

## CAPÍTULO 5. INFILTRAÇÃO

### 5.1. Generalidades

A infiltração é o nome dado ao processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. É um processo de grande importância prática, pois afeta diretamente o escoamento superficial, que é o componente do ciclo hidrológico responsável pelos processos de erosão e inundações. Após a passagem da água pela superfície do solo, ou seja, cessada a infiltração, a camada superior atinge um “alto” teor de umidade, enquanto que as camadas inferiores apresentam-se ainda com “baixos” teores de umidade. Há então, uma tendência de um movimento descendente da água provocando um molhamento das camadas inferiores, dando origem ao fenômeno que recebe o nome de redistribuição.

O perfil típico de umidade do solo, durante a infiltração, está apresentado esquematicamente na Figura a seguir.

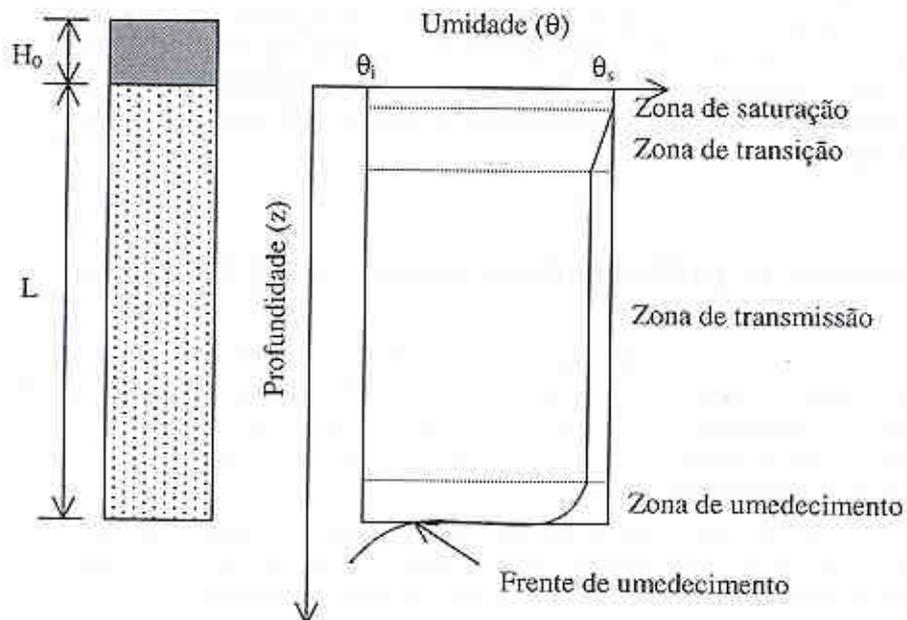


Figura 23 - Perfil de umidade do solo durante a infiltração.

Zona de saturação: corresponde a uma camada de cerca de 1,5 cm e, como sugere o nome, é uma zona em que o solo está saturado, isto é, com um teor de umidade igual ao teor de umidade de saturação.

Zona de transição: é uma zona com espessura em torno de 5 cm, cujo teor de umidade decresce rapidamente com a profundidade.

Zona de transmissão: é a região do perfil através da qual a água é transmitida. Esta zona é caracterizada por uma pequena variação da umidade em relação ao espaço e ao tempo.

Zona de umedecimento: é uma região caracterizada por uma grande redução no teor de umidade com o aumento da profundidade.

Frente de umedecimento: compreende uma pequena região na qual existe um grande gradiente hidráulico, havendo uma variação bastante abrupta da umidade. A frente de umedecimento representa o limite visível da movimentação de água no solo.

## 5.2. Análise físico-matemática do processo de infiltração da água no solo

O movimento da água em um solo não-saturado pode ser descrito pela equação de Darcy, originalmente deduzida para solos saturados e representada pela equação:

$$q = -K_0 \cdot \frac{\partial H}{\partial z}$$

em que:

$q$  = densidade de fluxo,  $\text{mm.h}^{-1}$ ;

$K_0$  = condutividade hidráulica do solo saturado,  $\text{mm.h}^{-1}$ ;

$H$  = potencial total da água no solo, mm; e

$z$  = distância entre os pontos considerados, mm.

A razão entre a taxa de variação do potencial da água no solo, ao longo da distância por ela percorrida ( $\partial H / \partial z$ ), denomina-se gradiente hidráulico, representando a força responsável pelo escoamento da água no solo. O sinal negativo na equação de Darcy indica que o escoamento se estabelece do maior para o menor potencial.

Na equação de Darcy para solos saturados, evidencia-se que as condições imprescindíveis para que se estabeleça o movimento da água no solo são a existência de uma diferença no potencial entre os pontos considerados e um meio poroso condutivo, isto é, a condutividade hidráulica do solo não pode ser nula. Se ambas as condições não forem satisfeitas, o escoamento da água no solo não ocorrerá.

A relação linear entre a densidade de fluxo e o gradiente hidráulico só é verificada em condições de escoamento laminar, tornando a equação de Darcy válida somente sob esta condição. Outra limitação para o emprego desta equação refere-se à velocidade de escoamento muito baixa, ou seja, um gradiente hidráulico muito pequeno.

A aplicação da equação de Darcy, para condições de solos não-saturados, exige que seja considerada também a variação da condutividade hidráulica com o teor de umidade do solo, tendo esta como limite superior o próprio valor da condutividade hidráulica do solo saturado. Nesse caso, o potencial da água no solo tem dois componentes, o gravitacional e o matricial, sendo representado pela equação:

$$H = \Psi + Z$$

em que:

$\Psi$  = potencial matricial da água no solo, mm; e

$Z$  = potencial gravitacional da água no solo, mm.

Nessas condições, a equação de Darcy torna-se:

$$q = -K(\theta) \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\Psi + Z)$$

em que:

$K(\theta)$  é a condutividade hidráulica do solo para um teor de umidade  $\theta$ ,  $\text{mm.h}^{-1}$ .

A taxa de infiltração da água no solo é alta no início do processo de infiltração, particularmente quando o solo está inicialmente muito seco, mas tende a decrescer com o tempo, aproximando-se assintoticamente de um valor constante, denominado taxa de infiltração estável (muito conhecida por velocidade de infiltração básica da água no solo - VIB). Este comportamento pode ser compreendido a partir da aplicação da equação de Darcy às condições de escoamento, em meio não-saturado. No início do processo, a valor da profundidade da frente de umedecimento é pequeno. Desta forma, ter-se-á um valor do gradiente hidráulico muito elevado e, portanto, uma taxa de infiltração alta. Com o tempo, o valor de  $Z$  vai aumentando até que o gradiente hidráulico  $[(\Psi + Z)/Z]$  vai tendendo a 1 e, conseqüentemente, a taxa de infiltração tende a um valor aproximadamente igual à condutividade hidráulica do solo saturado, a qual aproxima-se da própria VIB.

Um solo mais úmido terá, inicialmente, uma menor taxa de infiltração devido a um menor gradiente hidráulico (menor diferença no potencial matricial da água no solo), e mais rapidamente a taxa de infiltração se tornará constante. A Figura 24 representa a variação da taxa de infiltração e da infiltração acumulada, para um mesmo solo sob duas condições iniciais de umidade, isto é, seco e úmido.

### 5.3. Grandezas Características

#### 5.3.1. Capacidade de infiltração (CI)

É a quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo, em um dado intervalo de tempo, sendo expresso geralmente em  $\text{mm.h}^{-1}$ . A capacidade de infiltração só é atingida durante uma chuva se houver excesso de precipitação. Caso contrário, a taxa de infiltração da água do solo não é máxima, não se

igualando à capacidade de infiltração. A CI apresenta magnitude alta no início do processo e com o transcorrer do mesmo, esta atinge um valor aproximadamente constante após um longo período de tempo. Da mesma forma como citado anteriormente, este valor é denominado taxa de infiltração estável, comumente conhecido com VIB (Figura 24).

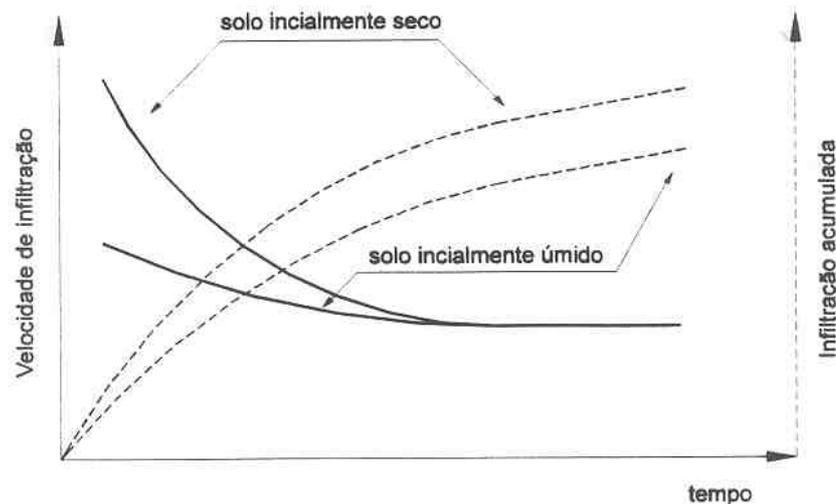


Figura 24 – Velocidade de infiltração e infiltração acumulada em função do tempo para solo inicialmente seco e úmido.

### 5.3.2. Taxa (velocidade) de Infiltração

A taxa de infiltração é definida como a lâmina de água (volume de água por unidade de área) que atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. A taxa de infiltração pode ser expressa em termos de altura de lâmina d'água ou volume d'água por unidade de tempo ( $\text{mm.h}^{-1}$ ). A equação a seguir, representa a taxa de infiltração de água no solo, correspondendo à variação da infiltração acumulada ao longo do tempo:

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

em que:

TI = taxa de infiltração da água no solo,  $\text{mm.h}^{-1}$ ;

I = infiltração acumulada, mm; e

T = tempo, h.

Como foi dito anteriormente, se em um solo com baixa capacidade de infiltração aplicarmos água a uma taxa elevada, a taxa de infiltração será correspondente à capacidade de infiltração daquele solo. Deverá existir empocamento da água na superfície e o escoamento superficial daquela água aplicada na taxa excedente à capacidade de infiltração do solo poderá ocorrer.

À medida que vai-se adicionando água no solo, a frente de umedecimento vai atingindo uma profundidade cada vez maior, diminuindo a diferença de umidade entre essa frente e a camada superficial, que vai se tornando cada vez mais úmida. Com isto, a TI vai se reduzindo substancialmente até um valor praticamente constante, característico de cada tipo de solo, e que recebe o nome de taxa de infiltração estável ou VIB. Portanto, a TI depende diretamente da textura e estrutura do solo e, para um mesmo solo, depende do teor de umidade na época da chuva ou irrigação, da sua porosidade e da existência de camada menos permeável (camada compactada) ao longo do perfil (Figura 25).

Quando uma precipitação atinge o solo com intensidade menor do que a capacidade de infiltração, toda a água penetra no solo, provocando progressiva diminuição na própria CI. Persistindo a precipitação, a partir de um tempo  $t = t_p$ , representado na Figura 25, a taxa de infiltração iguala-se à capacidade de infiltração, passando a decrescer com o tempo e tendendo a um valor constante, após grandes períodos de tempo, caracterizado como a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ).

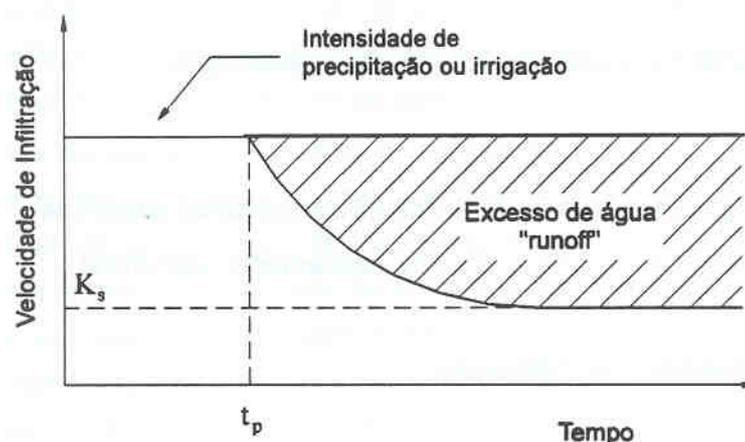


Figura 25 – Variação da velocidade de infiltração com o tempo.

A Figura 26 mostra o desenvolvimento típico das curvas representativas da evolução temporal da infiltração real e da capacidade de infiltração com a ocorrência de uma precipitação. A partir do tempo  $t = A$ , o solo começa a aumentar seu teor de umidade, conseqüentemente a capacidade de infiltração diminui. No tempo  $t = B$ , a velocidade de infiltração iguala-se à capacidade de infiltração, que continua decrescendo. Portanto, a partir desse instante, inicia-se o escoamento superficial. No tempo  $t = C$ , a chuva termina, e o solo começa a perder umidade por evaporação/transpiração. A partir deste momento, a capacidade de infiltração começa a aumentar até que uma outra precipitação ocorra, quando o processo descrito se repete.

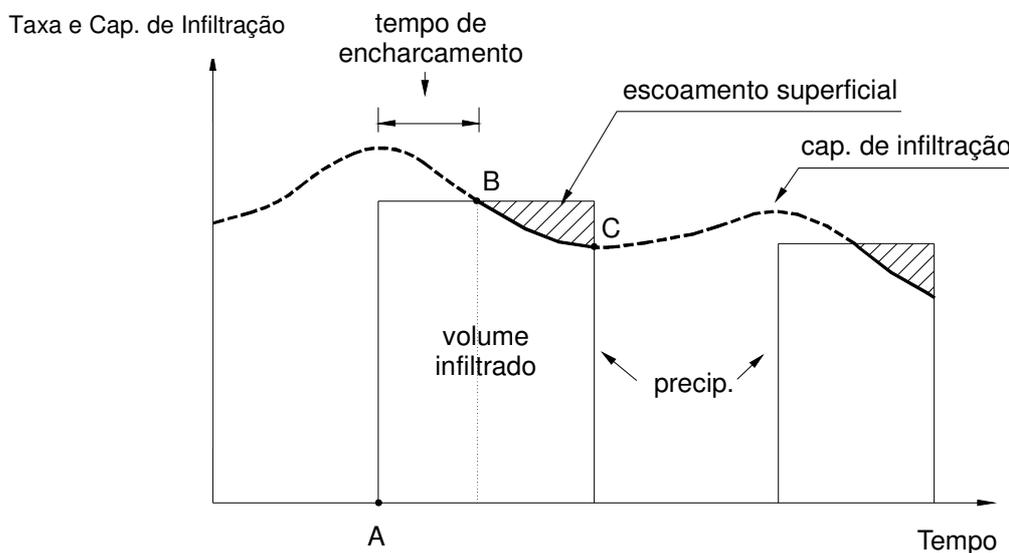


Figura 26 - Curvas de capacidade e velocidade de infiltração.

Portanto,

$$I_p \leq CI \rightarrow TI = I_p \rightarrow \text{não há escoamento superficial.}$$

$$I_p > CI \rightarrow CI = TI \rightarrow \text{há acúmulo de água na superfície e possibilidade de ocorrer escoamento superficial.}$$

#### 5.4. Fatores que Intervém na Capacidade de Infiltração

A infiltração é um processo que depende, em maior ou menor grau, de diversos fatores, dentre os quais destacam-se:

Condição da superfície: a natureza da superfície considerada é fator determinante no processo de infiltração. Áreas urbanizadas apresentam menores velocidades de infiltração que áreas agrícolas, principalmente quando estas têm cobertura vegetal.

Tipo de solo: a textura e a estrutura são propriedades que influenciam expressivamente a infiltração.

Condição do solo: em geral, o preparo do solo tende a aumentar a capacidade de infiltração. No entanto, se as condições de preparo e de manejo do solo forem inadequadas, a sua capacidade de infiltração poderá tornar-se inferior à de um solo sem preparo, principalmente se a cobertura vegetal presente sobre o solo for removida.

Umidade inicial do solo: para um mesmo solo, a capacidade de infiltração será tanto maior quanto mais seco estiver o solo inicialmente.

Carga hidráulica: quanto maior for a carga hidráulica, isto é a espessura da lâmina de água sobre a superfície do solo, maior deverá ser a taxa de infiltração.

Temperatura: a velocidade de infiltração aumenta com a temperatura, devido à diminuição da viscosidade da água.

Presença de fendas, rachaduras e canais biológicos originados por raízes decompostas ou pela fauna do solo: estas formações atuam como caminhos

preferenciais por onde a água se movimenta com pouca resistência e, portanto, aumentam a capacidade de infiltração.

Compactação do solo por máquinas e/ou por animais: o tráfego intensivo de máquinas sobre a superfície do solo, produz uma camada compactada que reduz a capacidade de infiltração do solo. Solos em áreas de pastagem também sofrem intensa compactação pelos cascos dos animais.

Compactação do solo pela ação da chuva: as gotas da chuva, ou irrigação, ao atingirem a superfície do solo podem promover uma compactação desta, reduzindo a capacidade de infiltração. A intensidade dessa ação varia com a quantidade de cobertura vegetal, com a energia cinética da precipitação e com a estabilidade dos agregados do solo.

Cobertura vegetal: O sistema radicular das plantas cria caminhos preferenciais para o movimento da água no solo o que, conseqüentemente, aumenta a TI. A presença de cobertura vegetal reduz ainda o impacto das gotas de chuva e promove o estabelecimento de uma camada de matéria orgânica em decomposição que favorece a atividade microbiana, de insetos e de animais o que contribui para formar caminhos preferenciais para o movimento da água no solo. A cobertura vegetal também age no sentido de reduzir a velocidade do escoamento superficial e, portanto, contribui para aumentar o volume de água infiltrada.

## **5.5. Métodos de Determinação da Capacidade de Infiltração**

Os métodos usados para se determinar a capacidade de infiltração da água no solo são:

- infiltrômetro de anel; e
- simuladores de chuva ou infiltrômetro de aspersão.

### 5.5.1. Infiltrômetro de Anel

Consiste basicamente de dois cilindros concêntricos e um dispositivo de medir volumes da água aduzida ao cilindro interno. Os cilindros apresentam 25 e 50 cm de diâmetro, ambos com 30 cm de altura. Devem ser instalados concêntricamente e enterrados 15 cm no solo. Para isso, as bordas inferiores devem ser em bisel a fim de facilitar a penetração no solo (Figura 27).

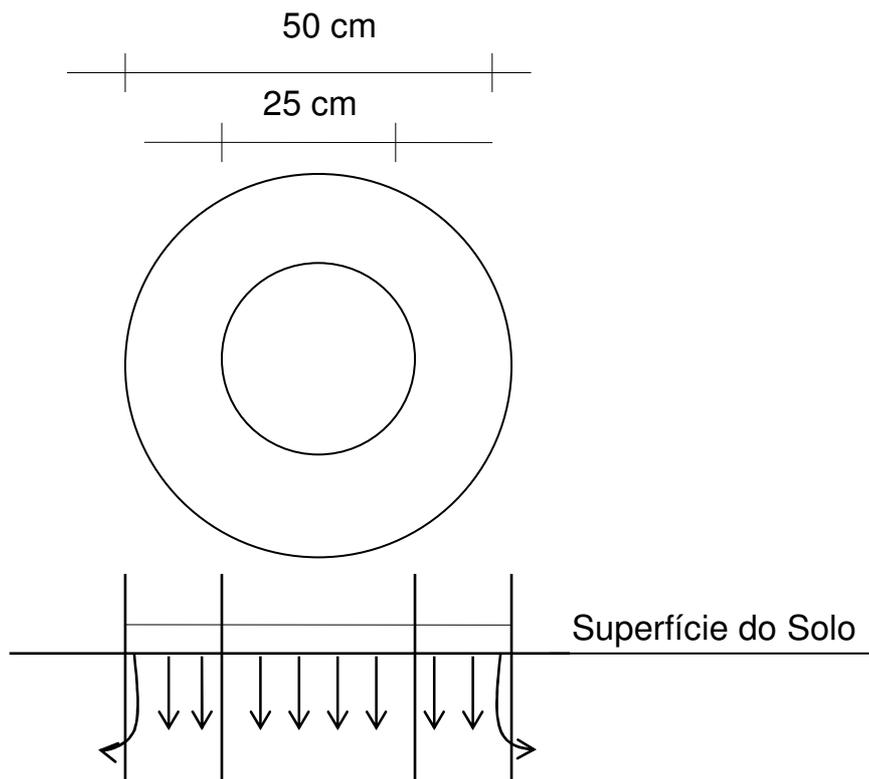


Figura 27 - Desenho esquemático do infiltrômetro de anel.

A água é colocada, ao mesmo tempo nos dois anéis e, com uma régua graduada, faz-se a leitura da lâmina d'água no cilindro interno ou anota-se o volume de água colocado no anel, com intervalos de tempo pré-determinados. A diferença de leitura entre dois intervalos de tempo, representa a infiltração vertical neste período (Figura 28).

Quando não se dispuser do cilindro externo, pode-se fazer uma bacia em volta do cilindro menor e mantê-la cheia de água enquanto durar o teste. A finalidade do anel externo ou da bacia é evitar que a água do anel interno infiltre lateralmente, mascarando o resultado do teste. A altura da lâmina d'água nos

dois anéis deve ser de 15 cm, permitindo-se uma variação máxima de 2 cm. No início do teste, essa altura pode influenciar nos resultados, entretanto, com o decorrer do tempo, ela passa a não ter efeito.

O teste termina quando a TI permanecer constante. Na prática, considera-se que isto ocorra quando TI variar menos que 10% no período de 1 (uma) hora. Neste momento, considera-se que o solo atingiu a chamada taxa de infiltração estável.



Figura 28 - Medida de infiltração com um infiltrômetro de anel.

### 5.5.2 Simuladores de Chuva

São equipamentos nos quais a água é aplicada por aspersão, com intensidade de precipitação superior à capacidade de infiltração do solo. O objetivo deste teste, portanto, é coletar a lâmina de escoamento superficial originada pela aplicação de uma chuva com intensidade superior à CI do solo. Para isso, a aplicação de água é realizada sobre uma área delimitada com

chapas metálicas tendo, em um dos seus lados, uma abertura a fim de ser possível a coleta do escoamento superficial (Figura 29).

A taxa de infiltração é obtida pela diferença entre a intensidade de precipitação e a taxa de escoamento resultante.

Por não existir o impacto das gotas de chuva contra a superfície do solo, provocando o selamento superficial, o infiltrômetro de anel superestima a taxa de infiltração em relação ao simulador de chuvas. Outro fator que contribui para que os valores de TI sejam diferentes nos dois métodos é a presença da lâmina d'água no infiltrômetro de anel. Essa lâmina provoca um aumento no gradiente de potencial favorecendo o processo de infiltração.

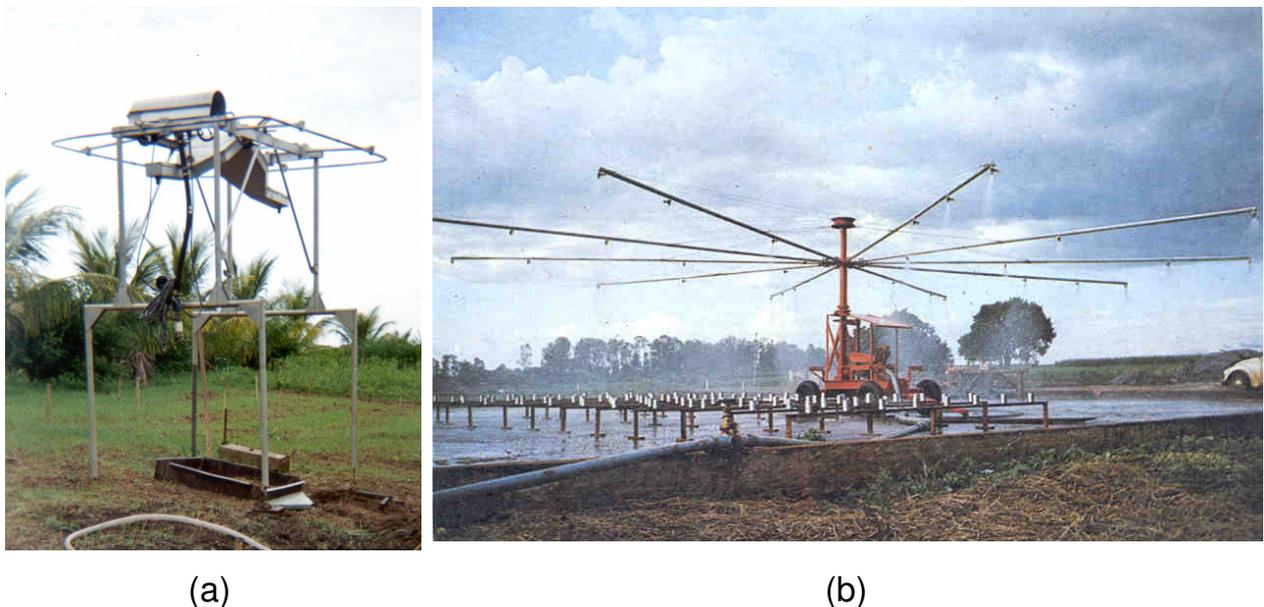


Figura 29 - Infiltrômetro de aspersão pendular (a) e rotativo (b).

## 5.6. Equações Representativas da Infiltração

A infiltração acumulada d'água no solo ( $I$ ) pode ser descrita pôr várias equações, sendo que iremos apresentar as duas equações empíricas mais utilizadas:

### 5.6.1. Equação Potencial (Kostiakov - 1932)

$$I = k \cdot T^a$$

em que:

$I$  = infiltração acumulada (cm);

$k$  = constante dependente do solo;

$T$  = tempo de infiltração (min); e

$a$  = constante dependente do solo, variando de 0 a 1.

Chamada equação de Kostiakov, este tipo de equação descreve bem a infiltração para períodos curtos, comuns na precipitação de lâminas d'água médias e pequenas.

A velocidade de infiltração instantânea ( $VI$ ) é a derivada da infiltração acumulada, em relação ao tempo :

$$VI = \frac{dI}{dT} \quad , \text{ ou seja, } \quad VI = k \cdot a \cdot T^{a-1}$$

A equação de Kostiakov possui limitações para períodos longos de infiltração, pois neste caso, a  $VI$  tende a zero, à medida que o tempo de infiltração torna-se muito grande. Entretanto, na realidade,  $VI$  tende a um valor constante correspondente à  $VIB$ , diferente de zero.

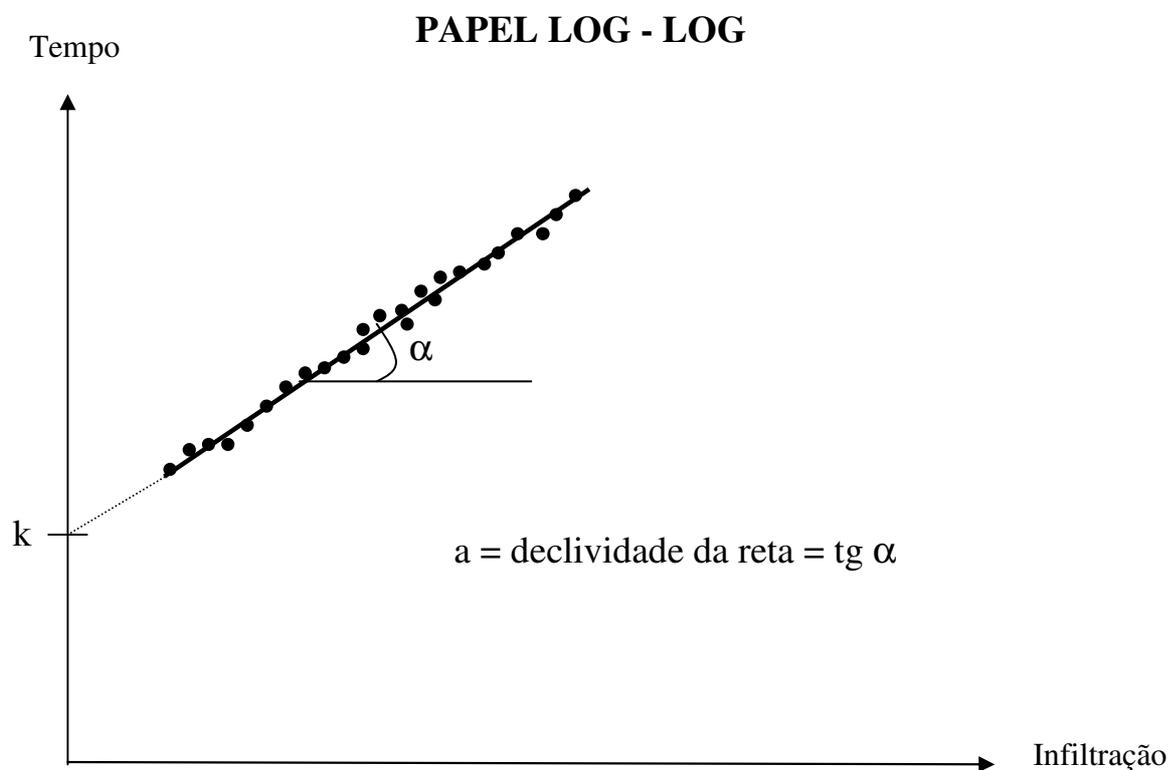
A velocidade de infiltração média ( $VIm$ ) é a divisão de  $I$  pelo tempo  $T$ :

$$VIm = \frac{I}{T} \quad VIm = \frac{k \cdot T^a}{T} \quad VIm = k \cdot T^{a-1}$$

**A determinação dos coeficientes  $a$  e  $k$**  é feita utilizando-se o método gráfico (uso de papel log-log) ou o método analítico (regressão linear).

### a) Método Gráfico

Plota-se os dados de  $I$  e  $T$  em um papel log-log e traça-se a linha reta de melhor ajuste dos pontos. O ponto de intercessão do prolongamento da reta com o eixo das ordenadas (relativo aos valores do tempo  $T$ ), será o valor de  $k$ , e a declividade da reta será o valor de  $a$  (Figura abaixo).



### b) Método Analítico

Como o método da regressão linear só pode ser aplicado para equações lineares, inicialmente a equação de infiltração, que é uma equação exponencial, deverá ser transformada em uma equação linear. Para isso, basta aplicar as operações logarítmicas correspondentes à equação de infiltração. Assim,

$$\log I = \log k + a \log T$$

Dessa forma, verifica-se que essa apresentação da equação de infiltração nada mais é que uma equação da reta do tipo  $Y = A + B X$ , em que:

- $Y = \log I$
- $A = \log k$
- $B = a$
- $X = \log T$

No método da regressão linear, os valores de A e B são determinados pelas seguintes expressões:

$$A = \frac{\sum X \times \sum XY - \sum X^2 \times \sum Y}{(\sum X)^2 - m \times \sum X^2}$$

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

em que:

m é o número de pares de dados I e T.

$$A = \log k, \quad k = \text{antilog } A, \quad \text{então, } \longrightarrow \quad k = 10^A$$

$$B = a, \quad \text{então, } \longrightarrow \longrightarrow \longrightarrow \longrightarrow \quad a = B$$

Obtidos os valores de A e B, determina-se k e a, ou seja, retorna-se a equação exponencial de origem. O valor de k é encontrado aplicando o antilog A, e a é o próprio valor de B.

**Exemplo:** Em um teste de infiltração foram levantados os seguintes dados.

| Tac (min)    | I (cm) | X = log Tac | Y = log I | X <sup>2</sup> | X . Y   |
|--------------|--------|-------------|-----------|----------------|---------|
| 0            | 0      | -           | -         | 0,0000         | 0,0000  |
| 4            | 1,5    | 0,6021      | 0,1761    | 0,3625         | 0,1060  |
| 9            | 2,7    | 0,9542      | 0,4314    | 0,9106         | 0,4116  |
| 14           | 3,7    | 1,1461      | 0,5682    | 1,3136         | 0,6512  |
| 19           | 4,8    | 1,2788      | 0,6812    | 1,6352         | 0,8711  |
| 24           | 5,6    | 1,3802      | 0,7482    | 1,9050         | 1,0327  |
| 29           | 6,6    | 1,4624      | 0,8195    | 2,1386         | 1,1985  |
| 34           | 7,6    | 1,5315      | 0,8808    | 2,3454         | 1,3489  |
| 39           | 8,6    | 1,5911      | 0,9345    | 2,5315         | 1,4868  |
| 44           | 9,4    | 1,6435      | 0,9731    | 2,7009         | 1,5993  |
| 54           | 11,0   | 1,7324      | 1,0414    | 3,0012         | 1,8041  |
| 64           | 12,9   | 1,8062      | 1,1106    | 3,2623         | 2,0059  |
| 74           | 14,4   | 1,8692      | 1,1584    | 3,4940         | 2,1652  |
| 84           | 16,2   | 1,9243      | 1,2095    | 3,7029         | 2,3274  |
| 94           | 17,8   | 1,9731      | 1,2504    | 3,8932         | 2,4672  |
| 104          | 19,4   | 2,0170      | 1,2878    | 4,0684         | 2,5975  |
| 114          | 20,9   | 2,0569      | 1,3201    | 4,2309         | 2,7154  |
| 124          | 22,5   | 2,0934      | 1,3522    | 4,3824         | 2,8307  |
| 134          | 24,0   | 2,1271      | 1,3802    | 4,5246         | 2,9359  |
| 144          | 25,5   | 2,1584      | 1,4065    | 4,6585         | 3,0358  |
| 154          | 26,8   | 2,1875      | 1,4281    | 4,7852         | 3,1241  |
| 164          | 28,4   | 2,2148      | 1,4533    | 4,9055         | 3,2189  |
| 174          | 30,0   | 2,2405      | 1,4771    | 5,0201         | 3,3096  |
| 184          | 31,6   | 2,2648      | 1,4997    | 5,1294         | 3,3965  |
| 194          | 33,2   | 2,2878      | 1,5211    | 5,2340         | 3,4801  |
| 204          | 34,8   | 2,3096      | 1,5416    | 5,3344         | 3,5605  |
| 214          | 36,4   | 2,3304      | 1,5611    | 5,4308         | 3,6380  |
| <b>Total</b> |        | 47,1834     | 29,2123   | 90,9012        | 57,3191 |

Número de pares de valores  $T \times I$  (m) = 26

Calculando os valores de A e B, tem-se:

$$A = \frac{47,1834 \times 57,3191 - 90,9012 \times 29,2123}{(47,1834)^2 - 26 \times 90,9012} = - 0,3578$$

$$B = \frac{47,1834 \times 29,2123 - 26 \times 57,3191}{(47,1834)^2 - 26 \times 90,9012} = 0,8163$$

Como:  $A = \log k$ ,  $k = \text{antilog } A$ ,  $k = \text{antilog } (- 0,3578)$ ,  **$k = 0,4387$**

Como:  $B = a$ ,  **$a = 0,8163$**

A forma final da equação de infiltração será:

$$I = 0,4387 T^{0,8163}$$

A forma final da equação de velocidade de infiltração instantânea será:

$$VI = 0,3581 T^{-0,1837}$$

A forma final da equação de velocidade de infiltração média será:

$$V_{Im} = 0,4387 T^{-0,1837}$$

### 5.6.2. Equação Potencial Modificada (Kostiakov-Lewis)

Com o objetivo de solucionar o problema de TI tender a zero para um longo período de tempo, a seguinte equação foi proposta e é muito utilizada:

$$I = k \cdot T^a + VIB \cdot T$$

Neste caso, os parâmetros da equação de infiltração ( $k$  e  $a$ ) são estimados pelo método da regressão linear, fazendo um arranjo dos termos:

$$\log (I - VIB \cdot T) = \log k + a \cdot \log T$$

Com este arranjo,  $Y = \log (I - VIB \cdot T)$ , e os outros parâmetros são os mesmos utilizados anteriormente.

Apesar da modificação feita na equação potencial (Kostiakov) visando solucionar o problema de TI tender a zero e não à VIB, essas equações não levam em consideração o teor de umidade inicial do solo. Por isso, o teste de infiltração deve ser realizado quando o solo estiver com um teor de umidade médio. Desta maneira, o problema é parcialmente resolvido.

O solo pode ser classificado de acordo com a velocidade de infiltração básica, conforme abaixo:

|                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Solo de VIB baixa.....      | VIB < 5 mm.h <sup>-1</sup>       |
| Solo de VIB média.....      | 5 < VIB < 15 mm.h <sup>-1</sup>  |
| Solo de VIB alta.....       | 15 < VIB < 30 mm.h <sup>-1</sup> |
| Solo de VIB muito alta..... | VIB > 30 mm.h <sup>-1</sup>      |

## 5.7. Exercícios

1) Um determinado solo de uma microbacia hidrográfica foi submetido ao teste de Infiltração (Método de Infiltrômetro de Anel) apresentou os seguintes resultados:

| HORA  | TEMPO (min) | TEMPO ACUMULADO (min) | INFILTRAÇÃO (mm) | INFILTRAÇÃO ACUMULADA (mm) | VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO ( $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ) |
|-------|-------------|-----------------------|------------------|----------------------------|---|
| 08:00 |             |                       | 0                |                            |   |
| 08:05 |             |                       | 9,1              |                            |   |
| 08:10 |             |                       | 6,6              |                            |   |
| 08:20 |             |                       | 8,4              |                            |   |
| 08:30 |             |                       | 5,6              |                            |   |
| 08:45 |             |                       | 7,4              |                            |   |
| 09:00 |             |                       | 6,8              |                            |   |
| 09:30 |             |                       | 12,5             |                            |   |
| 10:00 |             |                       | 11,9             |                            |   |
| 11:00 |             |                       | 17,8             |                            |   |
| 12:00 |             |                       | 16,7             |                            |   |
| 13:00 |             |                       | 15,0             |                            |   |
| 14:00 |             |                       | 14,7             |                            |   |
| 15:00 |             |                       | 14,7             |                            |   |
| 16:00 |             |                       | 14,7             |                            |   |
| 17:00 |             |                       | 14,7             |                            |   |

Pede-se:

- apresentar as equações de infiltração (I) e velocidade de infiltração (VI), propostas pelo modelo de Kostiakov;
- apresentar as equações de infiltração (I) e velocidade de infiltração (VI), propostas pelo modelo de Kostiakov – Lewis (Kostiakov modificada);
- apresentar o gráfico Velocidade de Infiltração X Tempo Acumulado;
- indicar a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) no gráfico Velocidade de Infiltração X Tempo Acumulado;
- indicar o valor em  $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , da Velocidade de Infiltração Básica (VIB); e
- classifique este solo em relação a velocidade de infiltração básica.

2) Em um teste de infiltração foram levantados os seguintes dados:

| Tac (min) | I (mm) | $x = \log Tac$ | $Y = \log I$ | $X^2$ | $X \cdot Y$ |
|-----------|--------|----------------|--------------|-------|-------------|
| 0         | 0      |                |              |       |             |
| 1         | 26     |                |              |       |             |
| 2         | 41     |                |              |       |             |
| 4         | 52     |                |              |       |             |
| 6         | 60     |                |              |       |             |
| 11        | 86     |                |              |       |             |
| 16        | 111    |                |              |       |             |
| 26        | 138    |                |              |       |             |
| 36        | 157    |                |              |       |             |
| 51        | 182    |                |              |       |             |
| 66        | 212    |                |              |       |             |
| 96        | 256    |                |              |       |             |
| 126       | 299    |                |              |       |             |
| 156       | 326    |                |              |       |             |
| 186       | 352    |                |              |       |             |
| 216       | 384    |                |              |       |             |
| Total     |        |                |              |       |             |

Determinar os parâmetros  $k$  e  $a$  da equação de infiltração da água no solo e apresentar a equação potencial.

3) Comente sobre os fatores intervenientes sobre o processo de infiltração da água no solo.

4) Explique como se pode determinar a Capacidade de Infiltração da água em um solo.

## 5) (Questão 19 Prova de Hidrologia Concurso CPRM 2002 - Certo ou Errado)

a) (item 1) Os dados da tabela abaixo foram coletados por intermédio de um simulador de chuva de 2 m X 4 m, que proporcionou uma precipitação de intensidade constante de  $50 \text{ mm.h}^{-1}$ . Nessa tabela, apresentam-se o tempo e o volume acumulado, coletado na única seção de saída de escoamento superficial do experimento.

|                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tempo (min)          | 0     | 5     | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    |
| Volume acumulado (L) | 0*    | 0**   | 4,3   | 30,9  | 72,2  | 121,5 | 174,8 | 231,1 | 289,0 |
| Tempo (min)          | 80    | 90    | 100   | 110   | 120   | 130   | 140   | 150   | 160   |
| Volume acumulado (L) | 347,4 | 406,7 | 466,3 | 526,1 | 586,0 | 645,9 | 705,9 | 765,9 | 825,9 |

\* início da precipitação.

\*\* início do escoamento superficial.

Com base nessas informações, calcule a lâmina infiltrada após uma hora e após 150 minutos do início da precipitação.

b) (item 4) De acordo com a lei de Darcy, a taxa com que se processa a infiltração de água no solo permanece constante enquanto a intensidade de chuva for baixa, para posteriormente decrescer exponencialmente. A taxa final é denominada capacidade de infiltração do solo.