

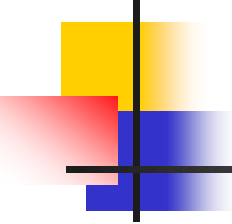
Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP



HIDROLOGIA E HIDRÁULICA APLICADAS (LOB1216)

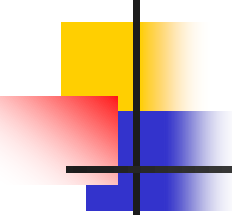
Aula 9 Interceptação Infiltração

Prof. MSc. Paulo Ricardo Amador Mendes



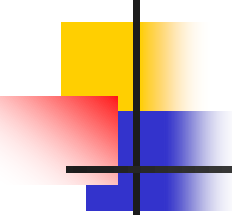


INTERCEPTAÇÃO



Interceptação

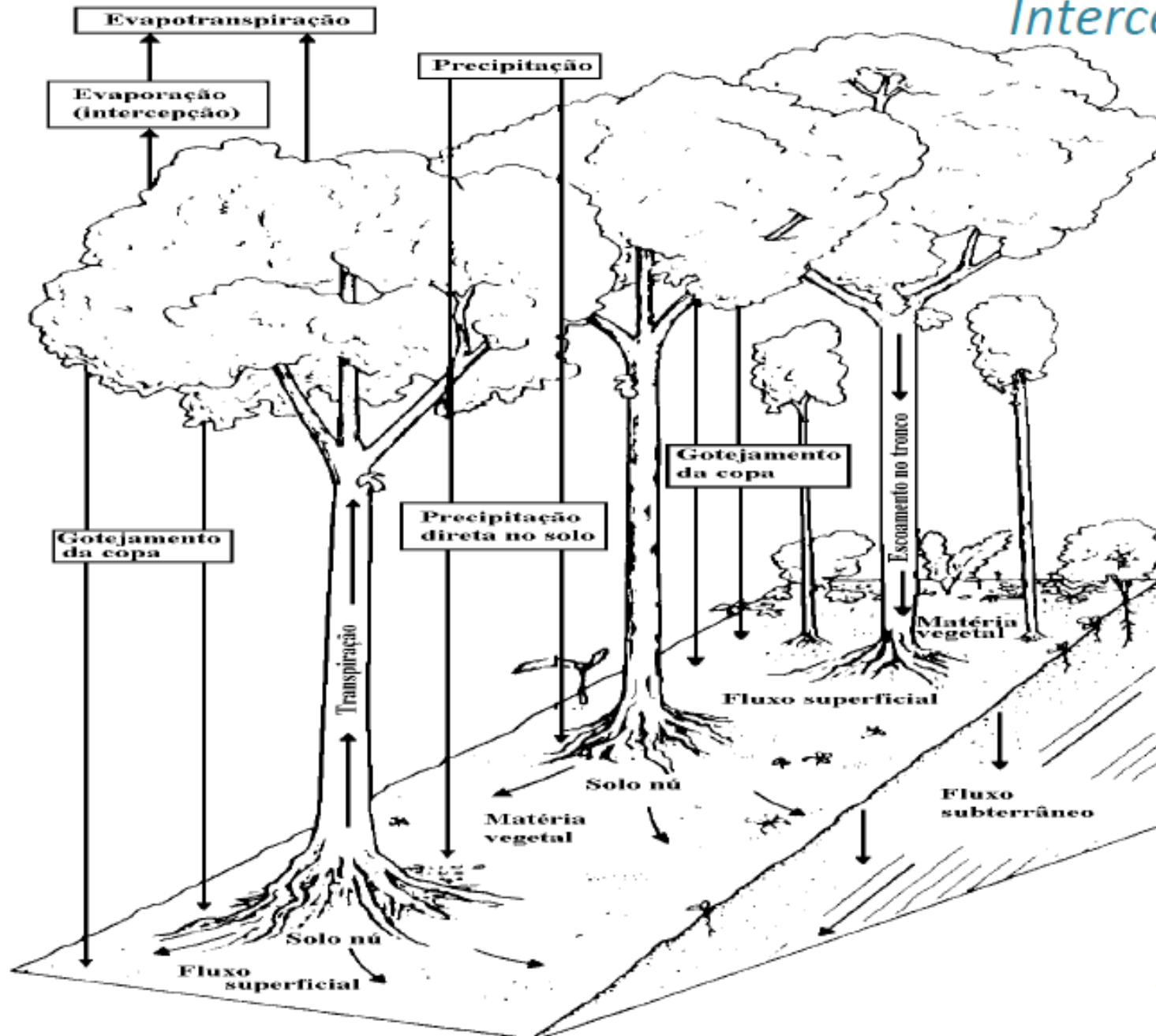
- A interceptação é a retenção de parte da precipitação
- A interceptação pode ocorrer devido a vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento como a depressão do solo. O volume retido é perdido por evaporação;



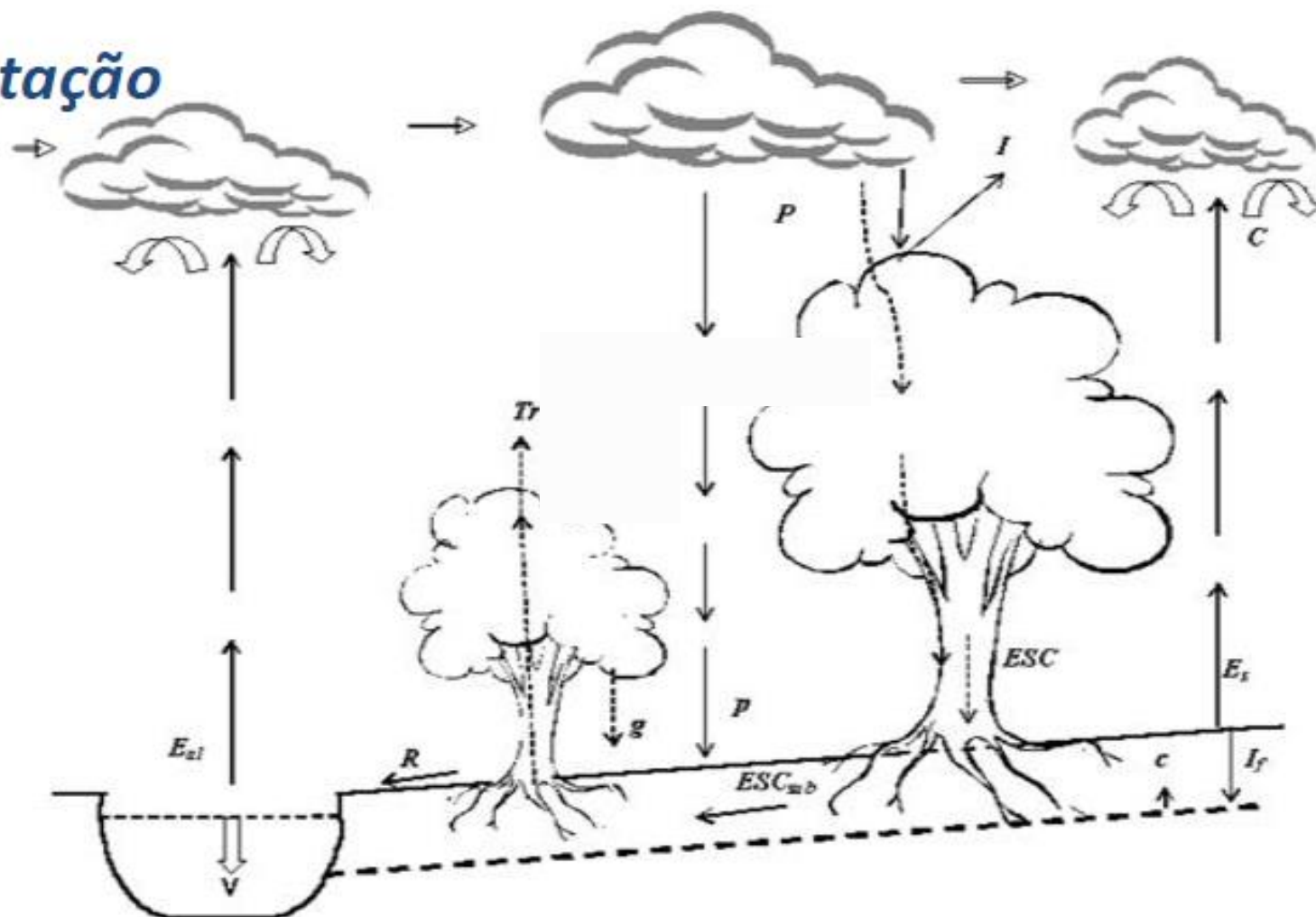
Interceptação

- Este processo interfere no balanço hídrico da bacia hidrográfica, funcionando como um reservatório que armazena uma parcela da precipitação para consumo.
- A tendência é de que a interceptação reduza a variação da vazão ao longo do ano, retarde e reduza o pico das cheias

Interceptação



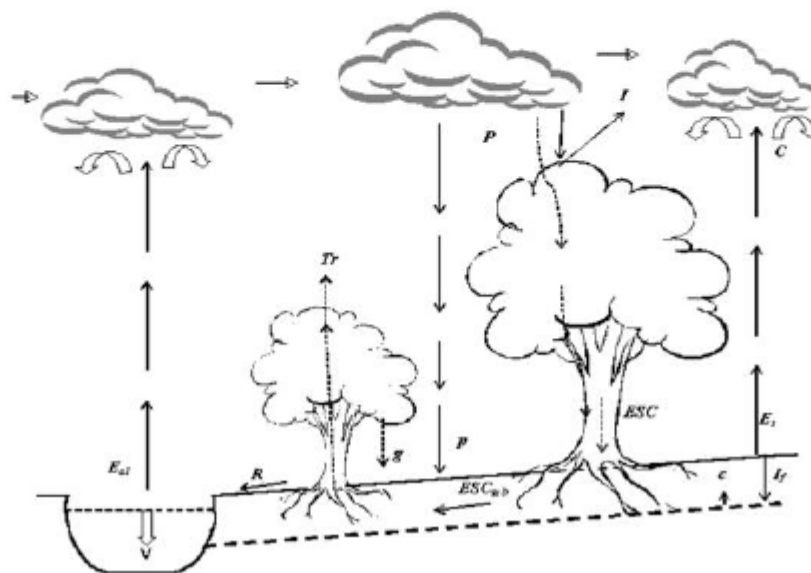
Interceptação

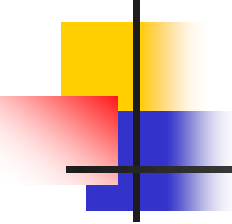


Ciclo hidrológico enfatizando o processo de interceptação da precipitação pela vegetação, onde P é a precipitação, p a precipitação livre, I a interceptação, C a condensação, Tr a transpiração, E_s evaporação do solo, E_{al} evaporação da água livre, g o gotejamento, ESC escoamento pelos troncos, R o escoamento superficial, ESC_{sub} escoamento subterrâneo, I_f infiltração, c capilaridade, V vazão

Interceptação

No estudo de uma bacia hidrográfica há uma estreita relação entre o ciclo hidrológico e a cobertura vegetal da área, interferindo no movimento hídrico das diversas etapas do sistema, inclusive nas transferências para atmosfera e cursos d'água (Arcova et al., 2003).

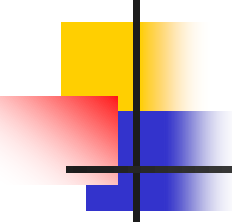




Interceptação

Em alguns casos, se confia a quantidade de água precipitada acima do dossel, com a água realmente disponível para o solo.

A falta de informação de interceptação da precipitação pela vegetação pode induzir a erros nas medidas reais das quantidades de água que contribuirão para a reposição da umidade disponível no solo, comprometendo o cálculo do balanço hídrico.



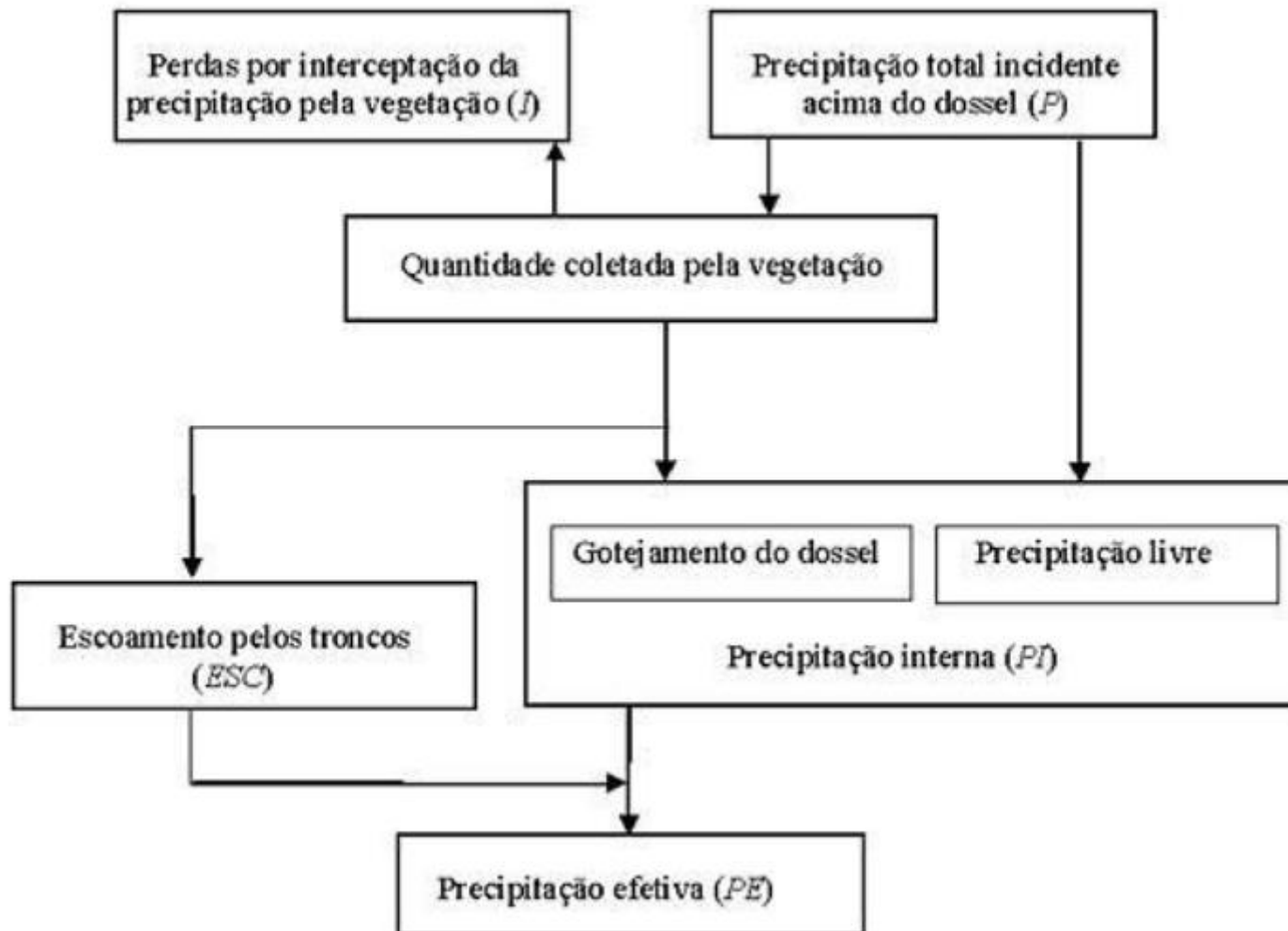
Interceptação

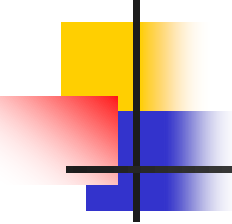
Parte da precipitação em contato com a vegetação se acumula nas folhas e ramos e é devolvida à atmosfera por evaporação (perdas por interceptação).

Outra parte da água escorrerá pelos troncos e gotejará das folhas atingindo o solo, que somada com a parte da chuva que atravessou diretamente o dossel, formará a precipitação efetiva que realmente contribui para a recarga hídrica do solo.

Interceptação

Fluxograma conceitual

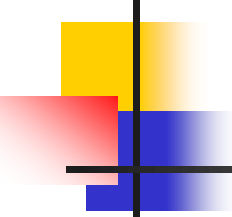




Interceptação

- *A interceptação vegetal depende de vários fatores:*
 - a. características da precipitação e condições climáticas,
 - b. tipo e densidade da vegetação
 - c. período do ano.

- *As características principais da precipitação são a*
 - a. Intensidade
 - b. volume precipitado.



Interceptação – Equação de continuidade

A equação da continuidade para o sistema de interceptação pode ser descrita por

$$S_i = P - T - C$$

Onde

S_i = precipitação interceptada;

P = precipitação;

T = precipitação que atravessa a vegetação;

C = parcela que escoia pelo tronco das árvores.

Intercepção – Medidas

$$S_i = P - T - C$$

- ***Precipitação:***

Postos em clareiras, topo das árvores

- ***Precipitação que atravessa as árvores:***

Esta precipitação é medida por drenagem especial colocada abaixo das árvores e distribuída de tal forma a obter uma representatividade espacial desta variável; utilizar cerca de dez vezes mais equipamentos para a medição da precipitação que atravessa a vegetação do que para a precipitação total.

Intercepção – Medidas

$$Si = P - T - C$$

- *Escoamento pelos troncos:*

Esta variável apresenta uma parcela pequena do total precipitado (de 1 a 15% do total precipitado), e em muitos casos está dentro da faixa de erros de amostragem das outras variáveis

A medição desta variável somente é viável para vegetação com tronco de magnitude razoável

Interceptação



Interceptação – quantificação

- Equações empíricas

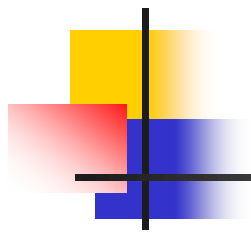
$$S_i = a + b \cdot P^n$$

a, b e n = parâmetros
ajustados ao local

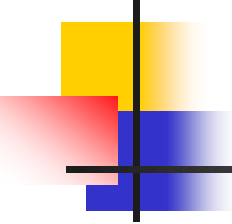
S_i e P = precipitação, em
polegadas.

Cobertura Vegetal	a	b	n
Pomar	0,04	0,018	1,00
"Ash"	0,02	0,018	1,00
"beech"	0,04	0,18	1,00
Carvalho	0,05	0,18	1,00
"maple"	0,04	0,18	1,00
arbustos	0,02	0,40	1,00
pinus	0,05	0,20	0,50
pequenas culturas	0,02h	0,15h	1,00
pasto	0,005h	0,08h	1,00
forrageiras	0,01h	0,10h	1,00
pequenos grãos	0,005h	0,05h	1,00
milho	0,05h	0,005h	1,00

h = altura da planta (em pés)



INFILTRAÇÃO



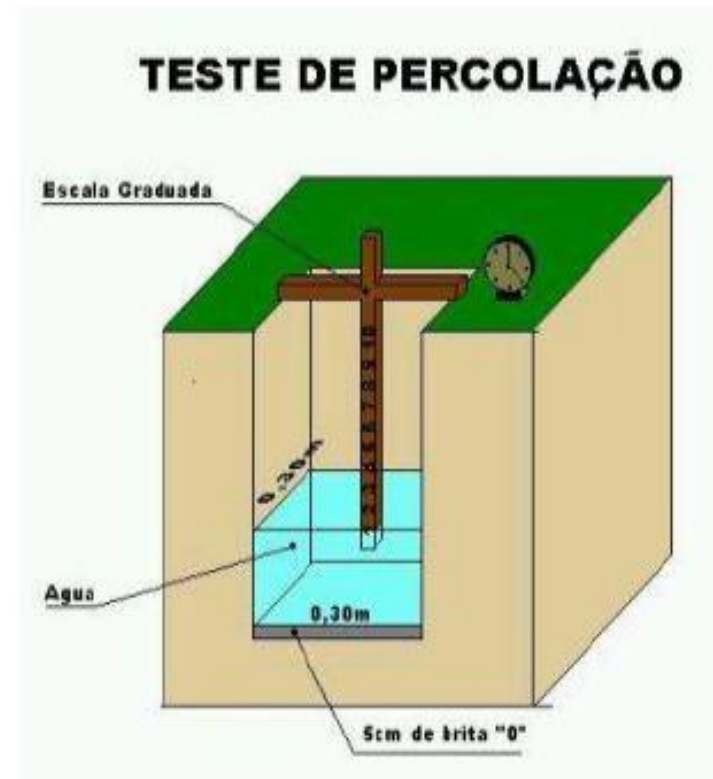
Infiltração

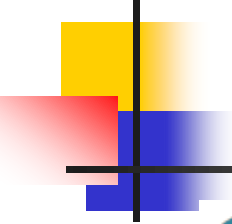
Processo pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do solo e se move para baixo, em direção do lençol de água.

Infiltração

A infiltração é o escoamento da água superficial pelo perfil do solo.

A percolação é o movimento da água dentro do solo, enquanto a infiltração é a passagem da água superficial para dentro do solo.

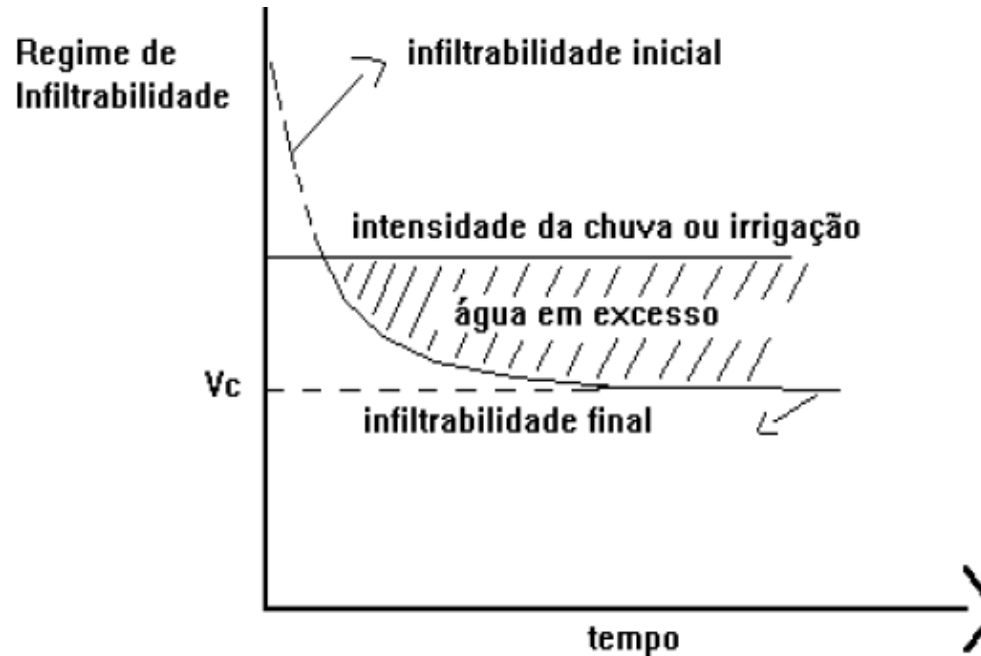




Fases de infiltração de água de chuva no terreno

1. ***Fase de intercâmbio:*** ocorre na camada superficial de terreno, onde as partículas de água estão sujeitas a retornar à atmosfera, seja devido ao fenômeno à aspiração capilar provocada pela evaporação à superfície, seja devido ao fenômeno de transpiração das plantas;
2. ***Fase de descida:*** a ação da gravidade superando a capilaridade, obriga o escoamento descendente da água até atingir camada impermeável;
3. ***Fase de circulação:*** saturado o solo, formam-se os lençóis subterrâneos. A água escoar devido à declividade das camadas impermeáveis.

Fases de infiltração de água de chuva no terreno

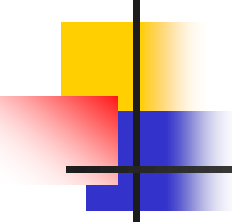


V_c é a velocidade constante na qual a água alcança após um determinado tempo de infiltração.

V_c = condutividade hidráulica saturada (K_s) do solo em estudo.

A parte superior da curva (área entre a o início do teste e o início do ponto onde a condutividade se estabiliza), é a velocidade de infiltração instantânea do solo em cada momento da medição

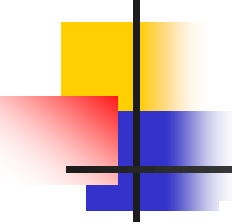
Tipos de fluxo de água na infiltração



Insaturado (no início do teste) Durante o fluxo insaturado, a água entra no solo com um gradiente hidráulico maior do que no saturado. No início do processo, além do potencial gravitacional, o potencial da matriz do solo é mais negativo, aumentando em muito o fluxo.

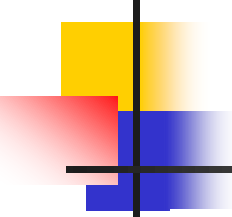
Saturado (final do teste, com velocidade de infiltração constante).

Com o tempo o potencial da matriz vai se tornando menos negativo, até que alcança valor zero. O único componente é potencial gravitacional e assim a velocidade de infiltração se torna aproximadamente constante, o que equivale à condutividade hidráulica saturada.



Grandezas características da infiltração

1. Capacidade de infiltração
2. Distribuição granulométrica
3. Porosidade do solo
4. Velocidade de filtração
5. Coeficiente de permeabilidade
6. Retenção específica



Grandezas características da infiltração

1. Capacidade de infiltração (taxa de infiltração: f)

Razão máxima com que um solo, em uma dada condição, é capaz de absorver água, geralmente expressa em mm/h

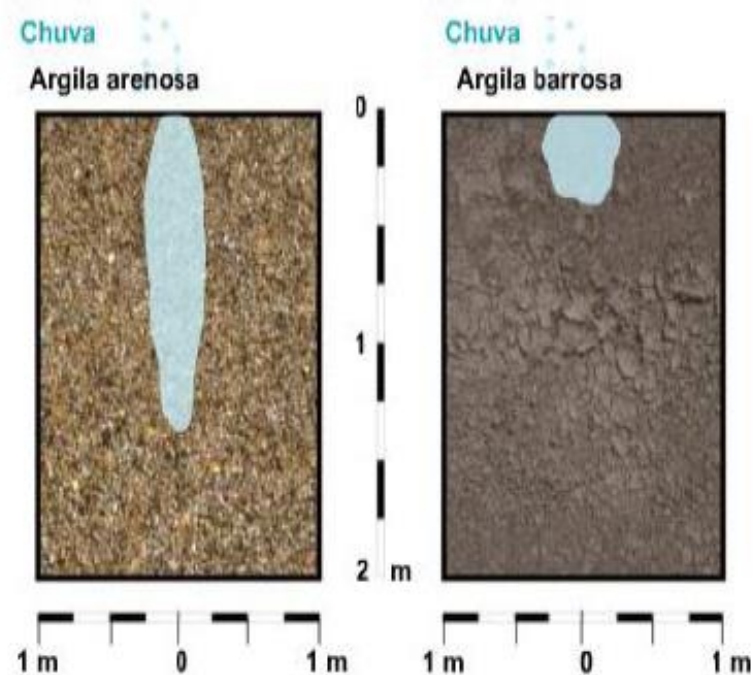
A capacidade de infiltração só é atingida durante uma chuva se houver excesso de precipitação.

Caso contrário, a razão de absorção da água do solo não é máxima, e por conseguinte a razão de absorção não é a capacidade de infiltração.

Grandezas características da infiltração

A capacidade de infiltração ou taxa de infiltração está relacionada à textura e cobertura, umidade, temperatura do solo, intensidade e tipo de precipitação.

Quando a taxa de precipitação é maior que a taxa de infiltração, ocorre o escoamento superficial.



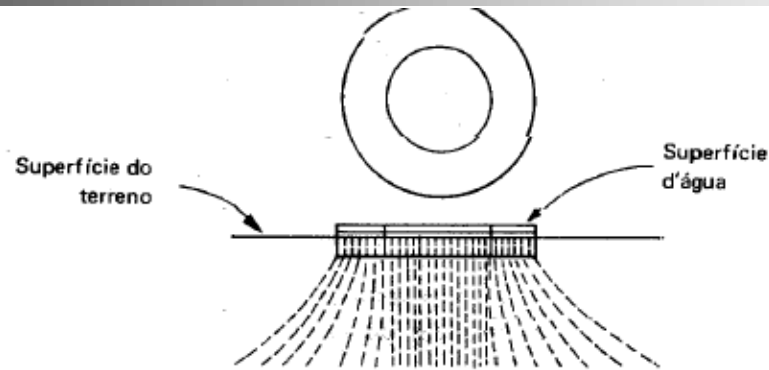
Métodos de medição da capacidade de infiltração

a. Infiltrômetro de duplo anel

Consiste em dois cilindros concêntricos e um dispositivo de medir volumes da água aduzida ao cilindro interno. Destinado à determinação direta da capacidade de infiltração do solo.



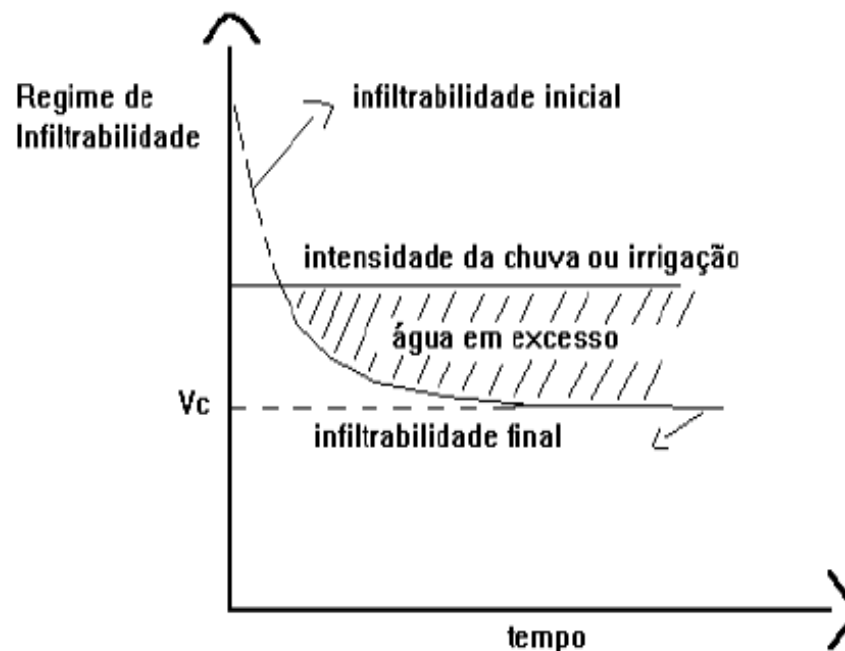
Métodos de medição da capacidade de infiltração



- Os anéis devem ser instalados no solo com o auxílio de uma marreta.
- Coloca-se água, ao mesmo tempo nos dois anéis.
- Geralmente a lâmina de água no cilindro interno é maior externo, devido a função do cilindro externo que é apenas a orientação das linhas de corrente.
- E com uma régua graduada acompanha-se a infiltração vertical no cilindro interno para vários intervalos de tempo.

Capacidade de infiltração instantânea

A parte superior da curva (área entre a o início do teste e o início do ponto onde a condutividade se estabiliza), é a velocidade de infiltração (capacidade ou taxa) instantânea do solo em cada momento da medição;



Capacidade de infiltração instantânea

- A capacidade de infiltração instantânea é calculada por:

$$I_t = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

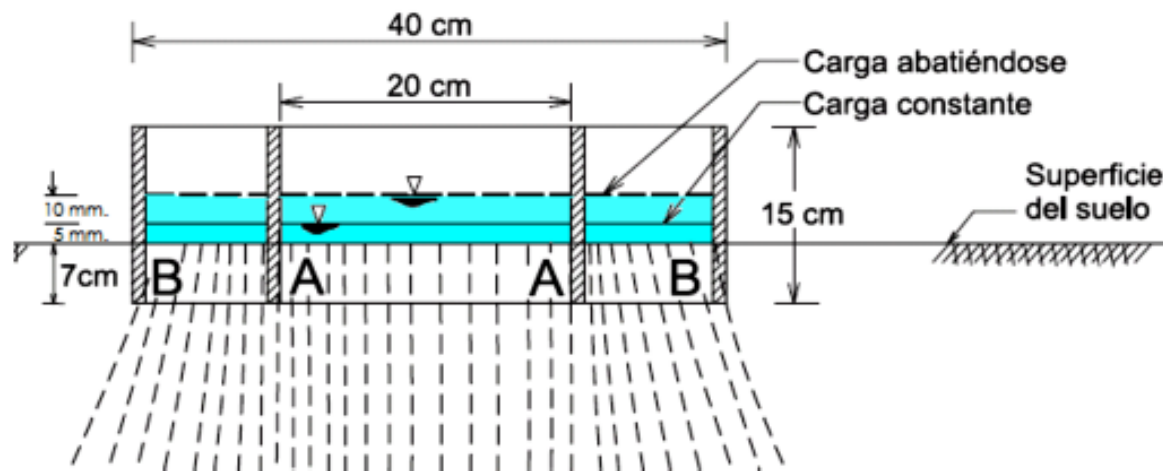
Onde:

I_t é a capacidade de Infiltração instantânea (mm/h) ;

Δh é a variação da lâmina d'água (mm);

Δt é o intervalo de tempo (h);

Capacidade de infiltração instantânea

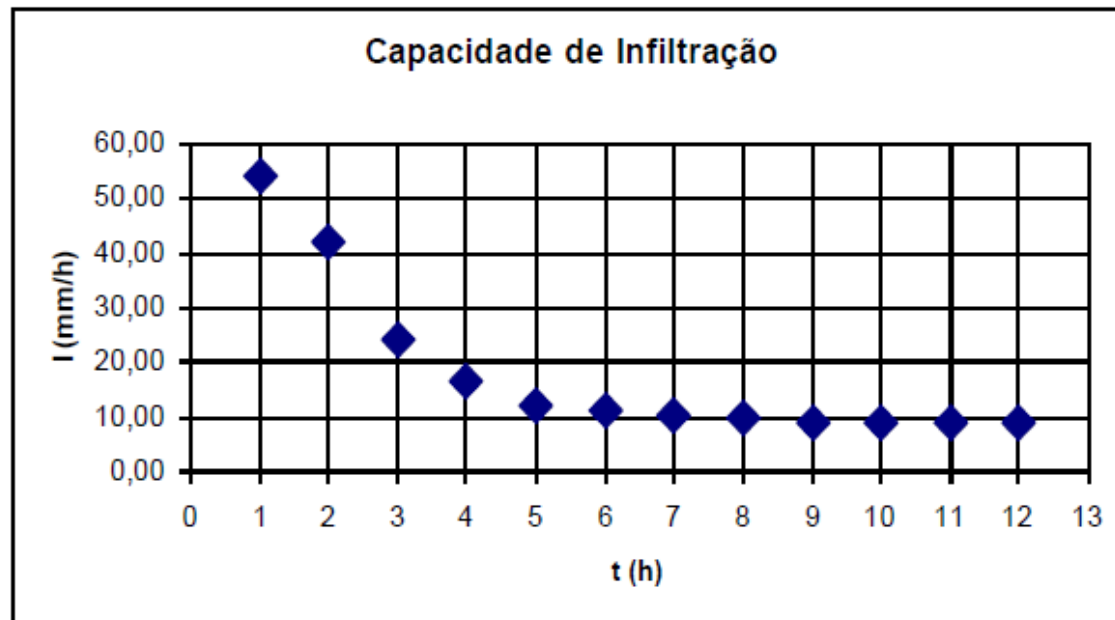


1	2	3	4	5
Tempo (min)	Volume lido (cm ³)	Variação de volume (cm ³)	Altura da Lâmina (mm)	Capacidade de infiltração (mm/h)

31

Capacidade de infiltração instantânea

- O gráfico da capacidade de infiltração é do tipo $t \times I$ (Capacidade de Infiltração em função do tempo).



Onde:

I_t é a capacidade de Infiltração (mm/h) ;

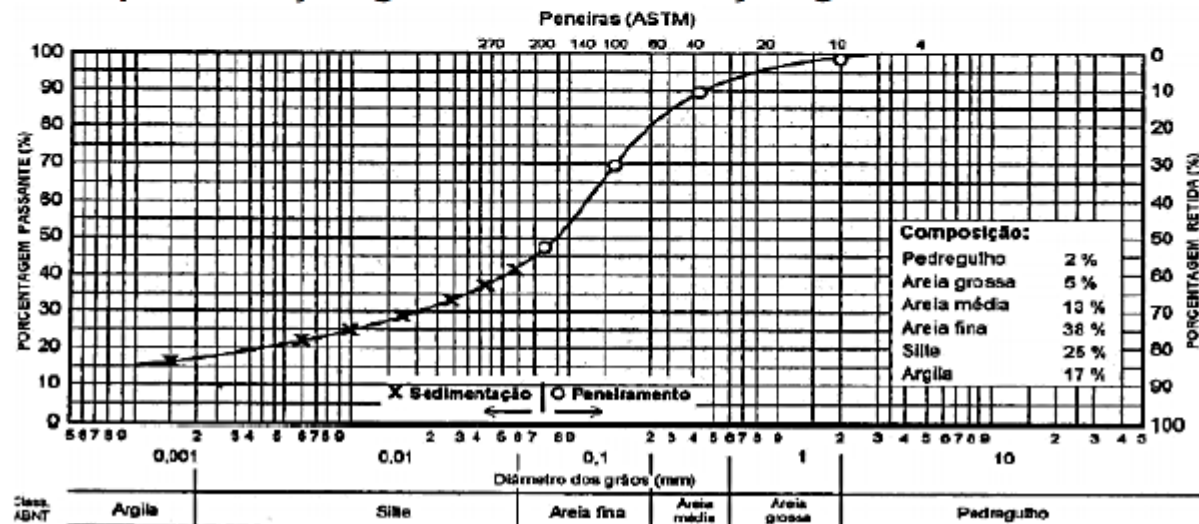
t é o tempo (h);

Grandezas características da infiltração

2. Distribuição granulométrica

Consiste na distribuição das partículas constitutivas de solos granulares em função das dimensões das mesmas. Geralmente é utilizada uma curva de distribuição granulométrica

Representação gráfica da distribuição granulométrica do solo



Grandezas características da infiltração

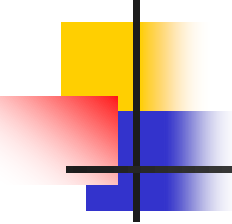
Serie Padrão de Peneiras ASTM



ASTM - série padrão

abertura (mm)

3"	76,2
2"	50,8
1½"	38,1
1"	25,4
¾"	19,1
⅜"	9,5
¼"	6,4
#4	4,8
#8	2,4
#10	2,0
#16	1,2
#20	0,84
#30	0,60
#40	0,42
#50	0,30
#60	0,25
#80	0,18
#100	0,15
#200	0,074



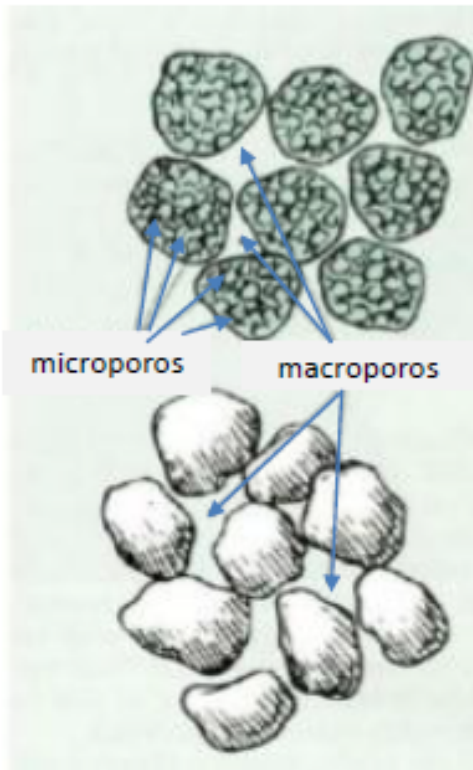
Grandezas características da infiltração

3. Porosidade do solo

Relação entre o volume de vazios e o volume total do solo; geralmente é expressa em porcentagem.

Esta propriedade está em relação íntima com a granulométrica e com a forma dos grãos.

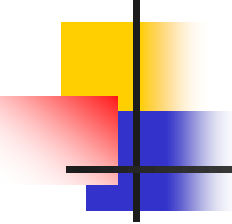
Grandezas características da infiltração



Refere-se aos espaços vazios existentes no solo variando suas dimensões (macro e microporos);

Solos argilosos (a) apresentam grande quantidade de microporos e poucos macroporos;

Solos arenosos (b) apresentam grande quantidade de macroporos.

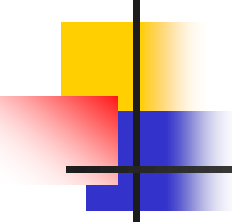


Grandezas características da infiltração

4. Velocidade de filtração

Velocidade média com que a água atravessa o solo, ou ainda, é a vazão dividida pela área da secção reta do escoamento.

Apenas a velocidade de filtração não é bom parâmetro da infiltração, pois depende exclusivamente da permeabilidade e do gradiente hidráulico, enquanto que a infiltração depende também das condições de contorno.



Grandezas características da infiltração

5. Coeficiente de permeabilidade

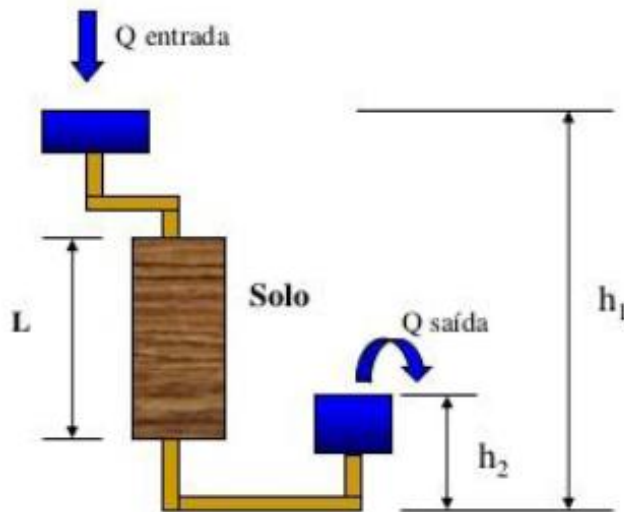
Coeficiente que mede a maior ou menor facilidade que cada solo, quando saturado, oferece ao escoamento da água através de seus interstícios (m/dia, cm/s, $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$).

A permeabilidade depende principalmente da porosidade, da granulometria e forma dos grãos.

Cálculo do coeficiente de permeabilidade

Lei de Darcy

- A Lei de Darcy rege o escoamento da água nos solos saturados, e é representada pela seguinte equação:



$$Q = k \left(\frac{h_1 - h_2}{L} \right) A$$

Onde:

Q = Vazão;

k = Coeficiente de permeabilidade;

h_1 = Carga total no início do fluxo;

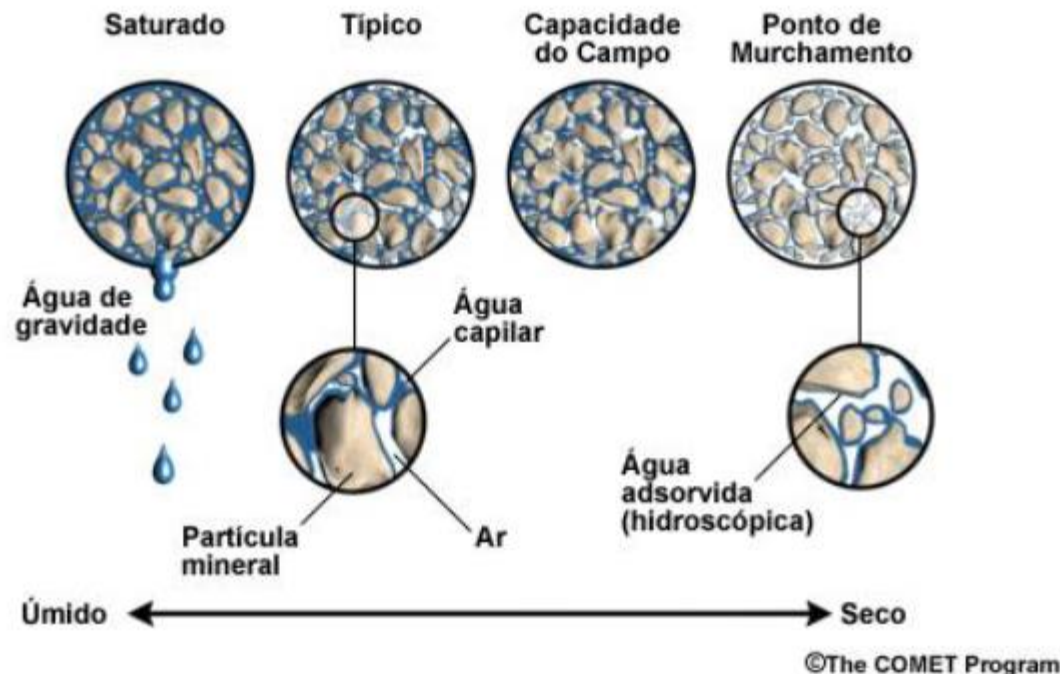
h_2 = Carga total no final do fluxo;

A = Área da amostra de solo;

L = Comprimento da amostra de solo.

h
2
2

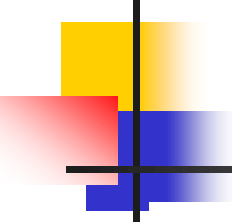
Cálculo do coeficiente de permeabilidade



Poros do solo completamente preenchidos com água - solo saturado. Em solos saturados a água não irá infiltrar e dará início à formação de escoamento superficial.

Escoamento superficial ocorre quando

- 1-quando a taxa de precipitação é maior que a taxa de infiltração no solo;
- 2 – quando o solo se encontra saturado



Cálculo do coeficiente de permeabilidade

6. Suprimento específico

É a quantidade máxima de água que se pode obter de um solo saturado por meio de drenagem natural. Geralmente é expresso em porcentagem do volume do solo saturado.

7. Retenção específica

É a quantidade de água que fica retida (por adesão ou capilaridade) no solo, após este ser submetido a um máximo de drenagem natural . Expressa em %

Permeabilidade Urbana

Cidade Permeável - Várzea



Cidade Impermeável - Alagada



Nível Permeabilidade do Solo

Floresta



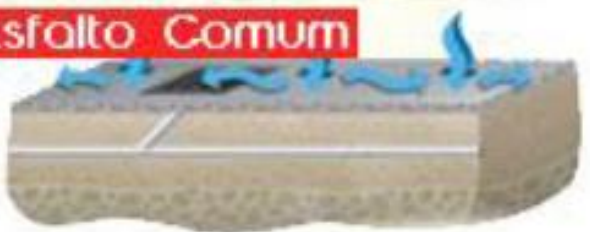
Jardim

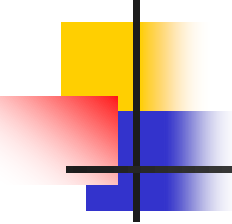


Asfalto Poroso



Asfalto Comum





Bibliografia

- CHAVEZ, J.D.R. **Interceptação-Infiltração**. Apostila da Disciplina LOB1216 – Hidrologia e Hidráulica Aplicadas. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. Departamento de Ciências Básicas e Ambientais. Lorena, 2016.
- PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A.; GOMIDE, F.L.S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976.