



PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

Patricia Angélica Alves Marques
ESALQ/USP

Dados do PROJETO

Área da parcela:
21,6 ha (540 x 400m)

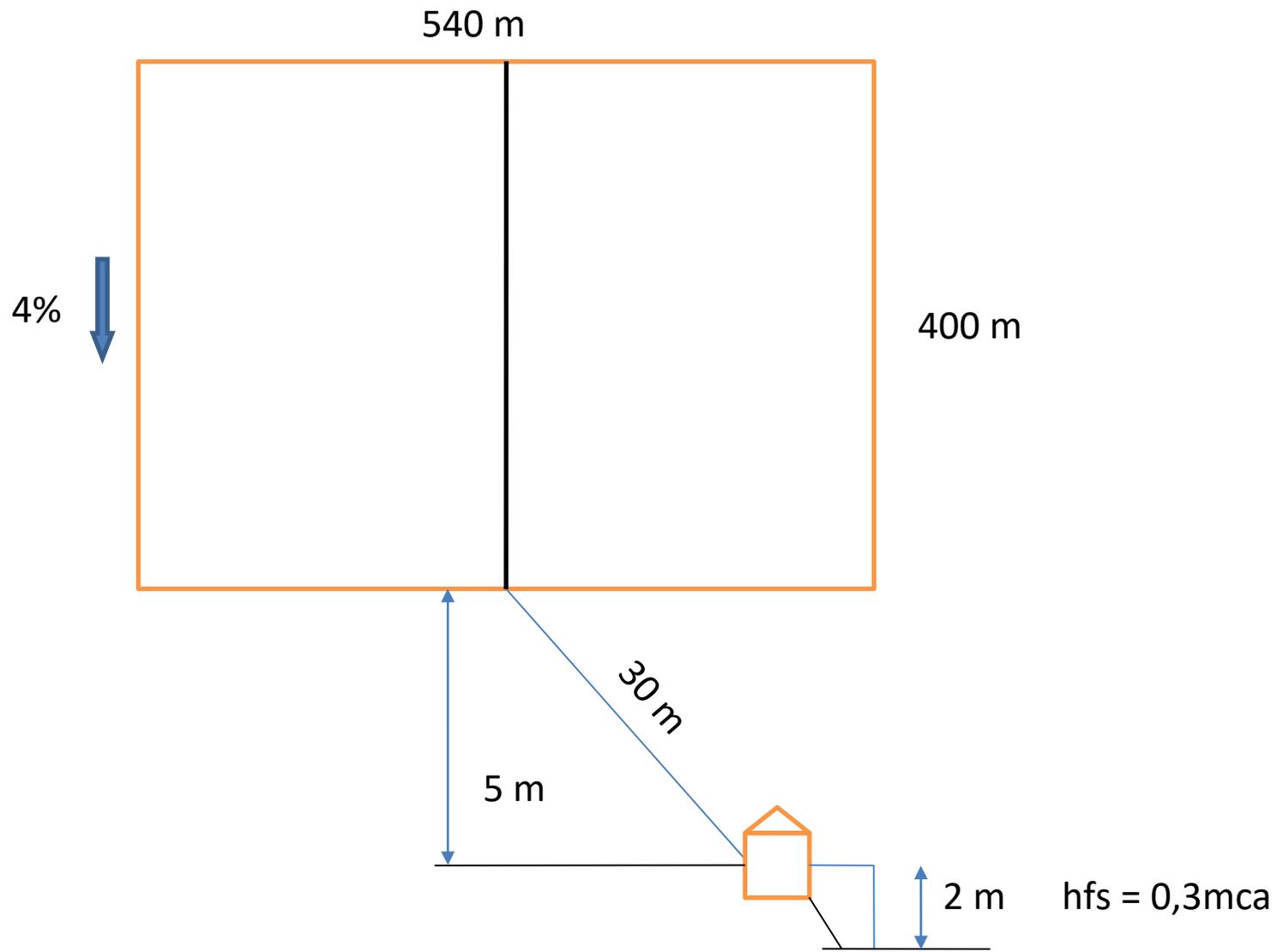
alfafa:
 $z = 40\text{cm}$; $f = 0,5$ e
 $k_c \text{ crítico} = 1,0$

Solo:
 $U_{cc} = 32\%$;
 $U_{pmp} = 16\%$;
 $d_s = 1,2 \text{ g/cm}^3$;
 $VIB = 10,0 \text{ mm/h}$

Sistema de irrigação:
Aspersão convencional
 $E_a = 80\%$
Rendimento do
conjunto MB = $\eta = 60\%$

Jornada de trabalho:
12h/dia

Clima:
 $E_{to} \text{ máx} = 4,5 \text{ mm/dia}$



Passo 1) Seleção dos emissores

- cultura: Intensidade de aplicação (I_a) e tamanho das gotas sejam compatíveis com a sensibilidade das culturas.
 - flores e hortaliças $I_a < 10$ mm/h e boa pulverização do jato
 - grãos (feijão, milho, trigo) $I_a < 20$ mm/h e média pulverização
- Econômica: $>$ espaçamento $<$ custo com mão-de-obra
 $>$ pressão $>$ gasto com energia e $>$ hf permitida
- Solo: maior raio de alcance e máxima I_a desde que $I_a \leq VIB$

Utilizaremos Agropolo NY 30



Características Operacionais do Aspersion Agropolo NY 30

NY 30 ER - Eixo em Nylon

NY 30 ERL - Eixo em Latão

BOCAIS DIÂMETRO NOMINAL	CÓDIGO	PRESSÃO	DIÂMETRO ALCANCE	ALTURA MÁXIMA DO JATO	VAZÃO	ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES (m)									
						6X12	12X12	12X18	18X18	18X24					
(mm)		(mca)	(m)	(m)	(m ³ /h)	INTENSIDADE DE APLICAÇÃO (mm/h)									
 0 X 4,60		30	21,20	2,20	1,25										
	 3027 - ER	35	21,20	2,30	1,35										
		40	21,20	2,40	1,44										
		4491 - ERL	45	21,00	2,40						1,53				
Tampão Preto															
 4,00 x 4,60		20	26,80	3,50	1,79										
	 4488 - ER	25	27,00	3,70	2,00										
		30	27,20	3,90	2,19										
		4503 - ERL	35	27,60	4,10						2,34				
		40	28,00	4,30	2,53										
Curto Vermelho	45	28,00	4,40	2,68											
 5,00 x 4,60		20	29,40	3,50	2,17										
	 2822 - ER	25	31,00	3,70	2,43										
		30	31,80	4,00	2,66										
		2851 - ERL	35	32,40	4,10	2,87									
		40	32,40	4,30	3,07										
Longo Verde	45	32,40	4,40	3,26											
 6,20 x 4,60		20	30,40	3,50	2,88										
	 2835 - ER	25	31,60	3,80	3,22										
		30	33,40	4,00	3,53										
		2864 - ERL	35	35,20	4,20	3,81									
		40	36,00	4,50	4,07										
		Longo Vermelho	45	36,80	4,60	4,32									
 7,10 x 4,60		20	31,00	3,50	3,27										
	 2848 - ER	25	32,00	3,80	3,66										
		30	34,00	4,10	4,01										
		2877 - ERL	35	36,00	4,30	4,33									
		40	37,20	4,60	4,63										
		Longo Azul	45	38,40	4,60	4,91									



**Aspersores
Agropolo NY 30**

Obs: Dados obtidos em ensaios realizados pelo método radial

Características Operacionais do Aspersor Agropolo NY 30

NY 30 ER - Eixo em Nylon

NY 30 ERL - Eixo em Latão

BOCAIS DIÂMETRO NOMINAL	CÓDIGO	PRESSÃO	DIÂMETRO ALCANCE	ALTURA MÁXIMA DO JATO	VAZÃO	ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES (m)				
						6X12	12X12	12X18	18X18	18X24
(mm)		(mca)	(m)	(m)	(m ³ /h)	INTENSIDADE DE APLICAÇÃO (mm/h)				
6,20 x 4,60		20	30,40	3,50	2,88	(A large blue rectangular area covers the application intensity data for all nozzle configurations.)				
		25	31,60	3,80	3,22					
	2835 - ER	30	33,40	4,00	3,53					
	2864 - ERL	35	35,20	4,20	3,81					
		40	36,00	4,50	4,07					
		45	36,80	4,60	4,32					

Longo Vermelho

$$\text{Intensidade de Aplicação (IA)} = \frac{Q \left(\frac{m^3}{h} \right) \cdot 1000}{S (m) \cdot L (m)} = \text{mm/h}$$

Características Operacionais do Aspersor Agropolo NY 30

NY 30 ER - Eixo em Nylon

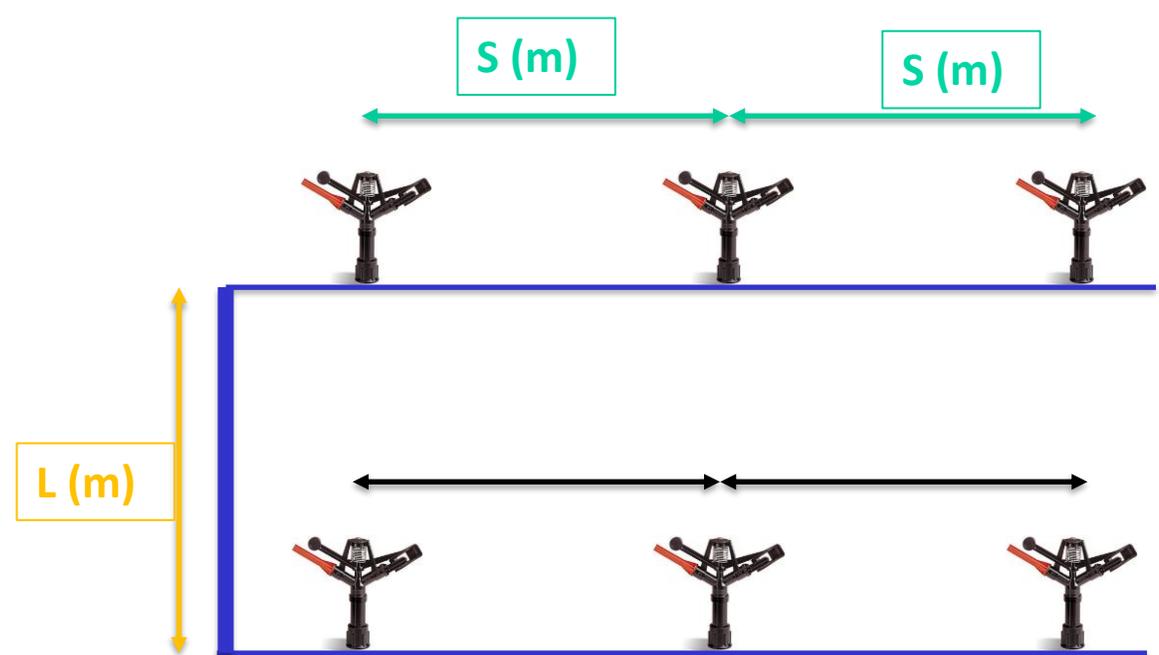
NY 30 ERL - Eixo em Latão

BOCAIS DIÂMETRO NOMINAL	CÓDIGO	PRESSÃO	DIÂMETRO ALCANCE	ALTURA MÁXIMA DO JATO	VAZÃO	ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES (m)				
						6X12	12X12	12X18	18X18	18X24
(mm)		(mca)	(m)	(m)	(m ³ /h)	INTENSIDADE DE APLICAÇÃO (mm/h)				
	2835 - ER 2864 - ERL	20	30,40	3,50	2,88	20,00	13,33	8,89		
		25	31,60	3,80	3,22	22,36	14,91	9,94		
		30	33,40	4,00	3,53	24,51	16,34	10,90		
		35	35,20	4,20	3,81	26,46	17,64	11,76	8,82	
		40	36,00	4,50	4,07		18,84	12,56	9,42	
		45	36,80	4,60	4,32		20,00	13,33		

Longo Vermelho

Diâmetro de alcance = 35,20 m e raio de alcance = 17,6 m e Pressão de Serviço = 35 mca
 Raio efetivo sem vento = 80% do raio = 0,8 . 17,6 m = 14m de raio molhado efetivo

S (m) x L (m)	Ia (mm/h)	
12 x 12	26,46	> 10 mm/h X
12 x 18	17,64	> 10 mm/h X
18 x 18	11,78	> 10 mm/h X
18 x 24	8,82	< 10 mm/h OK
24 x 24	6,61	< 10 mm/h OK >tempo de aplicação



S (espaçamento entre aspersores)

L (espaçamento entre linhas laterais)

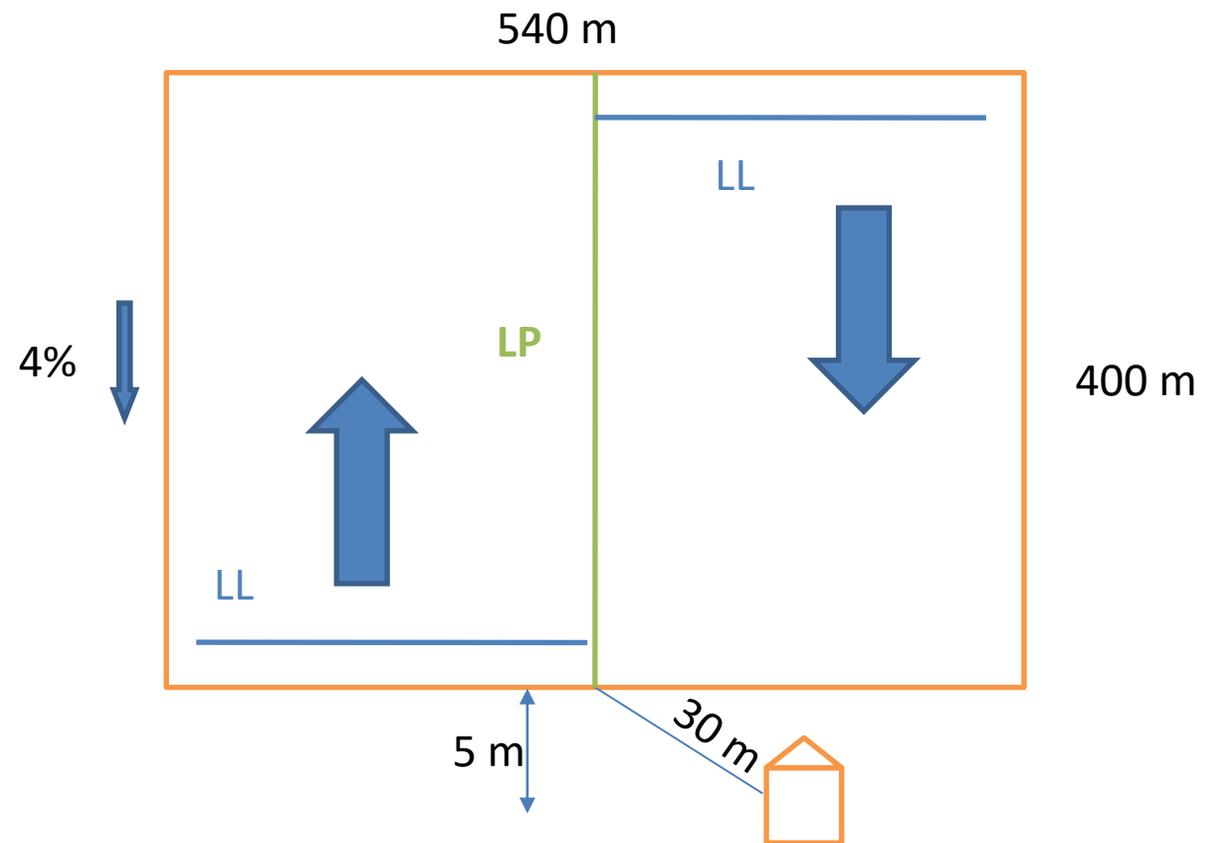
Passo 2) Seleção da tubulação

Aspersão convencional → PVC engate rápido $C = 150$ → barra 6 m

Passo 3) Lay-out prévio

L Máximo LP = 400 m

L máximo LL = $540/2 = 270$ m



Passo 4) $DRA = \frac{U_{cc} - U_{pmp}}{10} \cdot ds \cdot z \cdot f = \frac{32-16}{10} \cdot 1,2 \cdot 40 \cdot 0,5 = 38,4 \text{ mm}$

Passo 5) Turno de Rega (TR) = $\frac{DRA}{ET_m} = \frac{DRA}{E_{To} \cdot kc} = \frac{38,4 \text{ mm}}{4,5 \frac{\text{mm}}{\text{dia}} \cdot 1,0} = 8,53 = 8 \text{ dias}$

Passo 6) Lâmina líquida de irrigação (LL)

$$IRN = LL = E_{tm} \cdot TR = E_{to} \cdot kc \cdot TR \rightarrow LL = 4,5 \frac{\text{mm}}{\text{dia}} \cdot 1,0 \cdot 8 \text{ dias} = 36,0 \text{ mm}$$

Passo 7) Lâmina Bruta de irrigação (LB)

$$LB = \frac{LL}{E_a} = \frac{36 \text{ mm}}{0,8} = 45 \text{ mm}$$

Bombear 45mm par aplicar efetivamente 36 mm na área do sistema radicular

Passo 8) Tempo de irrigação (T_i)

$$T_i \text{ (horas)} = \frac{LB \text{ (mm)}}{I_a \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}} \right)} = \frac{45 \text{ mm}}{8,82 \frac{\text{mm}}{\text{h}}} = 5,10 \text{ horas}$$

Se utilizar linha de espera = 5,10 h

Se não utilizar linha de espera = 5,10 h + 0,5 h para mudança de posição = 5,6h

Utilizaremos linha de espera assim **$T_i = 5,10 \text{ h} = 5 \text{ h}$**

Passo 9) Posições por lateral por dia (PLD)

1 posição	$1 \cdot 5 \text{ h} = 5 \text{ h}$ de jornada
2 posições	$2 \cdot 5 \text{ h} = 10 \text{ h}$ de jornada
3 posições	$3 \cdot 5 \text{ h} = 15 \text{ h}$ de jornada
4 posições	$4 \cdot 5 \text{ h} = 20 \text{ h}$ de jornada

Temos jornada disponível de 12 h/dia

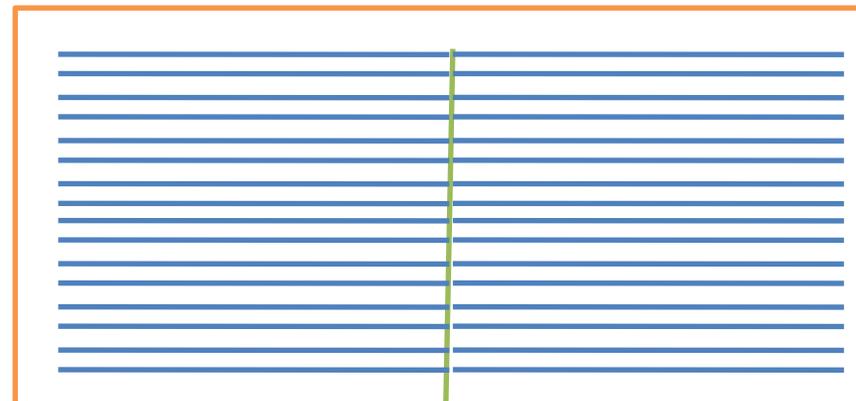
Assim adotado 2 posições por lateral por dia → 10 h de jornada

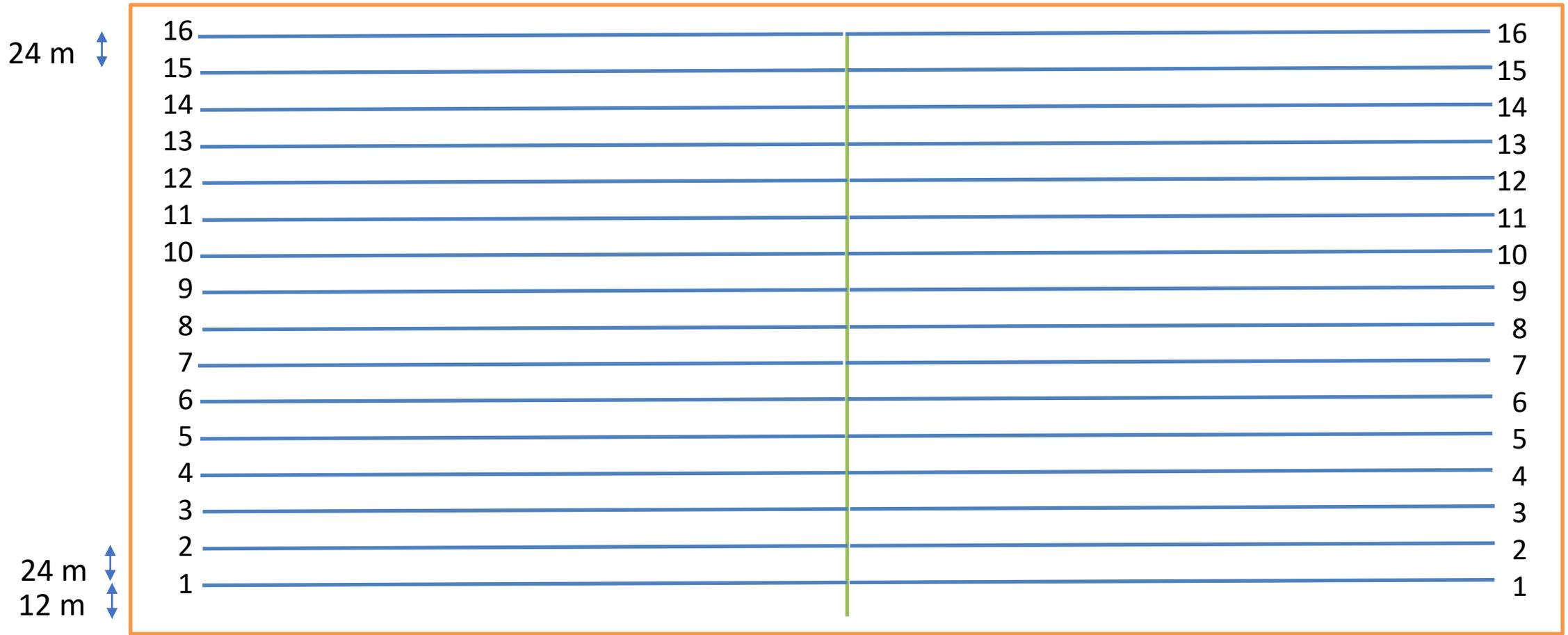
Passo 10) Número de posições a serem irrigadas na área total (NPT)

Lembrando: LP máxima = 400m e L = espaçamento entre LL = 24m

$$\text{NPT} = \frac{\text{LP máxima (m)}}{\text{L (m)}} = \frac{400 \text{ m}}{24 \text{ m}} = 16,6 = 16 \text{ posições}$$

Lembrar que tem LL para os dois lados
assim $\text{NPT} = 2 \cdot 16 = 32$ posições de LL





São 15 espaços de 24 m + 1 espaço de 12 m Assim , $LP = (NP-1) \cdot L (m) + \frac{1}{2} L(m) = 15 \cdot 24 + \frac{1}{2} \cdot 24 = 372 \text{ m}$

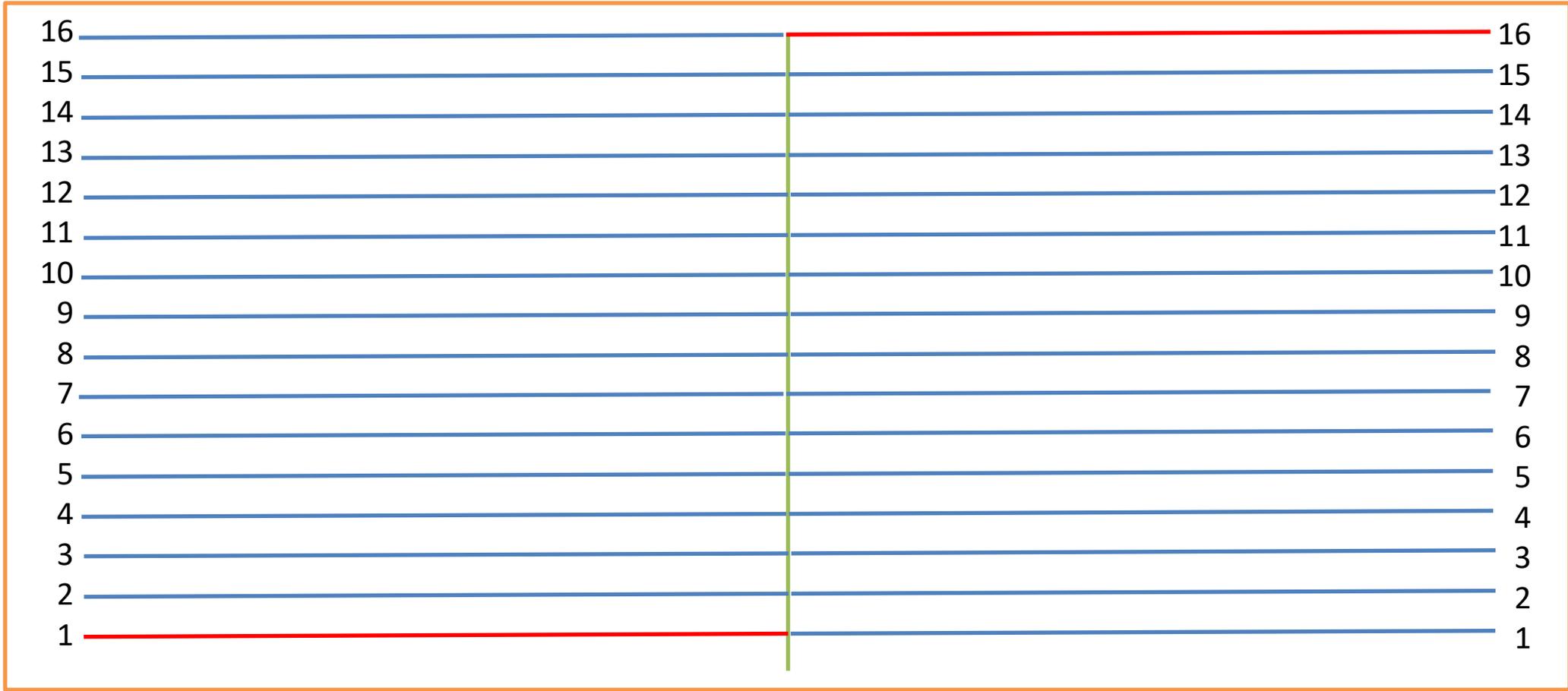
Alcance molhado $\rightarrow 372 \text{ m} + 14 \text{ m} = 386 \text{ m}$

Passo 11) Número de posições a serem irrigadas por dia (NPD)

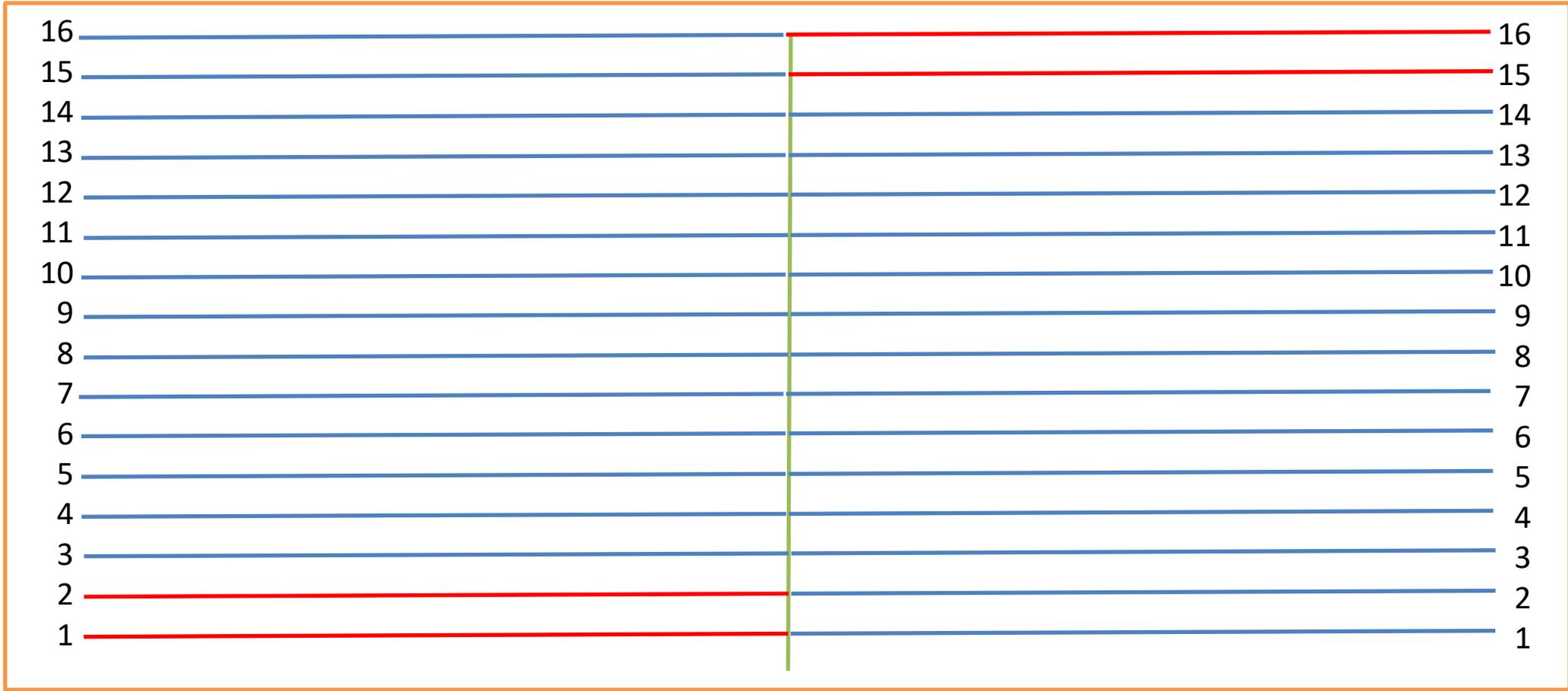
$$\text{NPD} = \frac{\text{NPT}}{\text{TR (dias)}} = \frac{32 \text{ posições}}{8 \text{ dias}} = 4 \text{ posições por lateral/dia}$$

Passo 12) Número LL necessárias simultaneamente (NL)

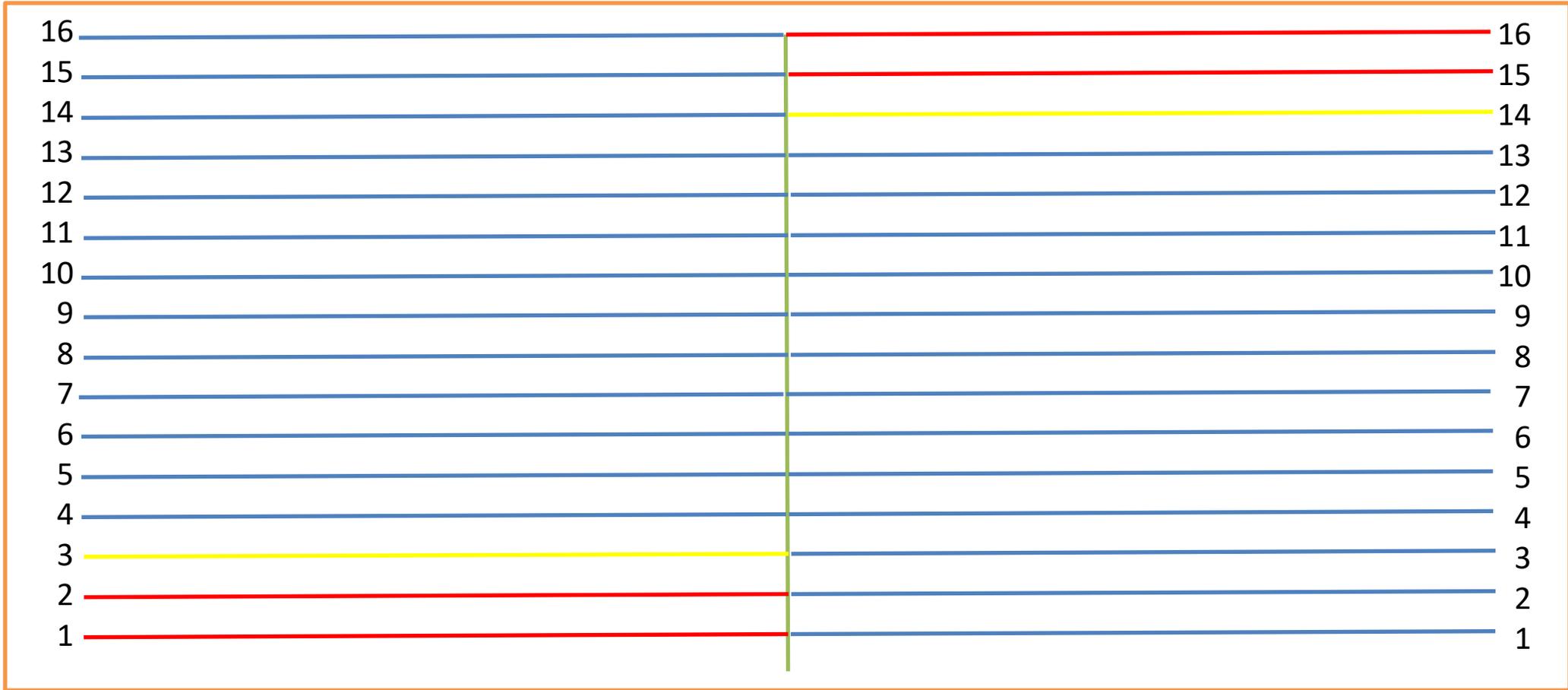
$$\text{NL} = \frac{\text{NPD}}{\text{PLD}} = \frac{4 \text{ posições/dia}}{\frac{2 \text{ posições}}{\text{lateral}} / \text{dia}} = 2 \text{ LL operam simultaneamente}$$



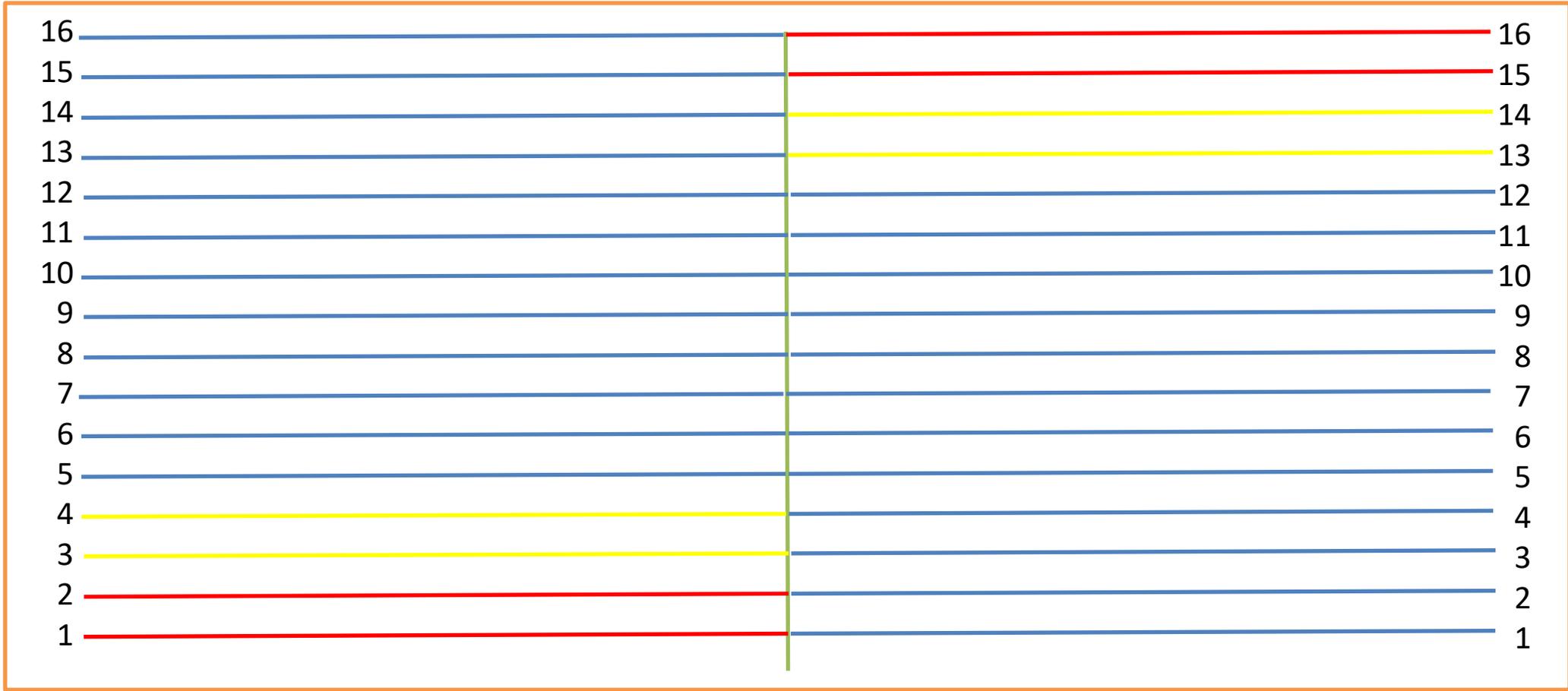
Dia 1



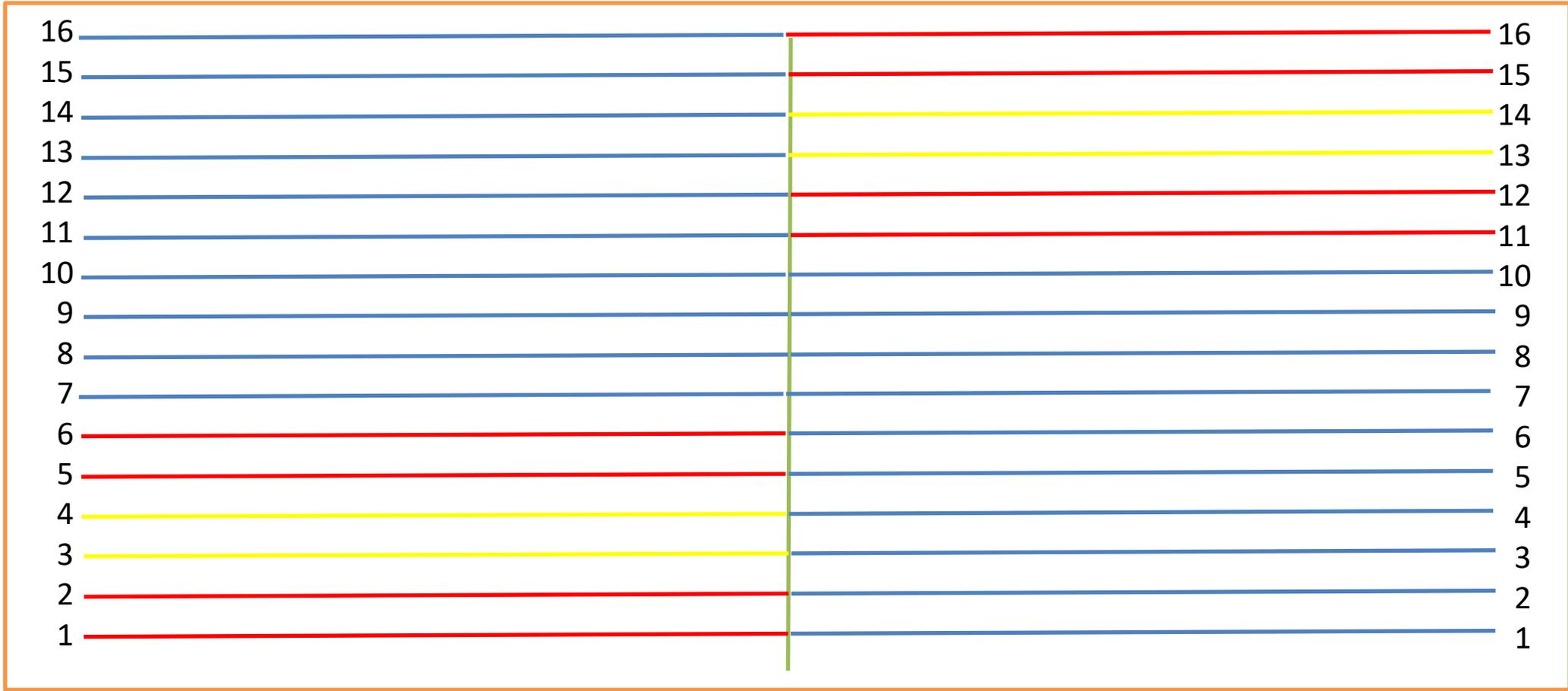
Dia 1



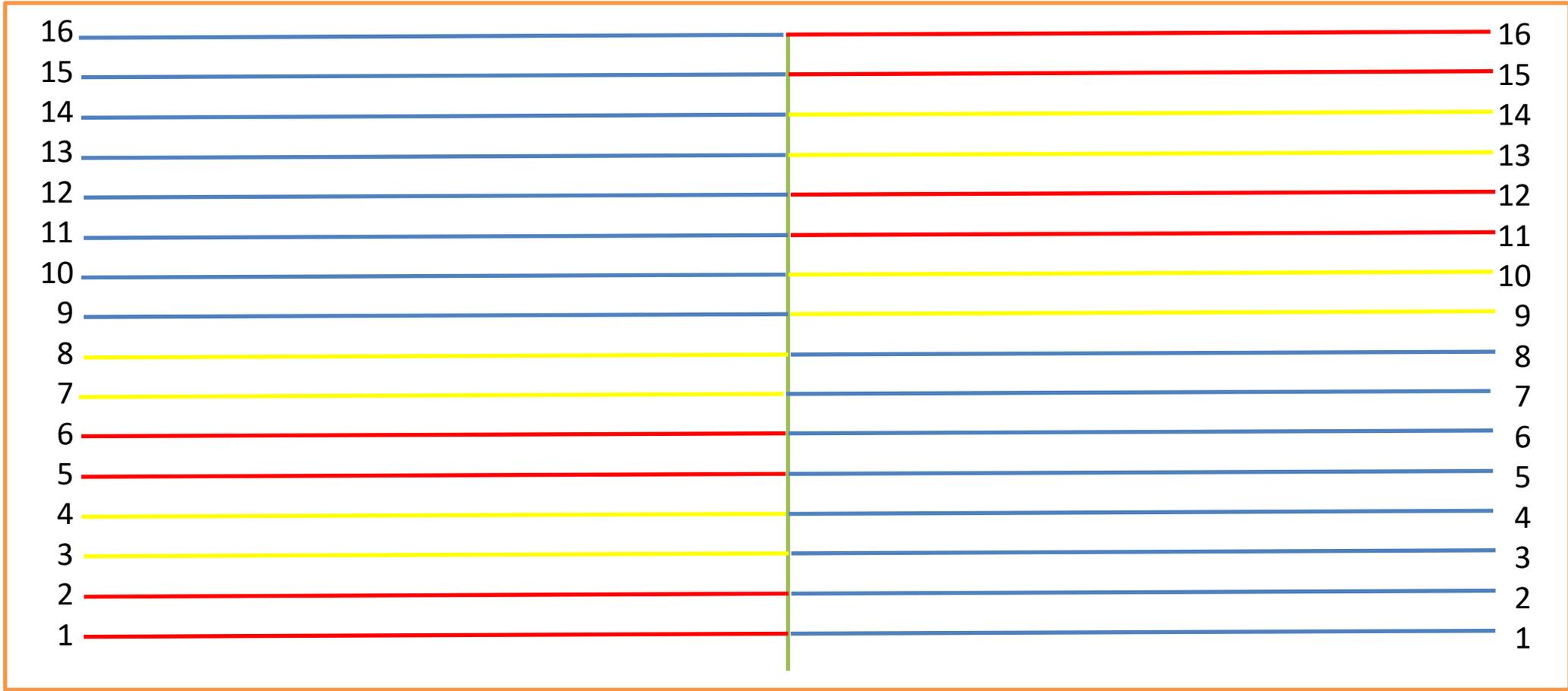
Dia 2



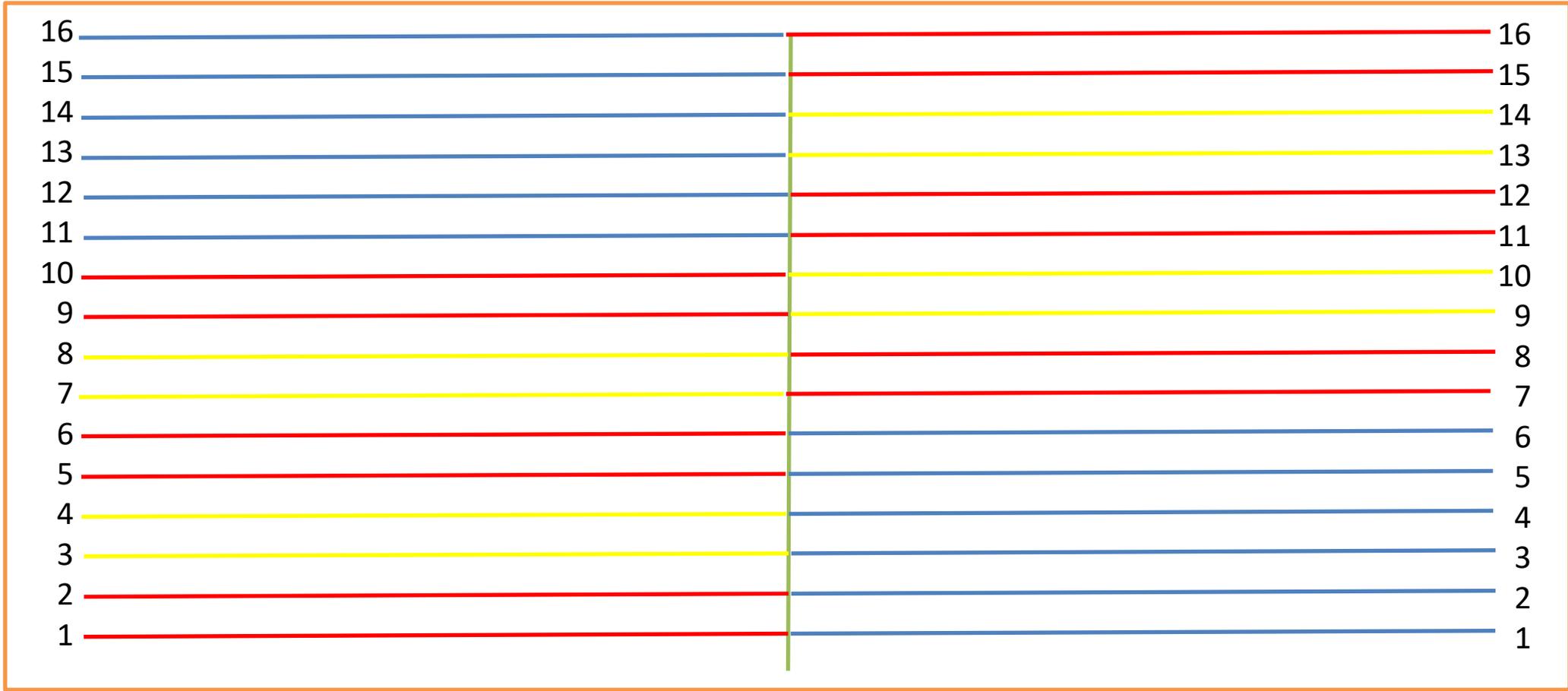
Dia 2



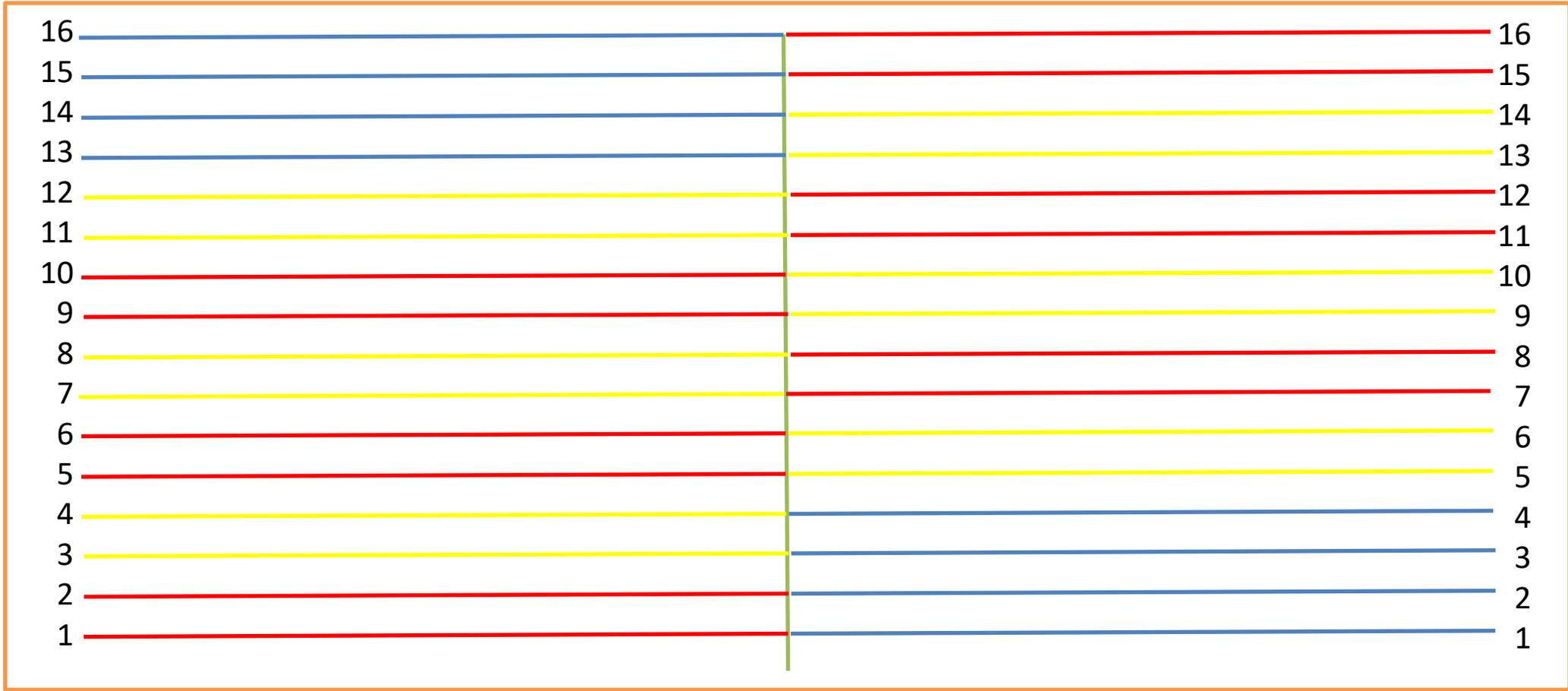
Dia 3



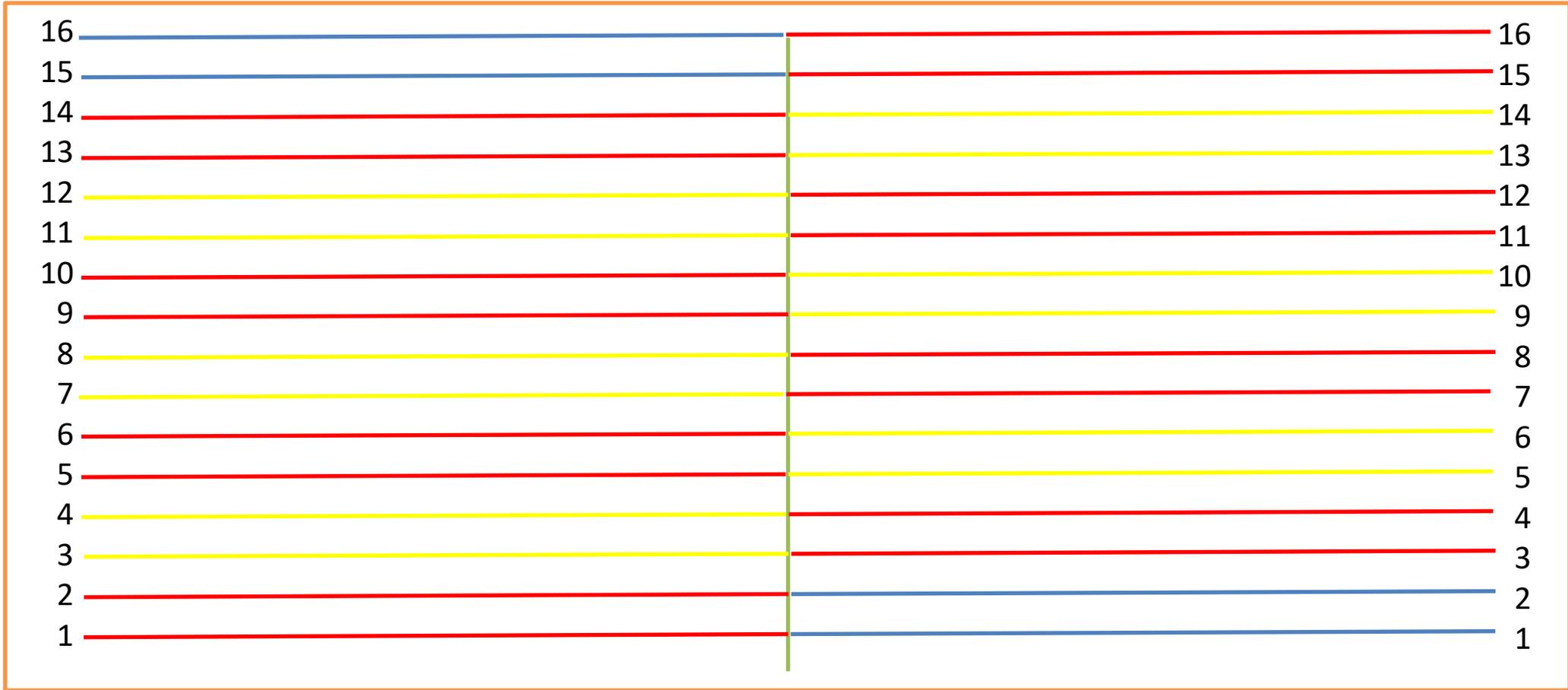
Dia 4



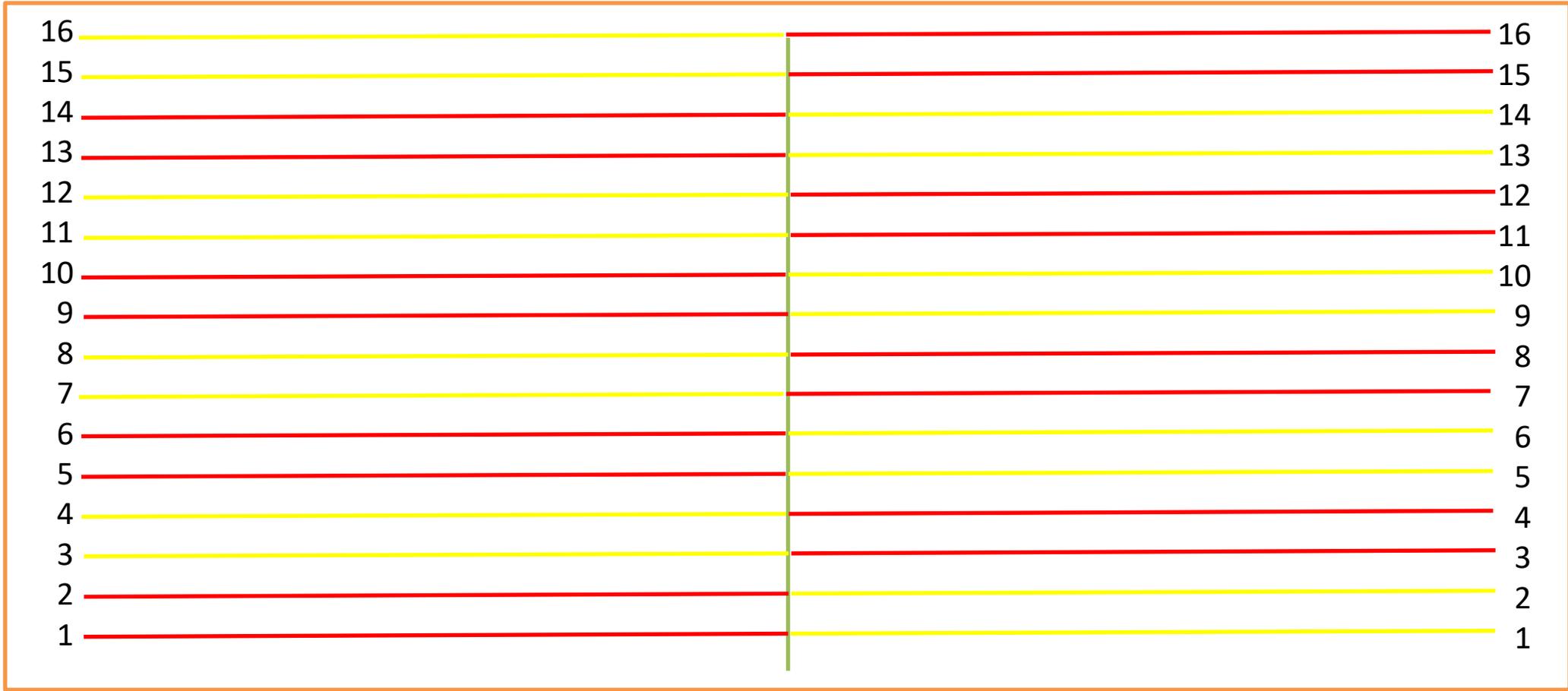
Dia 5



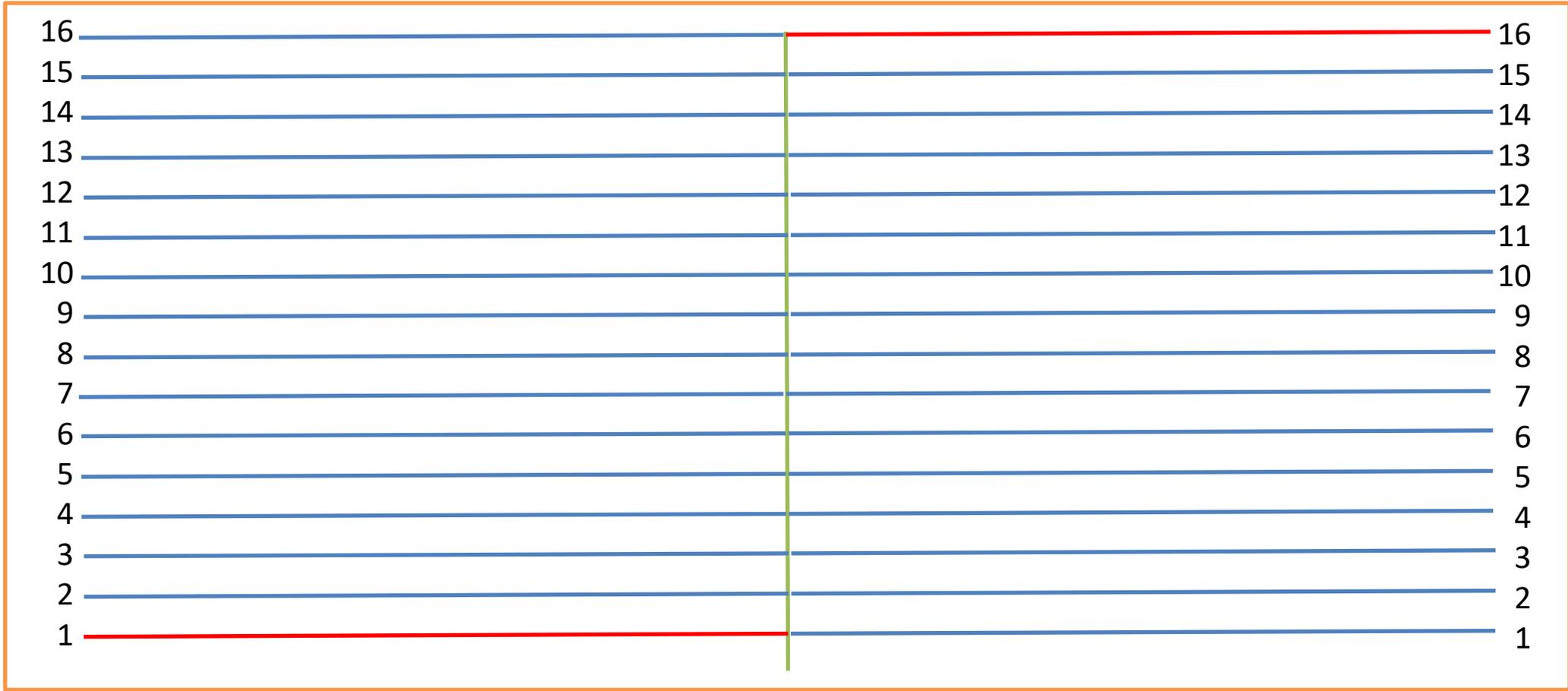
Dia 6



Dia 7



Dia 8

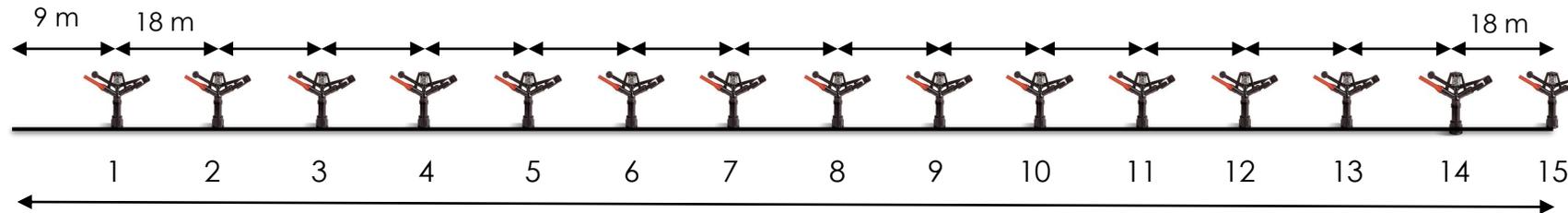


Dia 1

Passo 13) Dimensionamento das linhas laterais

Lembrando: LL máxima = 270 m e espaçamento entre emissores = $S = 18\text{m}$

$$\text{Número de aspersores} = N_e = \frac{\text{LL máxima (m)}}{S \text{ (m)}} = \frac{270 \text{ m}}{18 \text{ m}} = 15 \text{ aspersores}$$



São 14 espaços de 18m + 1 espaço de 9m.

Assim, $LL = (N_e - 1) \cdot S \text{ (m)} + \frac{1}{2} S \text{ (m)} = 14 \cdot 18 + \frac{1}{2} \cdot 18 = 261 \text{ m} < 270 \text{ m OK}$

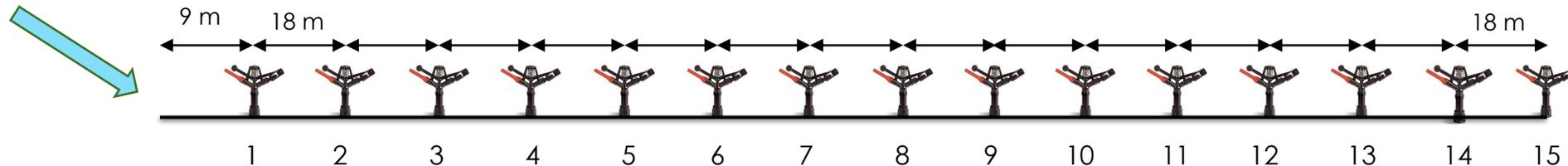
Tubulação 6m. Assim 2 LL: $14 \cdot 18 + 6 = 258 \text{ m}$ de um lado e $14 \cdot 18 + 12 = 264 \text{ m}$ do outro lado
molhado = $258 + 14 = 272 \text{ m}$ molhado = 278 m (550m)

$14 \cdot 18 + 6 = 258$ m de um lado e $14 \cdot 18 + 12 = 264$ m do outro lado

Continuaremos com dimensionamento hidráulico do maior de 264 m

$$\text{Vazão da LL} = \text{QL} = N_e \cdot q_e = 15 \text{ aspersores} \cdot 3,81 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 57,15 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$

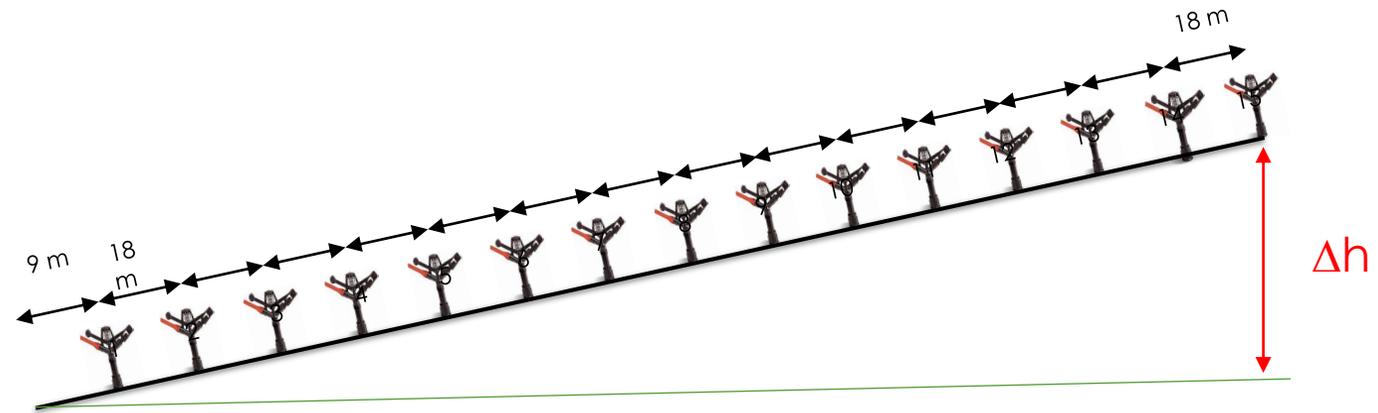
$$\text{QL} = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$



Perda de carga permitida na LL → hf perm

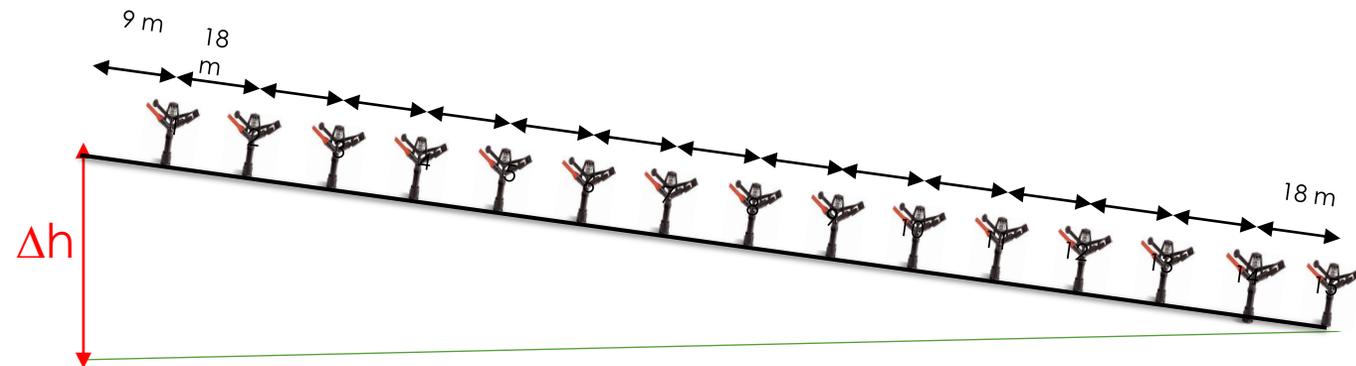
Active

$$H_f \text{ perm} = 20\% \text{ PS} - \Delta h$$



Declive

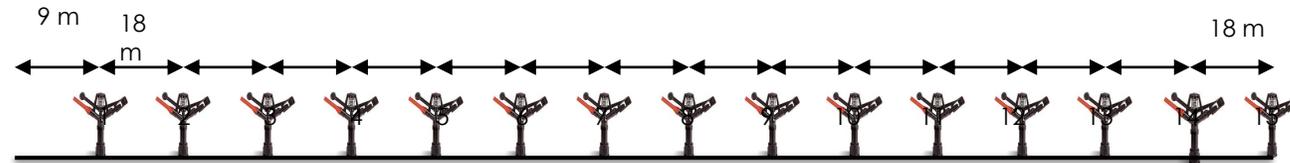
$$H_f \text{ perm} = 20\% \text{ PS} + \Delta h$$



Perda de carga permitida na LL → hf perm

Nível → nosso caso

$$H_f \text{ perm} = 20\% \text{ PS}$$



$$H_f \text{ perm} = 20\% \text{ PS} =$$

$$H_f \text{ perm} = 0,2 \cdot 35 =$$

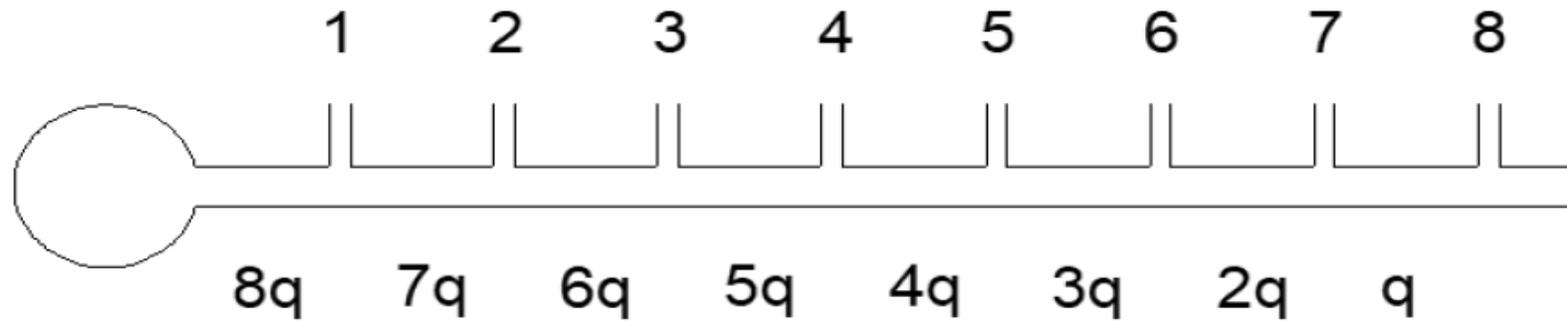
$$H_f \text{ perm} = 7 \text{ mca}$$

Diâmetro de alcance = 35,20 m (raio de alcance = 17,6 m
(Raio efetivo sem vento = 80% do raio = $0,8 \cdot 17,6 \text{ m} = 14 \text{ m}$
de raio molhado efetivo)

Vazão do emissor = $q_e = 3,81 \text{ m}^3/\text{h}$

Pressão de Serviço = 35 mca

- Tubulação com saída única: $Q = \text{cte.} \Rightarrow hf = \text{cte.}$
- Tubulação com múltiplas saídas? $Q = \text{varia} \Rightarrow hf = \text{varia}$



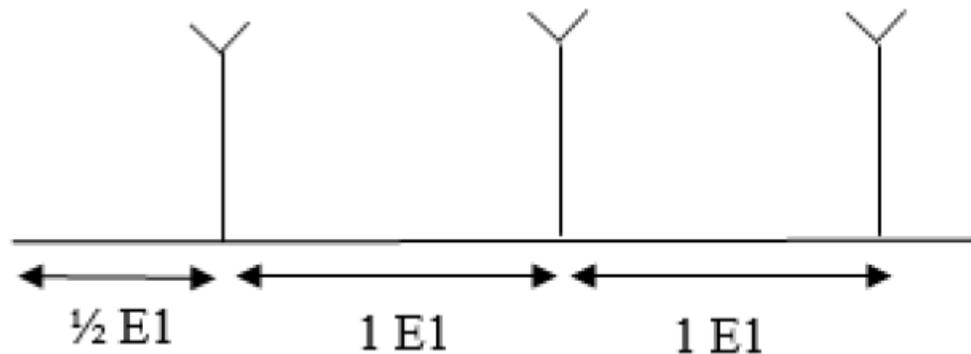
Cálculo de hf:

- Trecho-a-trecho ou uso de um fator de redução de hf para múltiplas saídas de água (F)

-Calcular hf como se a tubulação tivesse apenas uma saída (Q cte.)

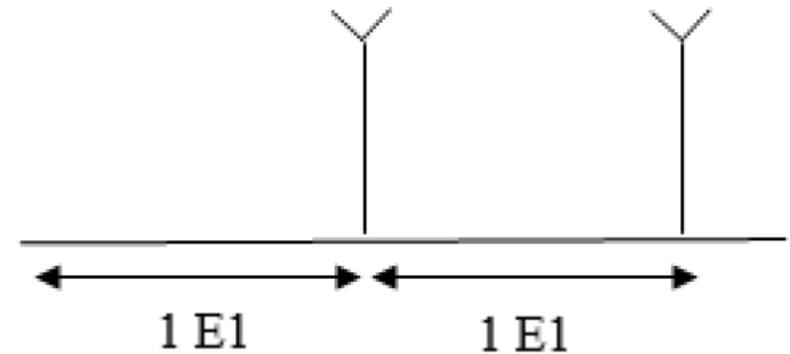
Corrigir pelo **fator F**

Primeira saída a $\frac{1}{2}$ espaçamento (E1)



$$F = \frac{2N}{2N - 1} \cdot \left[\left(\frac{1}{m + 1} \right) + \frac{\sqrt{(m - 1)}}{6N^2} \right]$$

Primeira saída a 1 espaçamento (E1)



$$F = \left(\frac{1}{m + 1} \right) + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{(m - 1)}}{6N^2}$$

Nossos dados:

- pressão de serviço do aspersor = PS = 35 mca;
- perda de carga máxima permitida = 20% PS = 7 mca;
- material do tubo = PVC (C=150) e utilizaremos Hazen-Williams (m= 1,852)
- declividade = em nível, primeira saída a 1/2 espaçamento e L = 264 m

Solução:

$$F = \frac{2N}{2N-1} \cdot \left[\frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2} \right] = \frac{2 \cdot 15}{2 \cdot 15 - 1} \cdot \left[\frac{1}{1,852 + 1} + \frac{\sqrt{(1,852-1)}}{6 \cdot 15^2} \right] = 0,3634$$

$$hf^* = \frac{hf}{F} = \frac{7}{0,3634} = 19,26 \text{ mca}$$

$$D = 1,625 \cdot \left(\frac{0,016}{150} \right)^{0,38} \cdot \left(\frac{150}{264} \right)^{0,205} = 0,08606 \text{ m} = 86,06 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm}$$

Comercial

75 mm

$hf^* = \text{calculado por HW} = 37,26 \text{ mca}$

$hf = 37,26 \cdot 0,3634 = 13,54 \text{ mca} > 7\text{mca}$ NÃO PODE

100 mm

$hf^* = \text{calculado por HW} = 9,18 \text{ mca}$

$hf = 9,18 \cdot 0,3634 = 3,34 \text{ mca} < 7\text{mca}$ OK

Resumo da linha lateral (LL):

$$Q_{LL} = 0,016 \text{ m}^3/\text{s};$$

PVC EM com diâmetro = 100 mm (4");

$$L = 264 \text{ m};$$

$$hf = 3,34 \text{ mca}$$

Passo 14) Pressão no início da LL (PIL)

Utilizaremos tubo de subida de 1m

$$PIL = PS + \frac{3}{4} hf + Ah \text{ (nível)}$$

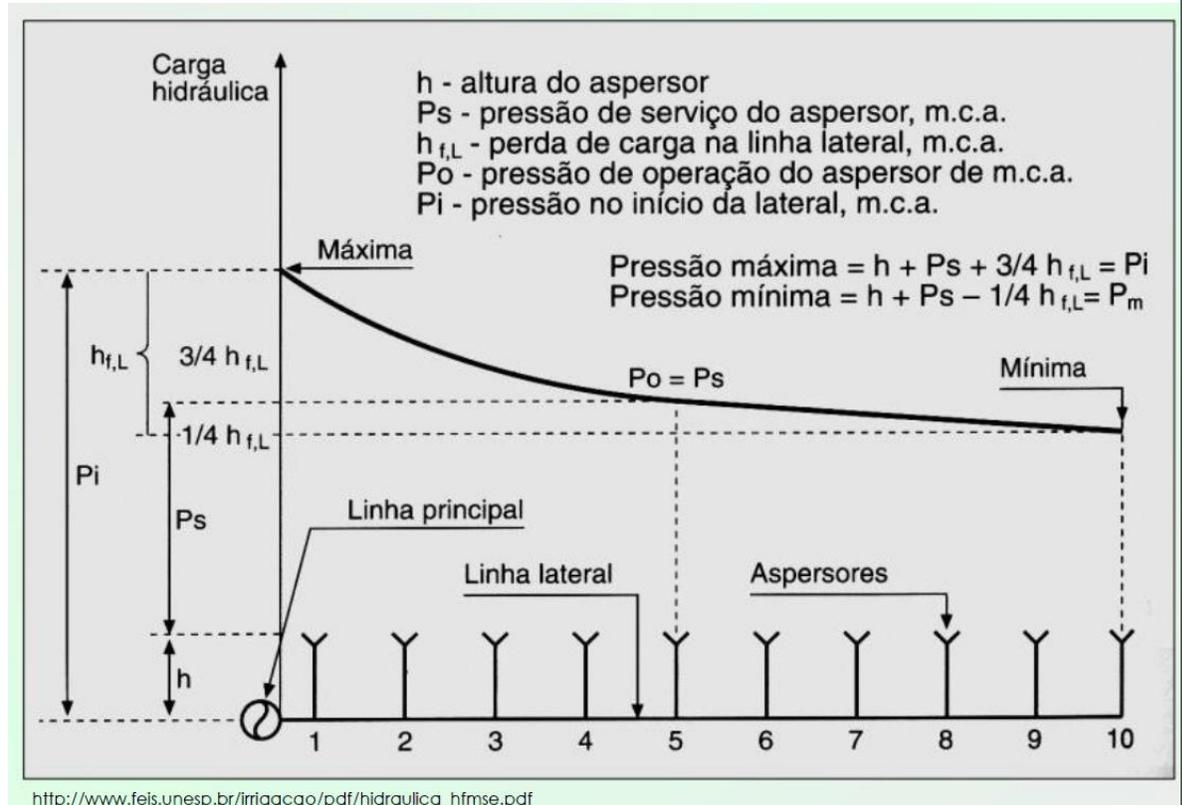
$$PIL = PS + \frac{3}{4} hf + Ah + 0,5 \Delta z \text{ (active)}$$

$$PIL = PS + \frac{3}{4} hf + Ah - 0,5 \Delta z \text{ (declive)}$$

Nosso caso em nível:

$$PIL = 35 + \frac{3}{4} 3,34 + 1 = 38,5 \text{ mca}$$

$$PFL = 35 - \frac{1}{4} 3,34 + 1 = 35,17 \text{ mca}$$



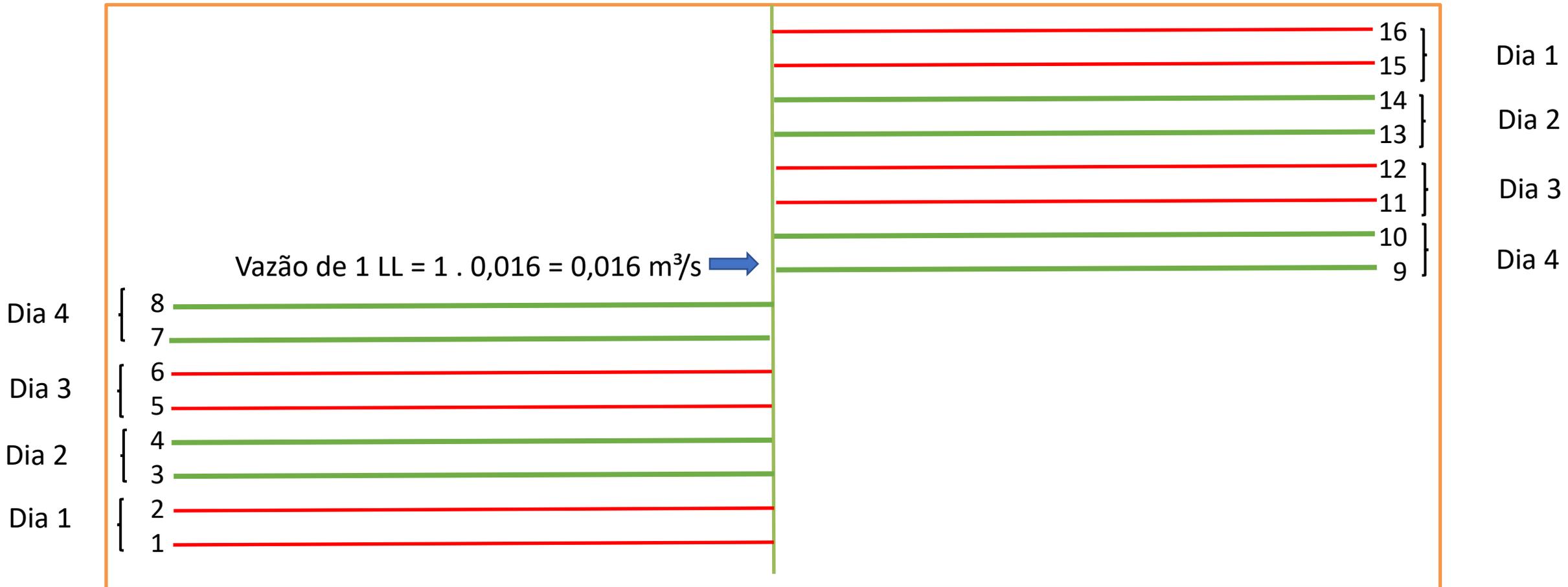
Passo 15) Dimensionamento da Linha Principal (LP)

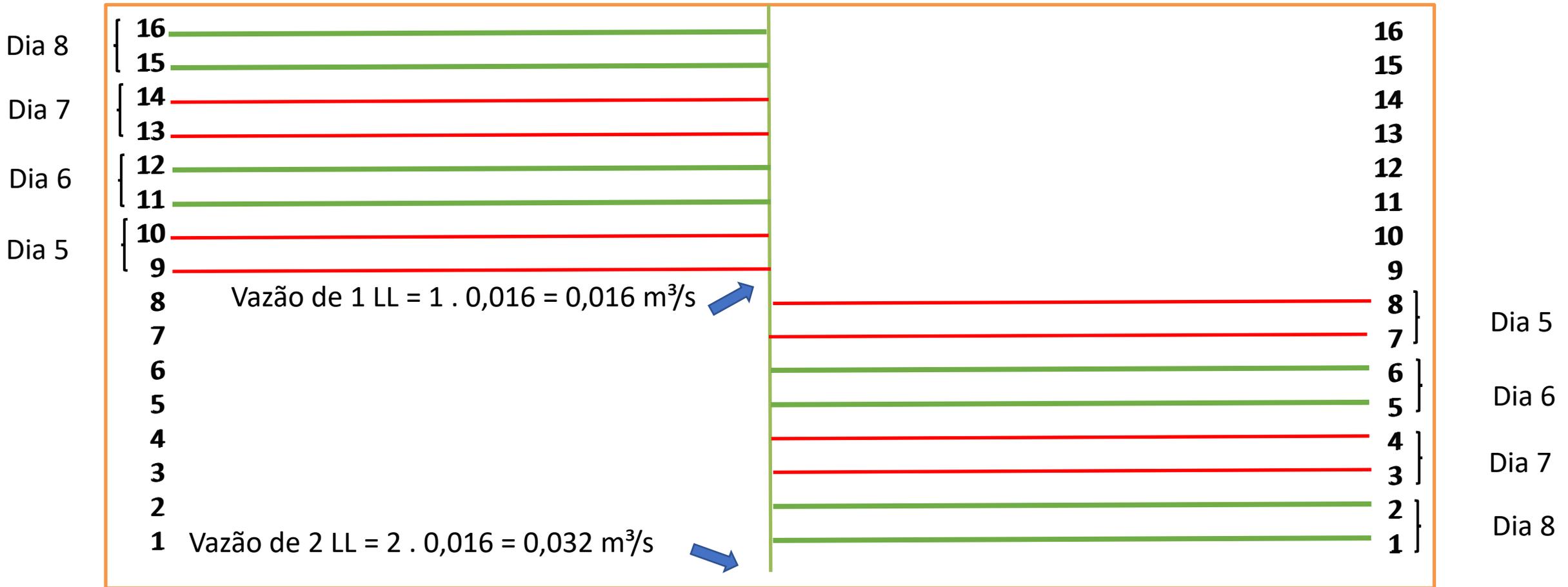
Comprimento máximo 400 m

32 Saídas (16 de cada lado)

Espaçamento entre linhas laterais de 24 m

Vazão da linha lateral = $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$





São 15 espaços de 24 m + 1 espaço de 12 m.

Assim , $LP = (NL-1) \cdot L (m) + \frac{1}{2} L(m) = 15 \cdot 24 + \frac{1}{2} \cdot 24 = 372 \text{ m} < 400 \text{ m OK}$

Molhado = $372 + 0,8 \cdot 17,6 = 386 \text{ m}$

Passo 15) Dimensionamento da Linha Principal (LP)

Comprimento máximo 400 m

32 Saídas (16 de cada lado) com espaçamento entre linhas laterais de 24 m

Vazão da linha lateral = $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$

Trecho B-C (8 a 16)

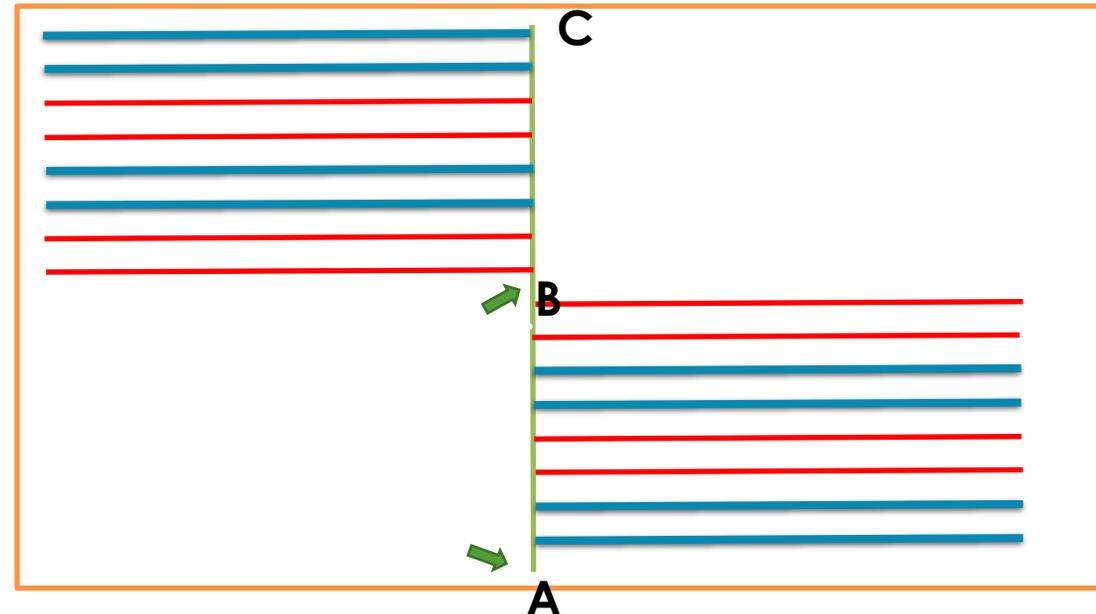
8 saídas de 24 m

$$L_{B-C} = 8 \cdot 24 = 192\text{m}$$

Trecho A-B (1 a 8)

7 saídas de 24m + 12 m

$$L_{A-B} = 7 \cdot 24 + 12 = 180\text{m}$$



Trecho A-B (1 a 8)

$$L_{A-B} = 180\text{m}$$

$$Q \text{ 2 LL} = 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 1 \text{ a } 2 \text{ m/s} \rightarrow V_m = 2 \text{ m/s}$$

$$Dt = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot 2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,032}{\pi \cdot 2}} = 0,143 \text{ m}$$

Diâmetro comercial

150 mm (6")

$$\rightarrow hf = 3,13 \text{ mca e } V = 1,81 \text{ m/s}$$

125 mm

$$\rightarrow hf = 7,636 \text{ mca e } V = 2,61 \text{ m/s}$$

Trecho B-C (8 a 16)

$$L_{B-C} = 192\text{m}$$

$$Q \text{ 1 LL} = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 1 \text{ a } 2 \text{ m/s} \rightarrow V_m = 2 \text{ m/s}$$

$$Dt = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot 2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,016}{\pi \cdot 2}} = 0,101 \text{ m}$$

Diâmetro comercial

125 mm (5")

$$\rightarrow hf = 2,25 \text{ mca e } V = 1,30 \text{ m/s}$$

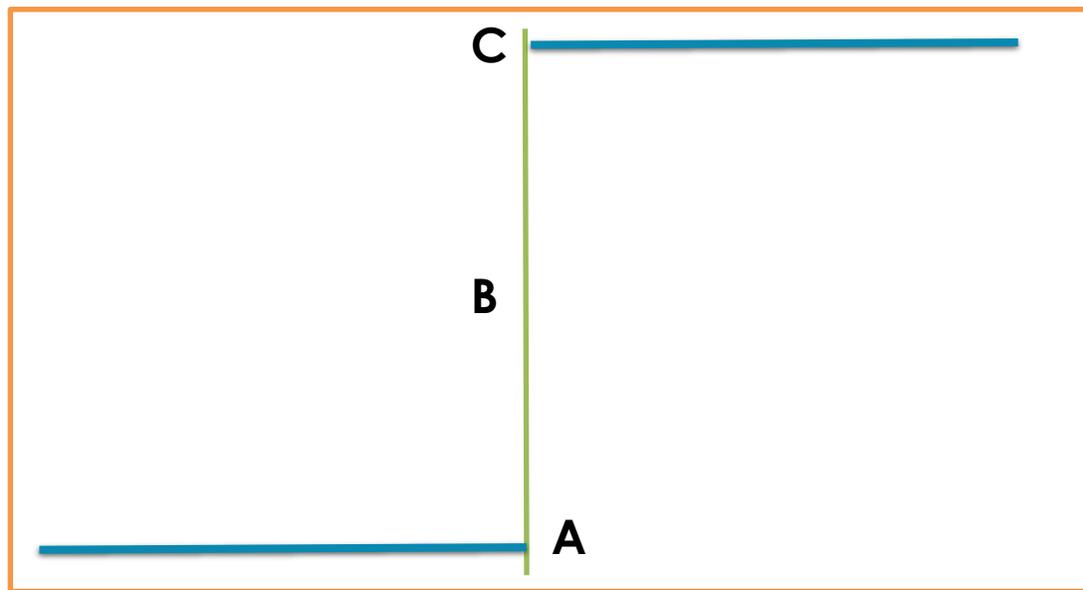
100 mm

$$\rightarrow hf = 6,62 \text{ mca e } V = 2,03 \text{ m/s}$$

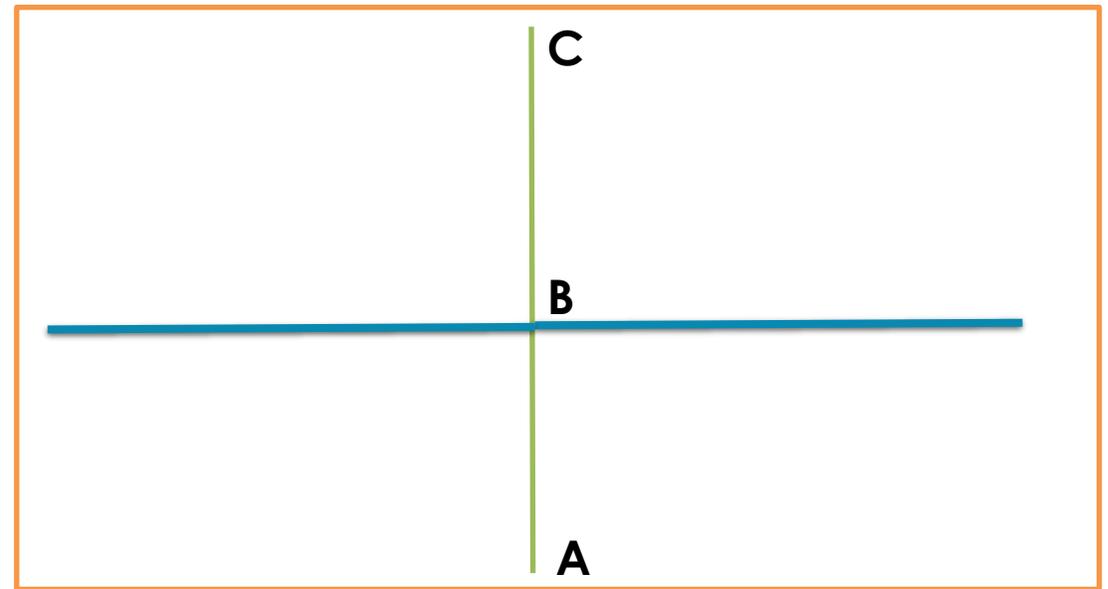
Passo 16) Pressão no início da LP (PILP)

2 situações críticas

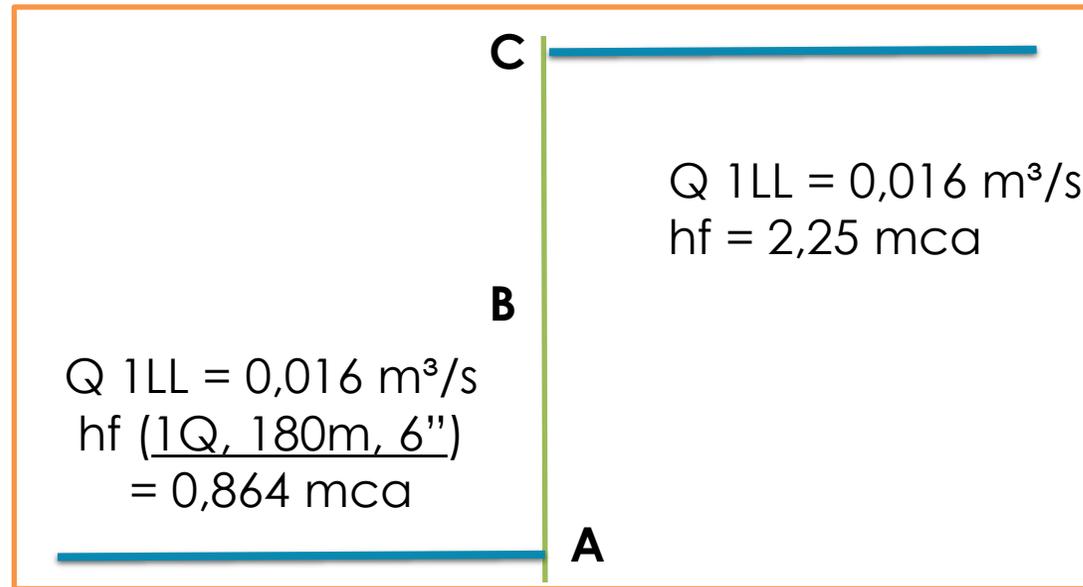
Uma LL em A e outra em C



Duas LL em B

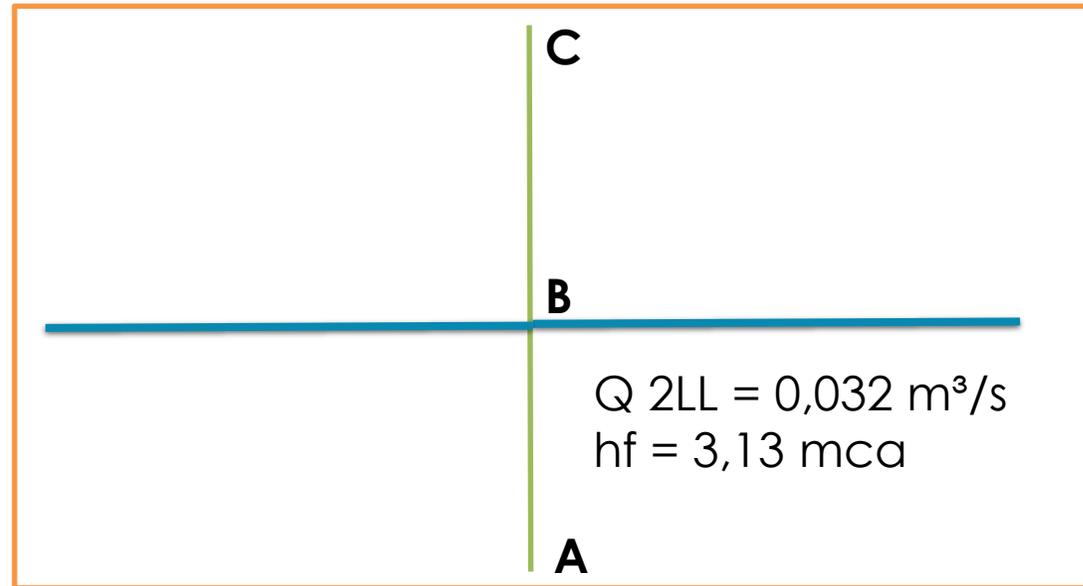


Uma LL em A e outra em C



$$PILP = PIL + hf_{A-B} + hf_{B-C} + \Delta z_{A-C} = 38,5 + 0,864 + 2,25 + 4/100 \cdot 372 \text{ m} = 56,49 \text{ mca}$$

Uma LL em A e outra em C



$$PILP = PIL + hf_{A-B} + hf_{B-C} + \Delta z_{A-B} = 38,5 + 3,13 + 0 + 4/100 \cdot 180 \text{ m} = 48,83 \text{ mca}$$

Utilizaremos a mais crítica = 56,49 mca

Resumo da linha lateral (LL):

Q_{LL} = 0,016 m³/s;
PVC EM Diâmetro = 100 mm (4");
L = 258m e 264 m e hf = 3,34 mca

Resumo da linha principal (LP):

Trecho A-B (1 a 8)

L_{A-B} = 180m

Q 2 LL = 0,032 m³/s

150 mm (6")

hf = 3,13 mca e V = 1,81 m/s

Trecho B-C (8 a 16)

L_{B-C} = 192m

Q 1 LL = 0,016 m³/s

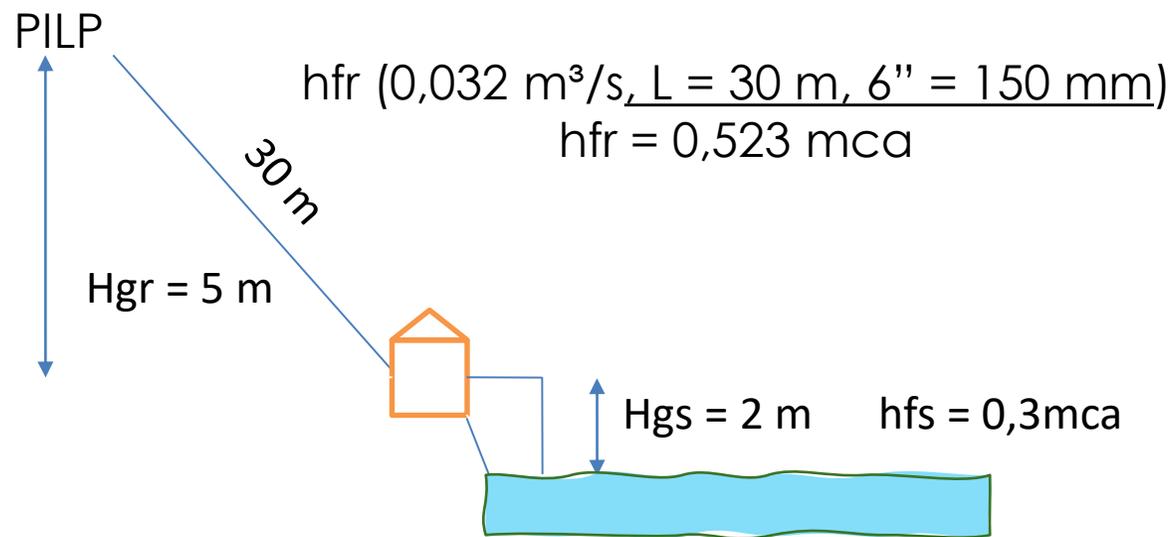
125 mm (5")

hf = 2,25 mca e V = 1,30 m/s

Passo 17) Dimensionamento MB

$$\text{Pot (cv)} = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot \text{HMT (mca)} \cdot 1000}{75 \cdot \eta}$$

$$\text{HMT} = \text{Hgs} + \text{hfs} + \text{Hgr} + \text{hfr} + \text{PILP}$$



Passo 17) Dimensionamento MB

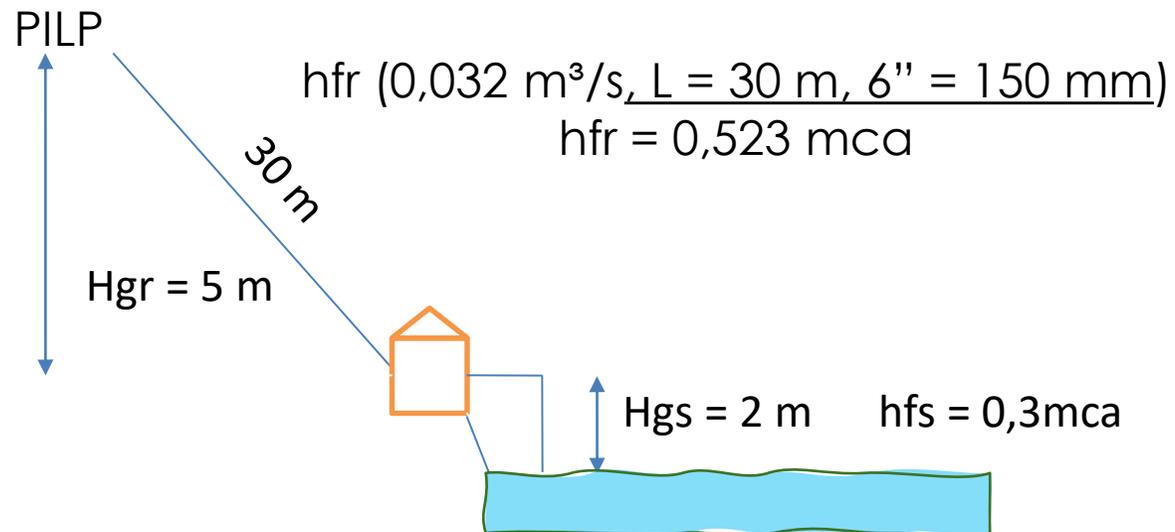
$$\text{Pot (cv)} = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot \text{HMT (mca)} \cdot 1000}{75 \cdot \eta}$$

$$\text{HMT} = \text{Hgs} + \text{hfs} + \text{Hgr} + \text{hfr} + \text{PILP}$$

$$\text{HMT} = 2 + 0,3 + 5 + 0,523 + 56,49$$

$$\text{HMT} = 64,33 \text{ mca} + 5\% \text{ loc} =$$

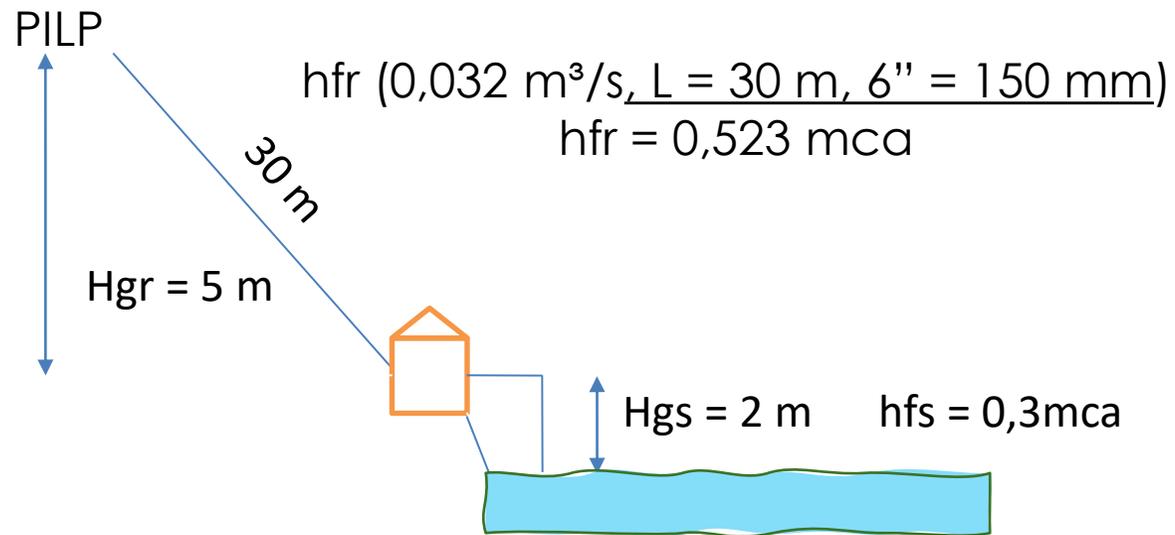
$$\text{HMT} = 64,33 \cdot 1,05 = 67,53 \text{ mca}$$



Passo 17) Dimensionamento MB

$$\text{Pot (cv)} = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot \text{HMT (mca)} \cdot 1000}{75 \cdot \eta}$$

$$\text{HMT} = \text{Hgs} + \text{hfs} + \text{Hgr} + \text{hfr} + \text{PILP}$$



$$\text{HMT} = 2 + 0,3 + 5 + 0,523 + 56,49$$

$$\text{HMT} = 64,33 \text{ mca} + 5\% \text{ loc} =$$

$$\text{HMT} = 64,33 \cdot 1,05 = 67,53 \text{ mca}$$

$$\text{Pot (cv)} = \frac{0,032 \cdot 67,53 \cdot 1000}{75 \cdot 0,60} = 48 \text{ cv}$$

Maior 15 cv → folga de 15%

$$\text{Pot} = 48 \cdot 1,15 = 55,2 \text{ cv}$$

Comercial = 60cv

A teal backpack is shown against a light-colored wooden plank background. The backpack's front pocket is open, revealing a red spiral notebook and several colorful pencils. A brown diamond-shaped patch with two vertical lines is visible on the upper part of the backpack. The text "BOA SEMANA!!" is overlaid in large white letters across the center of the image.

BOA SEMANA!!

Prof Patricia A A Marques LEB1571 Irrigação ESALQ 2023