

REGA E DRENAGEM



3.1 Dimensionamento, gestão e avaliação do desempenho de sistemas de rega na parcela: sistemas de rega por aspersão e sistemas de rega localizada;

3.1.3 Sistemas Fixos de Rega Por Aspersão

- Inventário dos recursos existentes
- Dimensionamento Agronómico
- Dimensionamento hidráulico



Área Disciplinar Eng. Rural



INVENTÁRIO DOS RECURSOS EXISTENTES

Solos

Textura, Capacidade de campo, coeficiente de emurchecimento, taxa de infiltração, profundidade do solo

Topografia

Declives, acidentes do terreno

Abastecimento de água

Localização da origem da água, caudal disponível, qualidade da água

Abastecimento de energia

Localização da fonte de energia, potência disponível

Culturas

Tipo de culturas e características mais importantes (altura máxima, prof. radical, sensibilidade ao stress hídrico)



DIMENSIONAMENTO AGRONÓMICO

- ☐ Cálculo das necessidades hídricas (módulos anteriores) e de rega
- ☐ Determinação dos parâmetros de rega

Exercicio (resolvido na aula):

Dimensione um sistema fixo de rega por aspersão para regar uma parcela cultivada com milho localizada numa região com baixa velocidade do vento, considerando os dados seguintes:

Solo:

Franco
 $\theta_{CC} = 0.26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$;
 $\theta_{CE} = 0.14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $T_{inf} = 11 \text{ mm h}^{-1}$

Cultura:

$ET_{C_{ponta}} = 7.9 \text{ mm d}^{-1}$;
 $p = 0.55$
 $Z_r = 110 \text{ cm}$
 $P = 0 \text{ mm}$

Sistema de rega:

$E_f = 85 \%$;
 $T_{diário} = 10 \text{ h}$

Parcela:

Largura = 350 m;
 Comprimento = 200 m com
 declive de 0.4% na menor
 direção).

- a) Determine a dotação de rega (não é necessária fração de lixiviação) e o intervalo entre regas;
- b) Selecione o aspersor mais adequado e indique as suas características técnicas;
- c) Determine o nº de setores de rega;
- d) Faça o layout do sistema de rega;
- e) Apresente as características de cada setor de rega;
- f) Dimensione as rampas porta aspersores;
- g) Dimensione os porta rampas;
- h) Dimensione a conduta principal. Justifique a escolha do caudal;
- i) Determine o setor mais desfavorável em termos de necessidade de energia?
- j) Dimensione a bomba hidráulica.

□ Determinação dos parâmetros de rega (revisão) no período de ponta

✓ Dotação útil máxima de rega, $Du_{máx}$ (mm)

$$Du_{máx} = RFU$$

Porque com este sistema de rega pretende aproveitar-se o solo como reservatório de água

- Referva facilmente utilizável do solo (RFU- mm de água)

Quantidade de água a colocar dentro do reservatório do solo para suprir as necessidades hídricas das plantas e para que não ocorra stress hídrico nem perdas por drenagem

$$RFU = (\theta v_{CC} - \theta v_{CE}) \cdot Z_r \cdot p \cdot 10$$

Se θv_{CC} e θv_{CE} ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) são os teores de água volumétricos à capacidade de campo e no coeficiente de emurchecimento, Z_r a profundidade radical (cm) e p o parâmetro de gestão da rega, função da sensibilidade ao stress (adim)

✓ Intervalo entre regas, I_R

NU_R são as necessidades úteis (ou liquidas) de rega, descontando outras entradas de água (mm)

$$NU_R = ETc - Pe$$

ETc é a evapotranspiração cultural diária para o período de ponta (mm)

Calculada com base numa série meteorológica histórica e recorrendo a uma probabilidade de não excedência de 80 ou 90 %

✓ Dotação útil de rega, D_u (mm)

✓ Dotação de rega, D (mm)

ε – eficiência do sistema de rega /100

✓ Tempo de rega, T_R (h)

sendo P_i a pluviometria do aspersor

Tem que se escolher o aspersor

$$I_{Rmáx} = \frac{Du_{máx}}{NU_R \text{ ponta}} = \frac{Du_{máx}}{ETc_{ponta}}$$

no período de ponta, uma vez que P_i , AC e $\Delta A = 0$, necessidades hídricas = necessidades úteis de rega

Podemos optar por um I_R menor que o máximo por conveniência de gestão do sistema de rega

$$I_R \leq I_{Rmáx}$$

$$Du = I_R ETc_{ponta}$$

$$D = \frac{Du}{\varepsilon} ?$$

$65 < \varepsilon < 85 \%$
Pereira (2004)

$$T_R = \frac{D}{P_i}$$

Dimensionamento hidráulico

Exemplo de organização da folha de cálculo

DADOS DO PROBLEMA

Características do solo:	
Textura:	franco
CC	0.26 cm ³ cm ⁻³
CE	0.14 cm ³ cm ⁻³
Dap	1.45 cm ³ cm ⁻³
Tinf	11 mm h ⁻¹

Características da cultura:	
Milho (período de ponta)	
ETc	7.9 mm dia ⁻¹
zr	110 cm
p	0.55

Sistema de rega	
E =	85 %
TT =	10 h/dia

Parcela	
A =	7 ha
v vento =	0
Larg =	350 m
Comp =	200 m
A =	70000 m ²

CÁLCULOS:

Cálculo dos parâmetros de rega

Du máx =	72.6 mm
IR max =	9.2 dias
IR =	4.0 dias
Du corrig =	31.6 mm
D =	37.2 mm
TR =	3.9 h

Escolha do aspersor:

Pluv <	11 mm h ⁻¹
Catálogo:	
PI =	9.6 mm h ⁻¹
p =	30 m
R =	12.75 m
q =	1.38 m ³ h ⁻¹
q =	0.00038 m ³ s ⁻¹
Esp =	12 m

nº sectores

dias sem rega	0	
N sect/dia	2.6	2.0
N sect/parc	8	6

EB

D

DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

- ☐ Escolha dos aspersores e sua disposição
- ☐ Nº de sectores de rega
- ☐ Disposição das condutas e dos sectores de rega (Layout)
- ☐ Diâmetros das rampas porta aspersores
- ☐ Diâmetros das condutas principais
- ☐ Estação de bombagem

□ Escolha do aspersor

O ponto de partida para o dimensionamento hidráulico é a escolha do aspersor, sendo condição necessária que a sua pluviometria seja inferior à taxa de infiltração do solo. Outra condicionante para a escolha do aspersor, associado ao seu espaçamento, é o comprimento dos tubos comercializados.



Área Disciplinar Eng. Rural

9/64

Taxas de infiltração típicas das diferentes texturas de solo a utilizar na ausência de valores medidos para a situação em estudo

Textura del suelo	Permeabilidad máxima (mm/h):
Arenoso.....	19
Arenoso - franco.....	12.7
Franco arenoso.....	10.9
Franco.....	8.9
Franco-limoso.....	7.6
Franco-arcilloso.....	6.4
Arcillo-limosos.....	5
Arcilloso.....	3.8

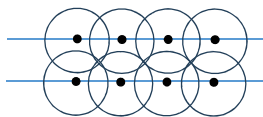


Área Disciplinar Eng. Rural

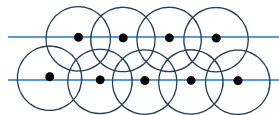
10/64

Disposição dos aspersores e espaçamento

- A disposição mais comum é em quadrado
- Em zonas muito ventosas é normalmente usada a disposição em triângulo



Disposição em quadrado



Disposição em triângulo

Espaçamentos mais comuns

- **12 m x 12 m** (linha x entrelinha) — é um dos espaçamentos mais usados com aspersores de médio alcance, garantindo boa uniformidade.
- **Até 18 m x 18 m** — pode ser usado com aspersores de maior alcance (em terrenos planos, com baixa velocidade do vento).
- **10 m x 10 m** — em zonas com vento frequente ou quando se pretende maior uniformidade e menor diâmetro molhado (ex: solos mais leves).



HWP 2475

High working pressure, 3/4" Impact sprinkler with 24 degrees water trajectory angle, for irrigation with wide installation spacing.



High Operation Pressure & High Precipitation Rate



Robust & Long Lifetime



Reduced Labor Cost

→ PERFORMANCE DATA RECTANGULAR SPACING

NOZZLE SIZE (MM)	CODE COLOR	WORKING PRESSURE (BAR)	FLOW RATE (L/H)	WETTED DIAM.* (M)	PRECIPITATION (MM/H)						
					SPACING (M X M)						
					12 X 12	12 X 15	12 X 18	15 X 15	15 X 18	18 X 18	20 X 20
5.15 + 2.50	BLACK + YELLOW	3.0	1990	29.0	13.8	11.1	9.2	8.8	7.4	6.1	5.0
		3.5	2150	30.0	14.9	11.9	10.0	9.6	8.0	6.6	5.4
		4.0	2298	31.0	16.0	12.8	10.6	10.2	8.5	7.1	5.7
5.50 + 3.17	ORANGE + BLACK	3.0	2532	30.0	17.6	14.1	11.7	11.3	9.4	7.8	6.3
		3.5	2735	33.0	19.0	15.2	12.7	12.2	10.1	8.4	6.8
		4.0	2924	35.0	20.3	16.2	13.5	13.0	10.8	9.0	7.3
5.96 + 3.17	PURPLE + BLACK	3.0	2833	31.0	19.7	15.7	13.1	12.6	10.5	8.7	7.1
		3.5	3060	33.0	21.3	17.0	14.2	13.6	11.3	9.4	7.7
		4.0	3271	34.0	22.7	18.2	15.1	14.5	12.1	10.1	8.2

Applications



Open field crops & vegetable irrigation



Wide installation spacing

Irritec

Tabla de prestaciones

Inyector color - e mm ref.	P (bar)	Q (m ³ /h)	D (m)	Precipitación (mm/h)				
				Distancia (m)				
				10x10	10x12	12x12	12x14	14x14
gris 2,3 x 1,8 IDF22B0MP2318	2,5	0,51	22,0	5,1	4,3	-	-	-
	3,0	0,58	22,0	5,6	4,7	3,9	-	-
	3,5	0,60	22,0	6,0	5,0	4,2	-	-
	4,0	0,64	22,0	6,4	5,3	4,4	-	-
morado 2,5 x 1,8 IDF22B0MP2518	2,5	0,58	21,0	5,8	4,8	-	-	-
	3,0	0,63	21,0	6,3	5,3	4,4	3,8	-
	3,5	0,67	21,0	6,7	5,6	4,7	4,0	-
	4,0	0,72	21,5	7,2	6,0	5,0	4,3	-
naranja 2,8 x 1,8 IDF22B0MP2818	2,5	0,69	22,0	6,9	5,8	4,8	-	-
	3,0	0,76	22,0	7,6	6,3	5,3	4,5	3,9
	3,5	0,82	22,0	8,2	6,8	5,7	4,9	4,2
	4,0	0,86	22,0	8,6	7,2	6,0	5,1	4,4
rojo 3,0 x 1,8 IDF22B0MP3018	2,5	0,76	22,0	7,6	6,3	5,3	-	-
	3,0	0,84	23,0	8,4	7,0	5,8	5,0	4,3
	3,5	0,90	23,0	9,0	7,5	6,3	5,4	4,6
	4,0	0,97	23,0	9,7	8,1	6,7	5,8	4,9
verde 3,2 x 1,8 IDF22B0MP3525	2,5	0,82	23,0	8,2	6,8	5,7	-	-
	3,0	0,90	24,0	9,0	7,5	6,8	5,8	5,0
	3,5	0,98	24,0	9,8	8,2	7,3	6,3	5,4
	4,0	1,04	24,0	10,4	8,7	7,2	6,2	5,3
azul 3,5 x 2,5 IDF22B0MP3525	2,5	1,06	24,5	10,6	8,8	7,4	-	-
	3,0	1,16	25,0	11,6	9,7	8,1	6,9	5,9
	3,5	1,24	25,5	12,4	10,3	8,6	7,4	6,3
	4,0	1,33	26,0	13,3	11,1	9,2	7,9	6,8
negro 4,0 x 2,5 IDF22B0MP4025	2,5	1,26	25,0	12,6	10,5	8,7	-	-
	3,0	1,38	25,5	13,8	11,5	9,6	8,2	7,0
	3,5	1,48	26,0	14,8	12,3	10,3	8,8	7,5
	4,0	1,58	26,5	15,8	13,2	11,0	9,4	8,1

Datos registrados en condiciones de laboratorio
Adapte la instalación según las necesidades del cultivo



Área Disciplinar Eng. Rural

13/64

Materiais usados nas condutas

1. Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HDPE): Mais utilizado para tubagens permanentes

- Elevada resistência a UV, fertilizantes e produtos de limpeza;
- Resistente a pressões típicas da rega por aspersão (2.5 a 4 bar);
- Diâmetros comuns: 50 a 160 mm.
- Durável (vida útil de 20–30 anos em boas condições).
- Fácil ligação por eletrofusão ou por acessórios mecânicos.



Diâmetro PEAD (mm)	Forma mais comum	Tubagens
≤ 63 mm	Rolo (bobina)	Ramais porta aspersores e porta ramais
75–110 mm	Rolo ou vara (ambos possíveis)	Porta ramais
≥ 125 mm	Vara (segmento rígido)	Porta ramais e conduta primária

comprimentos típicos: 6 ou 12 metros



Área Disciplinar Eng. Rural

Aspetos a ter em conta no enterramento de PEAD :**1. Classe de pressão adequada (PN):**

- **pressão nominal compatível** com a pressão de operação do sistema (ex.: PN6, PN10, PN16).
- mais comum: **PN10 ou PN12,5**, sobretudo se houver variações de pressão.

2. Profundidade mínima de enterramento:

- Recomenda-se enterrar o tubo a **pelo menos 40–60 cm de profundidade**, para proteção contra:
 - Tráfego de máquinas agrícolas,
 - Variações térmicas (principalmente radiação solar),
 - Danos mecânicos acidentais.

3. Cama de assentamento adequada:

- Deves colocar o tubo sobre uma **cama de areia ou solo fino**, com **espessura mínima de 10–15 cm**, para evitar danos por pedras ou arestas.
- Após colocação, cobrir com material semelhante antes de completar o aterro.

4. Curvatura e assentamento:

- Os tubos em rolo são mais **flexíveis**, o que facilita a instalação em traçados irregulares.
- No entanto, evita **curvas apertadas** ou torções ao enterrar — respeita o **raio mínimo de curvatura** definido pelo fabricante (normalmente, **~20 a 25 × o diâmetro exterior**).

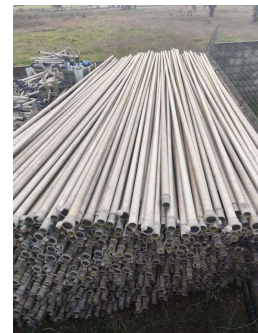
15/64

Área Disciplinar Eng. Rural

2. Alumínio

Comum em sistemas portáteis ou móveis (ex: linhas com aspersores móveis):

- Leve, resistente e fácil de montar/desmontar manualmente.
- Usado sobretudo em pequenas e médias explorações.
- Reutilizável de campanha para campanha.
- Menos usado atualmente devido ao custo e à disponibilidade de PEAD.

**3. PVC (Policloreto de Vinilo)**

Usado ocasionalmente para condutas secundárias (porta rampas) ou terciárias (rampas) em sistemas fixos de cobertura total:

- Mais económico que o PEAD, mas menos resistente a impactos e UV.
- Maior rigidez, o que limita o uso em terrenos com movimento ou assentamento.
- Tende a ser substituído pelo PEAD em novas instalações.



Área Disciplinar Eng. Rural

Tubo do aspersor ("riser" ou cana do aspersor)

- Um tubo vertical até 2,5 m (geralmente em PVC ou aço galvanizado);
- Não deve ser ligado diretamente e rigidamente à parede do tubo PEAD flexível pois há risco de deformação, inclinação ou até rotura;

Soluções comuns:

- Usar bases de suporte ou estacas metálicas para estabilizar o tubo do aspersor.
- Fixar o tubo vertical a uma estrutura independente do PEAD (ex.: armação metálica ou estaca em betão)
- Usar estrutura rígida de ligação



Área Disciplinar Eng. Rural



17/64

Comparação de materiais

Critério	PEAD	PVC
Flexibilidade	Alta	Baixa
Resistência a impactos	Muito boa	Boa (mas frágil a choques pontuais)
Instalação à superfície	Sim	Não recomendado
Instalação enterrada	Sim	Sim
Facilidade de ligação	Boa (termofusão ou acessórios)	Boa (colagem ou junta elástica)
Custo (geral)	Ligeiramente superior	Mais económico

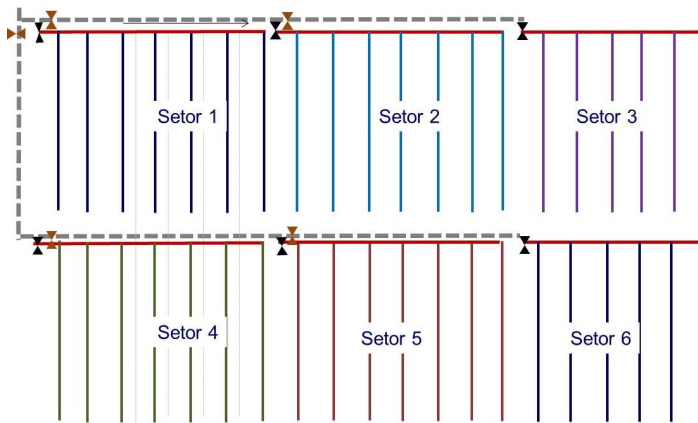
- Em terrenos planos com linhas retas e enterramento total, PVC é viável e mais económico;
- Se o terreno é irregular, sujeito a assentamentos, pretendendo-se mais flexibilidade e durabilidade, deve optar-se por PEAD, mesmo com um custo ligeiramente superior.

Área Disciplinar Eng. Rural

18/64

□ Determinação do nº de sectores de rega, N_s

O que é um setor de rega?



Qual a vantagem de ter o sistema dividido em setores de rega?

- Menor caudal a transportar, permitindo adaptação do sistema a situações em que o caudal na origem é pequeno;
- Diâmetros menores da tubagem principal;
- Menor potência da bomba;

Área Disciplinar Eng. Rural

□ Determinação do nº de sectores de rega, N_s

- **Tempo de rega, T_R (h), em cada ponto**

D é a dotação de rega (mm) e
 P_i é a pluviometria do aspersor (mm/h)

$$T_R = \frac{D}{P_i}$$

- **Nº máximo de sectores que se podem regar num dia**

T_d é o tempo total diário disponível para a rega (h dia⁻¹)

$$N_{sd} = \frac{T_d}{T_R}$$

- **Nº máximo de sectores de rega na parcela**

$$N_S = I_R N_{sd}$$

Área Disciplinar Eng. Rural

20/64

Desenho do sistema

- Recolha de imagem de satélite;
- Carregamento da imagem para programa de desenho, colocando-a à escala



Área Disciplinar Eng. Rural

21/64



- Grelha com aspersores e ramais, com os espaçamentos previamente determinados (na mesma escala da imagem)

Área Disciplinar Eng. Rural

22/64

- Colocar a grelha numa das extremas da propriedade e rodar até obter a direção ideal dos aspersores
- Os aspersores que se encontrem fora do terreno são eliminados
- Reajusta-se se necessário para que a distribuição dos aspersores seja equilibrada



Área Disciplinar Eng. Rural

□ Disposição das condutas e dos sectores de rega (layout)

O *layout* do sistema depende essencialmente de:

- Linhas de cultura
- Forma da parcela: o nº de aspersores a regar em simultâneo (caudal) deve ser idêntico em todos os sectores => sector o mais rectangular possível;
- Topografia do terreno: devem aproveitar-se os declives do terreno para compensar as perdas de carga;

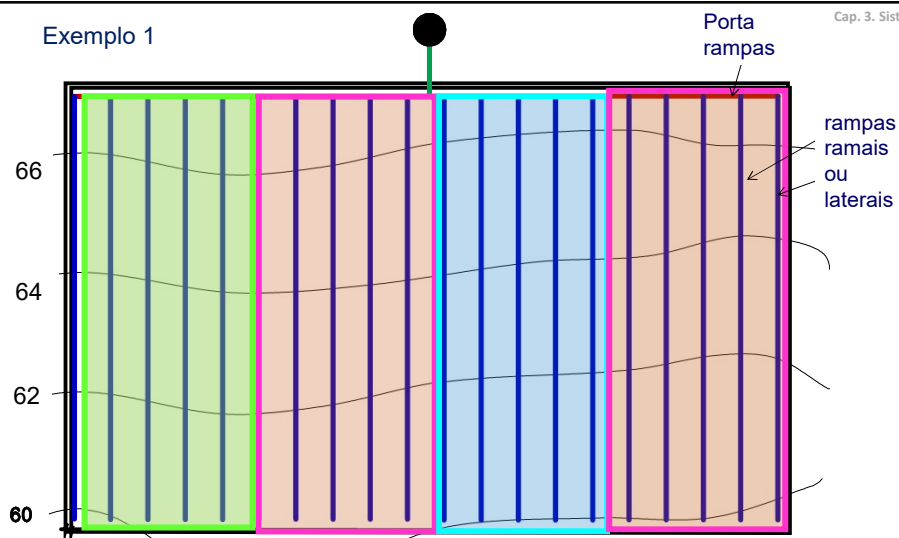
Algumas regras para a disposição dos ramais

- Sempre que possível as rampas **não devem ser colocadas contra o declive**;
- A situação mais simples consiste em colocar as ramais **perpendicularmente ao declive** (a variação da pressão é apenas devida às perdas de carga);
- Desde que o declive não seja muito elevado e seja regular há quase sempre vantagem em **colocar as rampas a “favor do declive”**;

Alguns exemplos de disposição das rampas de acordo com a topografia

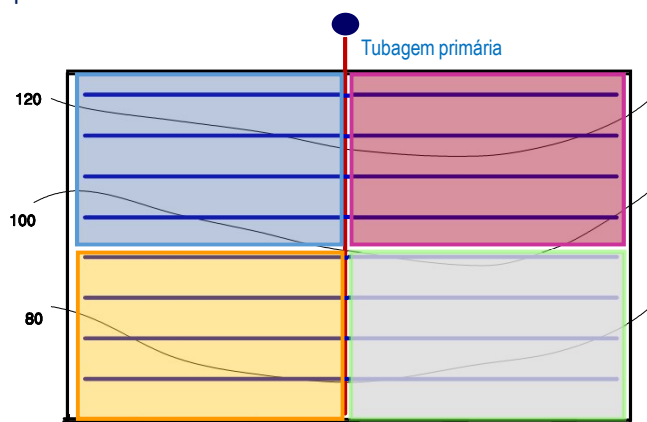


Exemplo 1



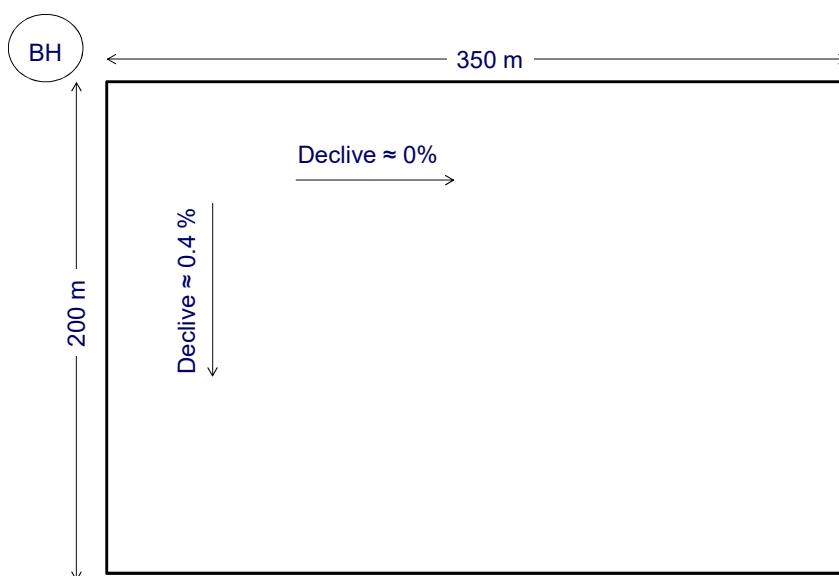
Declive suave – colocam-se as rampas na direcção e sentido do declive - Os ganhos de pressão devidos ao desnível compensam as perdas de carga

Exemplo 2



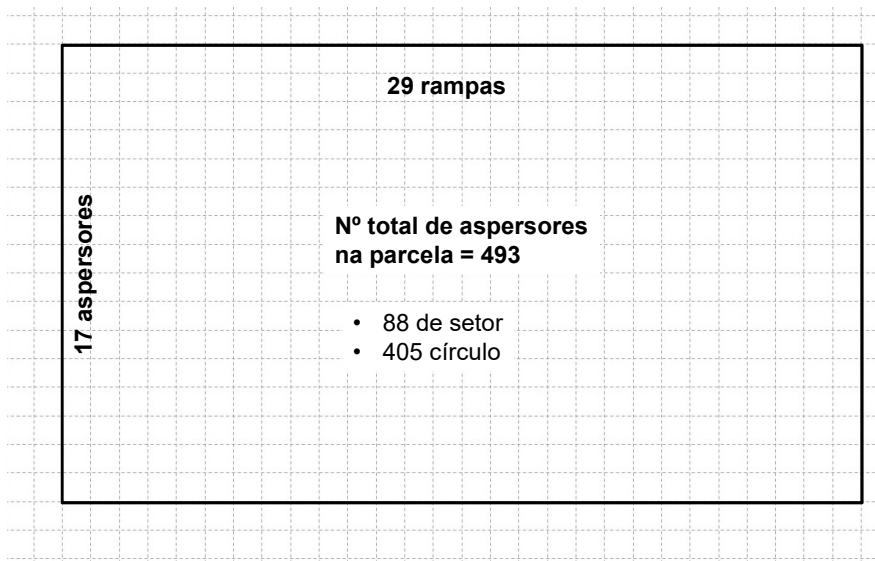
Declive acentuado - As rampas são colocadas na direcção do menor declive

Voltando ao exemplo de aplicação da aula :



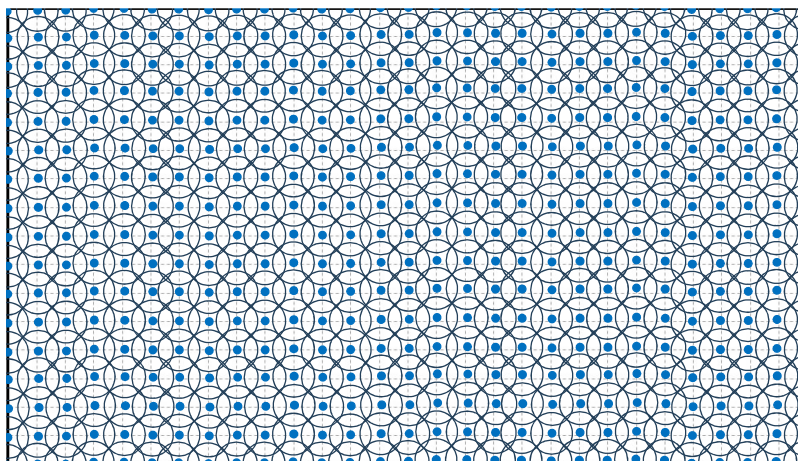
Parcela: 350 x 200 m

Espaçamento aspersores: 12 x 12 m



$$N \text{ rampas} = \frac{350}{12} = 29$$

$$N \text{ aspersores por rampa} = \frac{200}{12} = 17$$



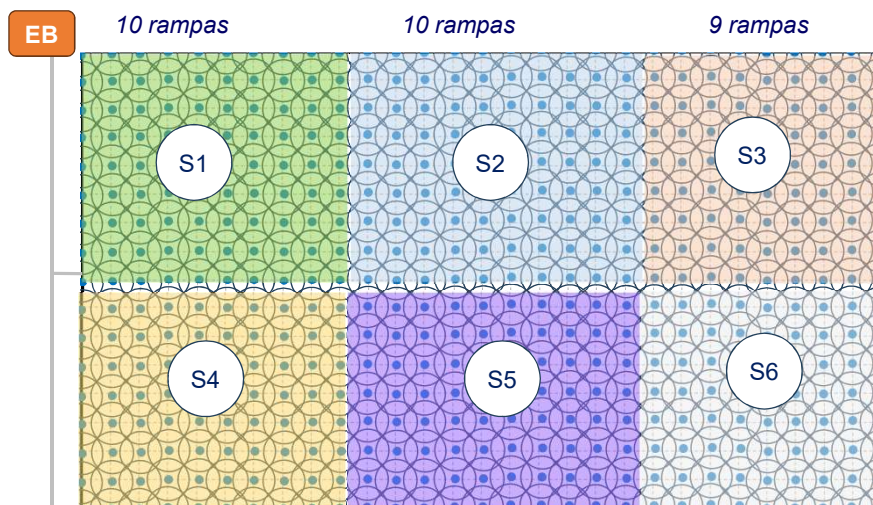
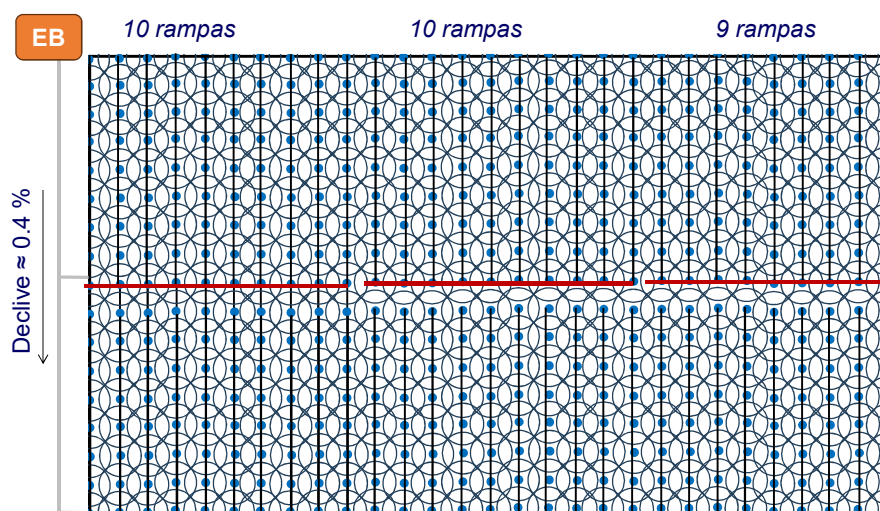


Figura 1. Divisão da parcela em setores

31/64

Área Disciplinar Eng. Rural



32/64

Área Disciplinar Eng. Rural

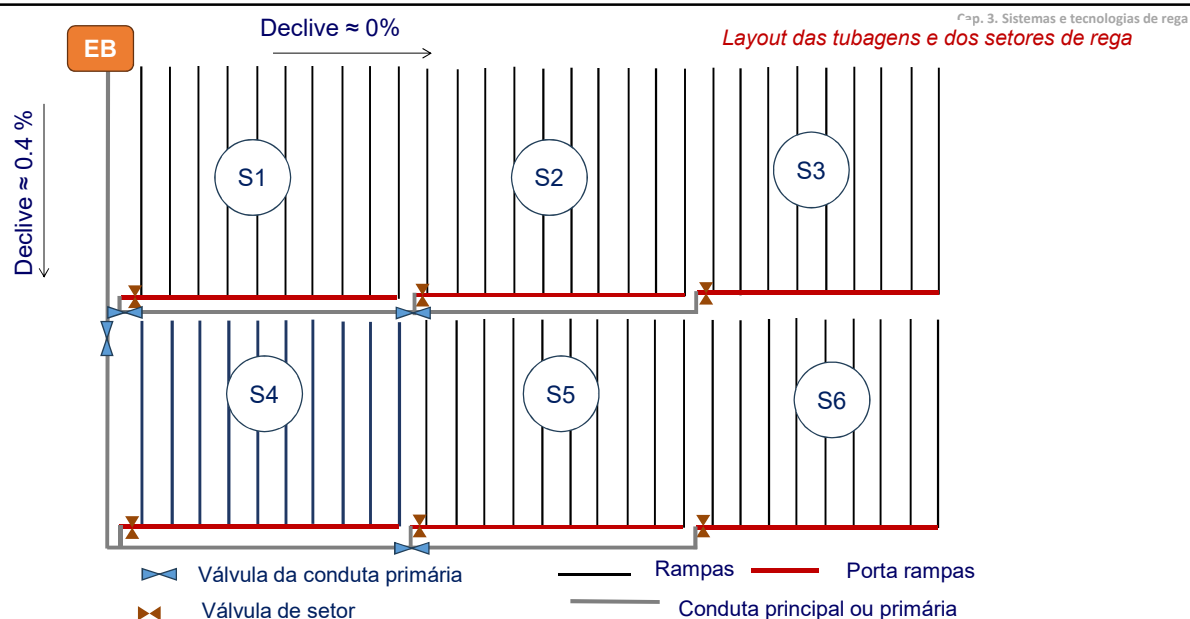


Figura 2. Layout das tubagens

Área Disciplinar Eng. Rural

33/64

Caracterização dos sectores de rega

Cap. 3. Sistemas e tecnologias de rega

Caudal de dimensionamento por sector, Q_s

Quadro 1. Características de cada sector de rega

Sector	Nº rampas	circulo	setor	Q_R ($m^3 h^{-1}$)	Q_S ($m^3 h^{-1}$)
1	9	8	1	11.7	111.4
	1	0	9	5.9	
2	10	8	1	11.7	117.3
3	8	8	1	11.7	100.1
	1	0	9	6.2	
4	9	7	1	10.4	98.0
	1	0	8	4.8	
5	10	7	1	10.4	103.5
6	8	7	1	10.4	87.6
	1	0	8	4.8	

q é o caudal do aspersor; Q_R é o caudal no início da rampa; Q_S é o caudal do setor

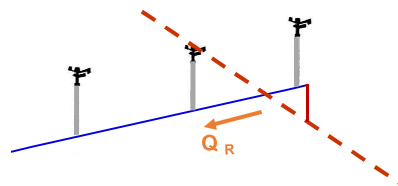
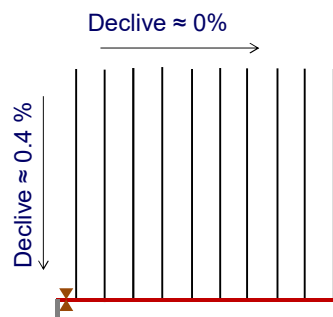
Área Disciplinar Eng. Rural

34/64

□ CÁLCULO DAS CONDUTAS

1. Rampas porta aspersor

Exemplo de cálculo da rampa 2 do setor 1



Critérios para o dimensionamento

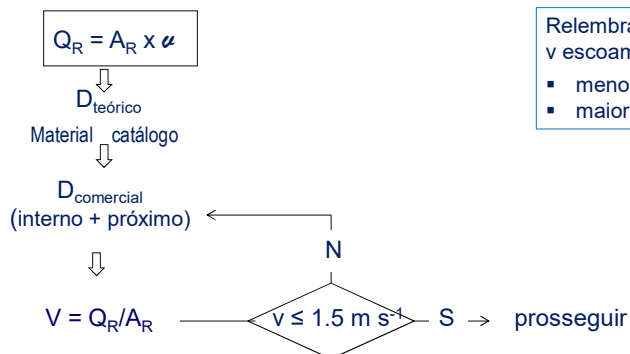
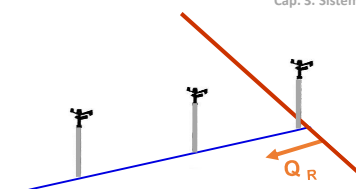
- Q_R constante ao longo da rampa para início dos cálculos;
- $u = 1,5 \text{ m s}^{-1}$;
- $\Delta p < 20\% p_{\text{catálogo}}$.

Área Disciplinar Eng. Rural

35/64

i. Determinação do diâmetro inicial igual para toda o ramal

O cálculo inicial do diâmetro da rampa porta aspersores, ou ramal, é feito considerando-se um tubo simples sem saídas, onde circula um caudal constante (Q_R).



Relembrar da Hidráulica:
v escoamento nas condutas deve ser

- menor do que cerca de $1,5 \text{ m s}^{-1}$
- maior do que $0,5 \text{ m s}^{-1}$

Área Disciplinar Eng. Rural

36/64

36/64

Para tubos de PVC rígido, o diâmetro externo é padronizado. Por isso, o diâmetro interno deve ser calculado com a fórmula abaixo:

$$D_i = D_e - 2 \cdot e$$

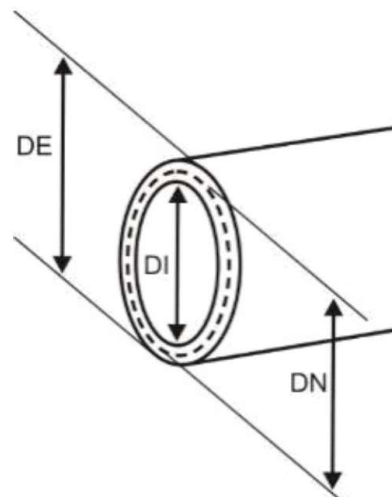
em que:

- D_i - diâmetro interno
- D_e - diâmetro externo
- e - espessura da parede do tubo

Medidas em mm

DE	dem	e
20	20,0	1,5
25	25,0	1,7
32	32,0	2,1
40	40,0	2,4
50	50,0	3,0
60	60,0	3,3
75	75,0	4,2
85	85,0	4,7

DE	e
100	3,1
150	4,4
200	5,8
250	7,1
300	8,5
350	9,9
400	11,2
500	13,9



Área Disciplinar Eng. Rural

37/64

Tubos de PVC rígido, classes de pressão 6, 10 e 16, diâmetros externo e interno

DN (mm externo)	PN6 (DI mm)	PN10 (DI mm)	PN16 (DI mm)
110	104,6	101,6	97,6
125	118,8	115,4	110,8
140	133,0	129,2	124,0
160	152,0	147,6	141,6
200	190,0	184,6	177,0
225	213,8	207,8	199,2
250	237,6	230,8	221,2
280	266,2	258,6	248,0
315	299,4	291,0	279,0
355	337,4	328,0	314,6
400	380,0	369,4	354,6

Área Disciplinar Eng. Rural

38/64

Exemplo de outro catálogo, este de polietileno de alta densidade

Uralita PE100 \ Tubos

►PN 1,0 MPa (10 Atm)
Série 8

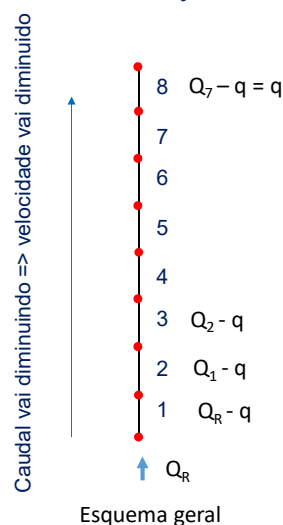
DE (mm)	Espessura (mm)
25	2,3
32	2,3
40	2,4
50	3,0
63	3,8
75	4,5
90	5,4
110	6,6
125	7,4
140	8,3
160	9,5
180	10,7
200	11,9
250	14,8
315	18,7
400	23,7

Área Disciplinar Eng. Rural

39/64

ii. Otimização dos diâmetros devido ao serviço contínuo no percurso

Se o diâmetro inicial não originar velocidades dentro dos limites para todos os troços altera-se o diâmetro de cada troço individualmente



Quadro 2a. Otimização dos diâmetros das rampas do setor 1

Setor 1 - Rampa 1

Troço	L (m)	Q(m ³ s ⁻¹)	D (m)	v (m s ⁻¹)
1	12	0.00144	0.0440	0.9
2	12	0.00125	0.0352	1.3
3	12	0.00105	0.0352	1.1
4	12	0.00086	0.0352	0.9
5	12	0.00067	0.0352	0.7
6	12	0.00048	0.0352	0.5
7	12	0.00029	0.0274	0.5
8	12	0.00019	0.0204	0.6
Ltot (m)	96			

Setor 1- Rampas 2 a 10

Troço	L (m)	Q(m ³ s ⁻¹)	D (m)	v (m s ⁻¹)
1	12	0.002875	0.0554	1.2
2	12	0.00249	0.0554	1.0
3	12	0.00211	0.0554	0.9
4	12	0.00173	0.0554	0.7
5	12	0.00134	0.0554	0.6
6	12	0.00096	0.0470	0.6
7	12	0.00058	0.0376	0.5
8	12	0.00038	0.0204	1.2
Ltot (m)	96			

Apresentar para todos os setores (Quadro 2b, etc)

Área Disciplinar Eng. Rural

40/64

iii. Verificação da regra da variação de pressão ao longo da rampa

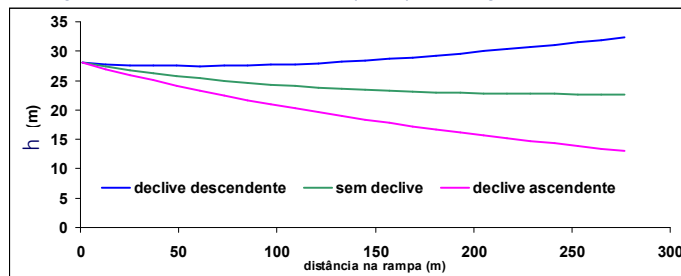
Para que o sistema de rega funcione com a UD desejada, a diferença entre os caudais debitados pelos aspersores em situação mais e menos desfavorável numa rampa, não pode ser superior a 10 % do caudal nominal (catálogo)

O caudal debitado pelo aspersor depende da pressão com que a água atinge o bico do aspersor

$$q = K_d \sqrt{p} \quad \text{em Pa}$$

$$q = k_d \sqrt{h} \quad \text{em m}$$

Variação da altura piezométrica (h, m) ao longo de uma rampa

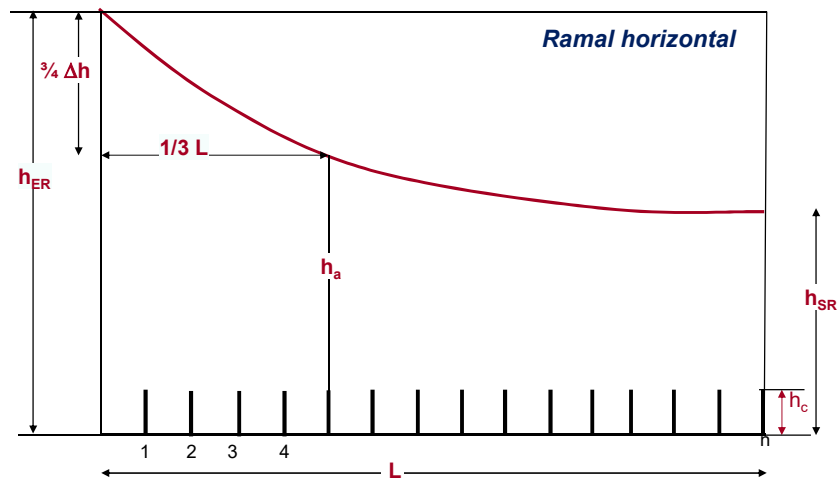


Falaremos muitas vezes em "pressão em m", mas corretamente estamos a referir-nos à altura piezométrica, h

Para que a uniformidade de distribuição da água ao longo de toda a rampa seja boa, a variação da pressão de funcionamento dos aspersores não deve ser superior a 20 % da pressão nominal (entre o aspersor mais e menos desfavorável do sector).

Porque varia a pressão da água ao longo da rampa de aspersores?

- Perda de carga, ΔH
- Desnível, ΔN



h_{ER} – pressão necessária à entrada do ramal

h_a – pressão média $\Leftrightarrow$ pressão de catálogo do aspersor

h_{SR} – pressão à saída do ramal

h_c – altura da cana do aspersor

$$h_{ER} = h_a + \frac{3}{4} \Delta H + \frac{1}{2} \Delta N + h_c$$

$$h_{SR} = h_{ER} - \Delta H - \Delta N - h_c$$

Área Disciplinar Eng. Rural

▪ Pressão necessária à entrada da rampa, h_{ER} :

$$h_{ER} = h_a + \frac{3}{4} \Delta H + \frac{1}{2} \Delta N + h_c$$

h_a – pressão média $\Leftrightarrow$ pressão de catálogo

Nota: A perda de carga (ΔH) pode ser calculada troço a troço ou recorrendo ao método de Christiansen (relembrar da Hidráulica)

▪ Pressão mínima, pressão no último aspersor do ramal, h_{SR} :

$$h_{SR} = h_{ER} - \Delta H - \Delta N - h_c$$

ΔN é o desnível na rampa e
 h_c é a altura da cana porta aspersor

▪ Verificação da condição:

$$|h_{ER} - h_{SR}| \leq 0.2 h_a$$

Se tal não acontecer é necessário recalculer os diâmetros do troços, ou modificar a disposição das tubagens, ou colocar reguladores de pressão nos aspersores.

Área Disciplinar Eng. Rural

Relembrar da hidráulica o cálculo das perdas de carga (ΔH) em escoamento sob pressão

$$\Delta H = J + \sum h_s$$

A. Perdas de carga contínuas (devidas ao atrito), J (m)

$$J = j \times L$$

j a perda de carga unitária (m m⁻¹);

L o comprimento do ramal ou troço do ramal (m)

A fórmula empírica mais usada para tubos lisos (alumínio ou PVC) é

Hazen - Williams

$$u = 0.849 C_{HW} R^{0.63} j^{0.54} \quad j = \left(\frac{v}{0.849 C_{HW} R^{0.63}} \right)^{1.852}$$

R é o raio hidráulico (m), u a velocidade média na secção de escoamento (m s⁻¹), j a perda de carga unitária (m m⁻¹) e c_{HW} o coeficiente de Hazen-Williams (tabelado)

- Desenvolvida por Allen Hazen e Garden Williams, entre 1902 e 1905;
- Apresenta resultados bastante razoáveis para diâmetros entre 30 e 3000 mm e com velocidades de escoamento inferiores a 3 m/s

Área Disciplinar Eng. Rural

Fórmula de Hazen-Williams

Material	Coeficiente C _{HW}
Alumínio	130 - 150
Bronze	130 - 140
Ferro Fundido - Novo	130
Ferro Fundido - 20 anos	89 - 100
Ferro Fundido - 40 anos	64 - 83
Betão	100 - 140
Cobre	130 - 140
Vidro	130
Plástico (PVC, PEAD)	140 - 150
Aço galvanizado - Novo	100 - 130

Área Disciplinar Eng. Rural

B. Perdas de carga singulares Σh_s (m)

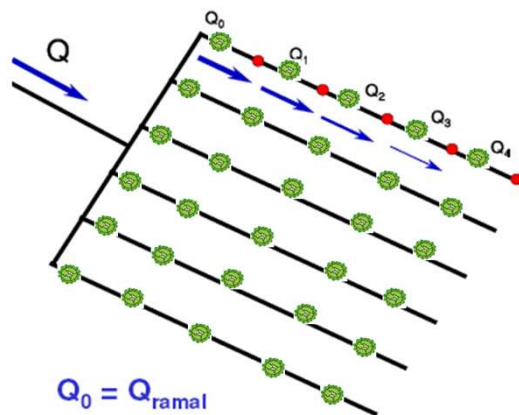
No dimensionamento de sistemas de rega na parcela, consideram-se como uma percentagem da perda de carga continua J.

A percentagem varia de acordo com o nº de singularidades típico de cada sistema.

- Tubos com caudal contínuo: $\Sigma h_s = 0.1 J$
- Sistemas de rega por aspersão: Σh_s entre 0.15 J e 0.2 J
- Sistemas de rega gota-a-gota: Σh_s entre 0.25 J e 0.3 J

Com serviço uniforme no percurso

No *ramal de um sistema de rega sob pressão* o caudal vai diminuindo à medida que vai sendo distribuído pelos emissores.



Existem dois métodos de cálculo das perdas de carga por fricção:

- Troço a troço (mais preciso e trabalhoso) <= aspersão
- Factor F de Christiansen (mais prático – mais empírico) <= localizada

método troço a troço para o cálculo das perdas de carga contínuas:

$$j = \left(\frac{v}{0.849 C_{HW} R^{0.63}} \right)^{1.852}$$

20% J

$$|h_{ER} - h_{SR}| \leq 0.2 \text{ ha}$$

Quadro 3. Cálculo das perdas de carga nas rampas do setor 1

Rampa 1

Troço	L (m)	Q(m ³ s ⁻¹)	D (m)*	v (m s ⁻¹)	R (m)	j (m m ⁻¹)	J (m)	hs (m)	ΔH (m)
1	12	0.00144	0.0440	0.9	0.011	0.022	0.264	0.053	0.317
2	12	0.00125	0.0352	1.3	0.009	0.050	0.600	0.120	0.720
3	12	0.00105	0.0352	1.1	0.009	0.037	0.440	0.088	0.529
4	12	0.00086	0.0352	0.9	0.009	0.025	0.304	0.061	0.364
5	12	0.00067	0.0352	0.7	0.009	0.016	0.191	0.038	0.229
6	12	0.00048	0.0352	0.5	0.009	0.009	0.102	0.020	0.123
7	12	0.00029	0.0274	0.5	0.007	0.011	0.135	0.027	0.161
8	12	0.00019	0.0204	0.6	0.005	0.022	0.267	0.053	0.321
Ltot (m)	96								2.763
								0.2	

*Catálogo PEAD PN10

porque é para enterrar

Área Disciplinar Eng. Rural

verificação da regra dos 20 %

$$h_{ER} = h_a + 3/4 \Delta H + 1/2 \Delta N + h_c$$

$$h_{SR} = h_{ER} - \Delta H - \Delta N - h_c$$

$$\Delta H = 2.76 \text{ m}$$

$$\Delta N = -0.38 \text{ m}$$

$$h_c = 3 \text{ m}$$

$$h_{ER} = 34.9 \text{ m}$$

$$h_{SR} = 29.5 \text{ m}$$

$$|h_{ER} - h_{SR}| = 5.4$$

$$20 \% h_{catál} = 6.0 \text{ OK!}$$

$$j = \left(\frac{v}{0.849 C_{HW} R^{0.63}} \right)^{1.852}$$

20% J

Quadro 3 (continuação). Cálculo das perdas de carga nas rampas do setor 1

Rampas 2 - 10

Troço	L (m)	Q(m ³ s ⁻¹)	D (m)*	v (m s ⁻¹)	R (m)	j (m m ⁻¹)	J (m)	hs (m)	ΔH (m)
1	12	0.002875	0.0554	1.2	0.014	0.026	0.310	0.062	0.372
2	12	0.00249	0.0554	1.0	0.014	0.020	0.238	0.048	0.285
3	12	0.00211	0.0554	0.9	0.014	0.015	0.175	0.035	0.210
4	12	0.00173	0.0554	0.7	0.014	0.010	0.120	0.024	0.144
5	12	0.00134	0.0554	0.6	0.014	0.006	0.076	0.015	0.091
6	12	0.00096	0.0470	0.6	0.012	0.008	0.090	0.018	0.108
7	12	0.00058	0.0376	0.5	0.009	0.009	0.104	0.021	0.125
8	12	0.00038	0.0204	1.2	0.005	0.080	0.964	0.193	1.157
Ltot (m)	96								2.492
								0.2	

*Catálogo PEAD PN10

porque é para enterrar

Área Disciplinar Eng. Rural

verificação da regra dos 20 %

$$h_{ER} = h_a + 3/4 \Delta H + 1/2 \Delta N + h_c$$

$$h_{SR} = h_{ER} - \Delta H - \Delta N - h_c$$

$$\Delta H = 2.492 \text{ m}$$

$$\Delta N = -0.38 \text{ m}$$

$$h_c = 3 \text{ m}$$

$$h_{ER} = 34.7 \text{ m}$$

$$h_{SR} = 29.6 \text{ m}$$

$$|h_{ER} - h_{SR}| = 5.1$$

$$20 \% h_{catál} = 6.0 \text{ OK!}$$

Quadro 4. Pressões necessárias à entrada e correspondentes pressões à saída do setor 1 (repetir para todos os setores)

Sector/rampa	h_{ER} (m)	h_{SR} (m)	Variação de pressão (m)	20%ha (m)
1/1	34.9	29.5	5.4	6.0
1/2	34.7	29.6	5.1	6.0
1/3	34.7	29.6	5.1	6.0
1/4	34.7	29.6	5.1	6.0
1/5	34.7	29.6	5.1	6.0
1/6	34.7	29.6	5.1	6.0
1/7	34.7	29.6	5.1	6.0
1/8	34.7	29.6	5.1	6.0
1/9	34.7	29.6	5.1	6.0

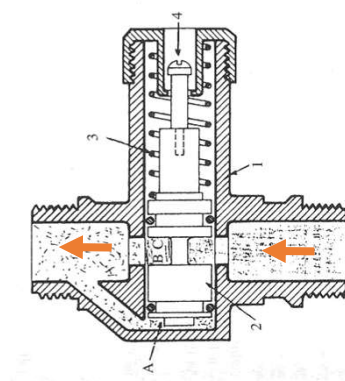
Se a variação da pressão for maior que 20 % da ha:

- Alterar diâmetros das rampas (para alterar as perdas de carga), ou
- Alterar layout (para alterar os declives), ou
- Colocar redutores de pressão na base dos aspersores.

Área Disciplinar Eng. Rural

Os reguladores de pressão são equipamentos que mantêm a pressão da água dentro de um estreito intervalo de valores.

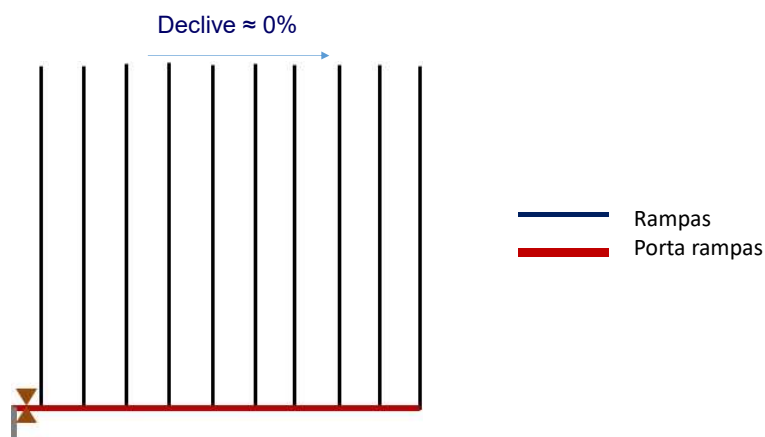
Quando a pressão a montante do regulador é muito elevada, ela é transmitida instantaneamente para jusante actuando sobre o obturador que fecha parcialmente aumentando a perda de carga e, consequentemente, diminuindo a pressão até ao valor para o qual o equipamento está regulado.



Área Disciplinar Eng. Rural

2. Porta Rampas

- Desenvolvem-se desde os cabeçais de válvulas de setor até ao lado oposto do sector; Apresentam sempre traçados transversais aos ramais que abastecem;
- São geralmente enterrados, deles saindo troços ascendentes de conduta que abastecem o sistema à superfície;
- PVC ou PE (acima dos 90 mm – muito dispendioso)



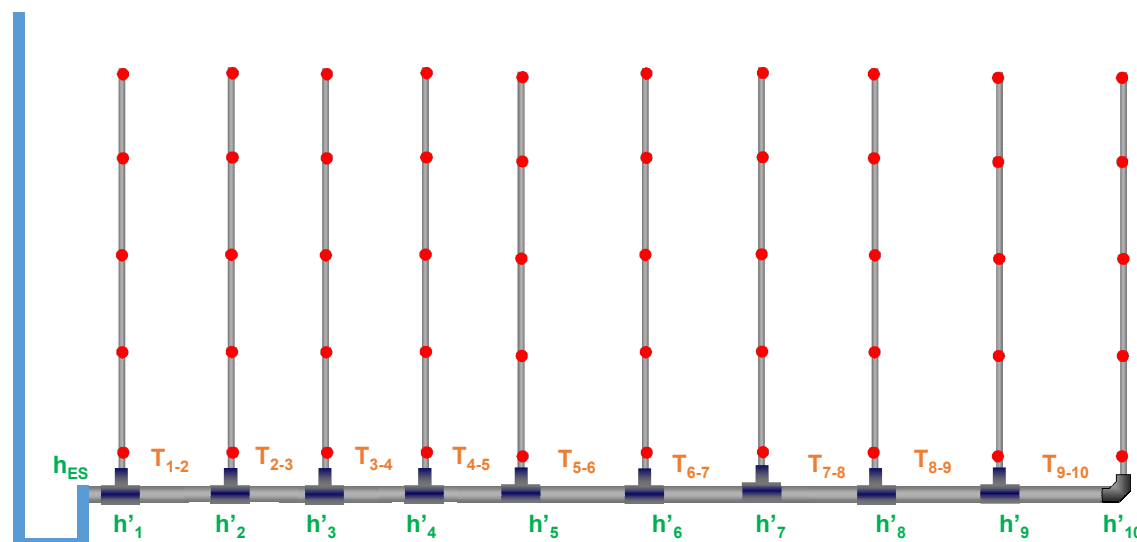
Área Disciplinar Eng. Rural

Algumas regras para o dimensionamento de condutas que alimentam as rampas

- A conduta é dimensionada para a situação mais desfavorável – ramal que exige maior pressão e maior caudal à entrada;
- A conduta pode apresentar diâmetros decrescentes, uma vez que o caudal a transportar vai diminuindo;
- O cálculo dos diâmetros deve garantir a pressão necessária à entrada de cada rampa (h_{ER}), já calculada;
- Caso não se justifique a utilização de diâmetros diferentes nestes troços de pequeno comprimento, dimensiona-se a conduta para a rampa mais desfavorável (com um só diâmetro) e colocam-se reguladores de pressão à entrada das restantes rampas.

Área Disciplinar Eng. Rural

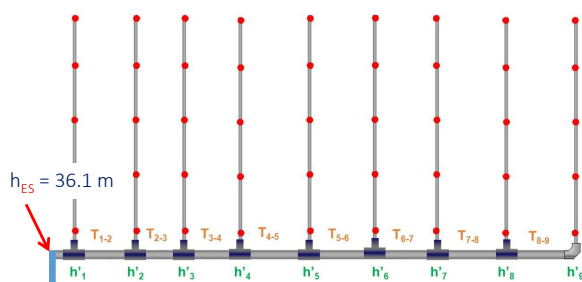
i. Cálculo do diâmetro do porta rampas para a velocidade de 1.5 m s^{-1}



Os h' calculados para o porta rampas devem ser maiores ou iguais que os h_{ER} calculados para as rampas no passo anterior

Área Disciplinar Eng. Rural

ii. Optimização do diâmetro dos diferentes troços



Neste setor esta é a rampa mais desfavorável pois é a que está mais longe da entrada do setor (tem mais perdas de carga) e porque o declive do porta rampas é nulo. Logo, iniciamos aqui a optimização dos diâmetros do porta rampas

$$h'_9 = h_{ER9} = 34.2 \text{ m}$$

$$h'_8 = h'_9 + \Delta H_{(8-9)} + \Delta N_{(8-9)} \geq h_{ER8} ?$$

$$h'_7 = h'_8 + \Delta H_{(5-6)} + \Delta N_{(5-6)} \geq h_{ER9} ?$$

$$h'_0 = h'_1 + \Delta H_{(0-1)} + \Delta N_{(0-1)} = h_{ES}$$

Quadro 5. Dimensionamento do porta rampas do setor 1 (repetir para todos os setores)

Troço	L	Q (m3/s)	D (m)	v (m s ⁻¹)	R (m)	j	J	hs	ΔH	DN	h _{ER10}
											h'ER
'9-10	12	0.00326	0.079	0.7	0.0198	0.00579	0.07	0.01389	0.08	0.00	34.8
'8-9	12	0.0065	0.079	1.3	0.0198	0.02063	0.25	0.04951	0.30	0.00	35.1
'7-8	12	0.0098	0.097	1.3	0.0242	0.01645	0.20	0.03947	0.24	0.00	35.3
'6-7	12	0.0130	0.123	1.1	0.0309	0.00859	0.10	0.02061	0.12	0.00	35.4
'5-6	12	0.0163	0.141	1.0	0.0353	0.00678	0.08	0.01628	0.10	0.00	35.5
'4-5	12	0.0196	0.141	1.3	0.0353	0.00951	0.11	0.02282	0.14	0.00	35.7
'3-4	12	0.0228	0.159	1.2	0.0397	0.00713	0.09	0.01712	0.10	0.00	35.8
'2-3	12	0.0261	0.159	1.3	0.0397	0.00913	0.11	0.02192	0.13	0.00	35.9
'1-2	12	0.0293	0.159	1.5	0.0397	0.01136	0.14	0.02726	0.16	0.00	36.1
'0-1	1	0.0310	0.159	1.6	0.0397	0.01255	0.01	0.00251	0.02	0.00	36.1
								0.2			

Pressão com que a água tem que entrar no setor 1

- Se os h não forem superiores ou iguais aos h_{ER} altera-se o diâmetro do troço entre rampas;
- Se os h forem muito superiores aos h_{ER} , coloca-se um regulador de pressão à entrada da rampa.

Área Disciplinar Eng. Rural

Determina-se assim a pressão necessária à entrada de cada sector

Quadro 6. Pressão necessária à entrada de cada sector

Sector	h_{ES} (m)
1	36.1
2	
3	
4	
5	
6	

Área Disciplinar Eng. Rural

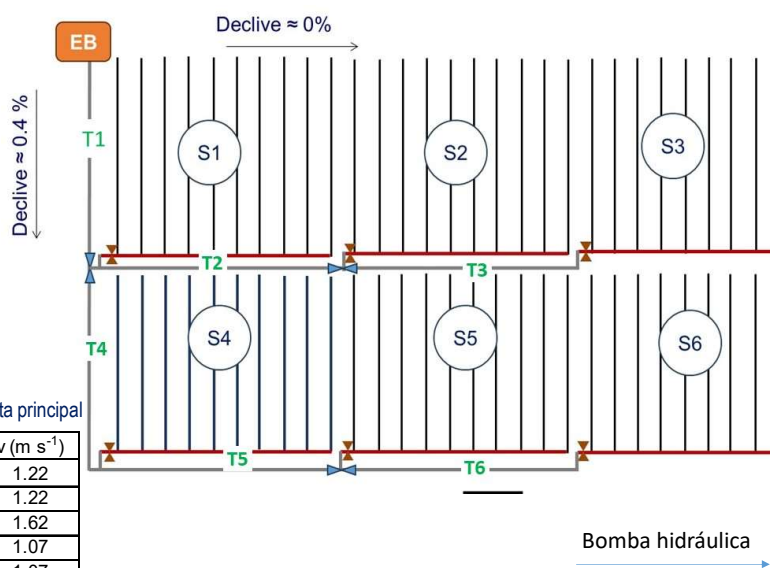
CONDUTAS PRINCIPAIS

- Conduzem a água desde a origem até aos cabeçais dos sectores;
- Geralmente são em PVC;

Sector	Q_s ($m^3 h^{-1}$)
1	111.4
2	117.3
3	100.1
4	98.0
5	103.5
6	87.6
Totais	617.9

Quadro 7. Otimização dos diâmetros da conduta principal

Troço	L (m)	Q ($m^3 h^{-1}$)	D (m)	v ($m s^{-1}$)
T1	210	117.3	184.6	1.22
T2	132	117.3	184.6	1.22
T3	132	100.1	147.7	1.62
T4	210	103.5	184.6	1.07
T5	132	103.5	184.6	1.07
T6	132	86.7	147.7	1.41



Área Disciplinar Eng. Rural

Ao contrário das rampa e porta rampas, as **condutas principais** não têm serviço uniforme do percurso, mas sim, **caudal contínuo**

$$Q_{SMC} = A_{CP} \times 1.5$$

catálogo

Diâmetro interno comercial e verificação da velocidade

Caudal do setor que, por ter mais aspersores do que os outros, é o que necessita de maior caudal

Cálculo das perdas de carga na conduta principal (Hazen-Williams)

Área Disciplinar Eng. Rural

O passo seguinte consiste no dimensionamento da bomba, que é feito para o sector mais **desfavorável, que é aquele que necessita de maior altura manométrica**

- Cálculo da Hmt (m) para todos os setores (**apresentar no trabalho**);
- Com base na maior Hmt, seleção da bomba em catálogo (H, Q, P, η);
- Verificação da cavitação (NPSH)

E. Bernoulli entre a superfície de água no reservatório de origem e a secção de entrada do sector onde a pressão é a h_{ES}

Não é obrigatório fazer no trabalho

Diferença de cotas em relação à cota da água no poço/charca

Quadro 8. Determinação da altura manométrica (Hmt) de todos os sectores

Sector	Troços	HES	Q (m ³ s ⁻¹)	D	v (m s ⁻¹)	R (m)	j (m m ⁻¹)	L (m)	J (m)	hs (m)	ΔH (m)	Cota entrada	ΔN	Hmt
1	T1	36.1	0.0310	184.6	1.16	0.0462	0.00599	210	1.26	0.12597	1.38	118.4	3.40	40.95
	T1		0.0326	184.6	1.22	0.0462	0.00659	210	1.38	0.13841	1.52			
	T2		0.0326	184.6	1.22	0.0462	0.00659	132	0.87	0.08700	0.96			
2	Total	37.0								2.48		118.4	3.40	42.88
	T1		0.0278	184.6	1.04	0.0462	0.00491	210	1.03	0.10310	1.13			
	T2		0.0278	184.6	1.04	0.0462	0.00491	132	0.65	0.06480	0.71			
	T3		0.0278	147.7	1.62	0.0369	0.01455	132	1.92	0.19200	2.11			
3	Total	35.8								3.96		118.4	3.4	43.16
	T1		0.0272	184.6	1.02	0.0462	0.00472	210	0.99	0.09918	1.09			
	T4		0.0272	184.6	1.02	0.0462	0.00472	210	0.99	0.09918	1.09			
4	Total	35.0								2.18		115.8	0.80	37.98
	T1		0.0288	184.6	1.07	0.0462	0.00523	210	1.10	0.10978	1.21			
	T4		0.0288	184.6	1.07	0.0462	0.00523	210	1.10	0.10978	1.21			
	T5		0.0288	184.6	1.07	0.0462	0.00523	132	0.69	0.06900	0.76			
5	Total	37.0								3.17		118.8	3.80	43.97
	T1		0.0243	184.6	0.91	0.0462	0.00384	210	0.81	0.08066	0.89			
	T4		0.0243	184.6	0.91	0.0462	0.00384	210	0.81	0.08066	0.89			
	T5		0.0243	184.6	0.91	0.0462	0.00384	132	0.51	0.05070	0.56			
	T6		0.0243	147.7	1.42	0.0369	0.01138	132	1.50	0.15021	1.65			
6	Total	35.0								3.98		118.8	3.80	42.78

$$Z_0 + \frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} = Z_{ES1} + \frac{v_{ES1}^2}{2g} + \frac{p_{ES1}}{\gamma} + \Delta H_{CP} - Hmt$$

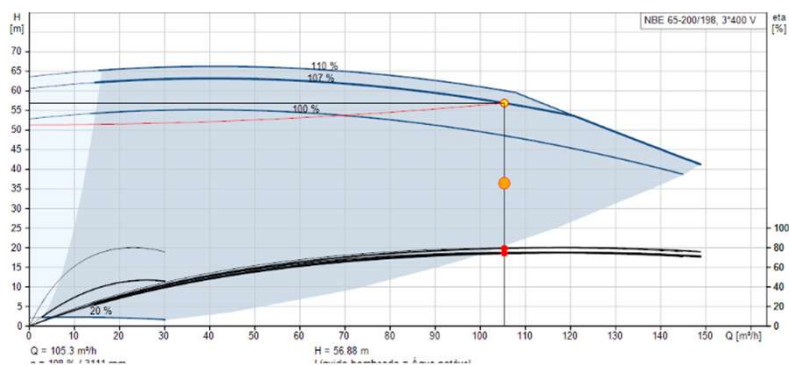
A secção 0 é a superfície da água no poço

Distância entre a origem da água e a entrada de cada setor

Cota da entrada do setor

Área Disciplinar Eng. Rural

<https://product-selection.grundfos.com/pt>



Área Disciplinar Eng. Rural

Bibliografia:

- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). Sprinkle and trickle irrigation. New Jersey. *The blackburn Press*.
- Oliveira, I. (1993). Técnicas de Regadio. Teoria e Prática. *Edição de autor*. ISBN: 978-989-20-2692-3.
- Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (1995). El riego por aspersión y su tecnología. *Madri: Mundi-Prensa*.

Área Disciplinar Eng. Rural

62/64