

# INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

*Prof. Dr. René P. Camponez do Brasil*

**Faculdade Dr. Francisco Maeda**

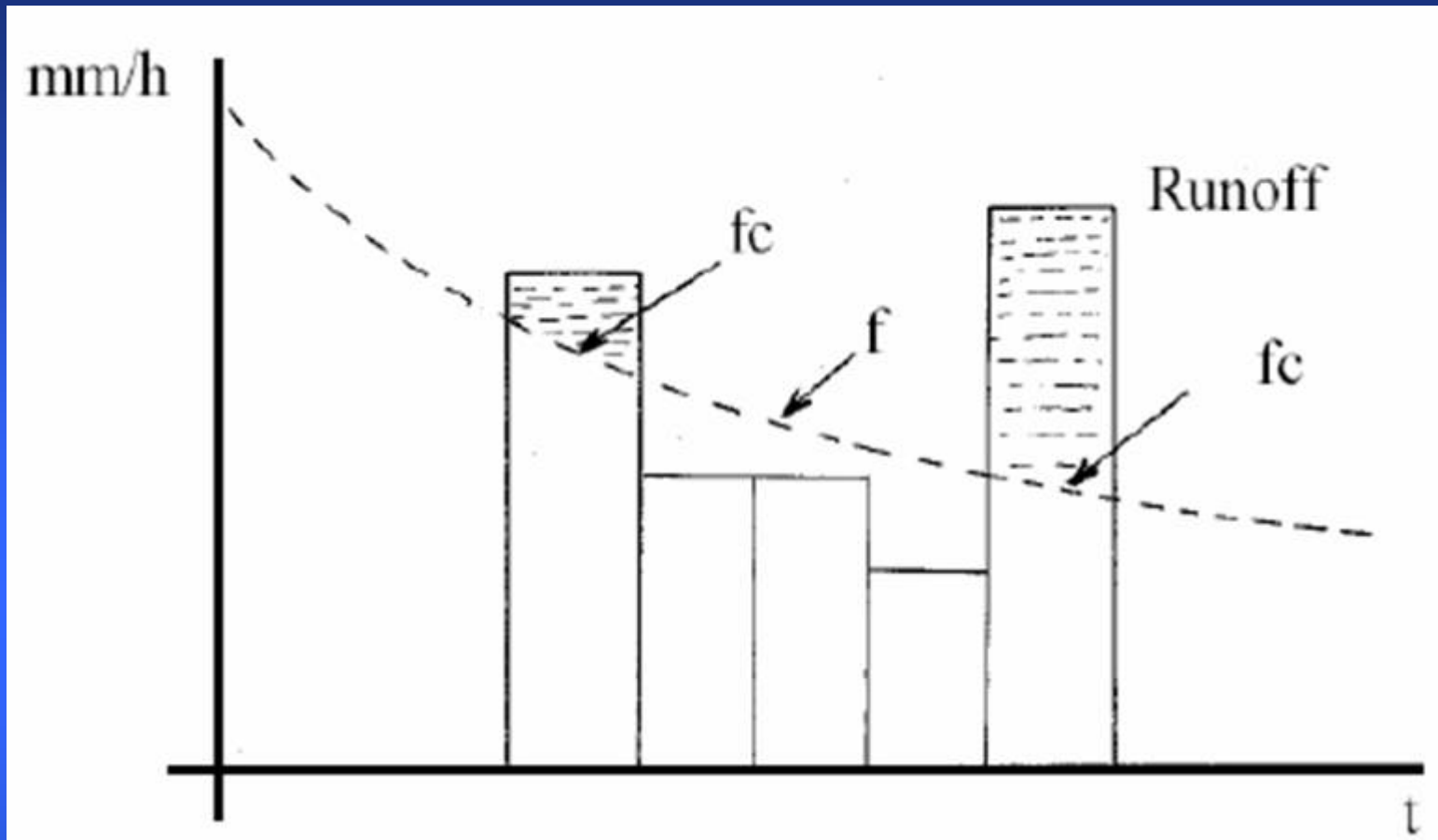
# DEFINIÇÃO

**Infiltração (I):** é definida como sendo o processo de penetração da água no solo, através de sua superfície, no sentido vertical descendente, indo molhar camadas mais profundas.

**Capacidade de Infiltração:** é a quantidade máxima de água que um solo em determinadas condições pode absorver.

# DEFINIÇÃO

**Se uma precipitação atinge o solo com uma intensidade menor que a capacidade de infiltração, toda água penetra no solo, provocando uma progressiva diminuição da própria capacidade de infiltração, já que o solo está se umedecendo.**



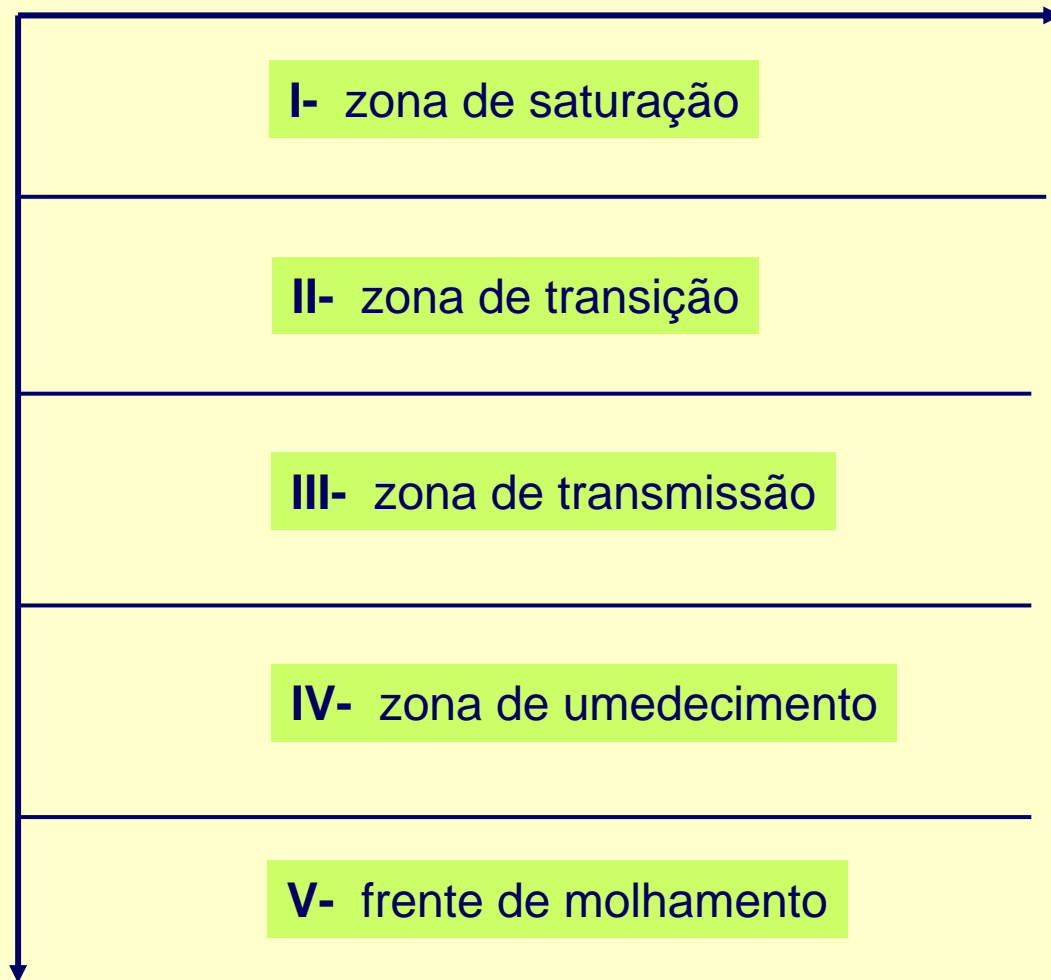
**A medida que a precipitação continua, a capacidade de infiltração do solo passa a decrescer a ponto da parcela que não é mais infiltrada, escoando superficialmente.**

**Quando cessa a infiltração, parte da água no interior do solo propaga-se para as camadas mais profundas e parte é transferida para a atmosfera por evaporação direta ou por transpiração dos vegetais. Esse processo faz com que o solo vá recuperando sua capacidade de infiltração, tendendo a um limite superior à medida que as camadas superiores do solo vão se tornando mais secas.**



# Perfil típico de umidade durante a infiltração

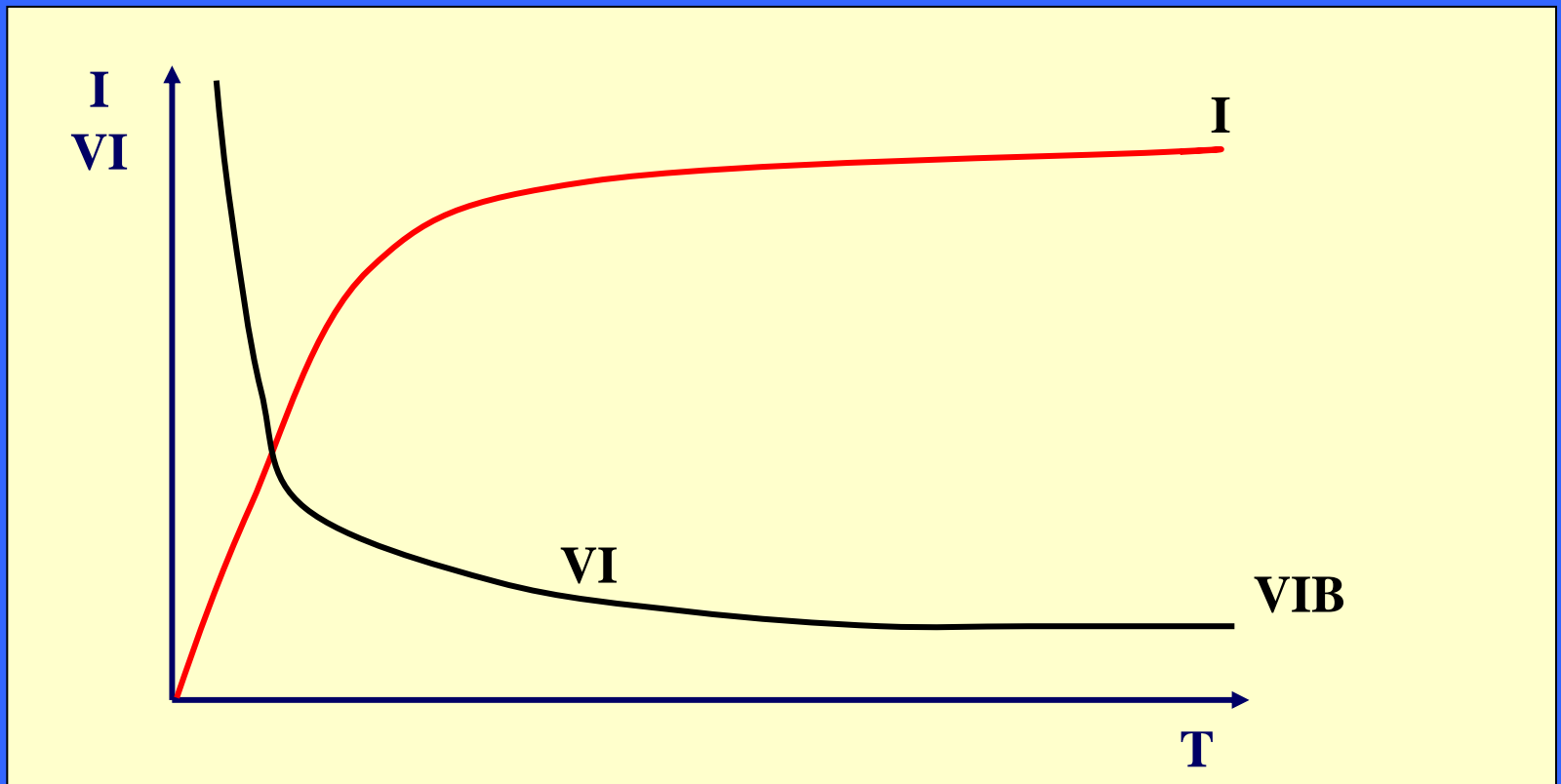
## Umidade do Solo



# GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS

- Lâmina de água infiltrada ( $I$ )
- Velocidade instantânea de infiltração ( $i$ )
- Velocidade de infiltração básica ( $VIB$ )

**Velocidade de Infiltração (VI)** - é a lâmina ou quantidade de água que infiltra no solo em um determinado tempo (cm/min; cm/h).





**A Velocidade de Infiltração de água no solo (VI) é uma informação de grande importância para o projeto e o manejo da irrigação, visto que dela dependem o tempo que se deve manter a lâmina d'água (irrigação de superfície) e a seleção de aspersores a serem utilizados na irrigação por aspersão.**

# Fatores que interferem na velocidade de infiltração

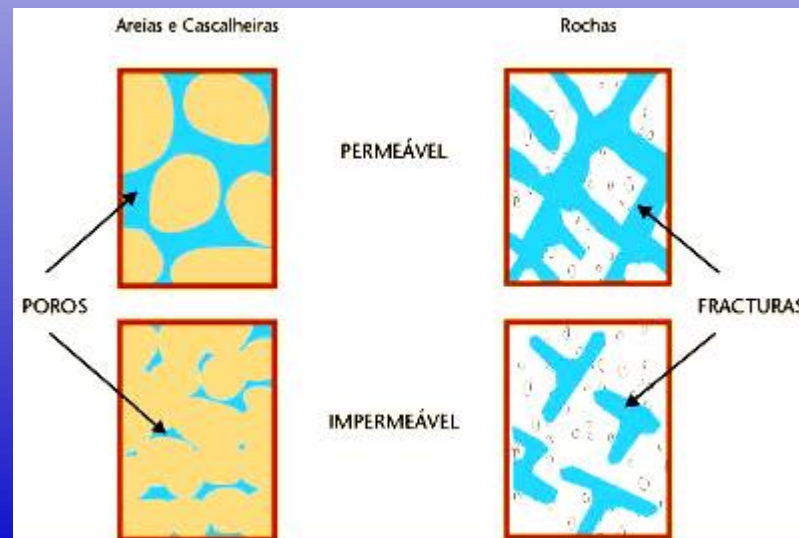
- **Umidade inicial do solo**

**Em um solo mais úmido a infiltração é menor do que em um solo mais seco.**

# Fatores que interferem na velocidade de infiltração

- **Umidade inicial do solo**
- **Textura e estrutura do solo**

**Por exemplo a presença de argila no solo, diminui sua porosidade, não permitindo uma grande infiltração.**



# Fatores que interferem na velocidade de infiltração

- **Umidade inicial do solo**
- **Textura e estrutura do solo**
- **Cobertura vegetal**

**Um solo coberto por vegetação é mais permeável que um solo desmatado .**



# Fatores que interferem na velocidade de infiltração

- **Umidade inicial do solo**
- **Textura e estrutura do solo**
- **Cobertura vegetal**
- **Inclinação do terreno**

**Em declividades acentuadas a água corre mais rapidamente, diminuindo o tempo de infiltração .**





- **Chuvas (irrigações) intensas**

**Chuvas intensas saturam rapidamente o solo, ao passo que chuvas finas e demoradas tem mais tempo para se infiltrarem .**

# Fatores que interferem na velocidade de infiltração

- Umidade inicial do solo
- Textura e estrutura do solo
- Cobertura vegetal
- Inclinação do terreno
- Chuvas (irrigações) intensas
- Temperatura

**O escoamento no solo é laminar (tranquilo) em função da viscosidade da água. Quanto maior a temperatura, maior a infiltração de água no solo.**

# Fatores que interferem na velocidade de infiltração

- **Umidade inicial do solo**
- **Textura e estrutura do solo**
- **Cobertura vegetal**
- **Inclinação do terreno**
- **Chuvas (irrigações) intensas**
- **Temperatura**
- **Variabilidade espacial**



# Fatores que interferem na velocidade de infiltração

- **Umidade inicial do solo**
- **Textura e estrutura do solo**
- **Cobertura vegetal**
- **Inclinação do terreno**
- **Chuvas (irrigações) intensas**
- **Temperatura**
- **Variabilidade espacial**
- **Salinidade (floculação) e Sodicidade (desagregamento)**

# Métodos de determinação

- **MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANÉIS**
- **ENTRADA E SAÍDA DE ÁGUA NO SULCO**  
**(sulco e gotejamento)**
- **SIMULADOR DE CHUVA (aspersão)**

# Infiltrômetro de anéis

## Material:

- 2 cilindros, interno(25cm) e externo (50cm);
- Prancha de madeira;
- Marreta e Régua;
- Plástico

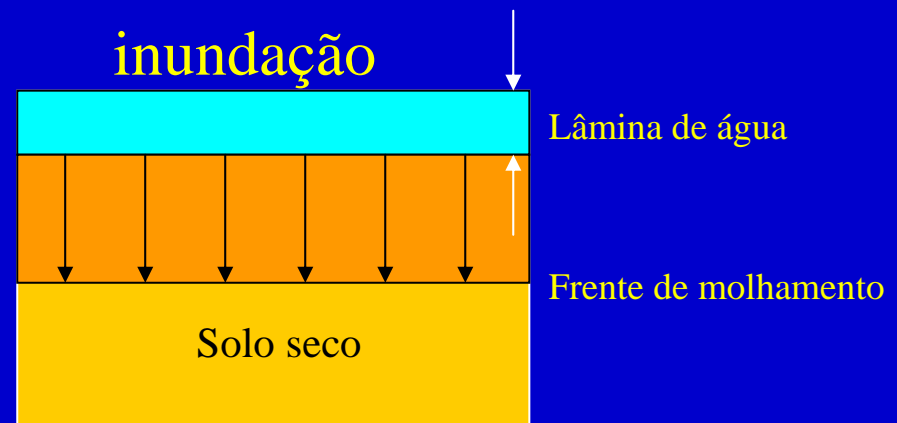
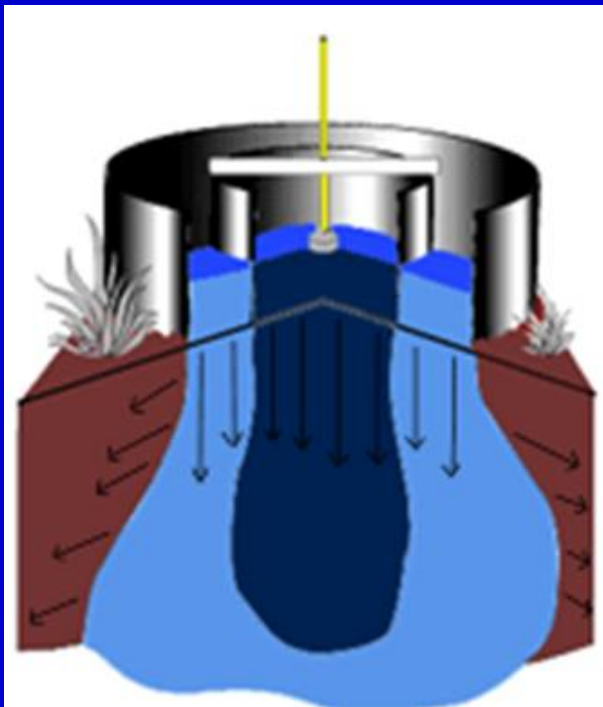
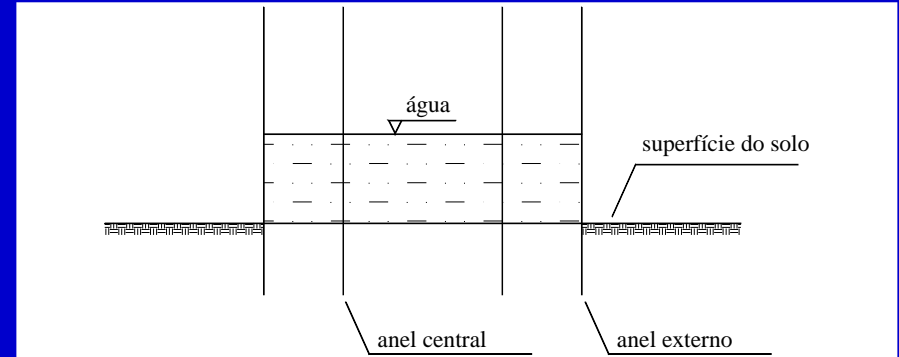


Carga variável



Carga constante

# Infiltrômetro de anéis



# Planilha de campo

Dados obtidos em um ensaio para determinação da infiltração de água no solo pelo método do infiltrômetro de anel.

Hora	Tempo (min)	Tempo acumulado (min)	Leitura da régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)
08:00	0	0	10,5		0	0
08:01	1	1	7,9		2,6	2,6
08:02	1	2	6,4		1,5	4,1
08:04	2	4	5,3	10,7	1,1	5,2
08:06	2	6	9,9		0,8	6,0
08:11	5	11	7,3	10,5	2,6	8,6
08:16	5	16	8		2,5	11,1
08:26	10	26	5,3	10,6	2,7	13,8
08:36	10	36	8,7		1,9	15,7
08:51	15	51	6,2	10,4	2,5	18,2
09:06	15	66	7,4	10,5	3,0	21,2
09:36	30	96	6,1	10,4	4,4	25,6
10:06	30	126	6,1	10,6	4,3	29,9
10:36	30	156	7,9		2,7	32,6
11:06	30	186	5,3	10,7	2,6	35,2
11:36	30	216	7,5		3,2	38,4

# MODELO DE KOSTIAKOV

$$I = K.T^m$$

Modelo potencial

$I$  = infiltração acumulada (cm);

$T$  = tempo de infiltração acumulado (min);

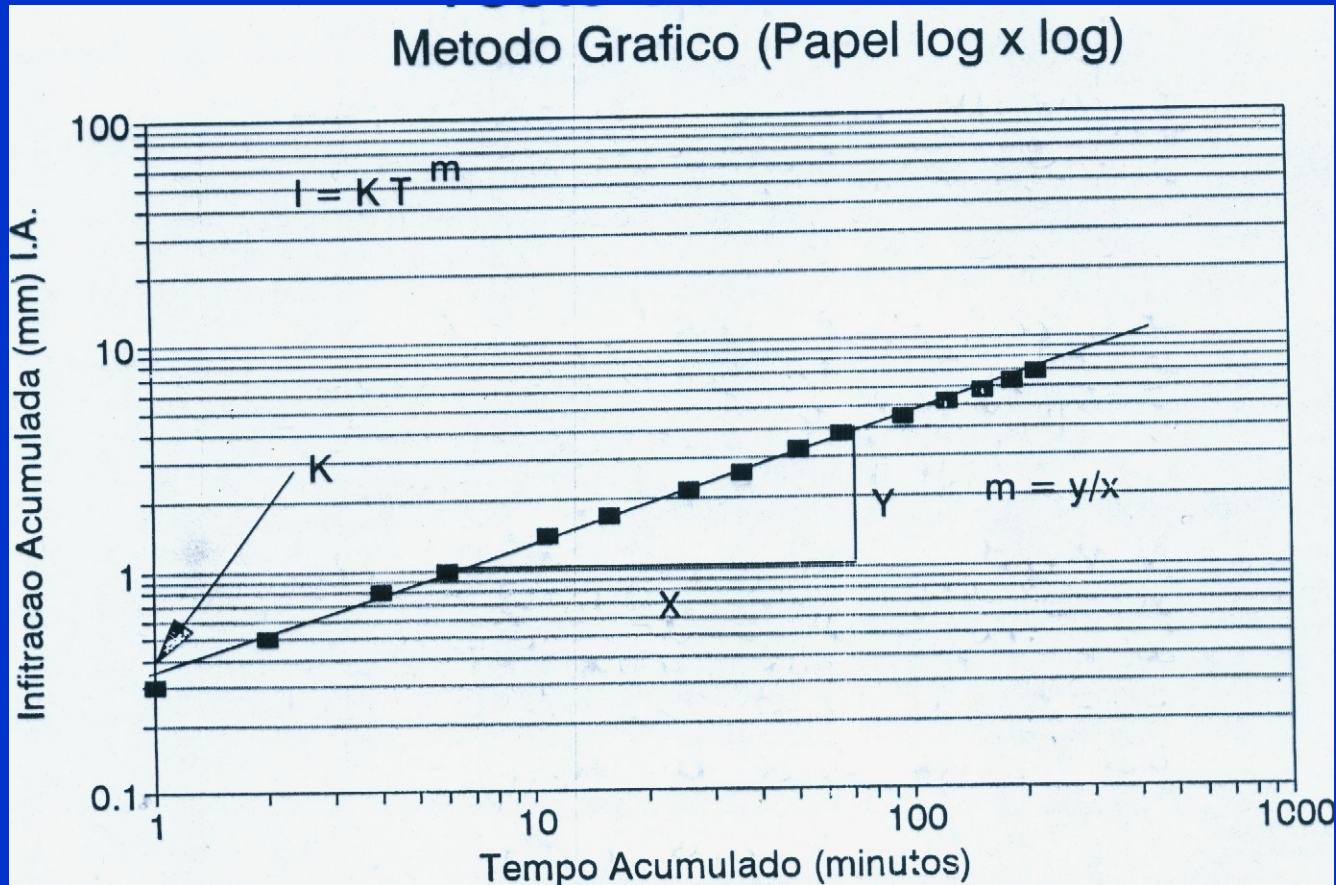
$K$  e  $m$  = coeficiente que depende do solo (0-1)

Formas para definir  $K$  e  $m$

-gráfica

-analítica

# Resolução gráfica



# SOLUÇÃO ANALÍTICA

Dados obtidos em um ensaio para determinação da infiltração de água no solo pelo método do infiltrômetro de anel.

Hora	Tempo (min)	Tempo acumulado (min)	Leitura da régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)
08:00	0	0	10,5		0	0
08:01	1	1	7,9		2,6	2,6
08:02	1	2	6,4		1,5	4,1
08:04	2	4	5,3	10,7	1,1	5,2
08:06	2	6	9,9		0,8	6,0
08:11	5	11	7,3	10,5	2,6	8,6
08:16	5	16	8		2,5	11,1
08:26	10	26	5,3	10,6	2,7	13,8
08:36	10	36	8,7		1,9	15,7
08:51	15	51	6,2	10,4	2,5	18,2
09:06	15	66	7,4	10,5	3,0	21,2
09:36	30	96	6,1	10,4	4,4	25,6
10:06	30	126	6,1	10,6	4,3	29,9
10:36	30	156	7,9		2,7	32,6
11:06	30	186	5,3	10,7	2,6	35,2
11:36	30	216	7,5		3,2	38,4

Tempo acumulado (min)	X	Y	XY	X <sup>2</sup>
1	0	0,415	0	0
2	0,301	0,613	0,184	0,091
4	0,602	0,716	0,431	0,362
6	0,778	0,778	0,606	0,606
11	1,041	0,934	0,973	1,084
16	1,204	1,045	1,259	1,450
26	1,415	1,140	1,613	2,002
36	1,556	1,196	1,861	2,422
51	1,708	1,260	2,152	2,916
66	1,820	1,326	2,413	3,311
96	1,982	1,408	2,792	3,929
126	2,100	1,476	3,099	4,412
156	2,193	1,513	3,319	4,810
186	2,270	1,547	3,510	5,151
216	2,334	1,584	3,699	5,450
<b>Soma</b>	<b>21,305</b>	<b>16,952</b>	<b>27,910</b>	<b>37,995</b>
<b>Média</b>	<b>1,420</b>	<b>1,130</b>	<b>1,861</b>	<b>2,533</b>

Lembre-se :  $Y = \log I$  e  $X = \log T$



# SOLUÇÃO ANALÍTICA

$$I = K \cdot T^m$$

Modelo potencial

$$\log I = \log K + m \cdot \log T$$

Modelo linear

$$\bar{Y} = A + B \bar{X}$$

O coeficiente angular (B) e a interseção (A) da reta são dados por:

$$B = m = \frac{\sum X \cdot Y - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}$$

**N** o número de leituras realizadas na régua durante o teste de infiltração

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

$$\text{Log } K = A$$

$$K = \text{ant log } A$$

# VELOCIDADE INSTANTÂNEA (I)

$$I = K \cdot T^m$$

$$\frac{dI}{dT} = VI$$

Derivando a lâmina de  
infiltração em relação ao  
tempo

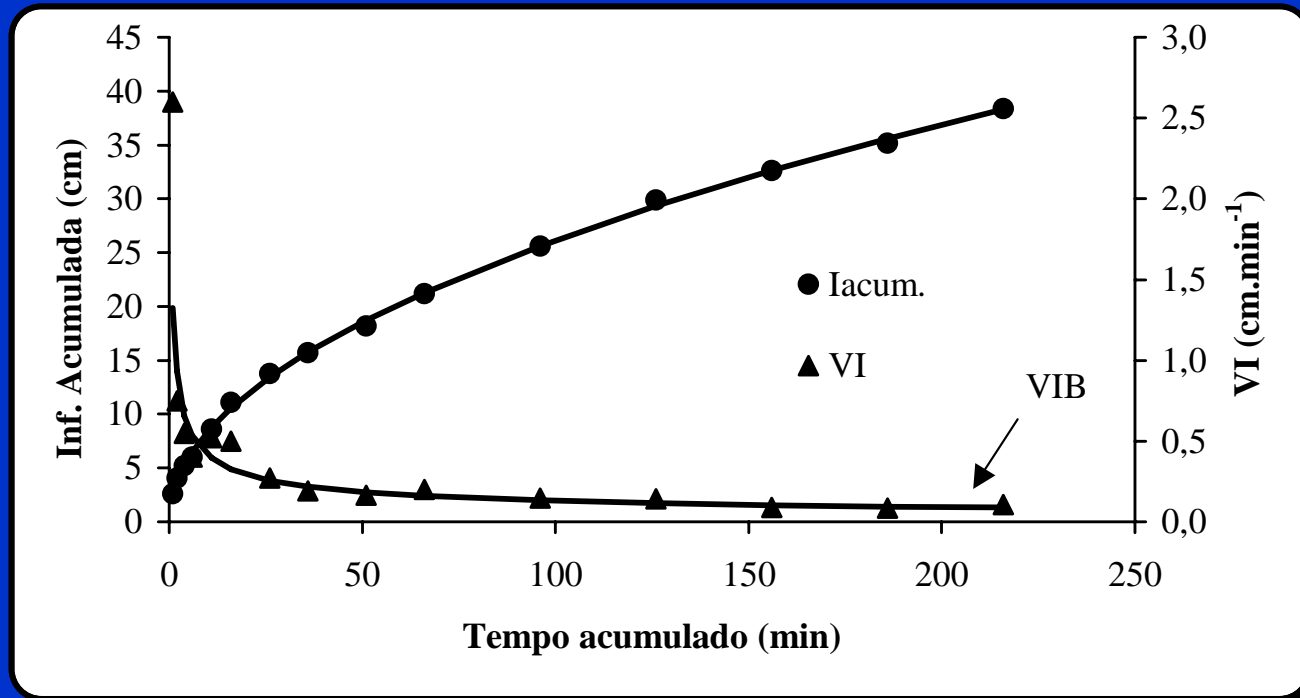
Desenvolvendo-se a equação de VI, tem-se:

$$VI = m \cdot K \cdot T^{m-1} \quad \therefore \quad VI = m \cdot K \cdot T^n, \text{ em cm.min}^{-1}$$

$$\text{ou } VI = 60 \cdot m \cdot K \cdot T^n, \text{ em cm.h}^{-1}$$

$$n = m-1$$

# VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA (VIB)



- Solo de VIB muito alta ..... > 3,0 cm.h<sup>-1</sup>
- Solo de VIB alta ..... 1,5 – 3,0 cm.h<sup>-1</sup>
- Solo de VIB média ..... 0,5 – 1,5 cm.h<sup>-1</sup>
- Solo de VIB baixa ..... < 0,5 cm.h<sup>-1</sup>

# Exemplo:

Com os dados de infiltração de água obtidos no campo, em um ensaio pelo método do infiltrômetro de anel, determine, utilizando a resolução analítica e a resolução gráfica:

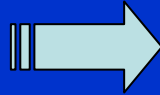
- a equação de Infiltração e da velocidade de infiltração em cm/min e em cm/h;
- a velocidade de infiltração básica (VIB);

Hora	Tempo (min)	Tempo acumulado (min)	Leitura da régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)	Tempo acumulado (min)	X	Y	XY	X <sup>2</sup>
08:00	0	0	10,5		0	0	1	0	0,415	0	0
08:01	1	1	7,9		2,6	2,6	2	0,301	0,613	0,184	0,091
08:02	1	2	6,4		1,5	4,1	4	0,602	0,716	0,431	0,362
08:04	2	4	5,3	10,7	1,1	5,2	6	0,778	0,778	0,606	0,606
08:06	2	6	9,9		0,8	6,0	11	1,041	0,934	0,973	1,084
08:11	5	11	7,3	10,5	2,6	8,6	16	1,204	1,045	1,259	1,450
08:16	5	16	8		2,5	11,1	26	1,415	1,140	1,613	2,002
08:26	10	26	5,3	10,6	2,7	13,8	36	1,556	1,196	1,861	2,422
08:36	10	36	8,7		1,9	15,7	51	1,708	1,260	2,152	2,916
08:51	15	51	6,2	10,4	2,5	18,2	66	1,820	1,326	2,413	3,311
09:06	15	66	7,4	10,5	3,0	21,2	96	1,982	1,408	2,792	3,929
09:36	30	96	6,1	10,4	4,4	25,6	126	2,100	1,476	3,099	4,412
10:06	30	126	6,1	10,6	4,3	29,9	156	2,193	1,513	3,319	4,810
10:36	30	156	7,9		2,7	32,6	186	2,270	1,547	3,510	5,151
11:06	30	186	5,3	10,7	2,6	35,2	216	2,334	1,584	3,699	5,450
11:36	30	216	7,5		3,2	38,4					
<b>Soma</b>								21,305	16,952	27,910	37,995
<b>Média</b>								1,420	1,130	1,861	2,533

# RESOLUÇÃO:

O coeficiente angular (B) e a interseção (A) da reta são dados por:

$$B = \frac{\sum X \cdot Y - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}$$



$$B = \frac{27,910 - \frac{21,305 \times 16,952}{15}}{37,995 - \frac{(21,305)^2}{15}}$$



$$B = 0,4955$$

Como :  $B = m$

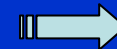


$$m = 0,4955$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$



$$A = 1,13 - 0,4955 \cdot 1,42$$

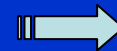


$$A = 0,4264$$

Como:  $K = \text{ant log } A$

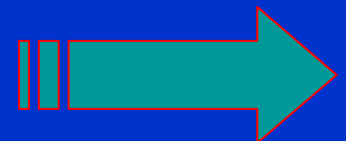


$$K = 10^{0,4264}$$



$$K = 2,67$$

Tempo acumulado (min)	X	Y	XY	X <sup>2</sup>
1	0	0,415	0	0
2	0,301	0,613	0,184	0,091
4	0,602	0,716	0,431	0,362
6	0,778	0,778	0,606	0,606
11	1,041	0,934	0,973	1,084
16	1,204	1,045	1,259	1,450
26	1,415	1,140	1,613	2,002
36	1,556	1,196	1,861	2,422
51	1,708	1,260	2,152	2,916
66	1,820	1,326	2,413	3,311
96	1,982	1,408	2,792	3,929
126	2,100	1,476	3,099	4,412
156	2,193	1,513	3,319	4,810
186	2,270	1,547	3,510	5,151
216	2,334	1,584	3,699	5,450
<b>Soma</b>	21,305	16,952	27,910	37,995
<b>Média</b>	1,420	1,130	1,861	2,533



## EXEMPLO:

Com isso, tem-se a equação de infiltração de água no solo:

$$I = K.T^m \Rightarrow I = 2,67.T^{0,4955} \begin{cases} I = \text{cm} \\ T = \text{min} \end{cases}$$

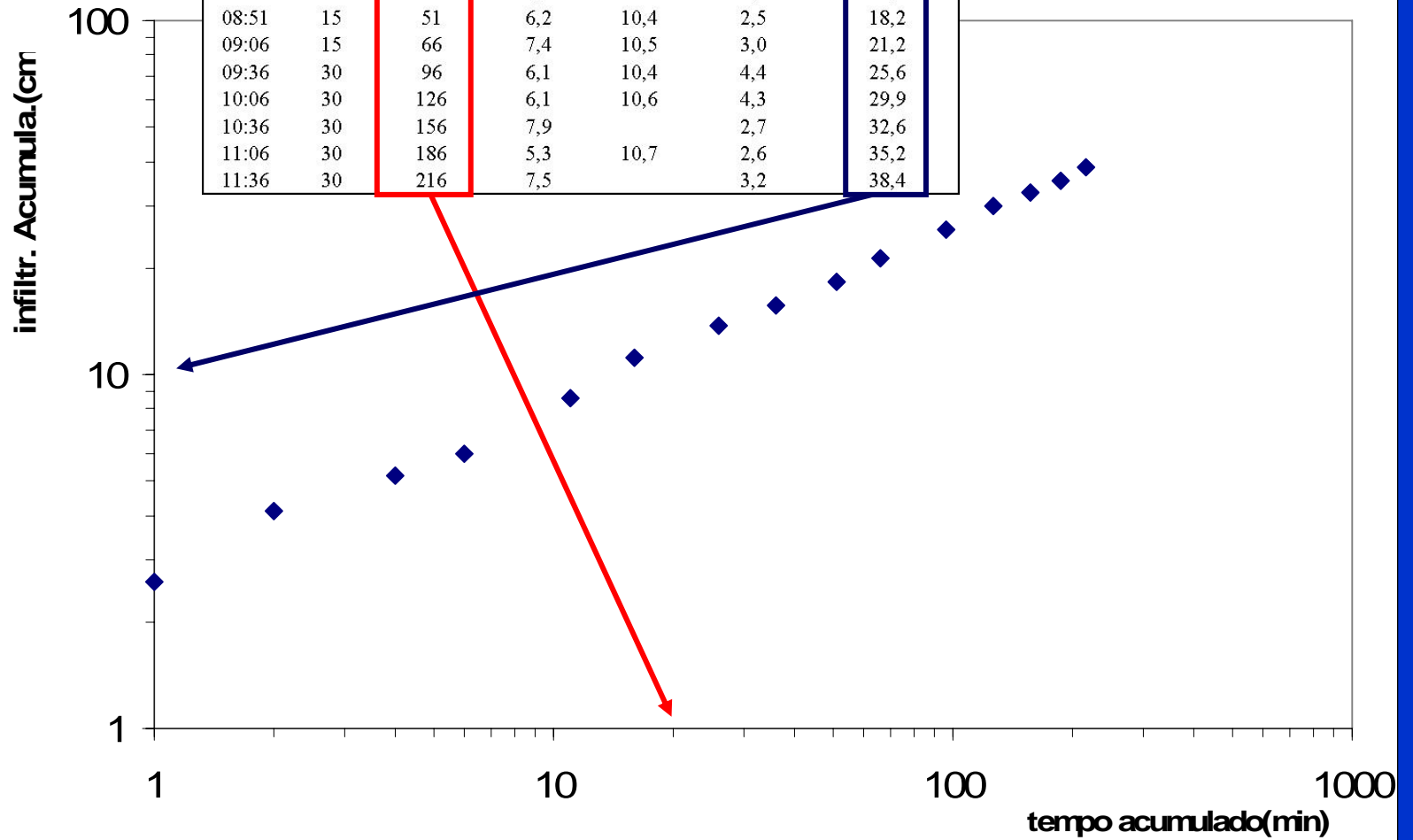
Derivando-se a equação de I, obtém-se :

$$VI = 1,323 . T^{-0,5045} \begin{cases} VI = \text{cm.min}^{-1} \\ T = \text{min} \end{cases}$$

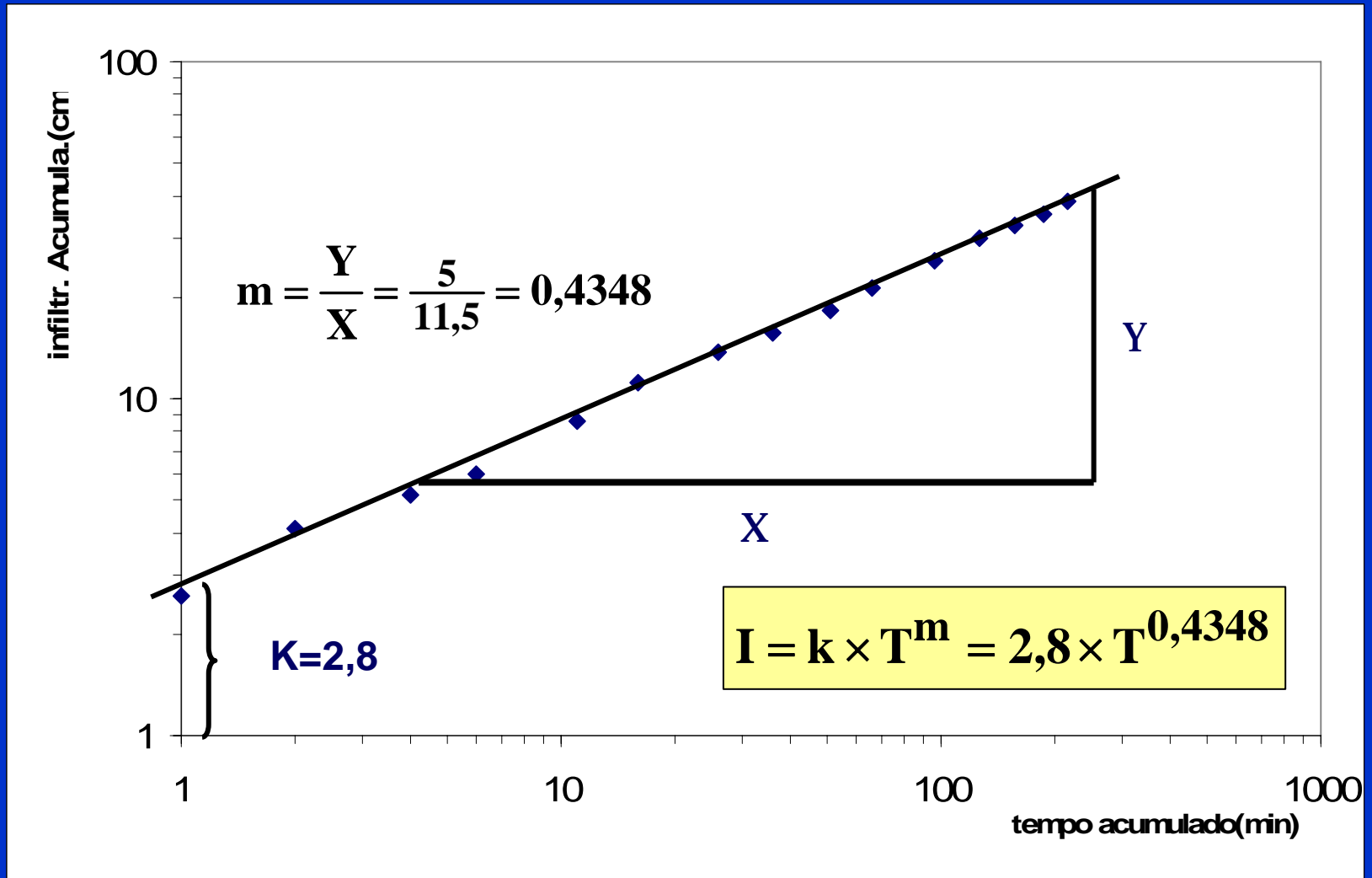
ou

$$VI = 79,38 . T^{-0,5045} \begin{cases} VI = \text{cm.h}^{-1} \\ T = \text{min} \end{cases}$$

Hora	Tempo (min)	Tempo acumulado (min)	Leitura da régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)
08:00	0	0	10,5		0	0
08:01	1	1	7,9		2,6	2,6
08:02	1	2	6,4		1,5	4,1
08:04	2	4	5,3	10,7	1,1	5,2
08:06	2	6	9,9		0,8	6,0
08:11	5	11	7,3	10,5	2,6	8,6
08:16	5	16	8		2,5	11,1
08:26	10	26	5,3	10,6	2,7	13,8
08:36	10	36	8,7		1,9	15,7
08:51	15	51	6,2	10,4	2,5	18,2
09:06	15	66	7,4	10,5	3,0	21,2
09:36	30	96	6,1	10,4	4,4	25,6
10:06	30	126	6,1	10,6	4,3	29,9
10:36	30	156	7,9		2,7	32,6
11:06	30	186	5,3	10,7	2,6	35,2
11:36	30	216	7,5		3,2	38,4



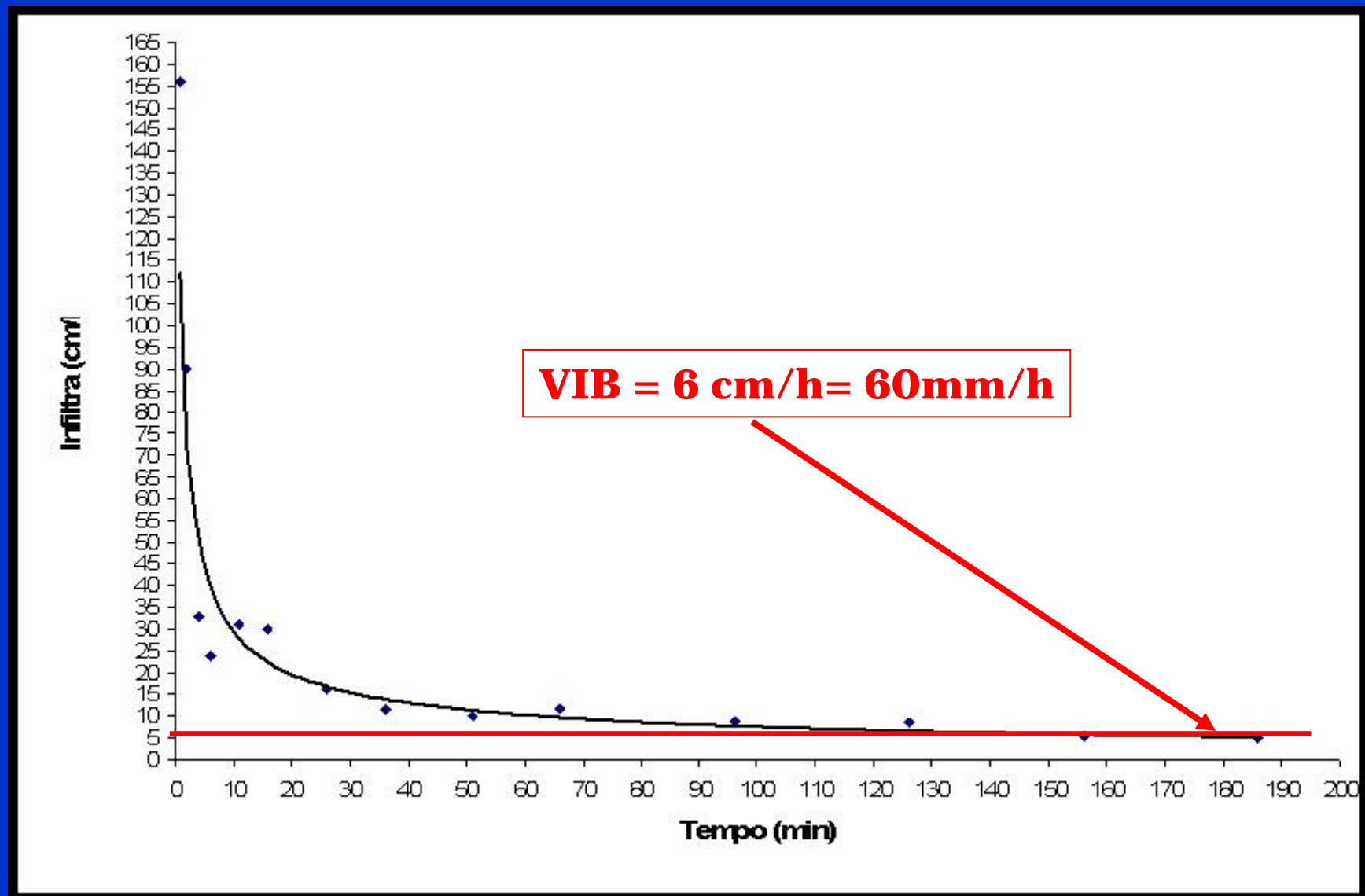
# Resolução gráfica





# RESOLUÇÃO:

Obtemos a VIB, através do gráfico:



# Intensidade de aplicação (I<sub>a</sub>):

$$I_A \text{ (mm / h)} = \frac{Q(\text{m}^3 / \text{h})}{E_a \text{ (m)} \times E_L \text{ (m)}} \times 1000 < \text{VIB}(\text{mm / h})$$

## ASPERSOR ZED-30 GERMEK - DADOS TÉCNICOS

Diâmetro dos bocais (mm)	Pressão de serviço (atm)	Alcance ou raio (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Espaçamento (m)	Área útil irrigada (m <sup>2</sup> )	Precipitação (mm/h)
4,5 x 4,8	2,0	14,0	2,29	12/18	216	10,60
	2,5	14,7	2,56	18/18	324	7,90
	3,0	15,6	2,80	18/18	324	8,64
4,5 x 5,5	2,0	13,5	2,59	12/18	216	11,99
	2,5	15,0	2,90	18/18	234	8,95
	3,0	16,0	3,18	18/18	324	9,81
5,0 x 5,5	2,5	16,0	3,05	18/18	324	9,41
	3,0	16,3	3,35	18/24	432	7,75
	3,5	16,6	3,62	18/24	432	8,38
	4,0	17,0	3,87	18/24	432	8,96

$$I_A \text{ (mm / h)} = \frac{2,56(\text{m}^3 / \text{h})}{18(\text{m}) \times 18(\text{m})} \times 1000 = 7,9 < \text{VIB}(\text{mm / h})$$