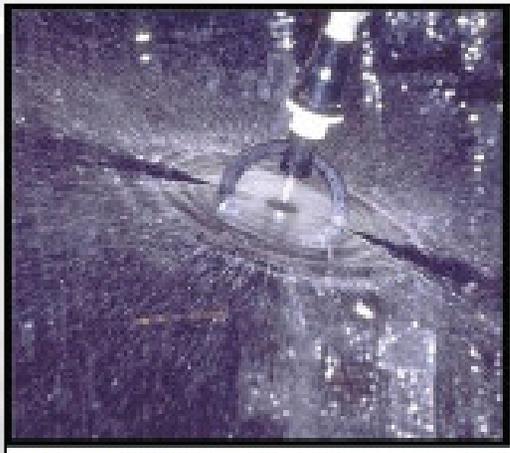
Reduz o número de emissores e a taxa instantânea média de aplicação de água.

Tubo de descida do emissor (*drop tube*)

Reduz efeito negativo do vento

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Algumas características específicas



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

(M) erosão ocorre com frequência em áreas irrigadas por pivô central → resíduos vegetais sobre o solo melhoram a infiltração da água e reduz o escoamento superficial;



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

(M) a velocidade de rotação do pivô, e conseqüentemente a lâmina aplicada por revolução e o intervalo entre irrigações, depende da taxa de infiltração da água no solo, capacidade de retenção de água do solo e profundidade do sistema radicular da cultura;

(N) a capacidade de infiltração do solo com frequencia limita a lâmina de irrigação permitida por passagem do pivô;

(O) irrigações frequentes associadas a pequenas lâminas d'água podem manter a umidade do solo uniforme, mas aumentam as perdas por evaporação e causam maior desgaste nos mecanismos de acionamento do pivô;

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

(P) para solos com adequada infiltração e capacidade de armazenamento de água, aplicação de 20 a 30 mm é comum em cada rotação, resultando em intervalos típicos de irrigação da ordem de 4 dias;



(Q) solos com baixa capacidade infiltração de água podem limitar o uso do pivô central, especialmente se equipado com "sprays" de alta taxa de aplicação;

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Vantagens

- ☺ **Automatização por meio de painel programável cabeado ou acionado remotamente do escritório;**
- ☺ **Possibilidade de se aplicar pequenas lâminas de irrigação;**
- ☺ **Alta uniformidade de aplicação de água;**
- ☺ **Quimigação;**



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ **Pivô Central : Desvantagens**

☹ **Custo moderadamente alto** : o custo por unidade de área diminui com aumento do comprimento da lateral; no entanto vários fatores limitam o comprimento máximo da lateral;

☹ **Taxas altas de aplicação de água** : a taxa de aplicação de água no final da lateral é muito alta, causando problemas de empoçamento, escoamento superficial e possivelmente erosão, dependendo da topografia do terreno;

☹ **Irriga áreas circulares apenas** : o pivô central irriga aproximadamente 80% da área de um quadrado de lado $2R$, R = raio do círculo;

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Desvantagens

☹ **Custo moderadamente alto** : o custo por unidade de área diminui com aumento do comprimento da lateral. No entanto vários fatores limitam o comprimento máximo da lateral;

Tabela 1. Custo comparativo de sistemas de irrigação por aspersão nos Estados Unidos.

System Type	Typical Field Size (ha)	Capital Cost (\$/ha)	Energy Use (kWh per 1000 m ³)	Labor Required (hours per 1000 m ³)
Hand move or portable	65	500-750	85-215	1.65
Side roll	65	1300-1500	85-215	1.17
Traveling gun	32	960-1200	350-490	0.68
Center pivot:				
without corner system	55-80	800-1250	85-235	0.10
with corner system	60	1000-1450	100-245	0.10
Linear move (ditch fed)	130	1375-2500	85-235	0.19
Linear move (hose fed)	130	1625-2750	125-265	0.19
Solid set aluminum	65	3250-4000	85-215	0.97
Permanent	65	2500-3750	85-215	0.10

Fonte:
SOLOMON
et al. (2007)

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros

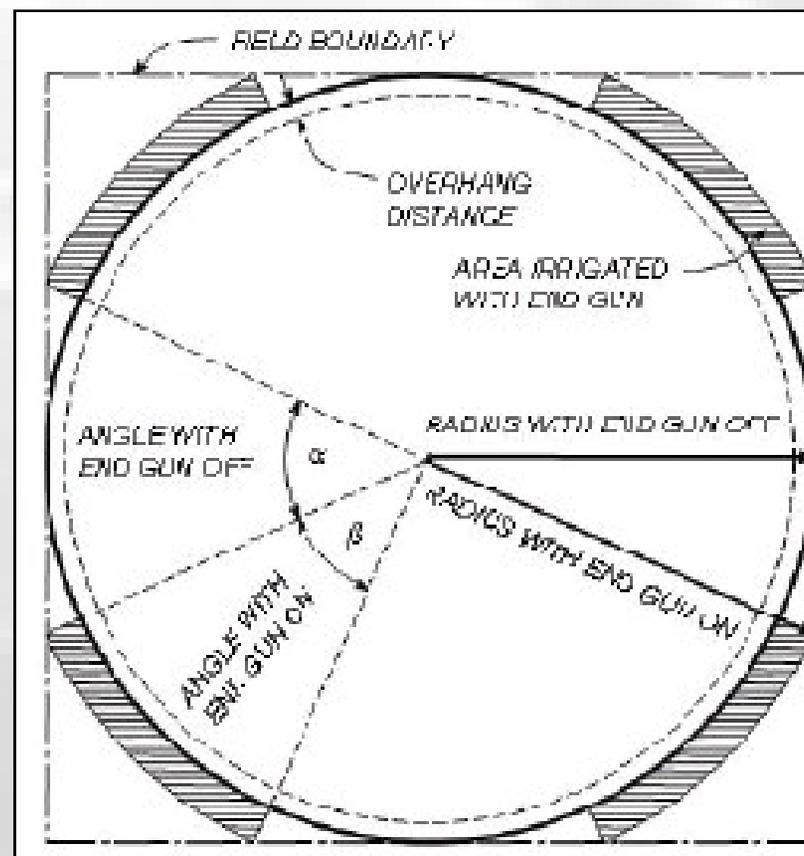
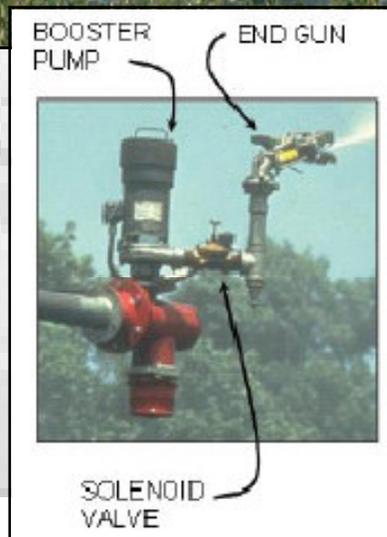
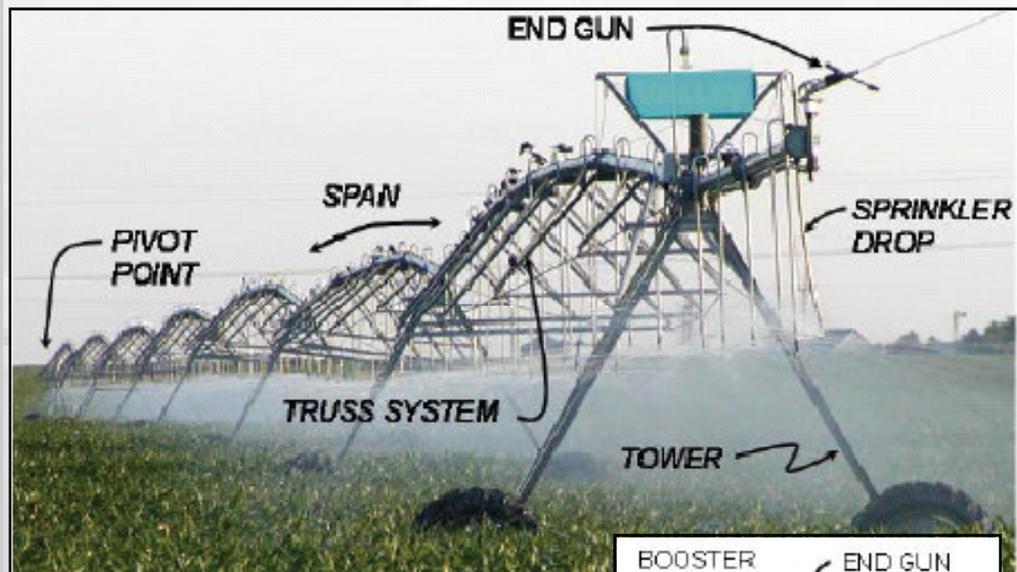
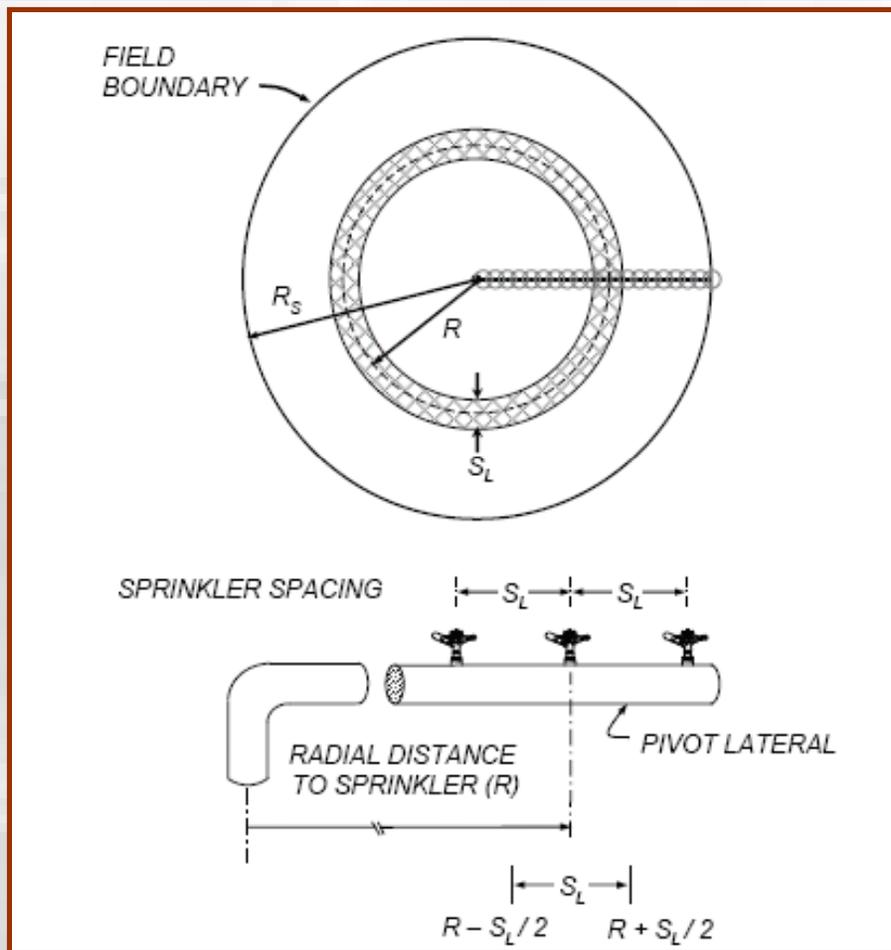


Figura 2 – Componentes e layouts de campo para sistemas típicos de irrigação por pivô central. (MARTIN et al., 2007).

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros



R_s = raio do sistema primário (L), ou seja, sem canhão hidráulico.

R = distância radial qualquer (L)

S_L = espaçamento local entre emissores na lateral (L)

$$A_R = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot S_L$$

A_r = área representativa para o emissor à distância R do ponto pivô (L^2)

Figura 3 – Diagrama de área representativa para determinação da vazão de aspersores em uma lateral de pivô central. (MARTIN et al., 2007).

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros

$$q_{aR} = \frac{D_b \cdot A_R}{t_{op}}$$

q_{aR} = vazão de um aspersor à distância R do ponto pivô (L³/T)

D_b = lâmina bruta de irrigação (L)

t_{op} = tempo de operação do sistema para aplicar D_b (T)

$$D_b = \frac{D_n}{E_a}$$

D_n = lâmina líquida de irrigação (L)

E_a = eficiência de aplicação (decimal)

$$Q_s = \frac{D_b \cdot A_{ti}}{t_{op}} = \frac{D_b \cdot \pi \cdot R_s^2}{t_{op}}$$

Q_s = vazão do sistema (L³/T)

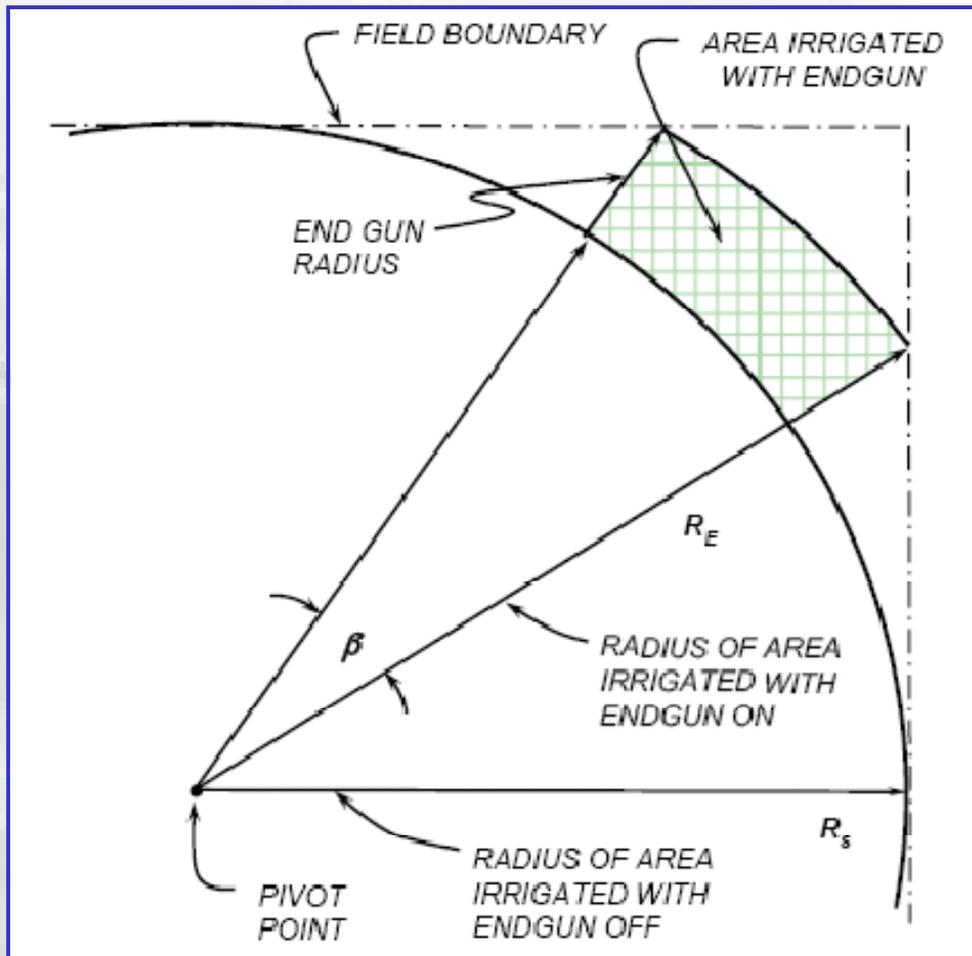
A_{ti} = área total a ser irrigada pelo sistema (L²)

Semelhante à primeira equação acima tem-se para o cálculo de q_{aR} :

$$q_{aR} = \frac{2 \cdot Q_s \cdot R \cdot S_L}{R_s^2}$$

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros



$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{R_S}{R_E}\right) \quad \beta = \text{ângulo central}$$

R_E = comprimento radial total irrigado com o canhão em funcionamento (L)

A_E = área irrigada em cada canto (L²)

$$A_E = (R_E^2 - R_S^2) \cdot \left(\frac{\pi}{4} - \cos^{-1}(\beta) \right)$$

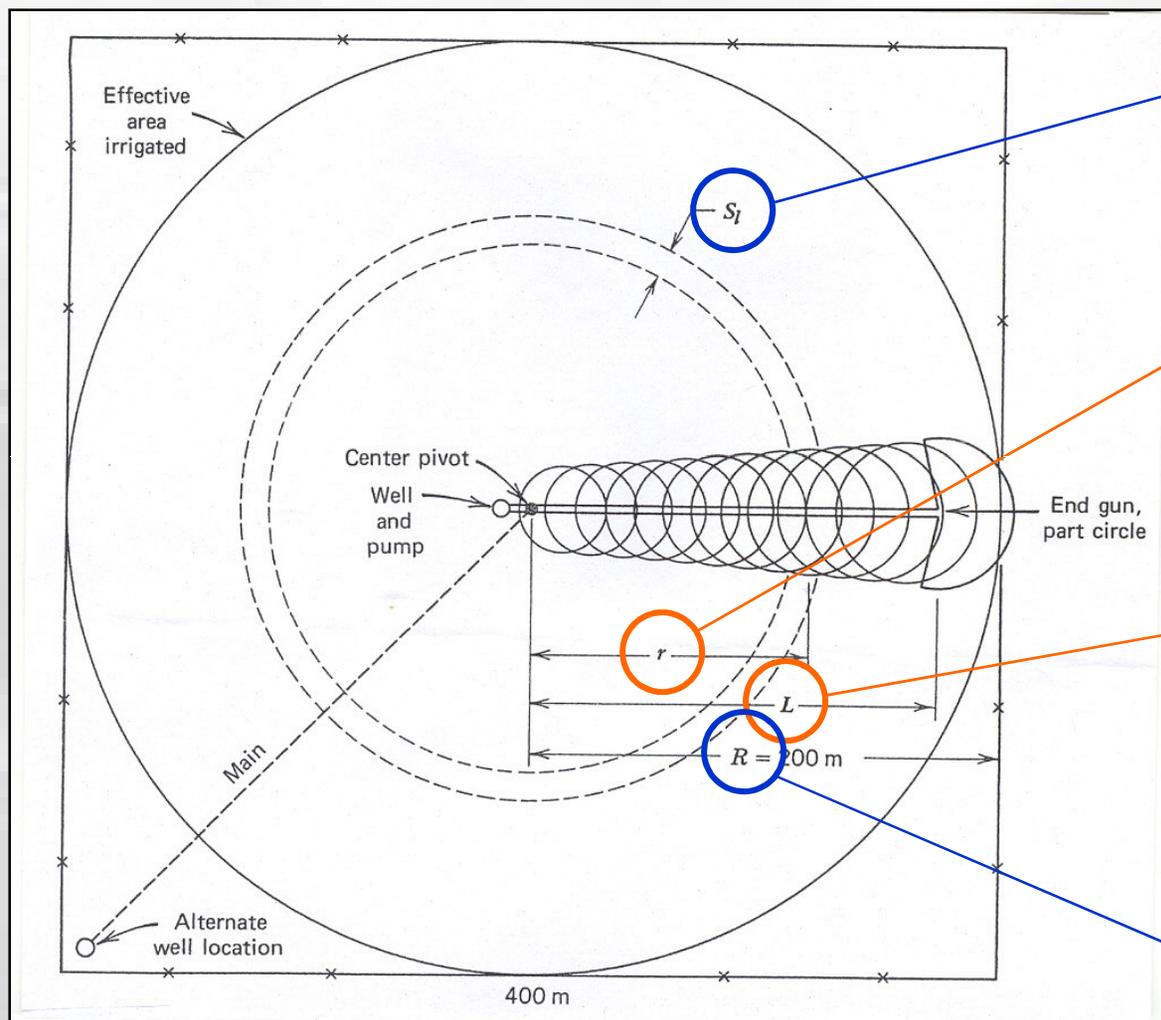
q_E = vazão do canhão hidráulico no final da lateral (L³/T)

$$q_E = Q_S \cdot \frac{(R_E^2 - R_S^2)}{R_S^2}$$

Figura 4 – Diagrama para descrição do tamanho da área irrigada nos cantos pelo uso de canhão hidráulico (MARTIN et al., 2007).

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros



S_l = espaçamento local entre emissores (L)

$r = R$ = distância do ponto pivô na lateral (L)

$L = R_s$ = comprimento da lateral (L)

$R = R_E$ = raio da área efetivamente irrigada (L)

Figura 5 – Pivô central para uma área de 16 ha. (SCHWAB et al., 1993).

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros

$$q_R = Q_s \left(1 - \frac{R^2}{R_E^2} \right)$$

q_R = vazão da lateral a qualquer distância R do ponto pivô (L^3/T)

Obs.: Através da equação acima é possível o cálculo da vazão requerida no final da lateral (q_E) para acionamento do canhão hidráulico. Para isso basta fazer $R = L$.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros

Exemplo de Aplicação 01

Um pivô central deverá irrigar uma área de pastagem conforme mostra a **Figura 5**, ou seja, área circular inscrita num retângulo = **16 ha**. A lâmina líquida de irrigação será = **40,5 mm** e deverá ser aplicada a uma taxa máxima = **15 mm/h**. Assumir eficiência de aplicação = **70%**. O campo é para ser irrigado em **2 dias** com uma revolução por dia. Um canhão hidráulico no final da lateral cobre uma área de aproximadamente **15 m** além do sistema primário (lateral sem o canhão).

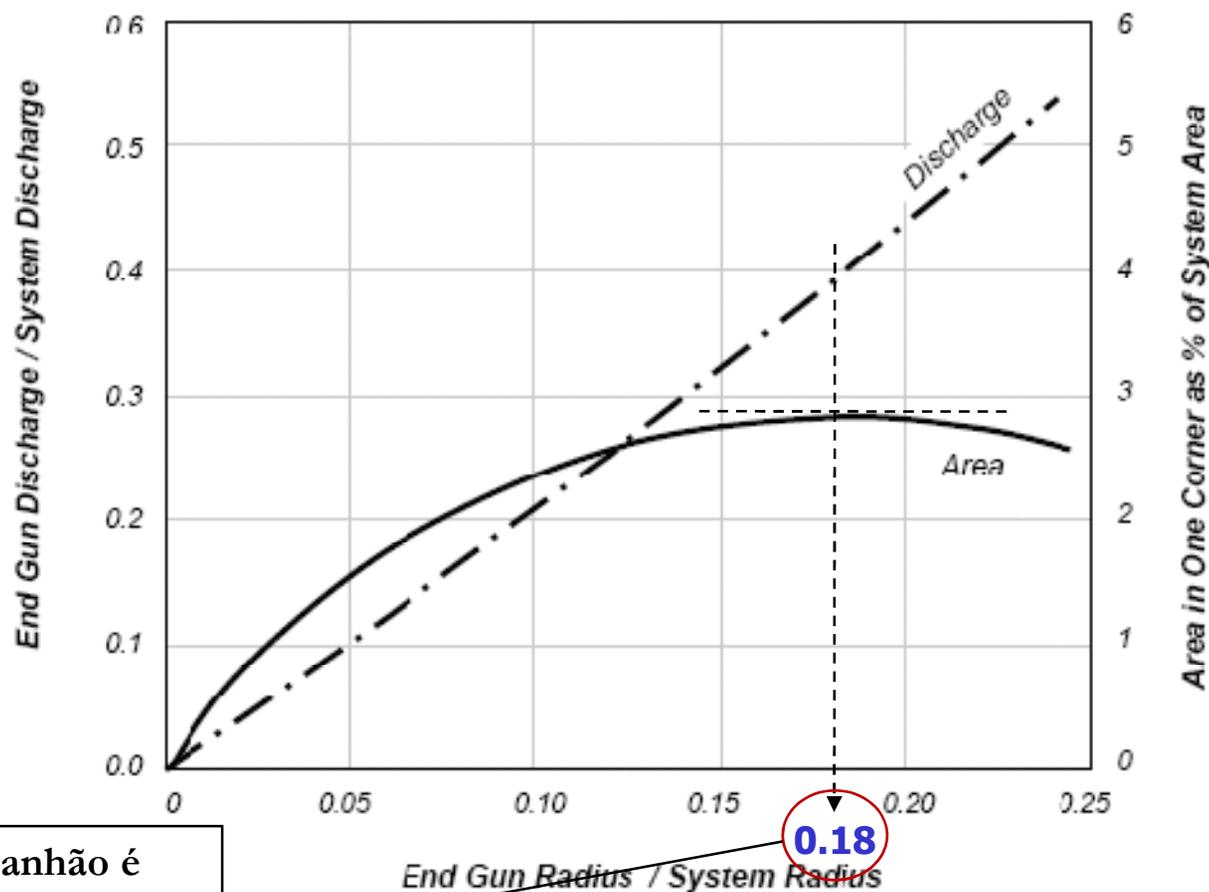
Determine:

- (a) a lâmina bruta de irrigação;
- (b) a vazão do sistema pivô central;
- (c) o comprimento da linha lateral;
- (d) a vazão requerida para um aspersor no espaçamento de 10 m e posicionado a 100 m do ponto pivô;
- (e) a vazão do canhão hidráulico no final da lateral.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros

Figura 6 – Vazão requerida por um canhão hidráulico ao final da lateral do pivô como uma porcentagem da vazão do sistema e a área num canto relativa à área no campo principal (MARTIN et al., 2007).



A área irrigada pelo canhão é maximizada quando o alcance do jato ($R_E - R_S$) é aproximadamente 18% do raio do sistema (R_S).

Referências Bibliográficas

CUENCA, R. H. Irrigation System Design: an engineering approach. New Jersey: Prentice Hall, 1989, 552p.

MARTIN, D. L.; KINCAID, D. C.; LYLE, W. M. Design and operation of sprinkler system. In: G. J. HOFFMAN; EVANS, R. E.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L. & ELLIOTT, R. L. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2nd ed. St. Joseph: ASABE. 2007. 861p. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Chapter 16, p. 557-631.

SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. Soil and Water Conservation Engineering. New York: John Wiley & Sons. 4th ed. 1993, 507p.

SOLOMON, K. H.; EL-GINDY, A. M.; IBATULLIN, S. R. Planning and system selection. Design and operation of sprinkler system. In: G. J. HOFFMAN; EVANS, R. E.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L. & ELLIOTT, R. L. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2nd ed. St. Joseph: ASABE. 2007. 861p. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Chapter 3, p. 58-75.

TROUT, T. J.; KINCAID, D. C. On-Farm System Design and Operation and Land Management. In: R. J. LASCANO & SOJKA R. E. Irrigation of Agricultural Crops. 2nd ed. Madison: ASA, CSSA, SSSA. 2007. 664p. American Society of Agronomy, Chapter 5, p. 133-179. (Agronomy Monograph no. 30)