



HIDROLOGIA

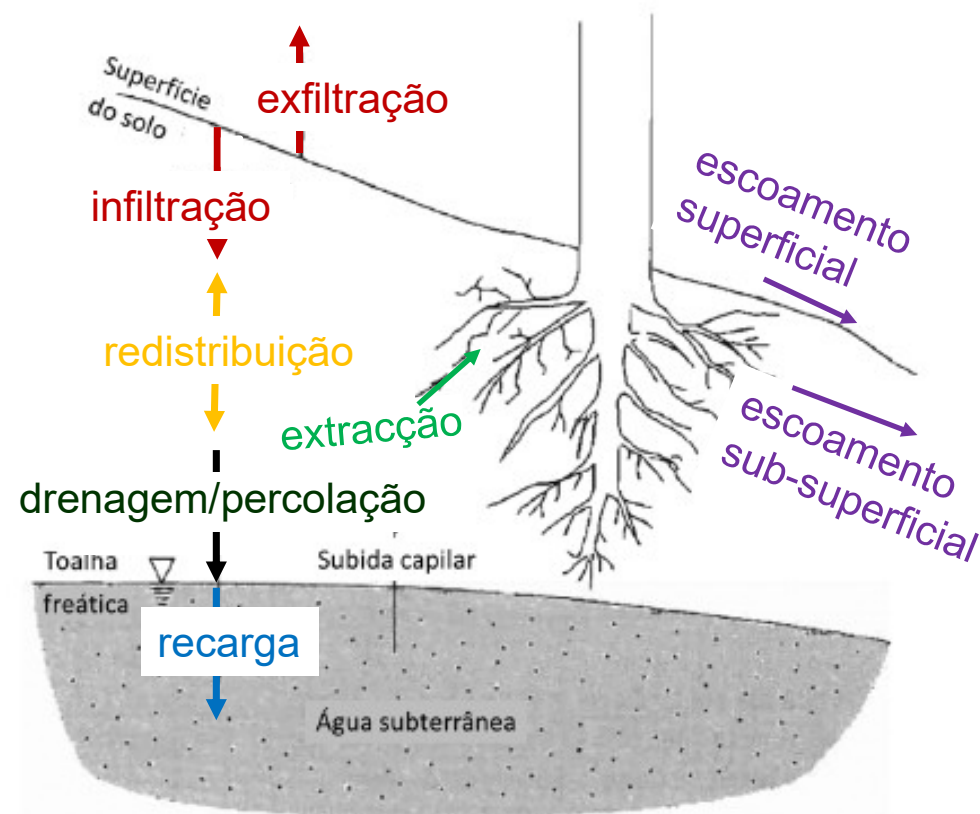
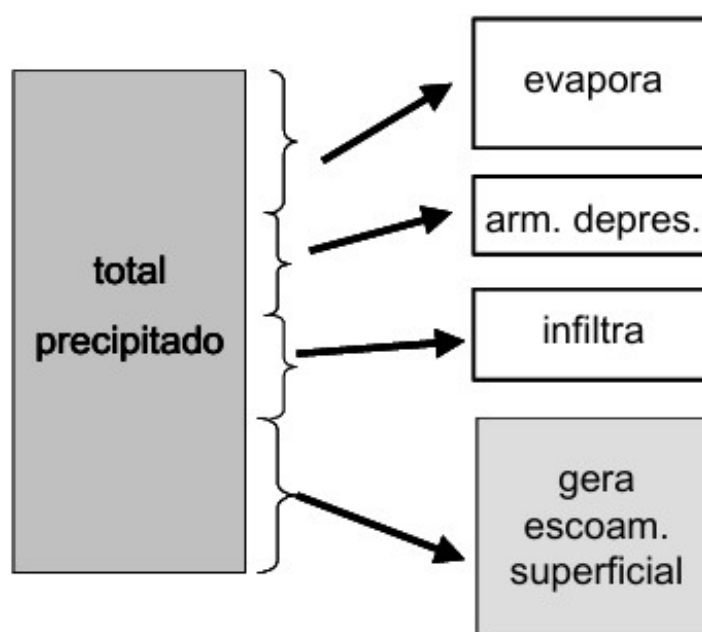
Aula Prática 4

Infiltração ao nível de uma bacia hidrográfica

Modelo do Soil Conservation Service

Conceitos

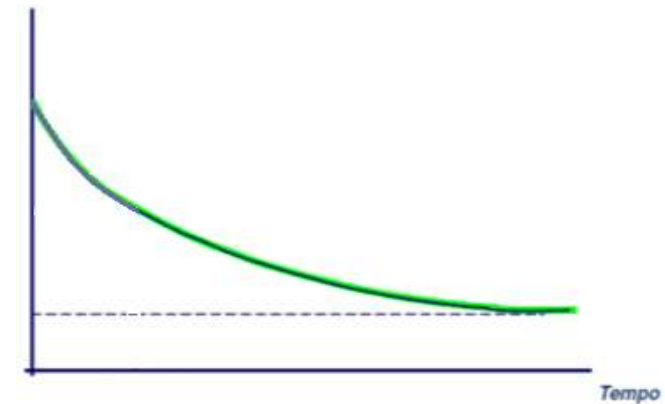
- é o processo de entrada de água pela superfície do solo
- é o processo mais significativo das perdas da precipitação para o escoamento



Interesse do estudo da infiltração e sua quantificação

- transformação da precipitação total em *precipitação eficaz ou efectiva*, responsável pelo *escoamento superficial* ($\Rightarrow$ cheias, erosão, armazenamento em reservatórios);
- análise da *recarga de aquíferos*;
- determinação da quantidade de *água armazenada no solo disponível para as plantas* (rega)

- **Capacidade de infiltração (C_i):** potencial que determinado solo tem para infiltrar água. É mais elevada no início de um evento de precipitação, diminuindo ao longo do tempo até atingir um valor constante.

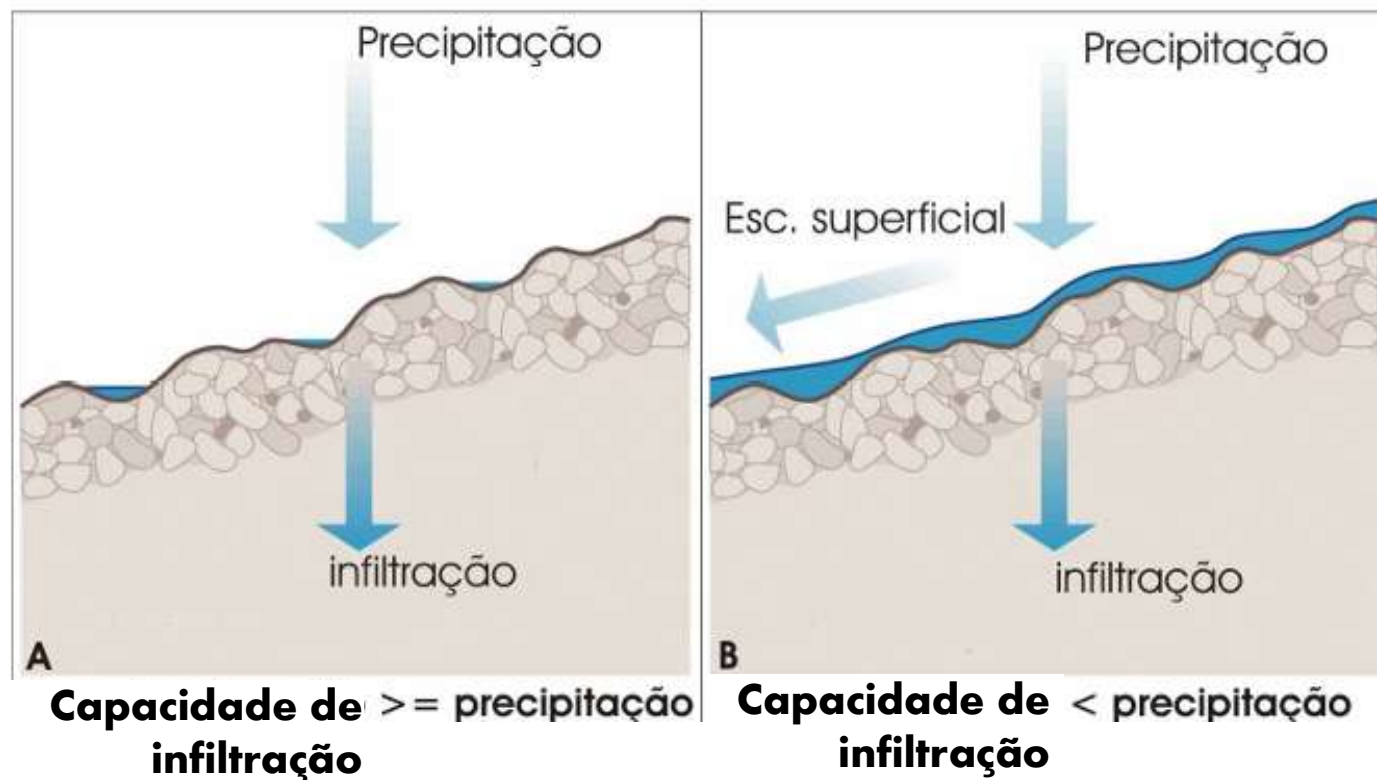


- **Taxa de infiltração (T_i):** fluxo de água que efetivamente se infiltra no solo

São taxas => mm h^{-1}

➤ se $p < C_i$, $T_i = p$

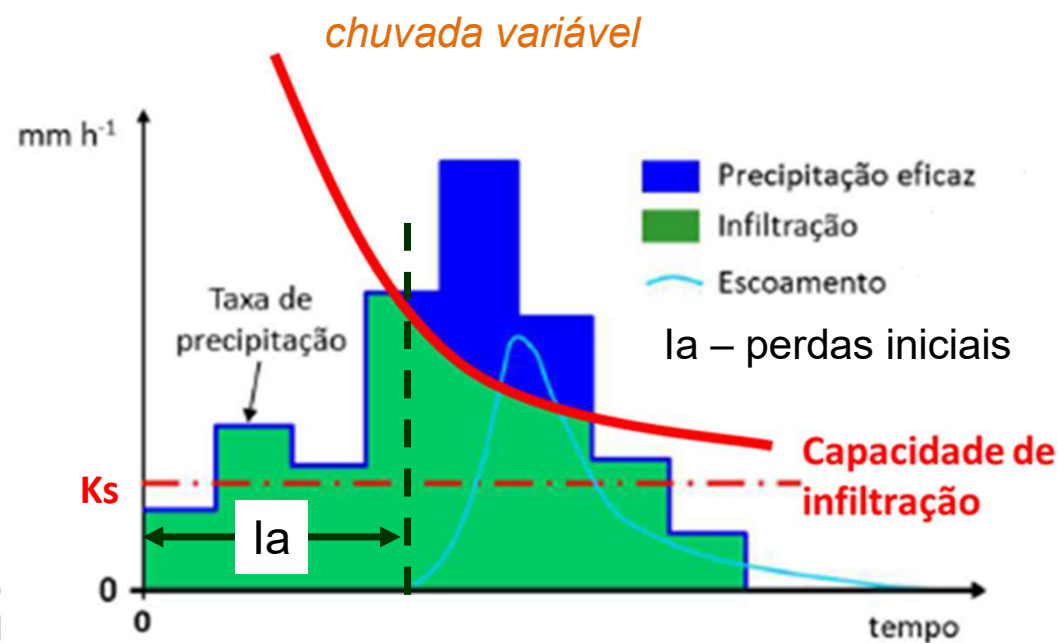
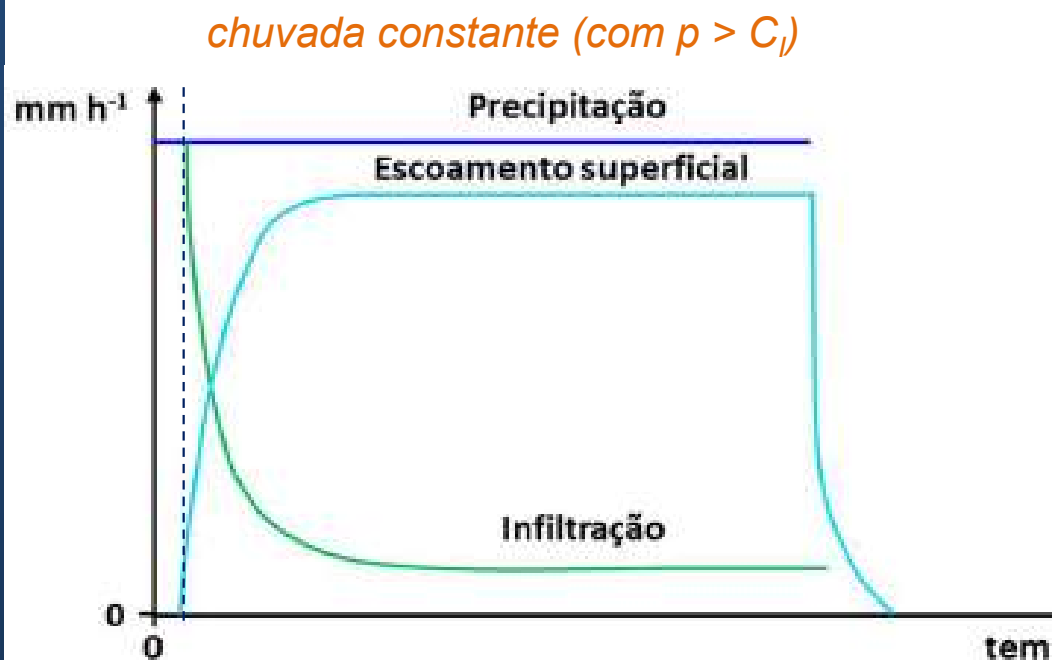
- toda a água infiltra-se e não há escoamento (infiltração efectiva = precipitação)
- ocorre enquanto o solo não se encontra saturado à superfície ($\theta < \theta_s$)



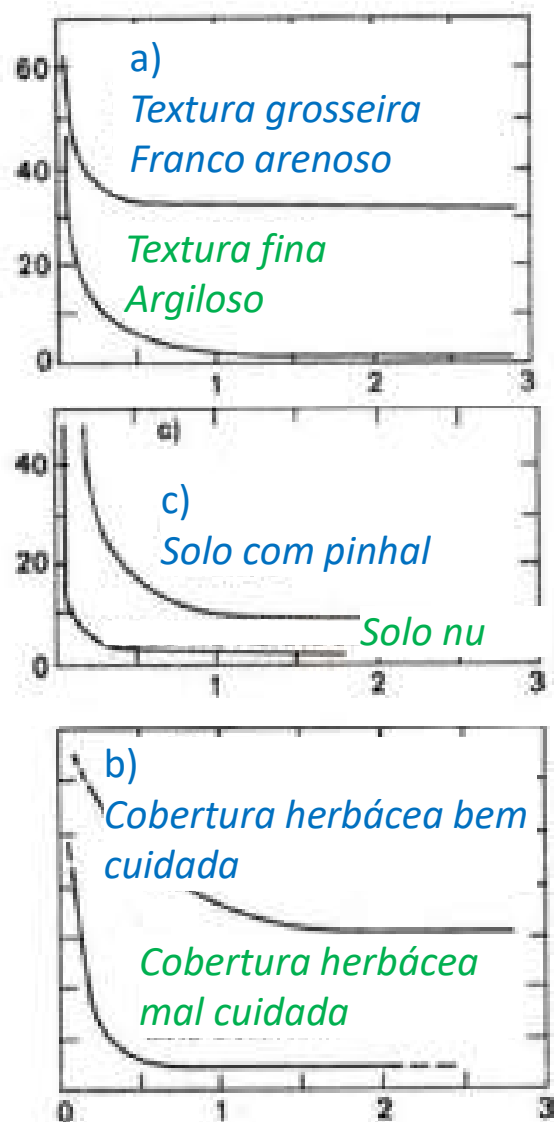
➤ se $p > C_i$, $T_i = C_i$

- ocorre quando o solo se encontra saturado à superfície ($\theta = \theta_s$)
- ocorre acumulação de água à superfície (empçamento), podendo ocorrer escoamento superficial

Durante uma chuvada o solo pode infiltrar a água até à **capacidade de infiltração** (mm h^{-1});
A partir desse valor a água não infiltra e começa o **escoamento superficial**.



Taxa de infiltração (mm h⁻¹)



Factores que afectam a capacidade de infiltração

- Textura do solo
- Estrutura e compactação do solo
- Cobertura vegetal
- Humidade do solo no início da chuvada
- Retenção superficial

Modelação da infiltração

A obtenção do hietograma de precipitação eficaz com base no hietograma de precipitação total implica a **modelação da infiltração** (mesmo que de forma indirecta e/ou agregada a outros processos hidrológicos, como a intercepção e a retenção superficial)

Modelos empíricos

- À escala da bacia hidrográfica

{
Método do Índice ϕ
método do Índice ϕ , modificado
método do *Soil Conservation Service*

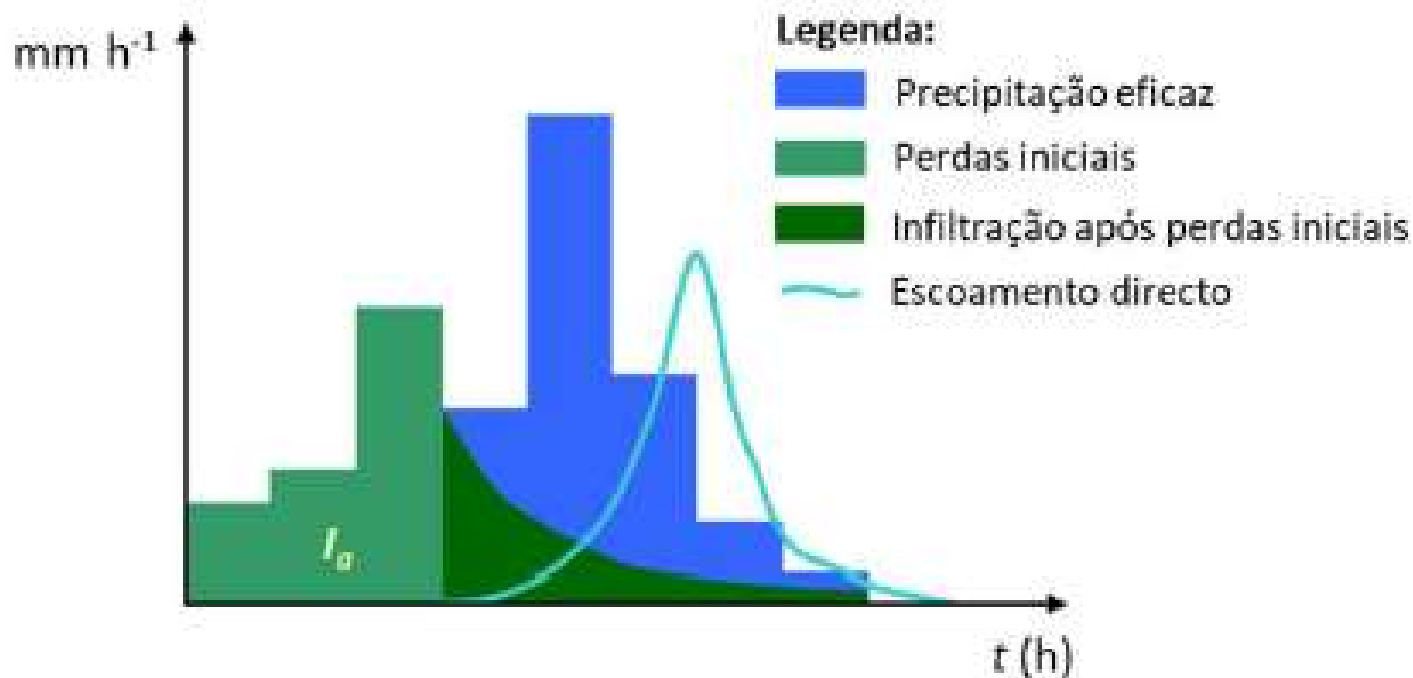


❑ Modelo empírico à escala da bacia hidrográfica

Método do Soil Conservation Service (SCS)

- inicialmente foi desenvolvido para estimar o **volume de escoamento direto** e o **caudal de ponta** produzidos por uma chuvada intensa;
- passou a ser também aplicado com **intervalos de tempo diários**, pois nas chuvadas intensas o volume total de precipitação é próximo do volume diário;
- as **perdas** (para o escoamento) ocorrem com uma **taxa variável**, predominantemente decrescente, apenas **após o preenchimento de uma capacidade inicial**;
- adequado para **bacias hidrográficas rurais** e, em menor grau, para bacias urbanizadas de pequena a média dimensão;

Resultado da aplicação do método do SCS para obtenção do hietograma de precipitação eficaz ao nível de uma bacia hidrográfica



- Para além de caracterizar directamente o *escoamento resultante da chuva*, modela também, de forma indirecta e agregada, outros processos hidrológicos, como a *intercepção, a infiltração até ao empoçamento e a retenção superficial*.

O modelo considera que, até ao aparecimento do escoamento direto, todo o hietograma corresponde a *perdas iniciais* I_a , que incluem:

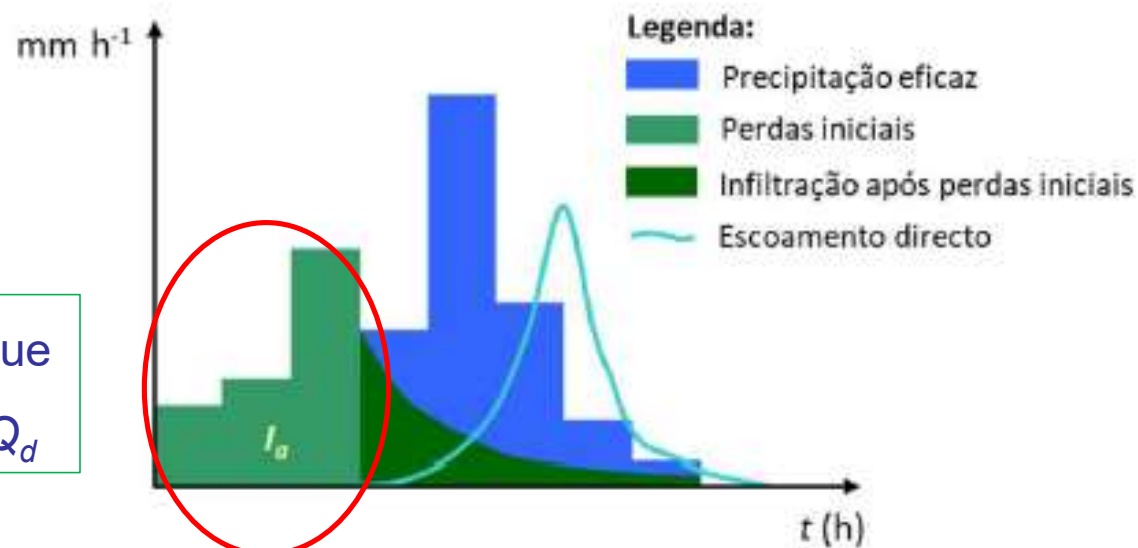
- interceptação;
- infiltração até ao empocamento e
- retenção superficial.

A precipitação eficaz, P_n , é a precipitação que origina o escoamento directo (superficial), Q_d

$$P_n = Q_d$$

$$P_n = \frac{(P - I_a)^2}{P + S_d - I_a}$$

(eq 1) válida para $P > I_a$



P_n é a precipitação eficaz,
 P é a precipitação,
 I_a são as perdas iniciais e
 S_d representa a retenção potencial máxima da bacia ($> I_a$)

Podem ocorrer duas situações:

- Se existirem dados observados (medidos) de precipitação total (P) e de escoamento directo ou *superficial* (Q_d), podemos identificar/calibrar previamente os dois parâmetros do modelo

I_a e S_d ;

Nota: à evolução temporal do escoamento directo $q_d(t)$ chama-se hidrograma de escoamento directo

- Se não existirem dados de escoamento directo, o modelo não pode ser calibrado, tendo que se recorrer a relações regionais para estimar os parâmetros I_a e S_d .

**1^a
situação**

Existem dados observados (medidos) de precipitação total e de escoamento

directo: podemos *identificar/calibrar* previamente os dois parâmetros do modelo (I_a e S_d)

Detectamos o período em que se inicia o escoamento directo



Acumulamos a precipitação até esse período => I_a

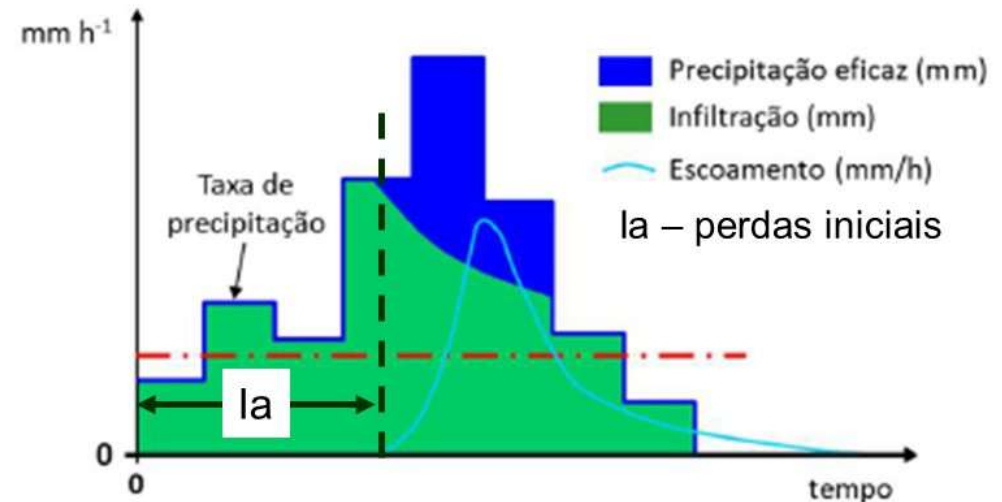


A partir do hidrograma fornecido (linha azul claro na Fig.) calculamos o volume total escoado, Q_d

critério para a calibração $Q_d = P_n$



Calculamos a capacidade de armazenamento da bacia, S_d



$$S_d = \frac{(P - I_a)^2}{P_n} + I_a - P$$

2ª situação

Estimativa de I_a e S_d quando não existe hidrograma de escoamento direto

Com base em dados de várias bacias hidrográficas experimentais de pequenas dimensões, o Soil Conservation Service (SCS) obteve a relação:

$$I_a = 0.2 S_d$$

Esta aproximação também é utilizada em Portugal (Correia, 1984), sendo válida em média, havendo contudo uma grande dispersão dos valores conhecidos experimentalmente.

- Substituindo a expressão de cálculo de I_a na equação 1, o método fica reduzido a um só parâmetro:

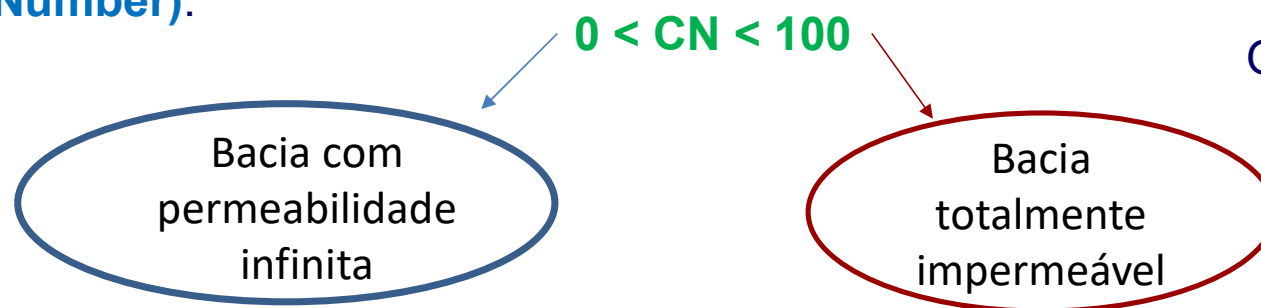
$$P_n = \frac{(P - 0.2 S_d)^2}{P + 0.8 S_d} \quad \text{para } P > 0.2 S_d$$

- O SCS obteve, para várias chuvadas e bacias, valores de S_d , relacionou-os com o tipo e uso do solo daquelas bacias e tabelou-os (ver Quadros seguintes)

- Para simplificar a elaboração das tabelas e as tornar independentes das unidades utilizadas para S_d , estas foram padronizados dando origem ao numero de escoamento **CN** (Curve Number).

$$CN = \frac{25400}{S_d + 254}$$

Para S_d
em mm



Os CN variam com

- Tipo de solo
- Ocupação do solo

- Também para simplificação os solos foram classificados em quatro grupos, com diferentes potencialidades de produção de escoamento direto, designados por solos **A, B, C e D** (ver quadro)

- No método do SCS, os solos são classificados em quatro grupos hidrológicos, com diferentes potencialidades de produção de escoamento direto, designados por solos **A, B, C e D**

Tipo de solo	Definição	Taxa de infiltração (cm h ⁻¹)	Textura (USDA)
A	<i>Baixo potencial de escoamento directo</i> - Solos com elevadas intensidades de infiltração, mesmo quando completamente humedecidos. Incluem sobretudo areias profundas ou cascalho, com muito boa drenagem.	> 0,76	Arenoso Arenoso-franco Franco-arenoso
B	<i>Potencial de escoamento directo abaixo da média</i> – Solos com intensidades de infiltração moderadas, quando completamente humedecidos. Incluem sobretudo solos medianamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados e com textura moderadamente fina a moderadamente grosseira.	0,38 – 0,76	Franco-limoso Franco
C	<i>Potencial de escoamento directo acima da média</i> – Solos com baixas intensidades de infiltração, quando completamente humedecidos. Incluem sobretudo solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina a fina.	0,13 – 0,38	Franco-argilo-arenoso
D	<i>Elevado potencial de escoamento directo</i> – Solos com intensidades de infiltração muito baixas, quando completamente humedecidos. Incluem sobretudo solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade.	0,00 – 0,13	Franco-argiloso Franco-argilo-limoso Argilo-arenoso Argilo-limoso Argiloso

Valores do número de escoamento para regiões urbanas e semi-urbanas (Correia, 1984)

Utilização ou cobertura do solo	Tipo de solo			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem medidas de conservação do solo	72	81	88	91
com medidas de conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou baldios: em más condições	68	79	86	89
em boas condições	39	61	74	80
Prados em boas condições	30	58	71	81
Florestas: pouco densas	45	66	77	83
densas	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, etc.				
em boas condições: relva cobrindo mais de 75% da área	39	61	74	80
em condições razoáveis: relva cobrindo de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Áreas comerciais (85% de área impermeável)	89	92	94	95
Zonas industriais (72% de área impermeável)	81	88	91	93
Zonas residenciais:				
Área média dos lotes (m ²)	Impermeabilização média (%)			
< 500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos	98	98	98	98
Ruas e estradas:				
pavimentadas, com sargetas e colectores	98	98	98	98
empedradas	76	85	89	91
terra batida	72	82	87	89

Valores do número de escoamento para regiões rurais (Correia, 1984)

Utilização ou cobertura de solo	Condições de superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado		77	86	91	94
Culturas arvenses	segundo o maior declive	64	76	84	88
	segundo as curvas de nível	62	74	82	85
	segundo as curvas de nível e em terraços	60	71	79	82
Rotações de cultura	segundo o maior declive	62	75	83	87
	segundo as curvas de nível	60	72	81	84
	segundo as curvas de nível e em terraços	57	70	78	82
Pastagens	pobre (<50% de área coberta, pastoreio intensivo, sem "mulch")	68	79	86	89
	normal (50 – 70% de área coberta, pastoreio moderado)	49	69	79	84
	boa (>75% de área coberta, pastoreio suave ou inexistente)	39	61	74	80
	pobre, segundo as curvas de nível	47	67	81	88
	normal, segundo as curvas de nível	25	59	75	83
	boa, segundo as curvas de nível	6	35	70	79
Prado permanente	normal	30	58	71	78
Zonas sociais rurais	normal	59	74	82	86
Estradas	pavimento permeável	72	82	87	89
	pavimento impermeável	74	84	90	92
Florestas	muito aberta ou de baixa transpiração	56	75	86	91
	abertas ou de baixa transpiração	46	68	78	84
	normal	36	60	70	76
	densas ou de alta transpiração	26	52	62	69
	muito densas ou de alta transpiração	15	44	54	61
Superfície impermeável		100	100	100	100

- A capacidade de retenção da bacia, S_d , depende das condições iniciais de humidade do solo.

Uma vez que o teor de água do solo não é calculado neste método, o SCS considerou que podem existir três condições de humidade antecedentes à chuvada:

- solo seco (um pouco acima do coeficiente de emurchecimento) **AMC I**
- solo perto da capacidade de campo e **AMC II**
- solo próximo da saturação **AMC III**

Os valores de CN tabelados dizem respeito às condições AMC II, pelo que se designam por CN_{II}

A partir do valor obtido para CN_{II} , os números de escoamento correspondentes a solo seco (AMC_I) ou muito húmido (AMC_{III}) podem obter-se através de :

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,3 - 0,013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,43 + 0,0057CN_{II}}$$

Quadro 4 Condição antecedente de humidade em função da precipitação acumulada

Precipitação acumulada nos cinco dias anteriores (mm)		Condição antecedente de humidade a considerar
Período dormente	Período de crescimento	
< 13	< 36	<i>AMC I</i>
13 a 28	36 a 53	<i>AMC II</i>
> 28	> 53	<i>AMC III</i>

Etapas a percorrer na aplicação do método do SCS para obtenção da S_d da bacia

1. Decompor a bacia em **manchas homogéneas** em termos de **tipo hidrológico de solo** (Quadro 1) e de **utilização e cobertura deste** (Quadros);
2. Obter dos Quadros os valores de $CN_{//i}$ para as i manchas homogéneas identificadas;
3. Identificar a **condição antecedente de humidade a considerar**: **(a)** se a aplicação do método corresponde à obtenção de um caudal de ponta, de projecto, este pode ser maximizado considerando o solo próximo da saturação, condição *AMC III*; **(b)** se a aplicação do método corresponde a um dia concreto do ano então a condição é identificada com o auxílio do Quadro respetivo;
4. Se necessário, **converter** os valores $CN_{//}$ à **condição identificada** em (3), com as respetivas equações;

5. Estimar o **valor médio do número de escoamento** através de uma **média ponderada** com as áreas A_i das manchas homogêneas correspondentes (este procedimento é mais rigoroso, embora haja autores que, por simplicidade, obtêm primeiro o valor médio e depois o convertem à condição antecedente de humidade a considerar):

$$\overline{CN} = \frac{\sum A_i CN_i}{A} \quad , A = \text{área da bacia}$$

6. Obter a **retenção potencial máxima** para a bacia, por resolução da Eq. em ordem a S_d :

$$S_d = \frac{25400}{\overline{CN}} - 254 \quad (\text{mm})$$

7. calcular a **precipitação eficaz** :

$$P_n = \frac{(P - 0.2 S_d)^2}{P + 0.8 S_d}$$