

Hidrologia Basica

Aquiles

2019

Hidrologia

Definição: é a ciência que estuda a distribuição, circulação e comportamento da água no sistema terrestre. Também estuda suas propriedades físico-químicas e sua interação com o meio ambiente (biótico e abiótico).

Hidrometeorologia – estudo da água na atmosfera

Oceanografia – estudo dos oceanos

Limnologia – estudo de águas interiores (lagos e reservatórios)

Fluviologia – estudo de rios e cursos d' água

Glaciologia - estudo da água na forma de neve e gelo

Hidrogeologia – estudo das águas subterrâneas

Principais variáveis hidrológicas consideradas no ciclo hidrológico

- E : evaporação (mm/d);
- q : umidade específica do ar em gramas de vapor d' água por quilo de ar, ou g/kg;
- P : precipitação (mm);
- i : intensidade de chuva (mm/h);
- Q : deflúvio superficial ou vazão (m³/s);
- f : taxa de infiltração (mm/h);
- ET : evapotranspiração (mm/d).

O Ciclo Hidrológico

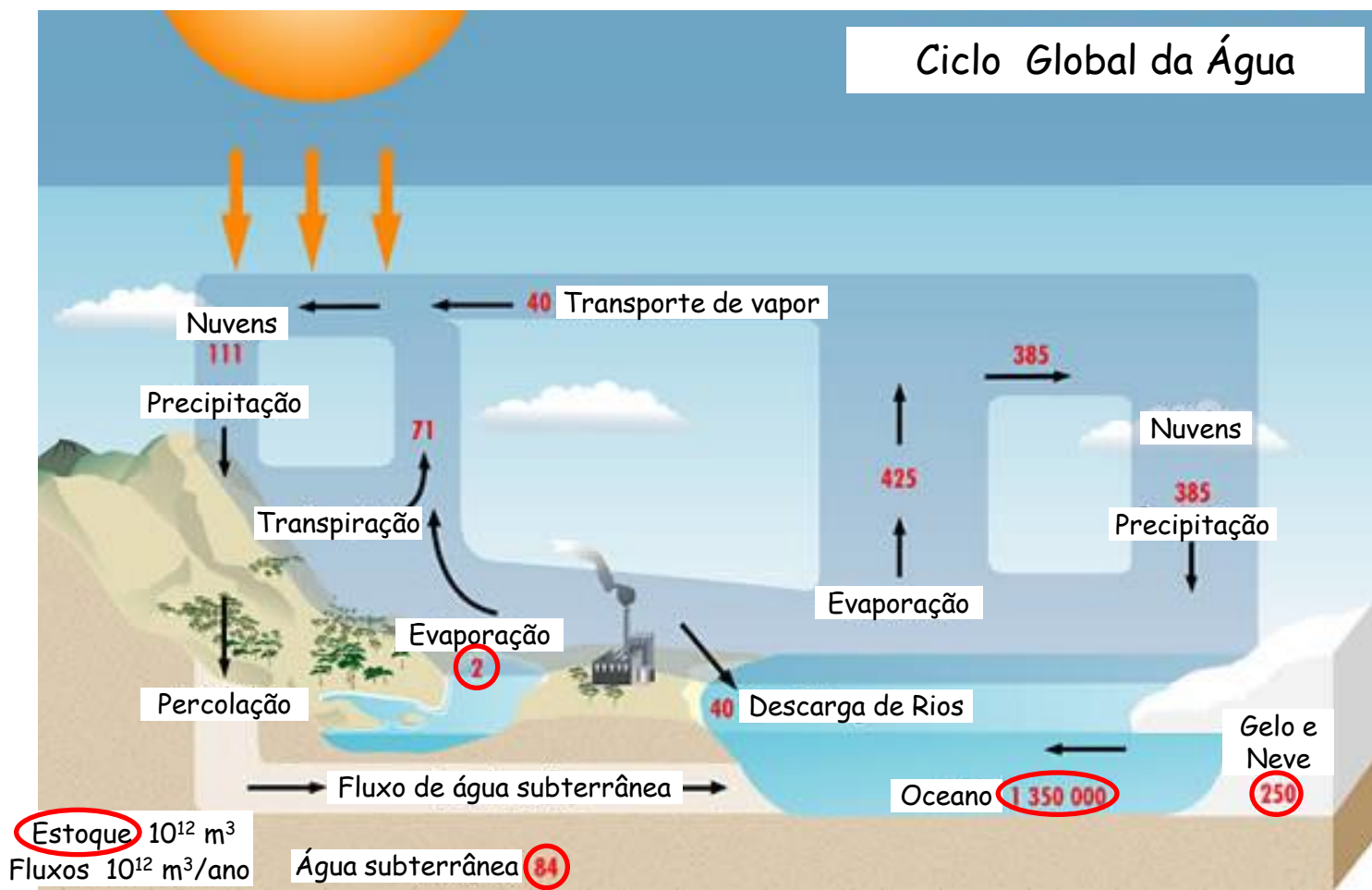
O ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação da água em suas 3 fases: gasosa (vapor), líquida (chuva e escoamento) e sólida (gelo e neve).

É um sistema fechado apenas em nível global.

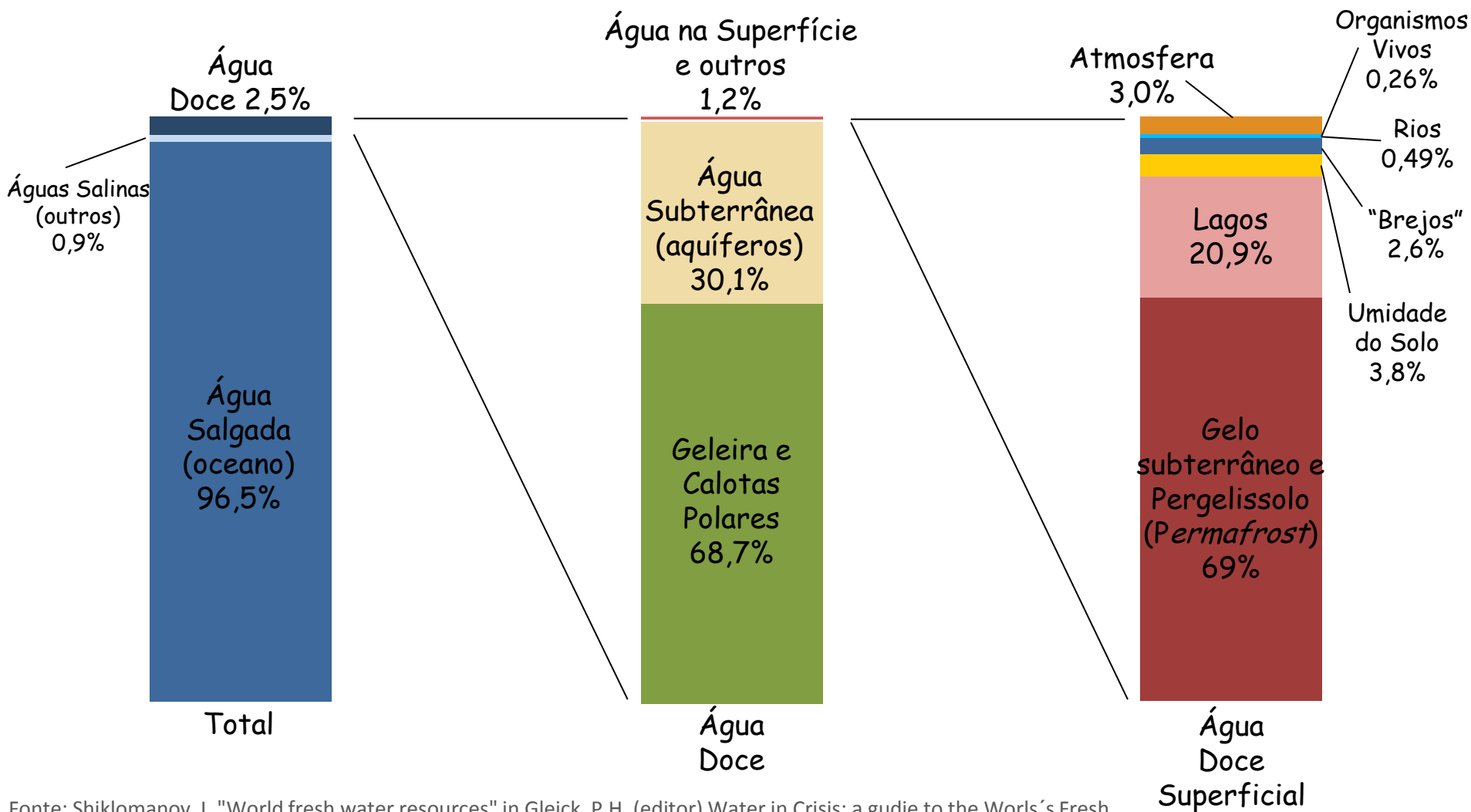


Fonte: USGS - United States Geological Survey

O Ciclo Hidrológico Global



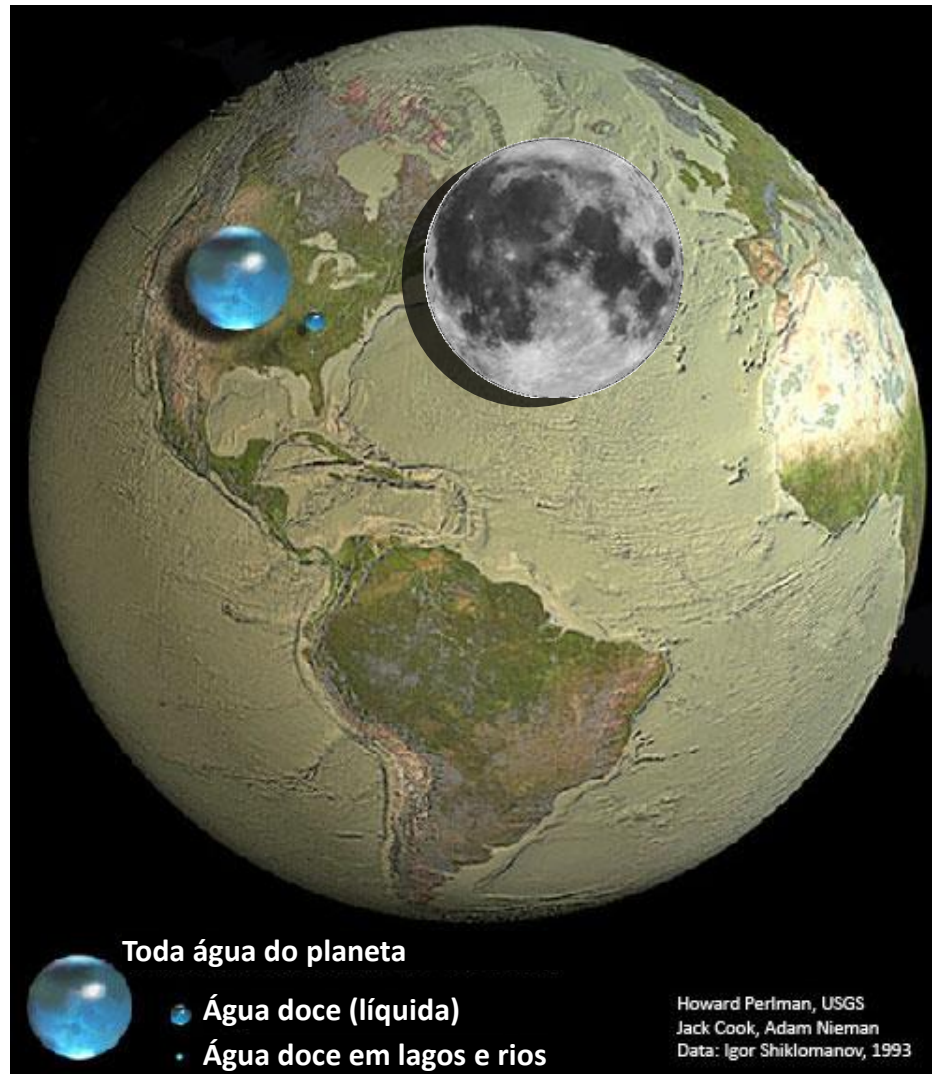
Distribuição da Água no Mundo



Fonte: Shiklomanov, I. "World fresh water resources" in Gleick, P.H. (editor) Water in Crisis: a guide to the World's Fresh Water Resources. 1993

<http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>

Distribuição da Água no Mundo



- (1) Toda a água do mundo: ~1400 km diâmetro
- (2) Água doce no solo, lagos, áreas alagáveis e rios: ~270 km diâmetro
- (3) Água doce em lagos e rios: ~56 km - diâmetro

Níveis de Detalhamento

Escala Local (Pontual)

Interações entre a matriz de solo e os macroporos

Processos unidimensionais

Escala de Vertente

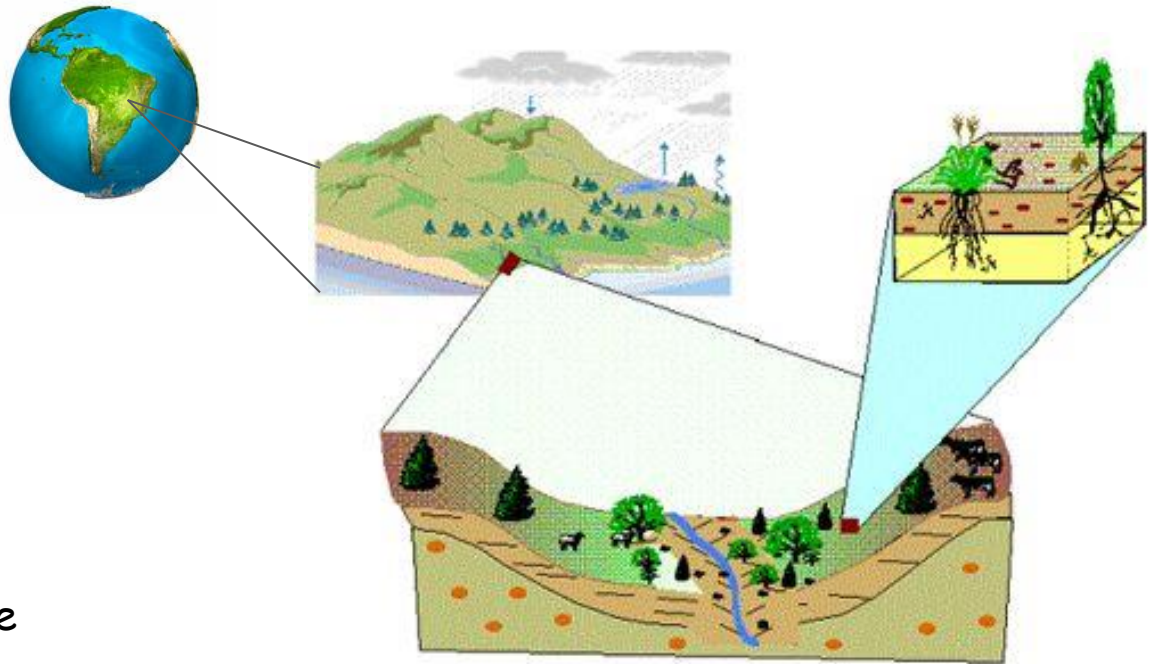
Mecanismos de geração de escoamento direto e de base

Processos bidimensionais

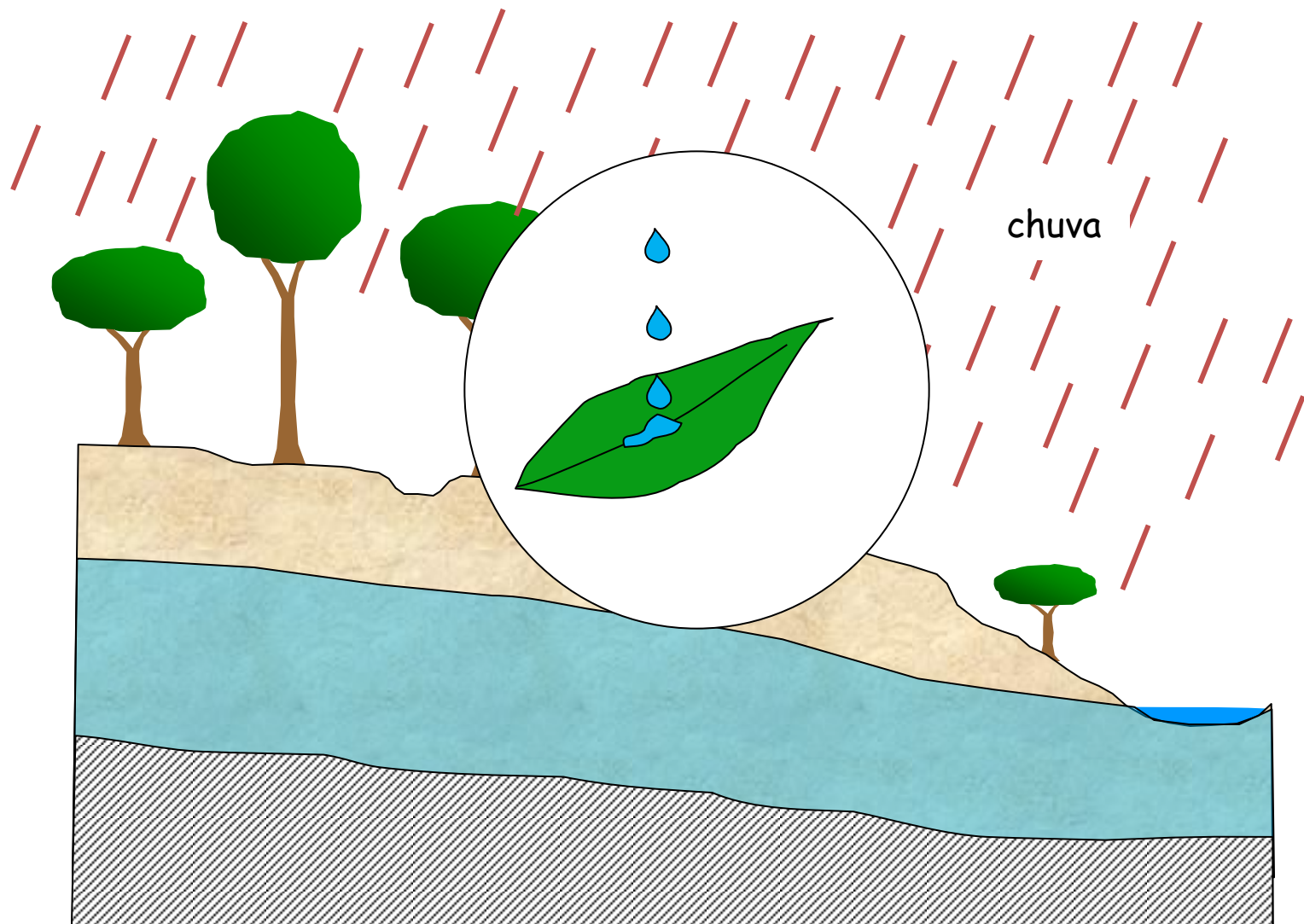
Escala de Bacia Hidrográfica

Variação espacial e temporal de processos - recarga

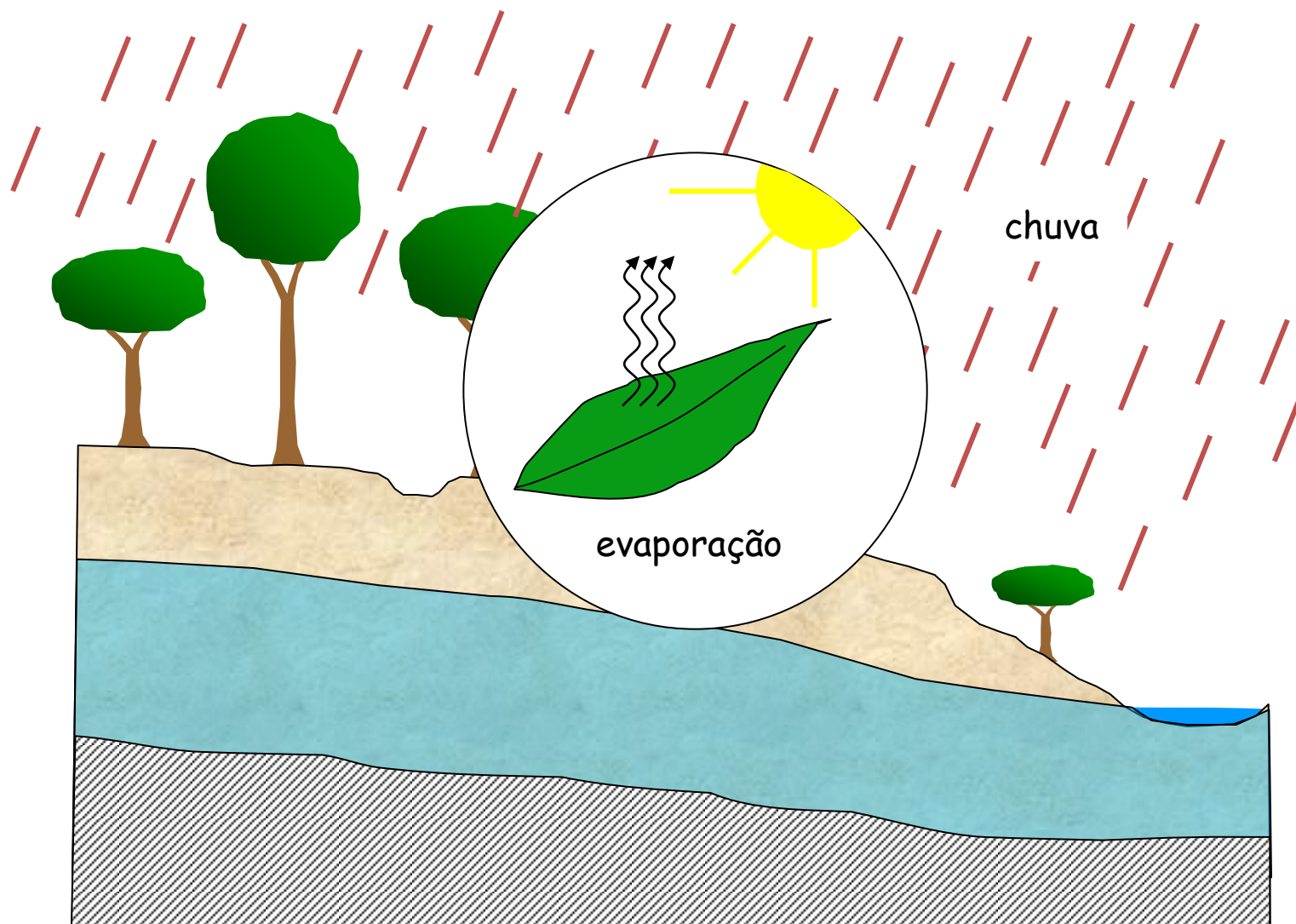
Processos tridimensionais



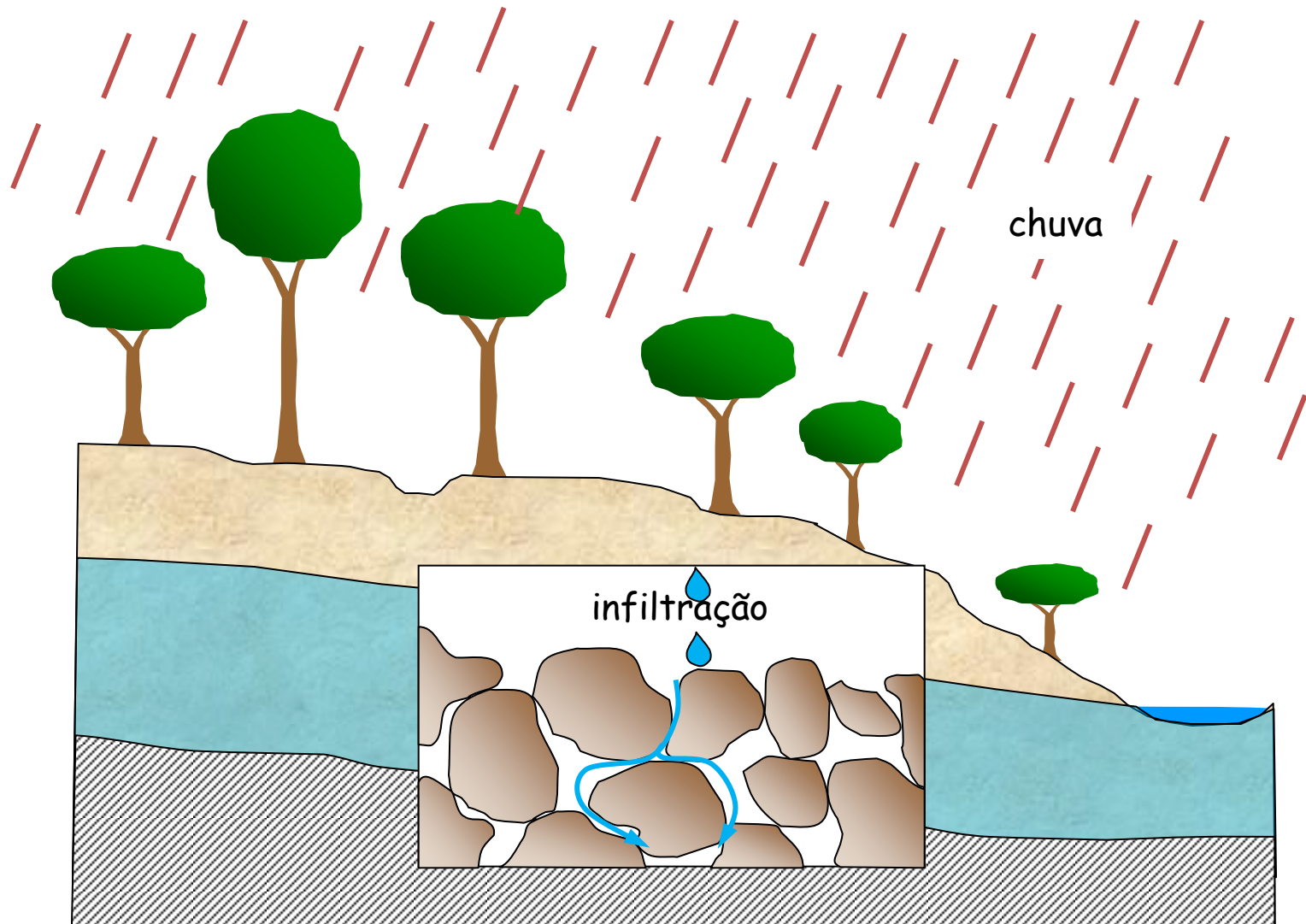
Componentes do Ciclo Hidrológico



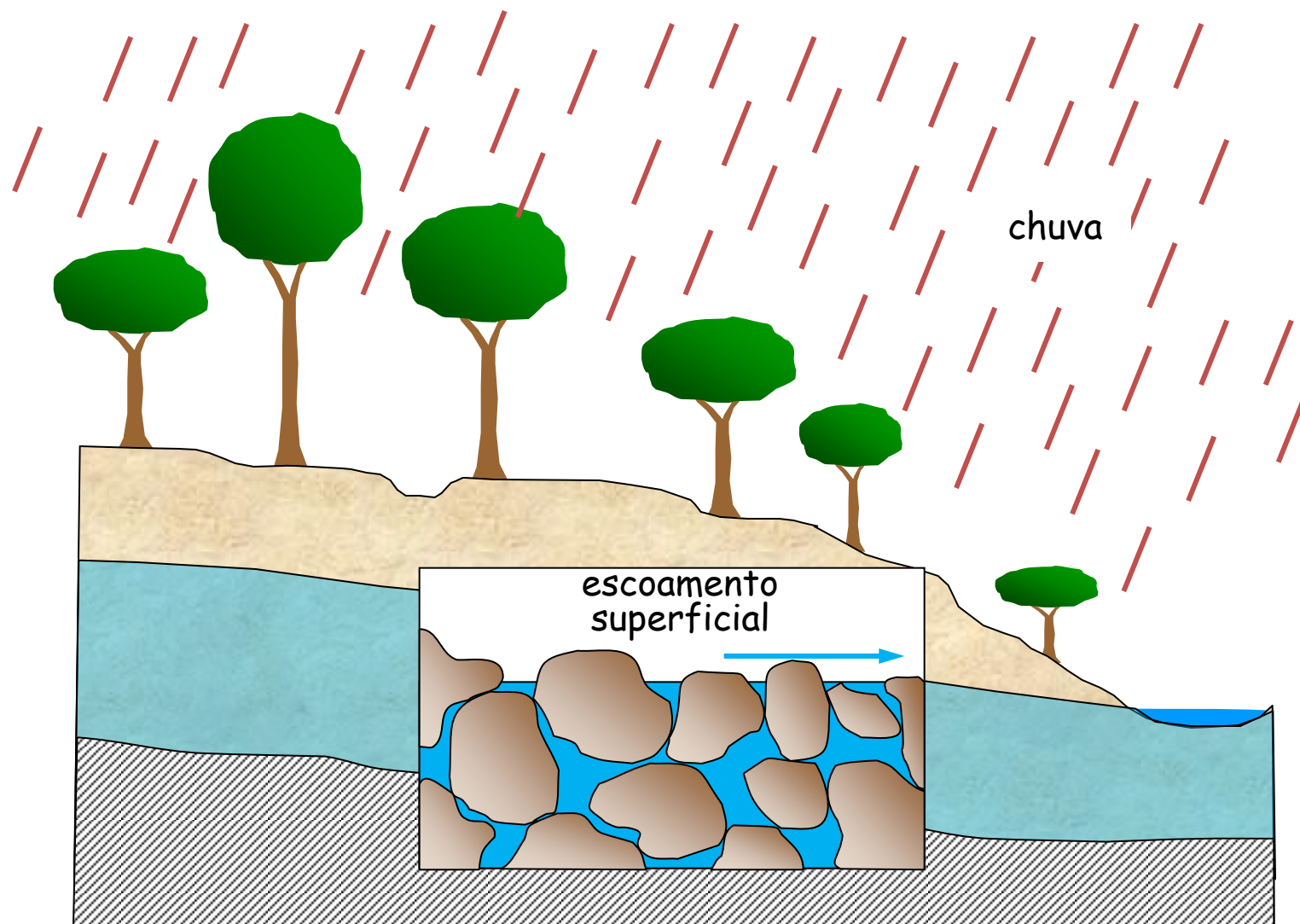
Componentes do Ciclo Hidrológico



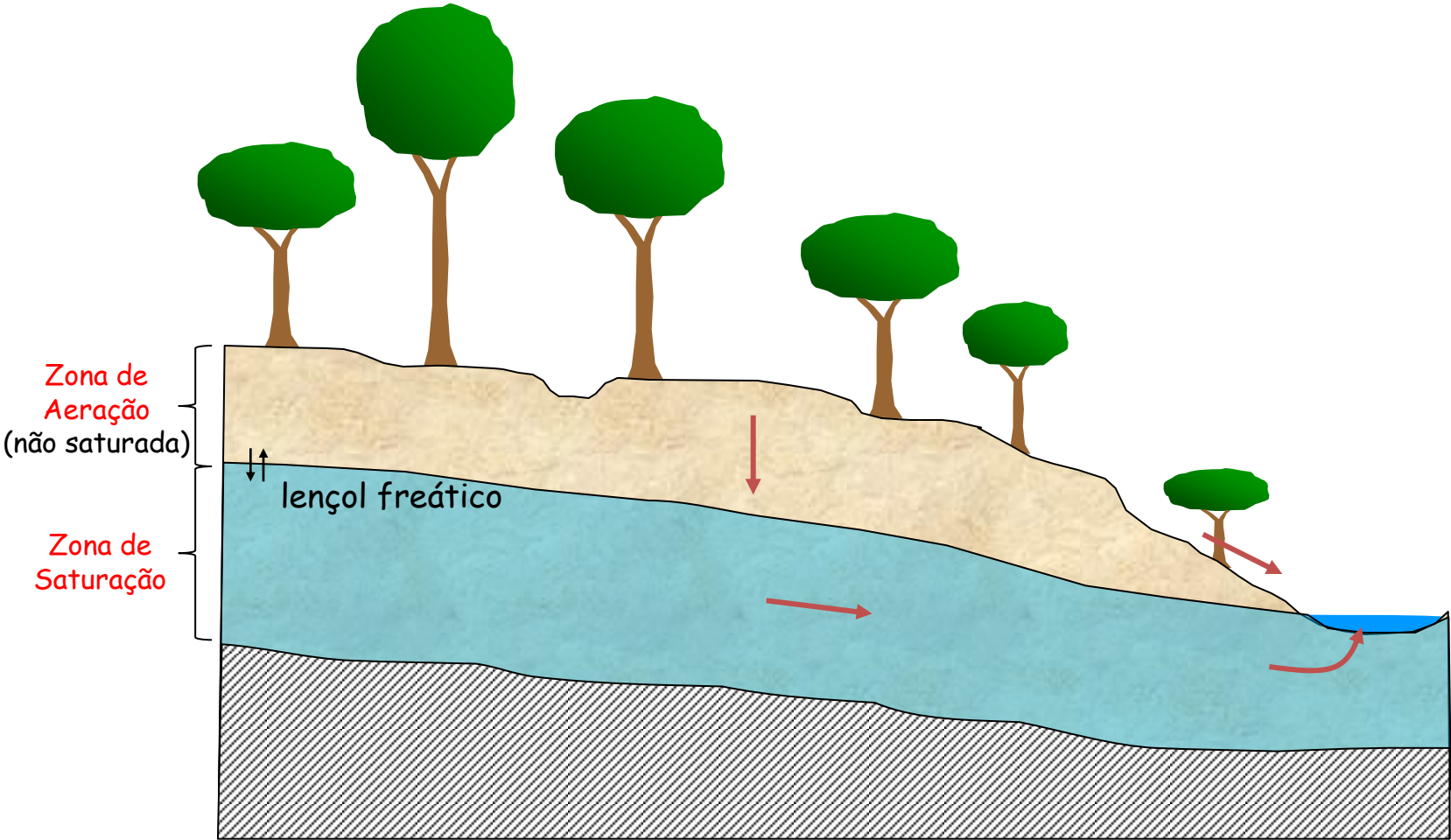
Componentes do Ciclo Hidrológico



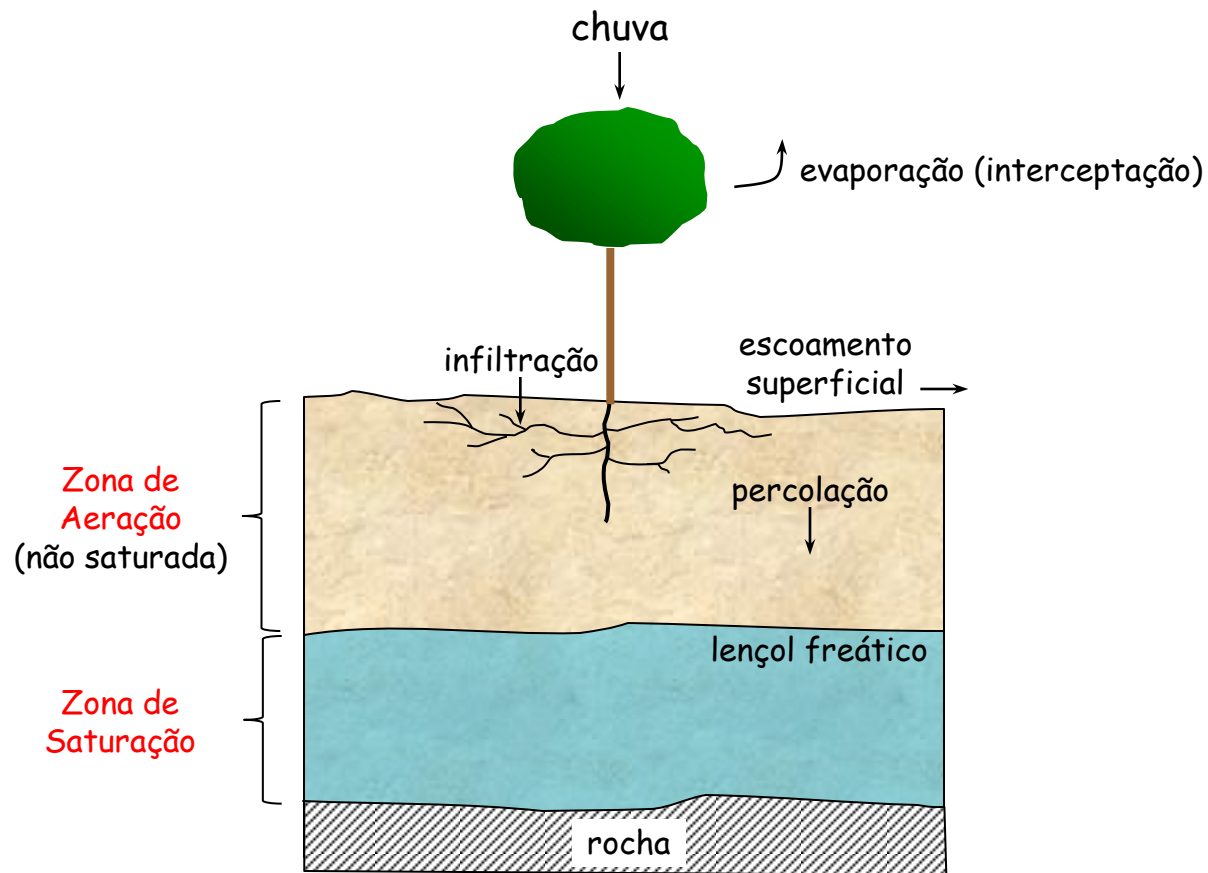
Componentes do Ciclo Hidrológico



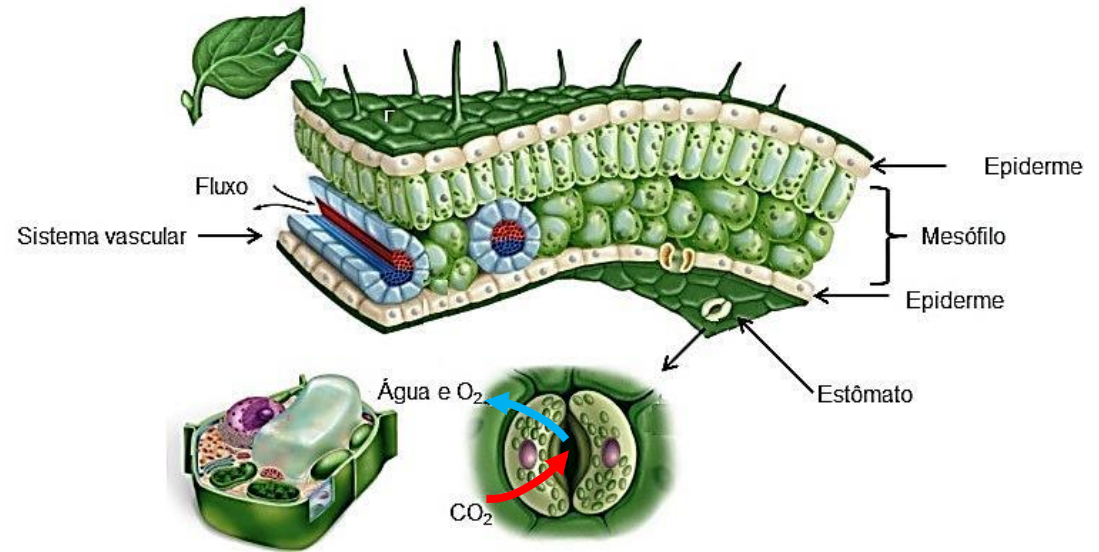
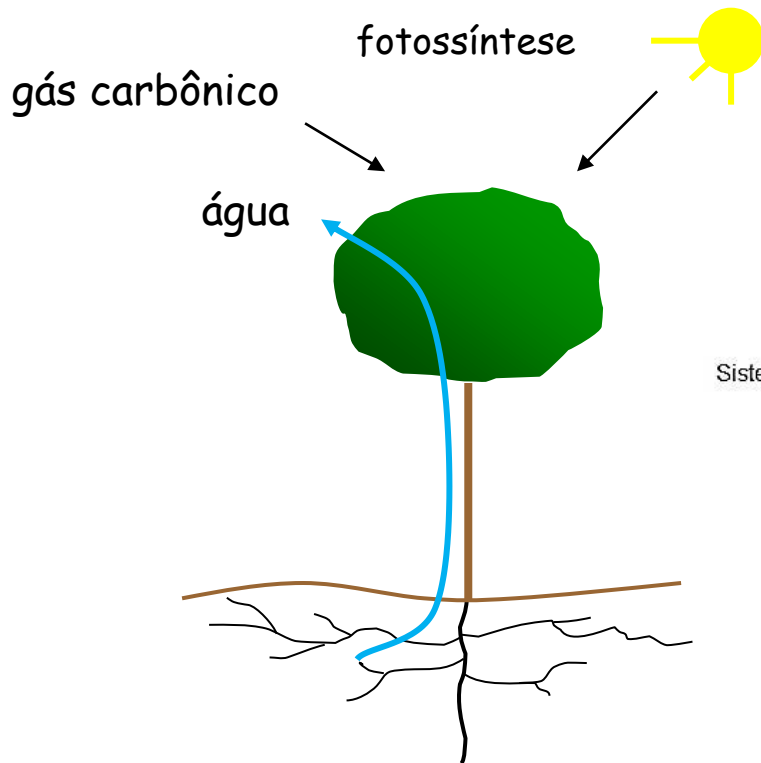
Componentes do Ciclo Hidrológico



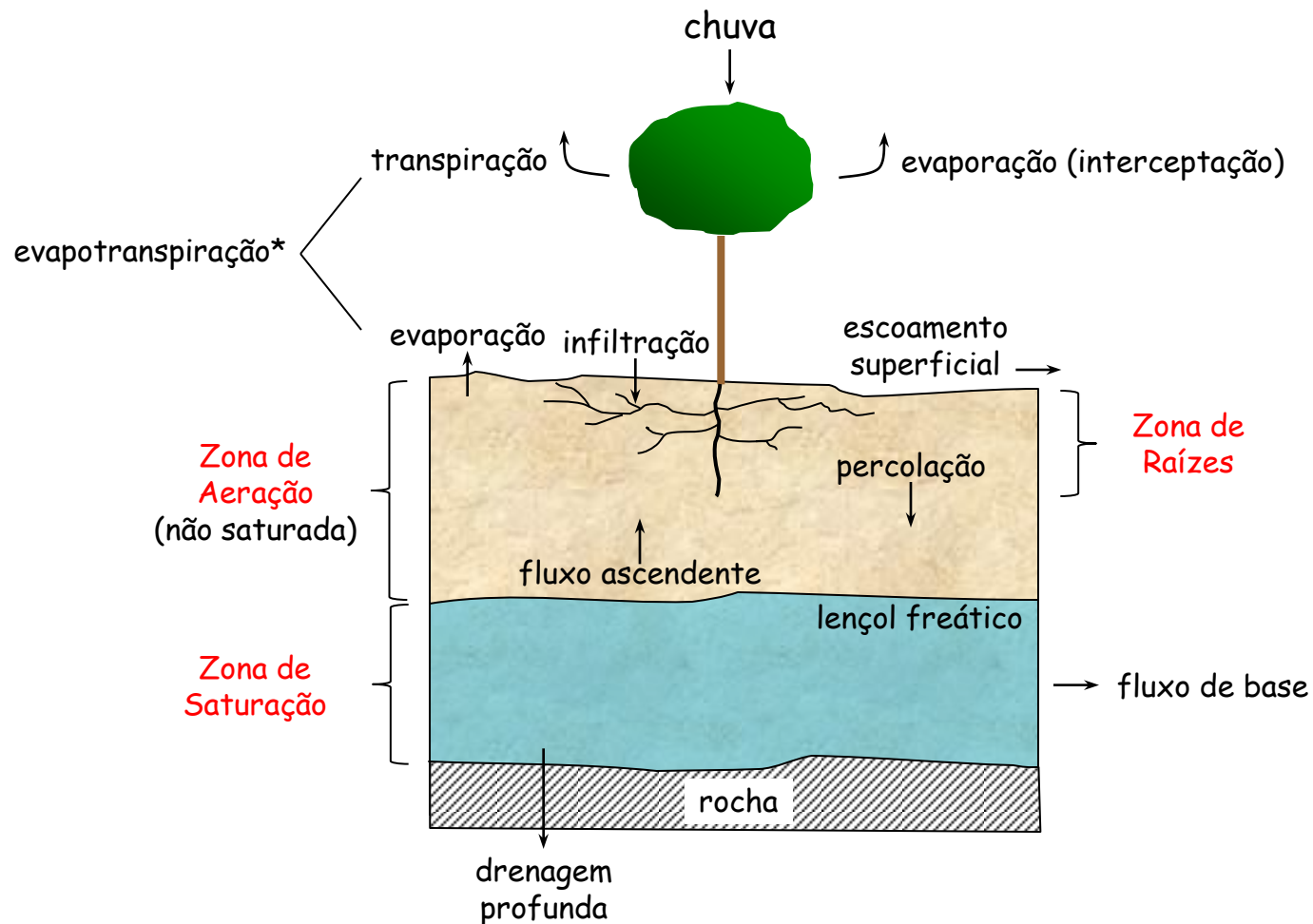
Componentes do Ciclo Hidrológico



Componentes do Ciclo Hidrológico



Componentes do Ciclo Hidrológico



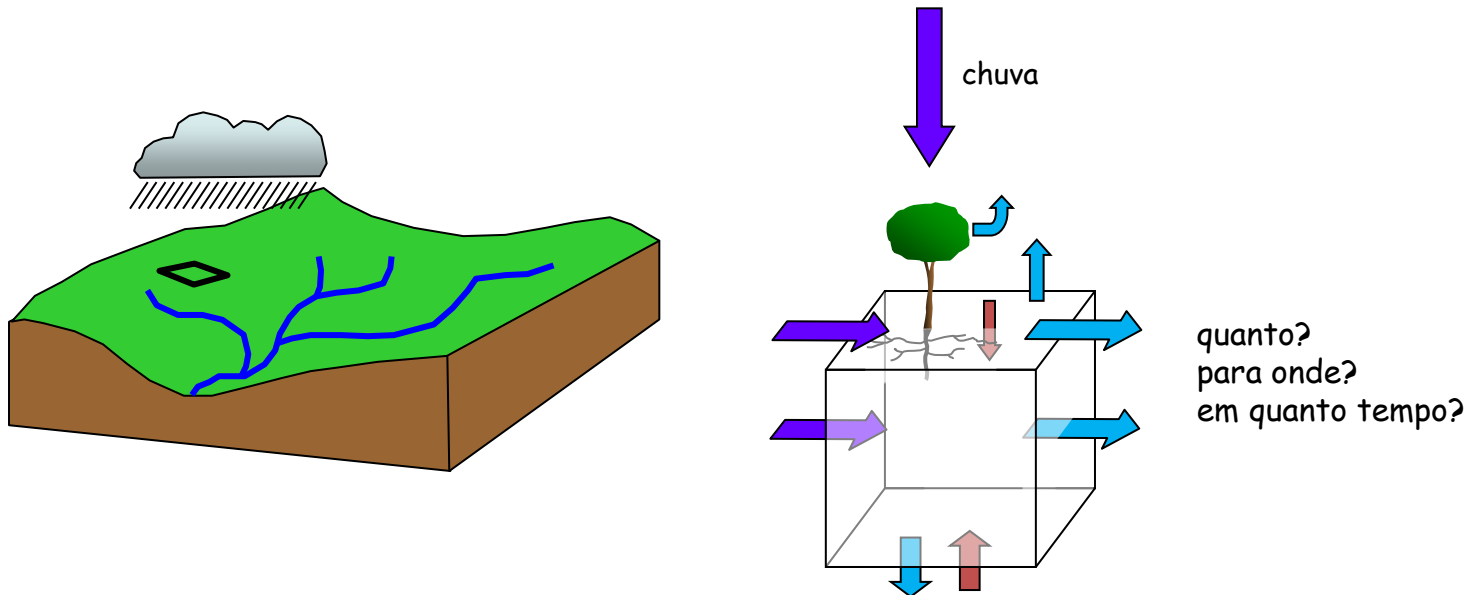
* Alguns modelos consideram a evaporação por interceptação com parte da evapotranspiração

Modelagem

Dois modelos de um mesmo fenômeno deveriam ser iguais?

- » Não necessariamente
- » Cada modelo pode ter um objetivo diferente ou ainda ter diferenças conceituais ou de implementação decorrentes de decisões tomadas durante o desenvolvimento do modelo

Modelo de Balanço de Água no Solo



Modelagem

Quais as etapas da modelagem?

- » Caracterizar o sistema na qual o fenômeno se insere
- » Fazer algumas suposições sobre como os vários componentes funcionam e interagem entre si
- » Traduzir tudo em equações/procedimentos e num programa de simulação
- » Determinar os valores de cada parâmetro (medidas reais, valores de referência ou calibração)
- » Fazer a validação

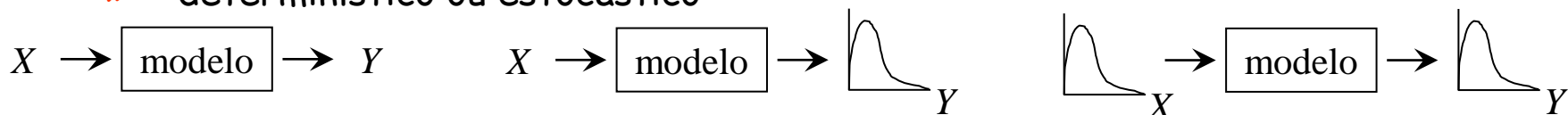
O modelo é bom?

- » Explica observações passadas? Foi bem calibrado?
- » Prediz observações futuras? Foi validado?
- » É generalizável? É robusto? Pode ser aplicado em outros lugares/períodos?
- » Consegue estimar a incerteza dos resultados? Os resultados são confiáveis?
- » É simples? Necessita poucos dados de entrada/parâmetros?
- » É fácil de usar? Tem interface amigável?

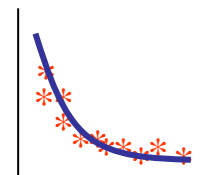
Modelagem Hidrológica

Classificação

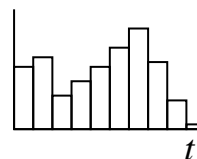
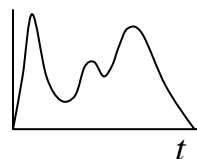
» determinístico ou estocástico



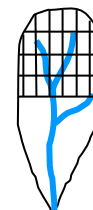
» baseado em processos ou empírico



» contínuo ou discreto (no tempo)



» concentrado ou distribuído (no espaço)



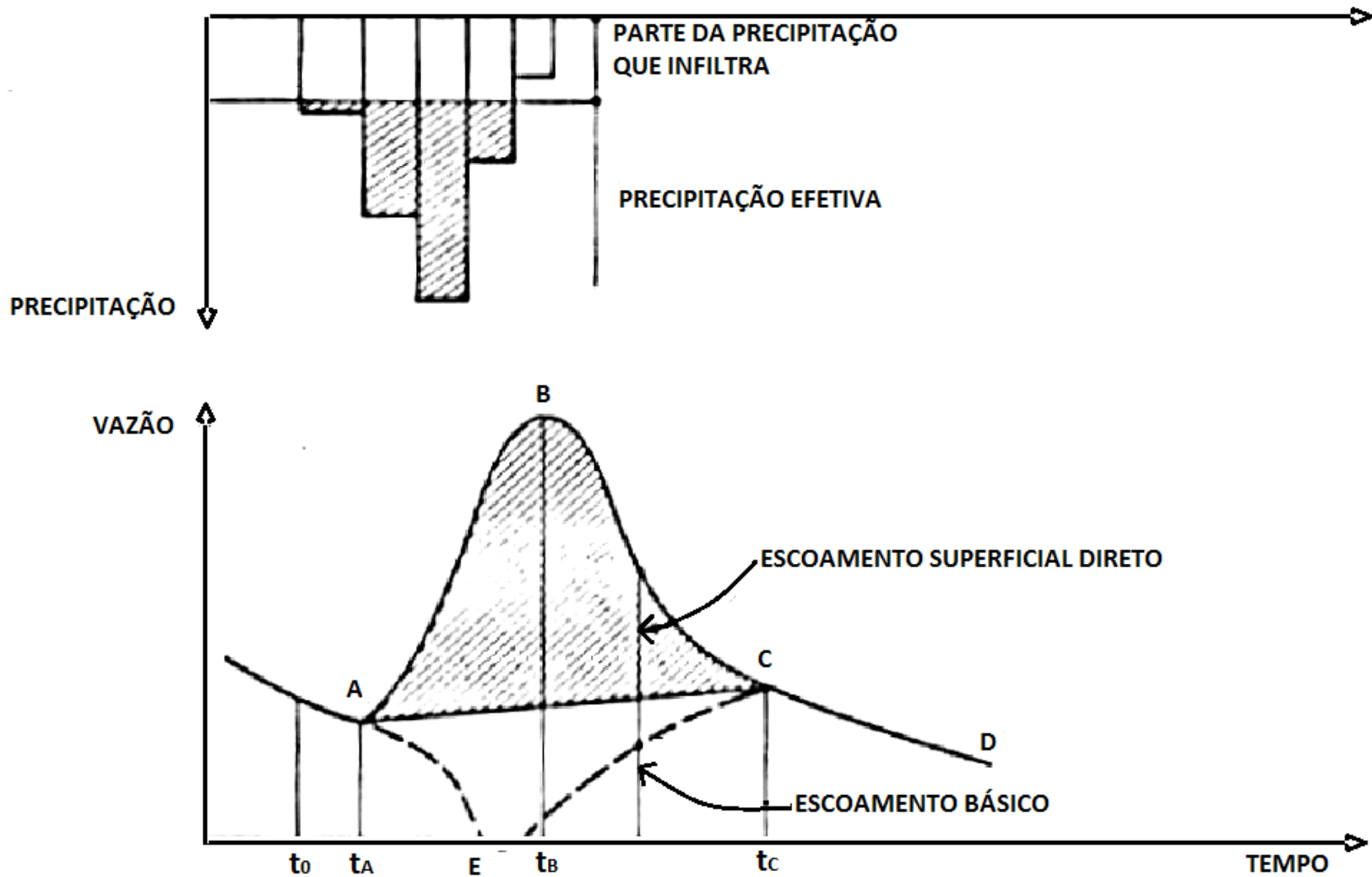
» estático ou dinâmico $X_{t+1} = f(X_t)$

Regiões Hidrograficas do Brasil



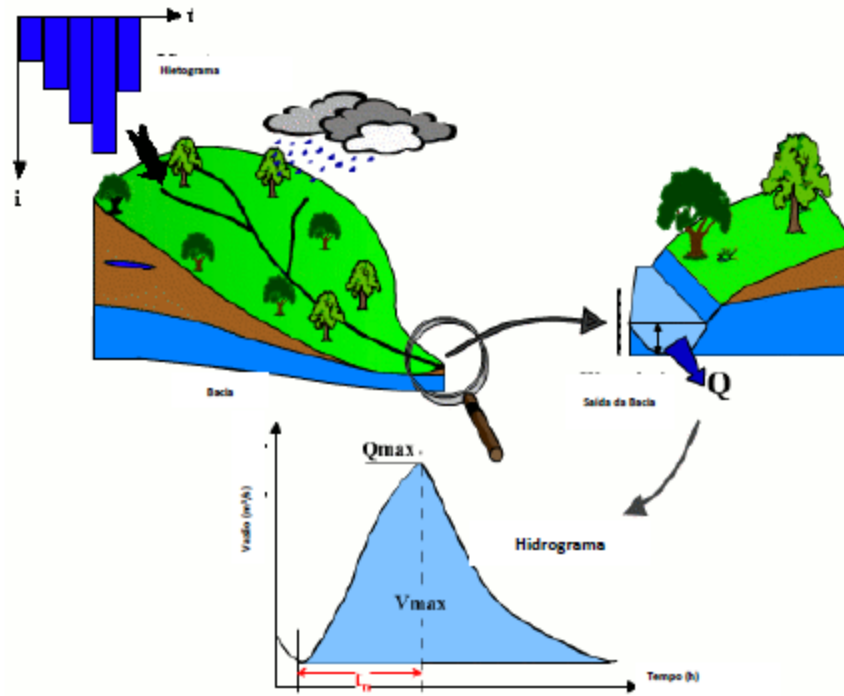
Fonte: Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).
Disponível em <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>.

Ietograma e hidrograda de uma chuva isolada



Fonte: CARVALHO e SILVA, 2006

Relação Precipitação x Vazão



Análise de Pluviograma

Instalação

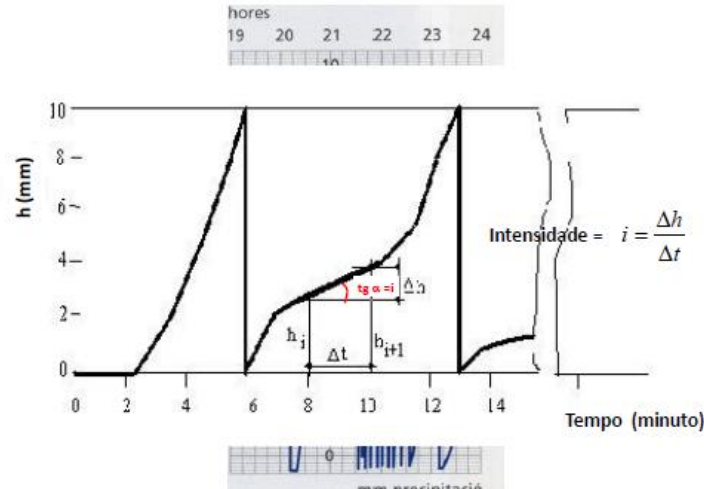


Pluviômetro de Bâscula



444

Análise de Pluviograma



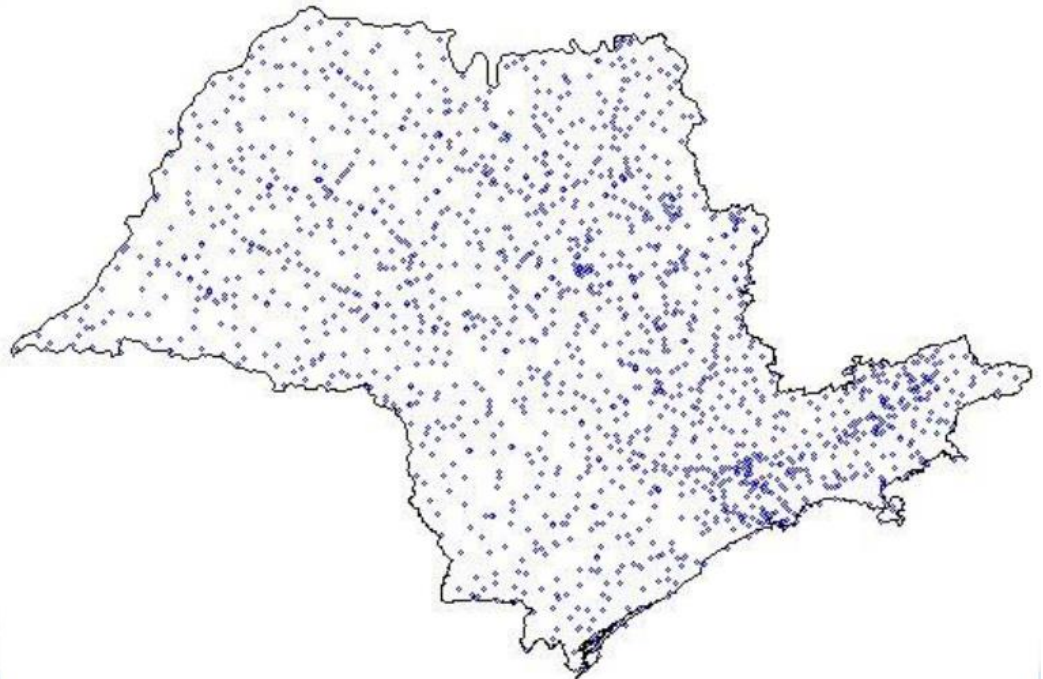
Pluviógrafo de bóia (semanal)



Rede Hidrológica básica do Estado de São Paulo

Desde 1951 o DAEE/CTH opera a Rede Hidrológica Básica do Estado de São Paulo, sendo ela constituída por estações fluviométricas e pluviométricas abrangendo o território estadual.

- 1000 postos pluviométricos
- 130 postos pluviográficos
- 140 postos fluviométricos
- 50 postos fluviográficos
- 10 postos sedimentométricos
- 24 estações meteorológicas



Rede telemétrica em São Paulo

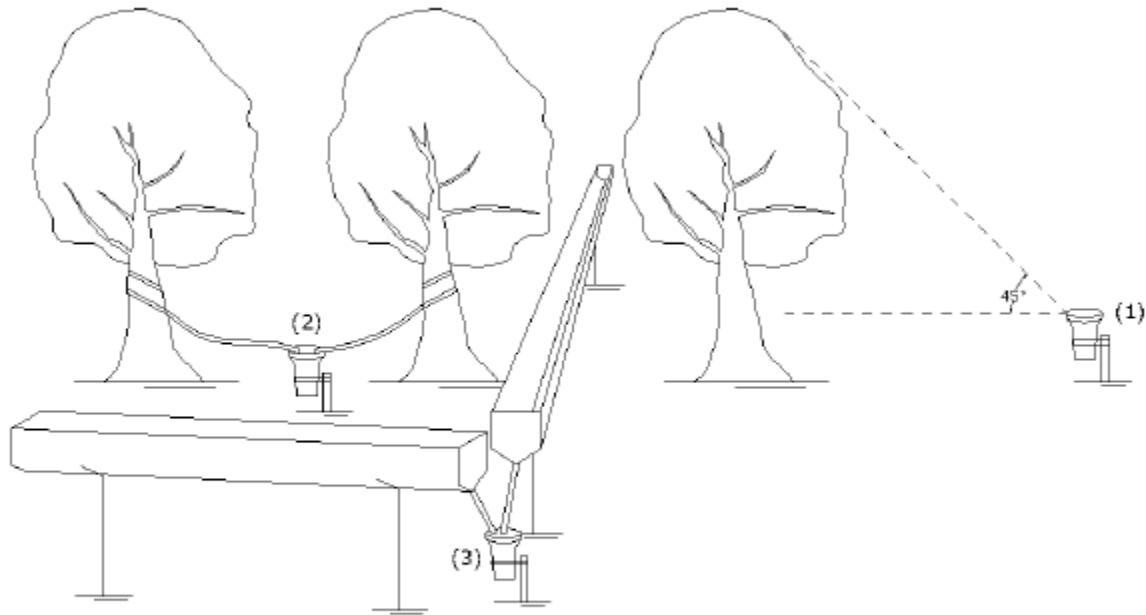
- Foi implementado no ano de 1977, com o objetivo de monitoramento automático de chuvas e níveis dos principais rios da bacia do Alto Tietê
- ☐ Redes operadas pelo Sistema de Alerta a Inundações do Estado de São Paulo – SAISP (FCTH)
- ☐ Principais redes
- ☐ Rede Telemétrica do Alto Tietê: 42 postos
- ☐ Rede Telemétrica Cubatão: 7 postos
- ☐ Rede Telemétrica SABESP: 31postos
- ☐ Rede Telemétrica Piracicaba (Bacia PCJ): 15 postos
- ☐ Estações Meteorológicas: 21 postos
- ☐ Piscinões SIURB: 4 postos
- ☐ Piscinões DAEE: 42 postos

A Agencia Nacional de Energia Eletrica (ANEEL), atraves da *Resolucao no396 de 04 de dezembro de 1998*, estabelece a quantidade minima de aparelhos pluviometricos exclusivamente para empreendimentos hidreletricos.

Quantidade de estações pluviométricas por área de drenagem incremental – ANEEL

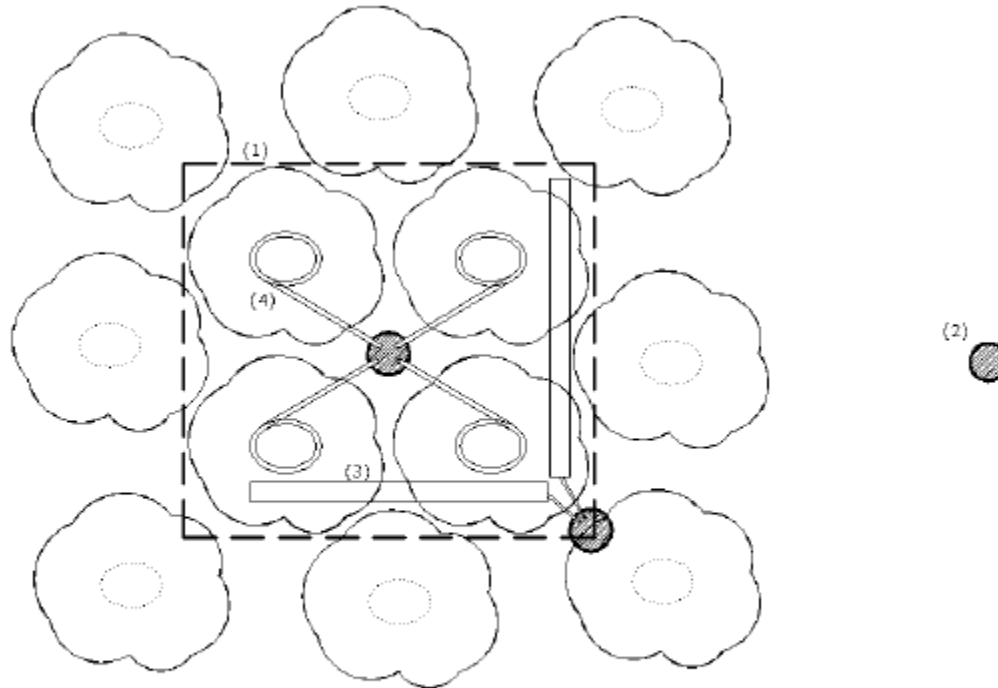
Área de Drenagem Incremental (km²)	Número mínimo de estações Pluviométricas
De 0 a 500	-
De 501 a 5.000	3
De 5 001 a 50.000	4
De 50 001 a 500.000	6
Acima de 500.000	7

INTERCEPTAÇÃO



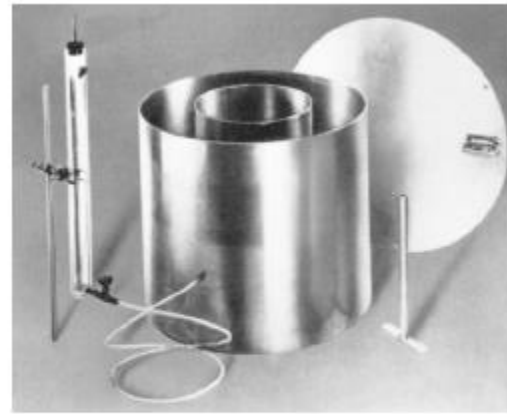
(1) Pluviógrafo medindo chuva externa. (2) Pluviógrafo medindo escoamento de tronco. (3) Pluviógrafo medindo chuva líquida coletada pelas calhas.

Interceptação



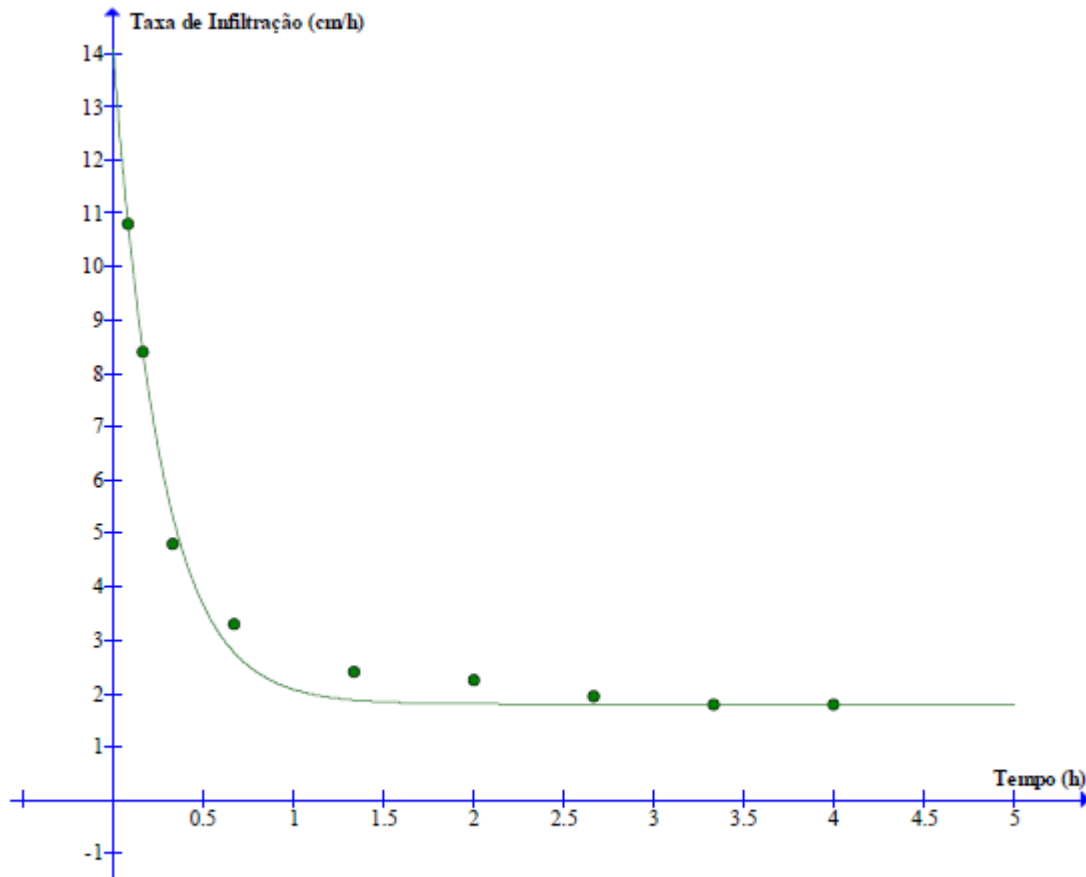
Vista em planta de um *plot* com equipamentos de medição de interceptação instalados.
(1) Área para cálculo de escoamento de tronco. (2) Pluviógrafo medindo chuva externa. (3) Calha para medição de chuva interna. (4) Colar para medição de escoamento de tronco.

INFILTRAÇÃO



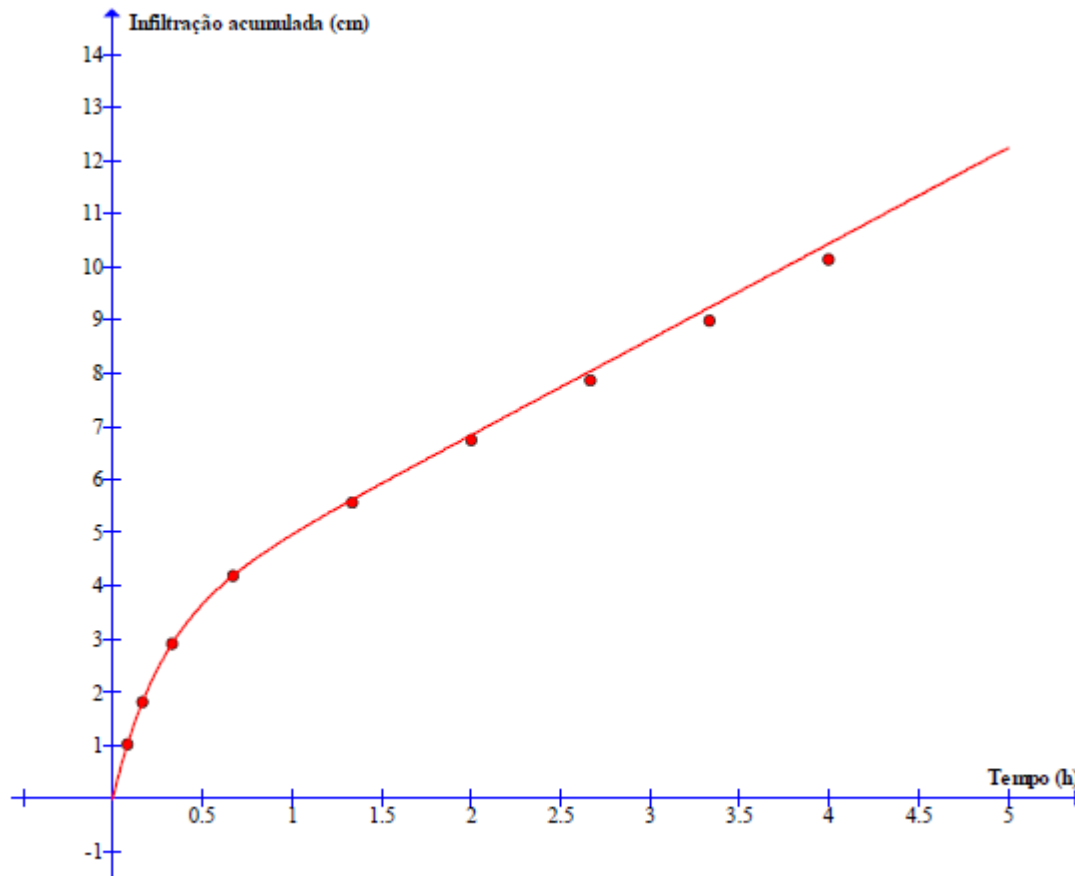
- . Cilindros de aço usados para determinação da infiltrabilidade do solo. Podem ser construídos artesanalmente ou adquiridos prontos.

INFILTRAÇÃO



Curva da taxa de infiltração em função do tempo, obtida a partir do ajuste da equação de Horton aos dados da determinação a campo

INFILTRAÇÃO



Curva da lâmina de infiltração acumulada em função do tempo

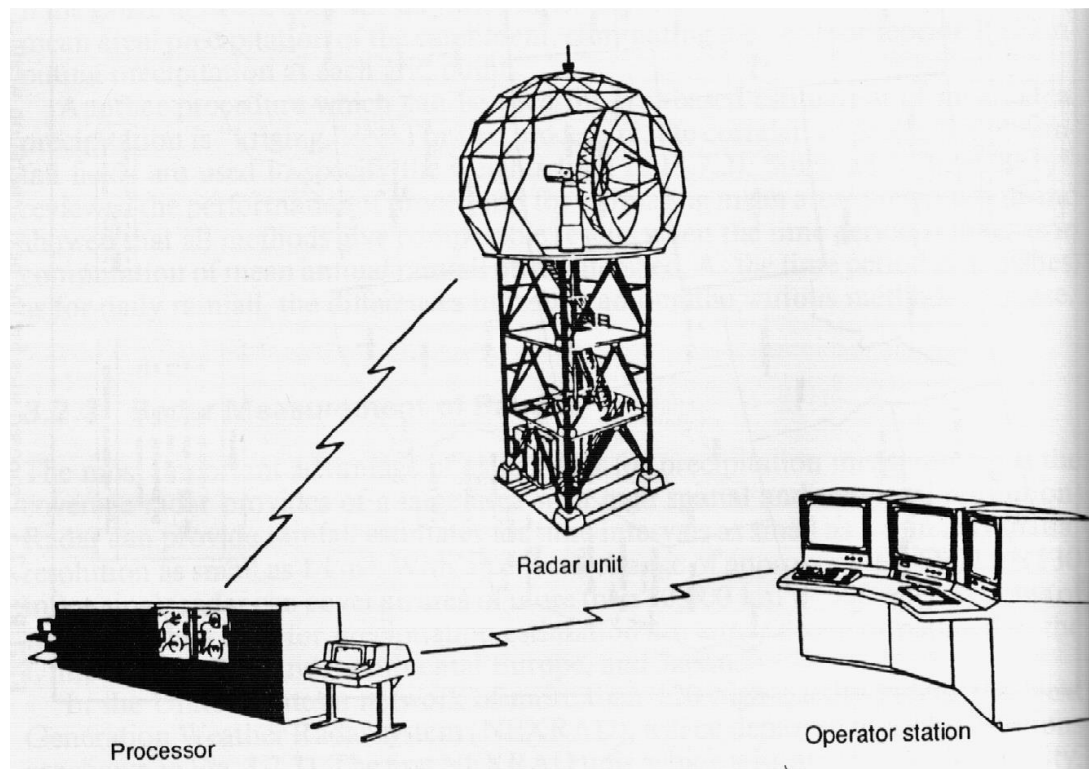
Radar Meteorológico São Paulo

Instalado no ano de 1988, na Barragem de Ponte Nova (município de Biritiba-Mirim), cabeceira do Rio Tietê.



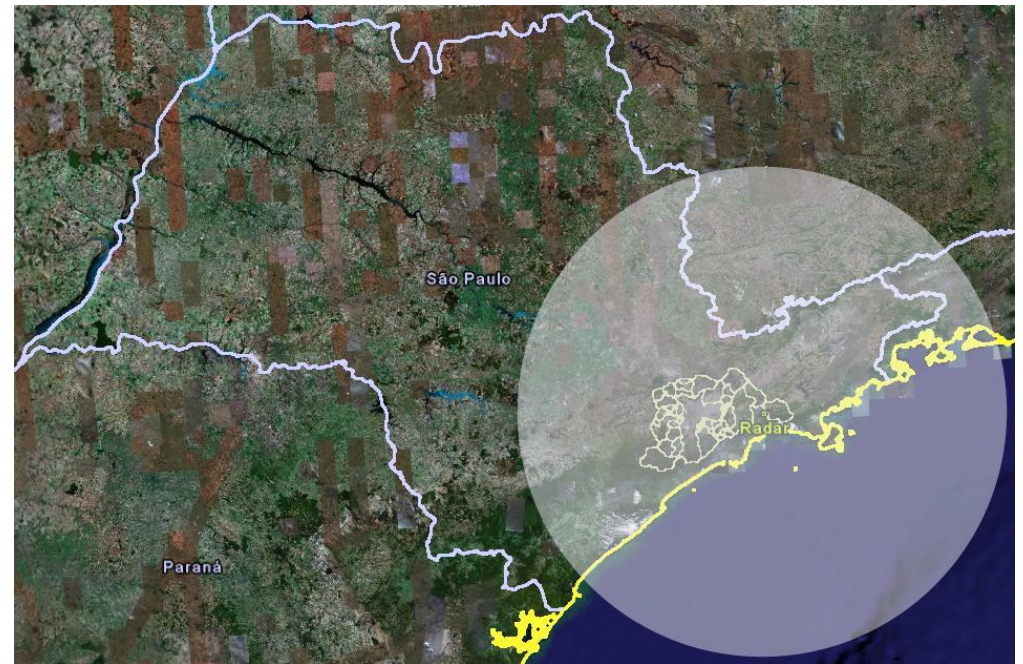
Radar Meteorológico

- São empregadas ondas eletromagnéticas de alta energia para se alcançar grandes distâncias
- As ondas eletromagnéticas ao passarem por uma nuvem, causam em cada gota uma ressonância na frequência da onda incidente, de modo que cada gota produz ondas eletromagnéticas, irradiando em todas as direções



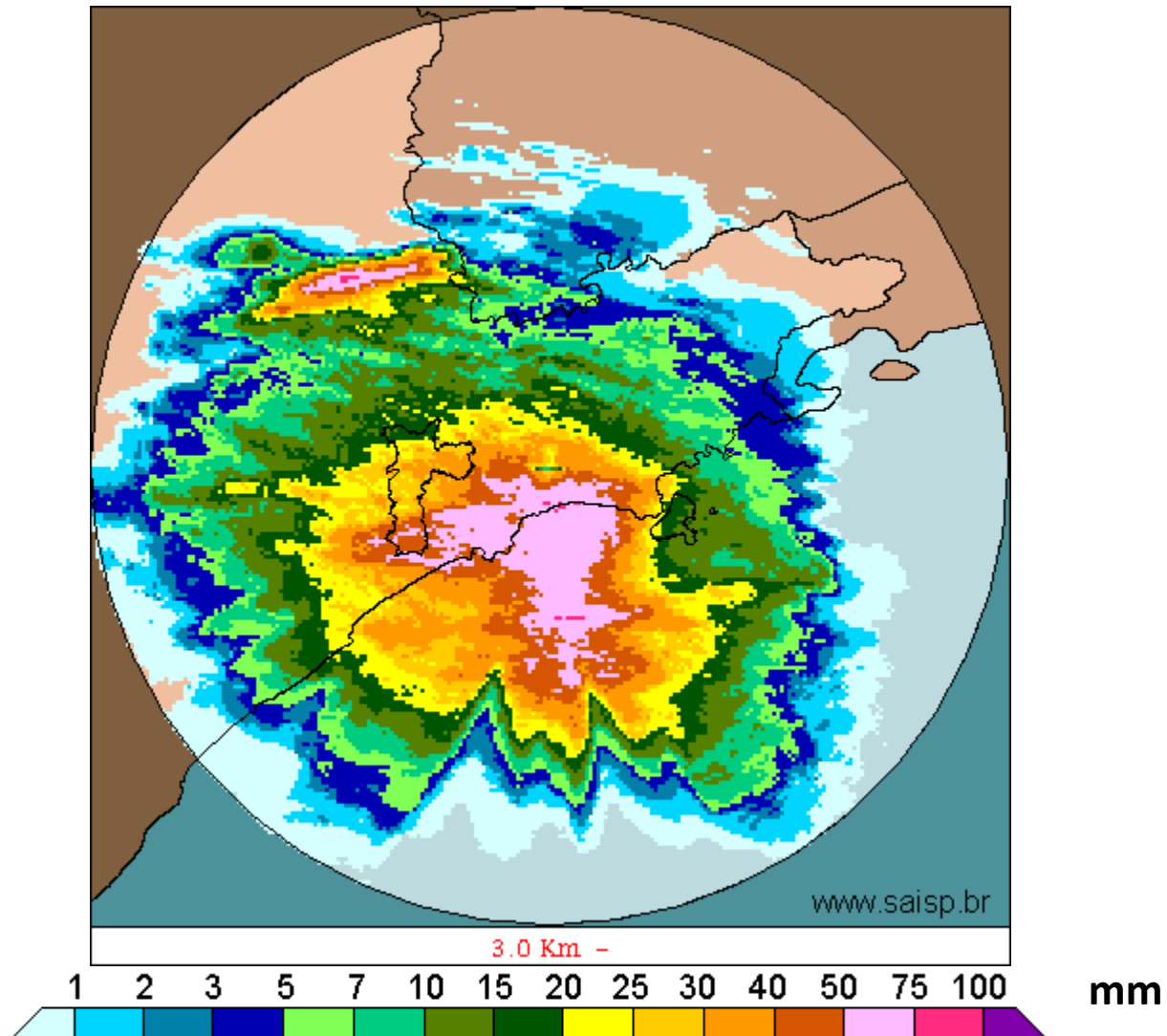
Radar Meteorológico

Raio de cobertura do radar é de 240 km, com resolução de 2x2 km ou com raio de 120 Km com resolução de 1x1Km



Chuva Acumulada pelo Radar

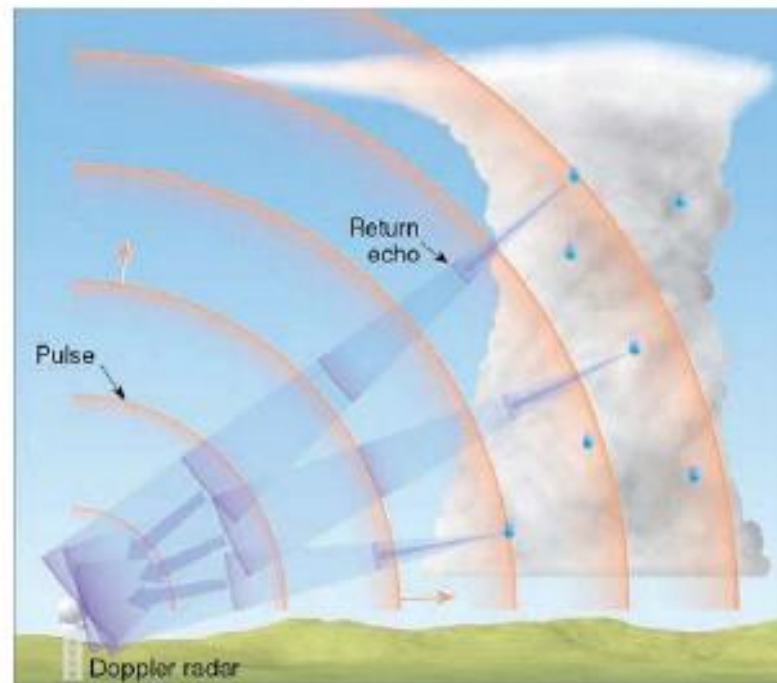
01 / 10 / 2001



Radar meteorológico

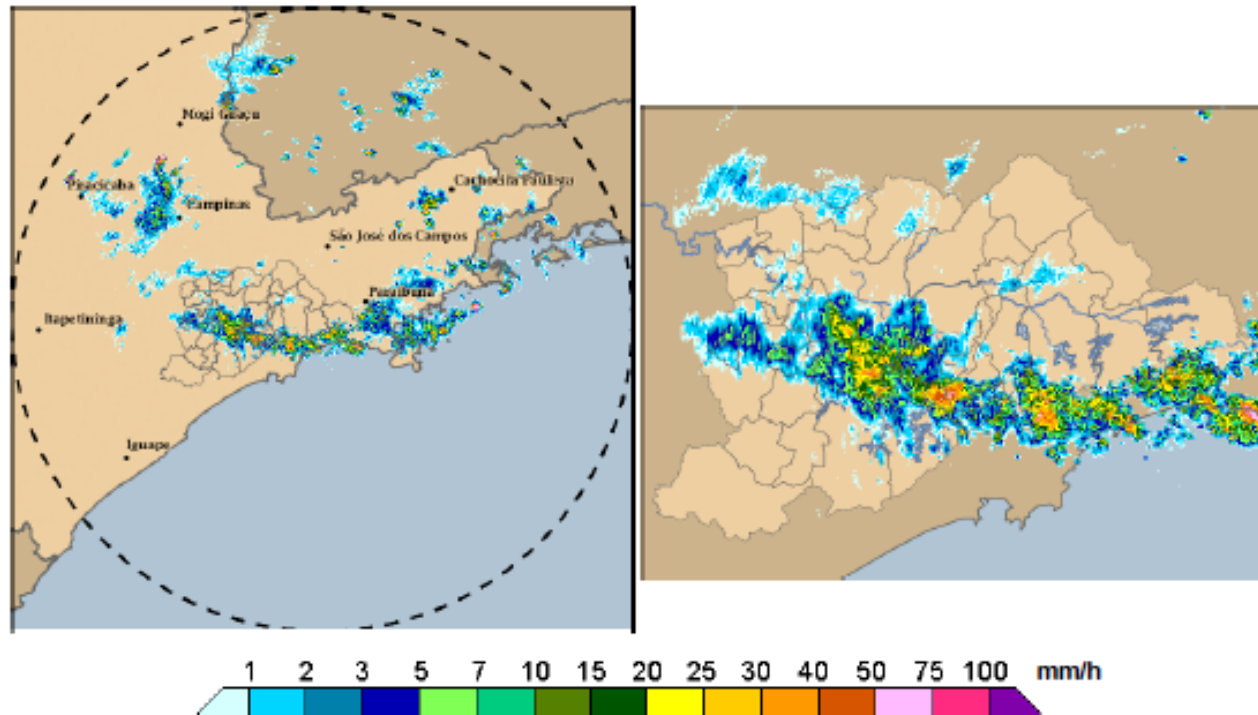
- A refletividade possui uma relação física com o espectro de gotas observado
- Pode-se determinar a partir deste espectro uma relação entre a refletividade do radar (R) e a taxa de precipitação (Z) correspondente

$$Z = A \cdot R^b$$



Radar Meteorológico - SAISP

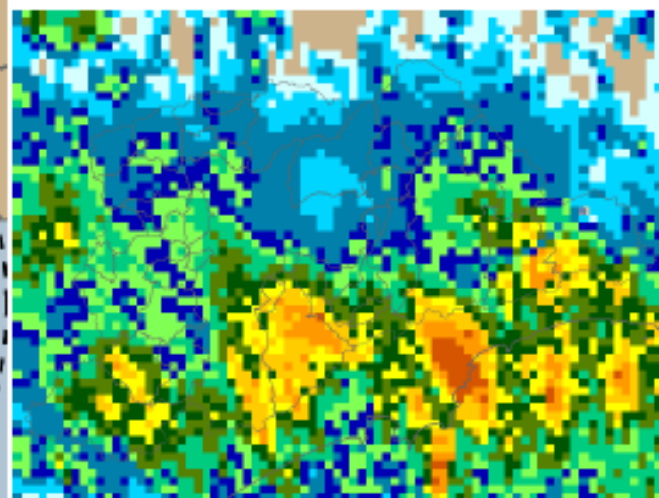
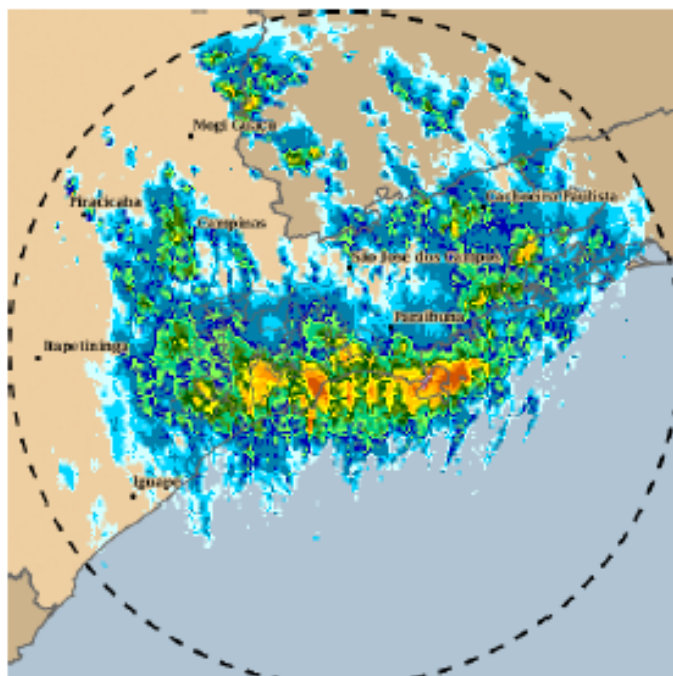
Relatório de evento de chuva de 28/02/2015



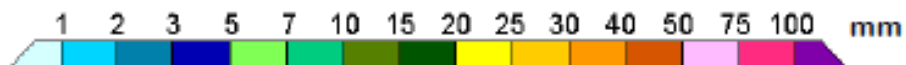
Fonte: www.saisp.br

Radar Meteorológico - SAISP

Chuva Acumulada de 28/02/2015 7:00 h às 01/03/2015 0:40 h



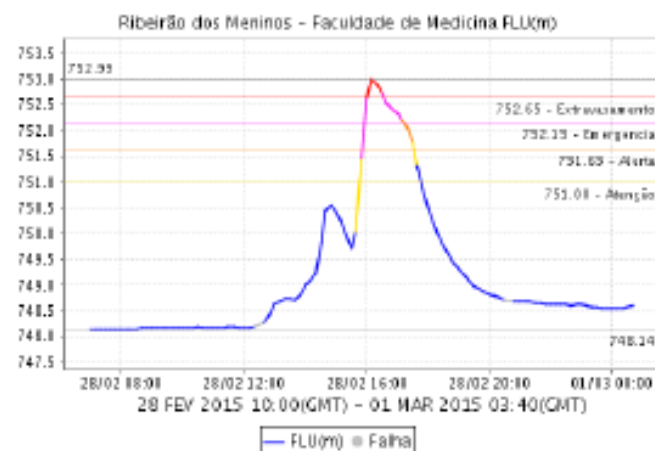
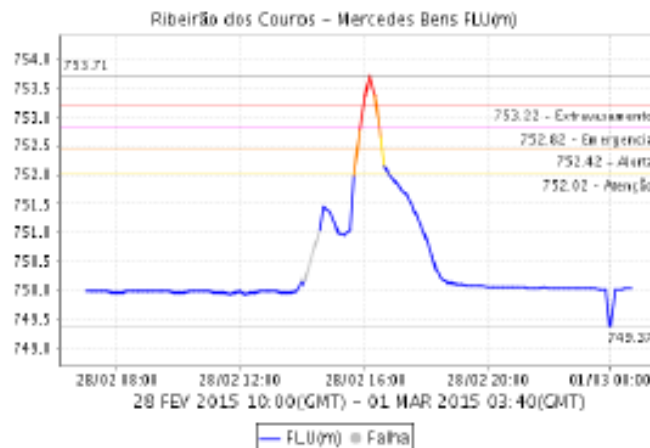
Chuva máxima de 74,6 mm no posto RM5 – Capitão Casa (Ribeirão dos Meninos)



Fonte: www.saisp.br

Chuva acumulada e Fluviometria Evento 28/02/2015 7:00 h às 01/03/2015 0:40 h

Posto	PLU (mm)	FLU (m)	Bacia	Município
RM5 – Capitão Casa	74,6	-	Ribeirão dos Meninos	Diadema
RC3 – Mercedes Bens	50,2	753,71	Ribeirão dos Couros	Diadema
RM9 – Faculdade de Medicina	34,0	752,99	Ribeirão dos Meninos	Santo André

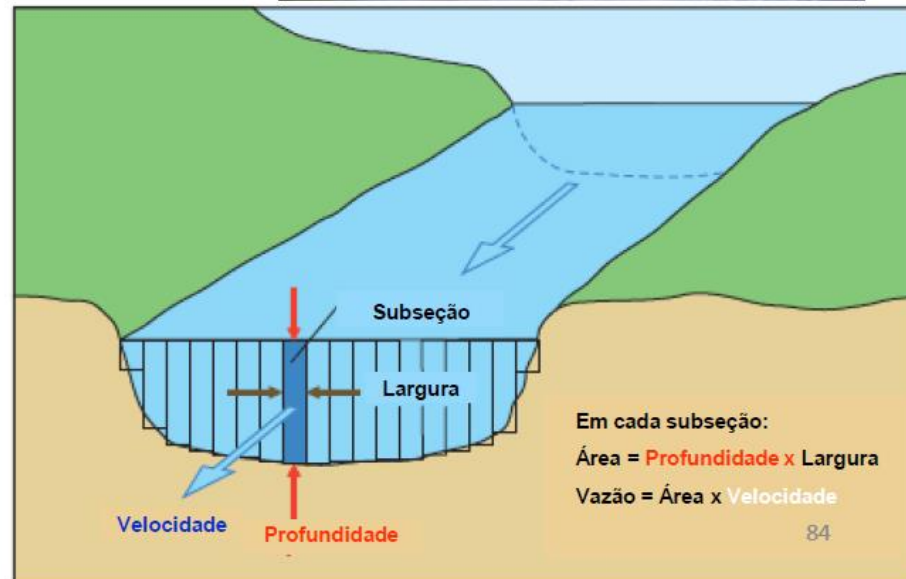


Métodos de medição de vazão

Medição com estruturas hidráulicas



Medição por Velocidade



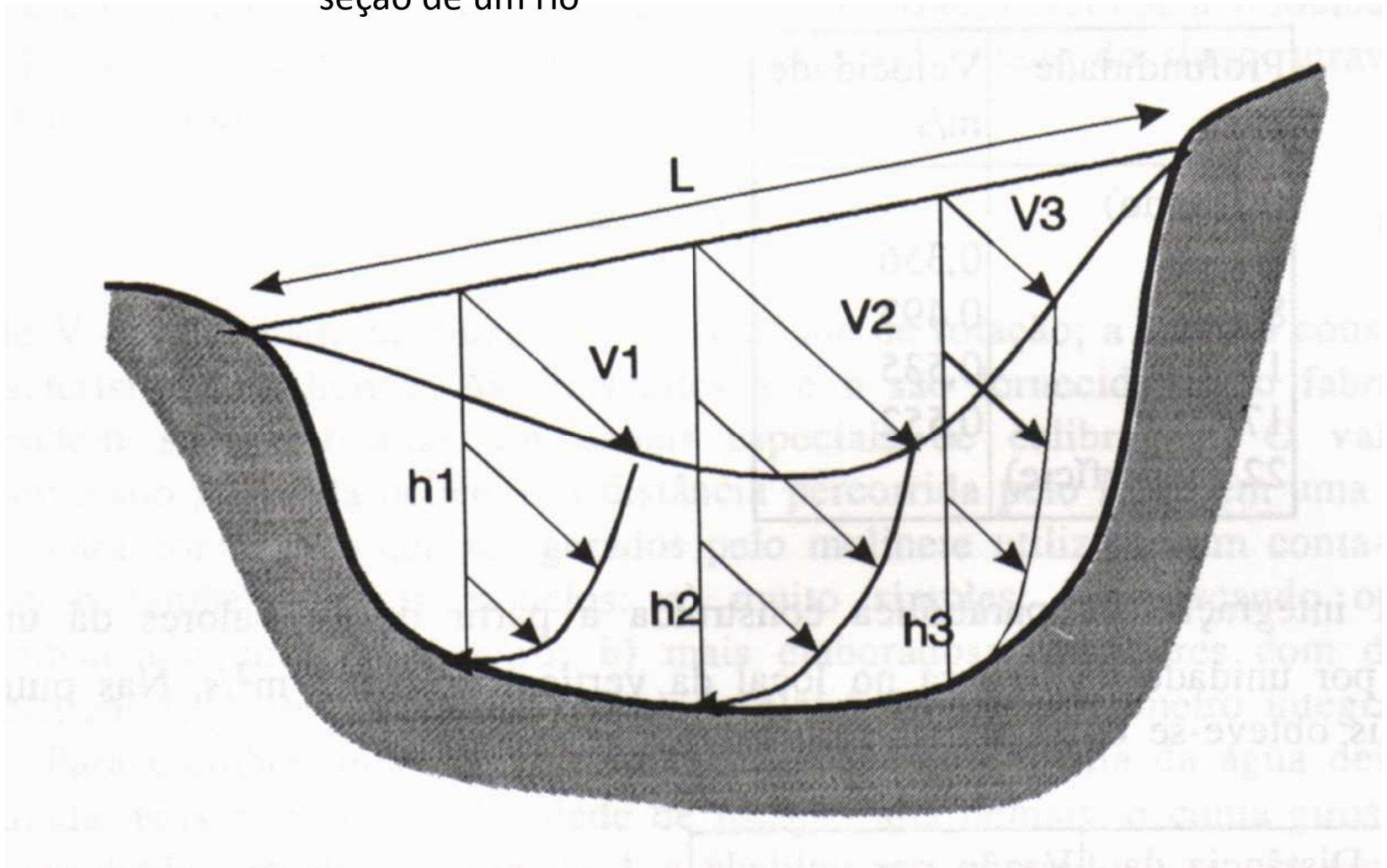
Micromolinete com contador de rotacoes.



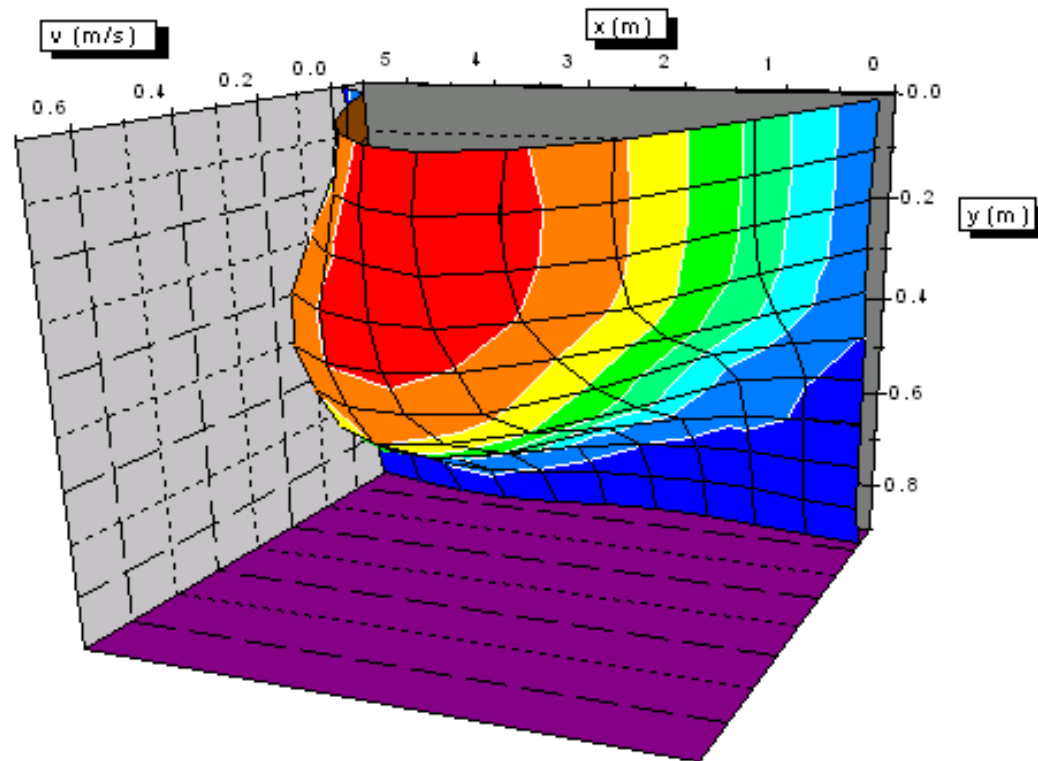
Finalidade da medição de vazões

- Criar séries históricas
- Análise de vazões mínimas: autodepuração de esgotos, calado para navegação, etc.
- Análise de vazões médias: dimensionamento de reservatórios, etc.
- Análise de vazões máximas: dimensionamento de vertedores, bacias de detenção, etc.
- Operação em tempo real: comportas, controle de cheias, etc.
- Cálculo de vazões de referência para outorga

Perfis horizontais e verticais de velocidades na seção de um rio

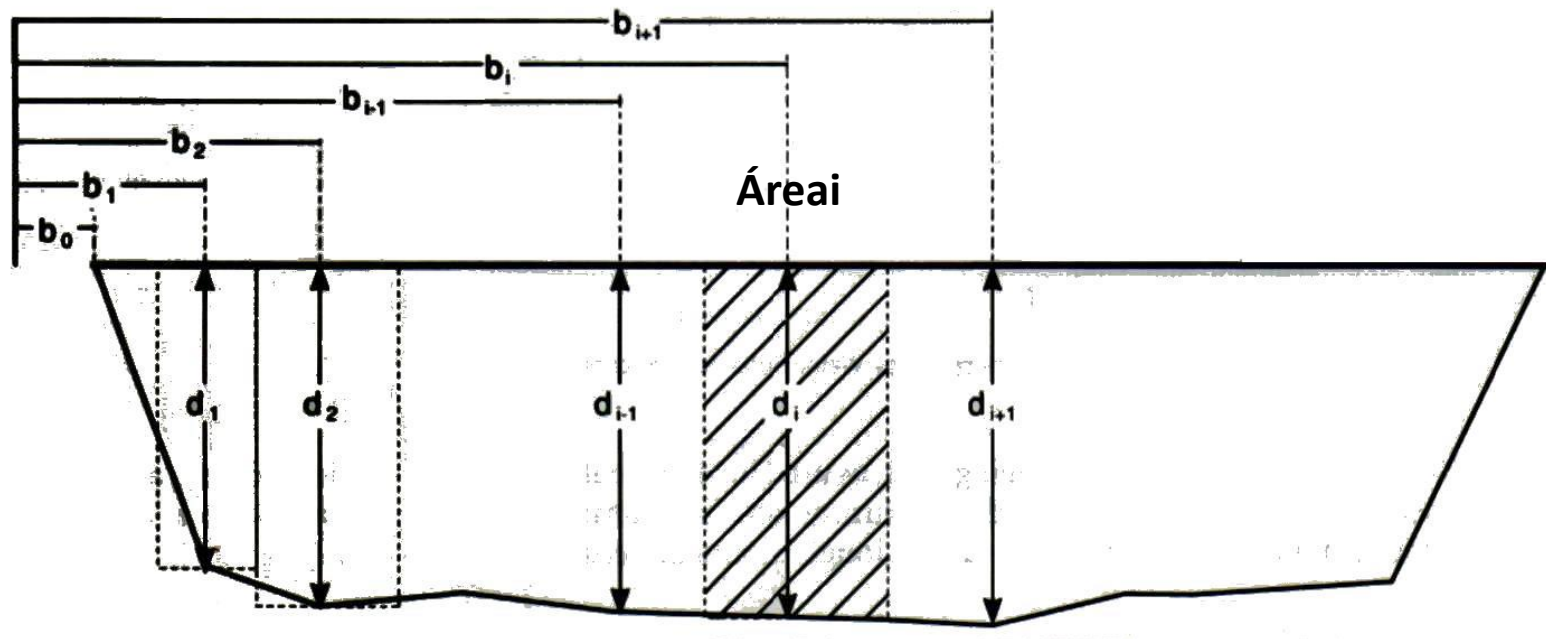


Perfis Horizontais e Verticais das Velocidades na Seção de um Rio



Medição com Molinete

Áreas de influência de cada vertical



$$Q = \sum V_{\text{médiai}} \cdot \text{Área}_i$$

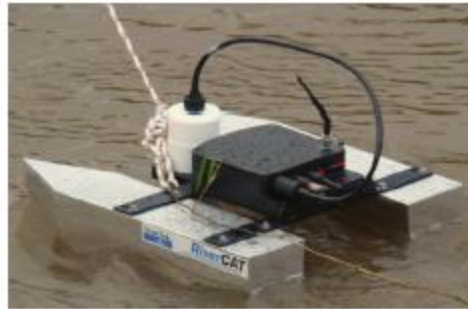
$V_{\text{médiai}}$

OBS : Outra opção é a Medição com ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

Medição de vazão com aparelhos Doppler

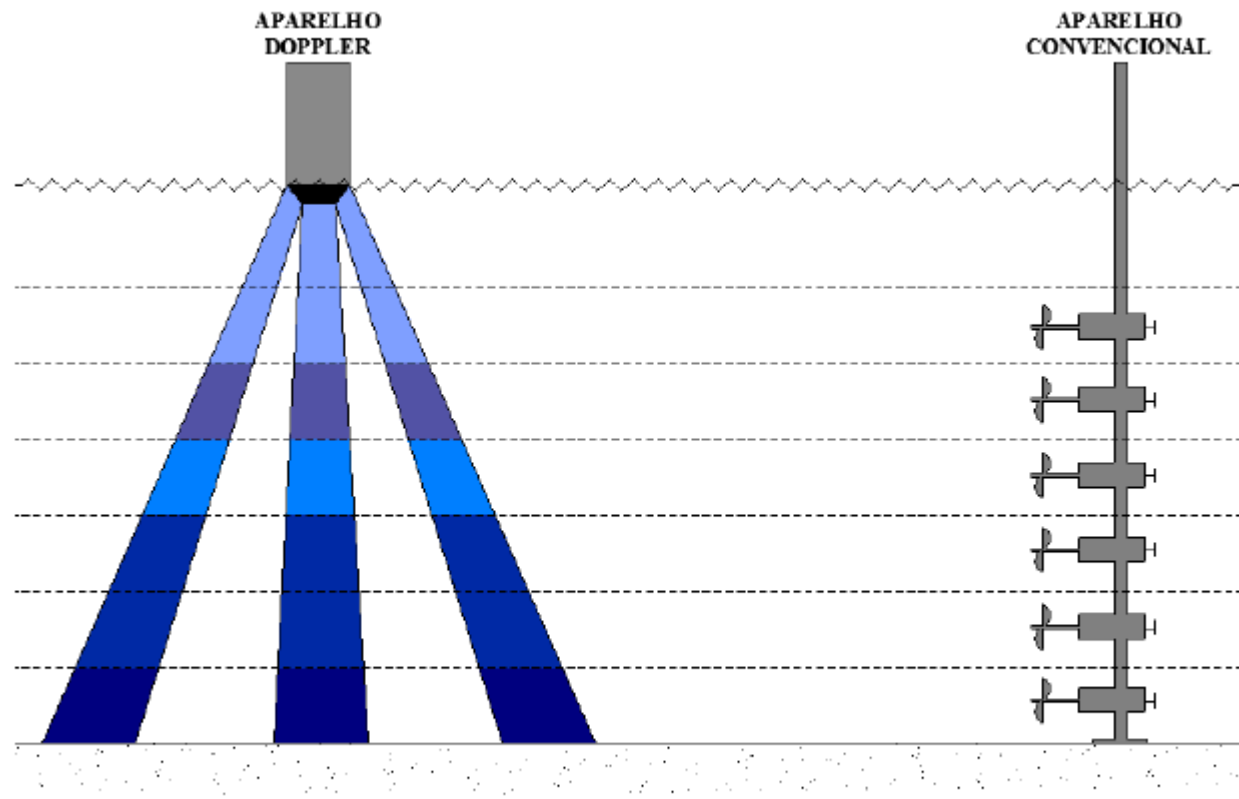


(a)



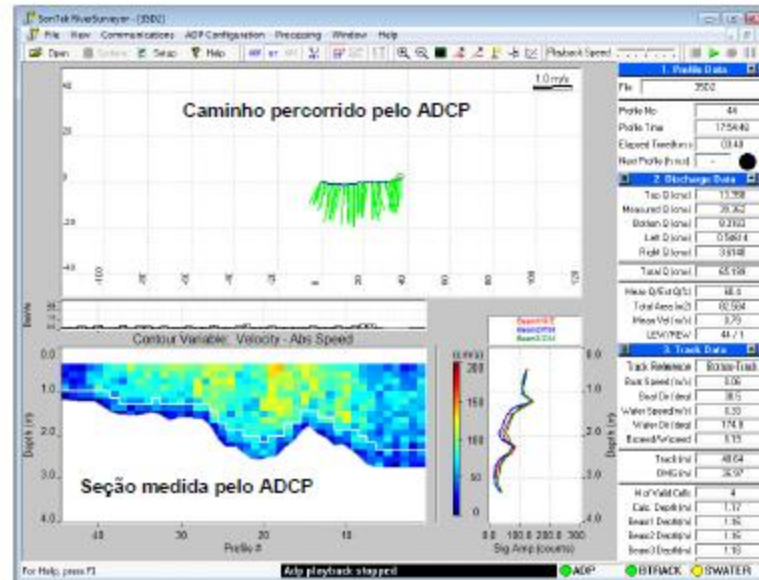
(b)

(a) ADP modelo *RiverSurveyor* "Mini" System; (b) Suporte do ADP modelo *RiverCat* *Integrated Catamaran System*.



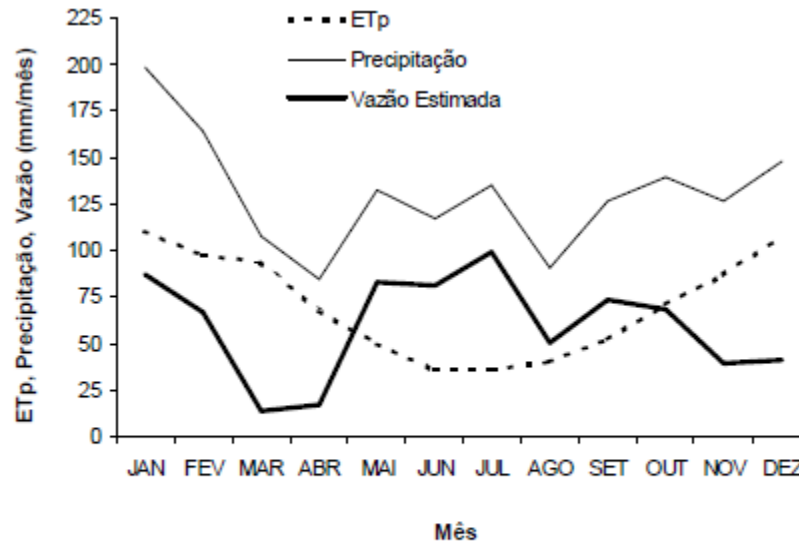
Analogia de uma medição de vazão convencional para uma medição com efeito *Doppler*.

Estimativa de vazão com aparelho Doppler



Layout do *Riversurveyor* versão 4.6.

EVAPOTRASPIRAÇÃO



Comportamento mensal da evapotranspiração potencial, precipitação e vazão estimada, para a região de Rio Negrinho – SC. (Chaffe & Kobiyama, 2006)

Tanques de Evaporação



Tanque Classe A. (a) Tanque em cima de pallet visto de perspectiva. (b) Tanque visto de cima. (c) Parafuso micrométrico com ponta em forma de gancho. (d) Parafuso micrométrico dentro de poço tranquilizador.

Evaporígrafo



A relação entre os dados NDVI e ETP

Tabela 1: Dados de NDVI e ETP utilizados para regressão linear.

Estação	01 de fevereiro de 2009		28 de agosto de 2009	
	NDVI	ETP (mm.d ⁻¹)	NDVI	ETP (mm.d ⁻¹)
Rio Negrinho A862	0,587035	3,945	0,55113	2,902
Indaial A817	0,906801	4,976	0,631533	3,602
Florianópolis A806	0,84359	5,345	0,692394	3,410
Curitiba A807	0,770952	4,657	0,417897	3,343
Morretes A873	0,888212	4,989	0,893864	3,212
Rio dos Bugres	0,757434	4,145	0,408139	2,646
Itaopá A851	0,776037	4,889		
Ituporanga A863	0,84667	4,598		
Ilha do Mel A847	0,910759	6,012		

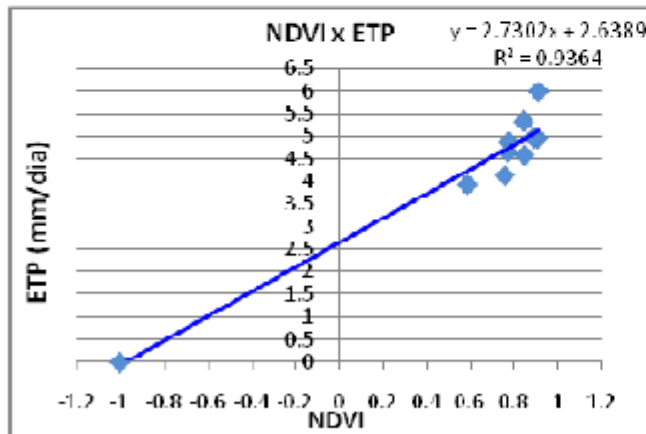


Figura 3. Relação ETP x NDVI, para 01/02/2009.

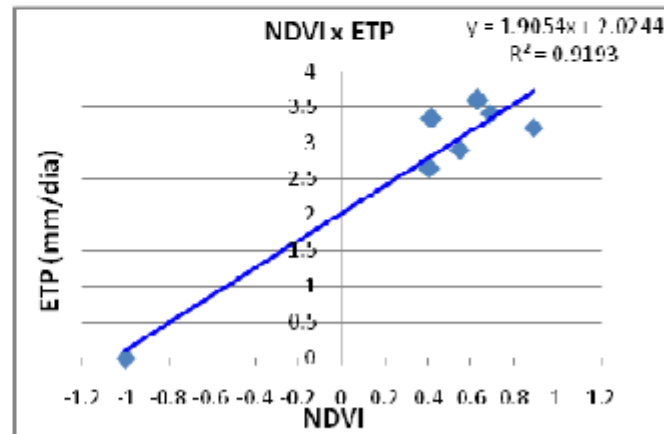


Figura 4. Relação ETP x NDVI, para 28/08/2009.

distribuição espacial da evapotranspiração potencial (*ETP*)

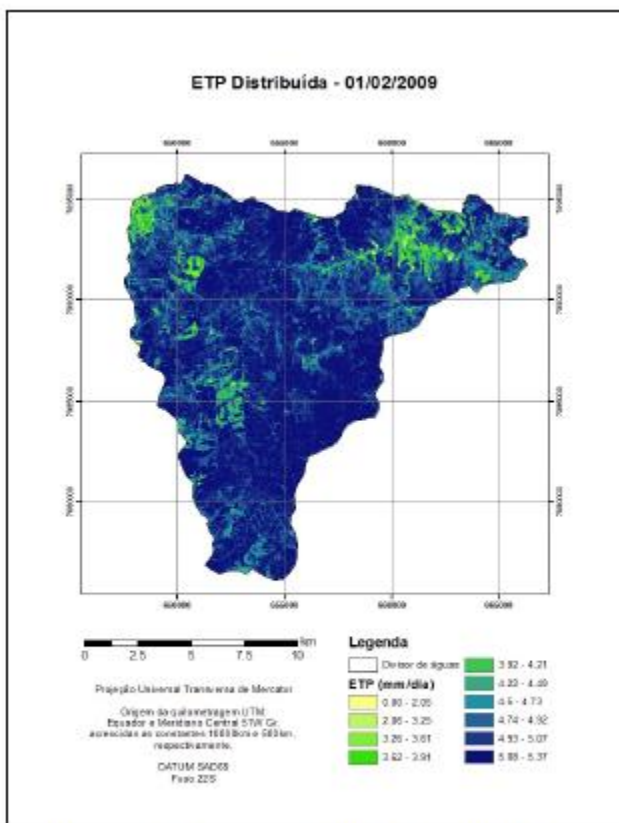


Figura 5. Mapa de ETP distribuída, para 01/02/09.

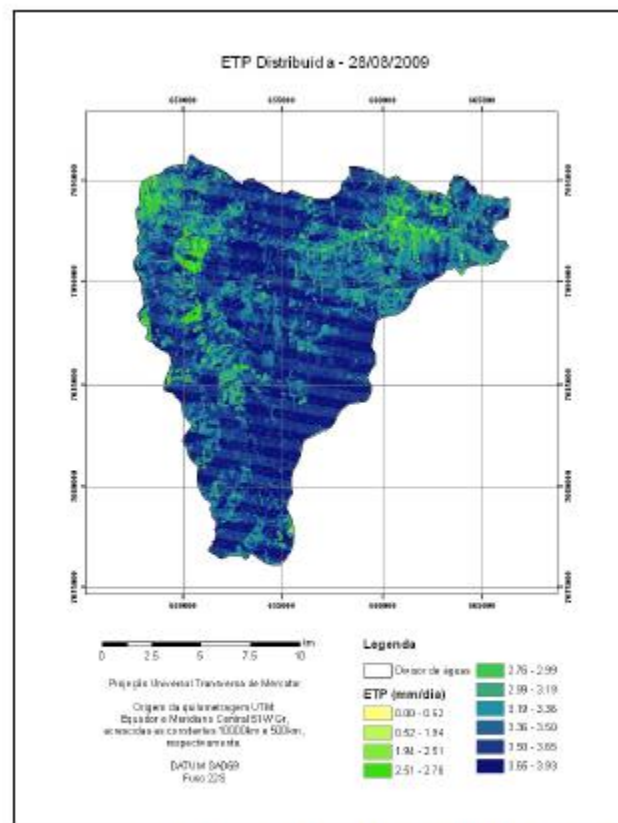
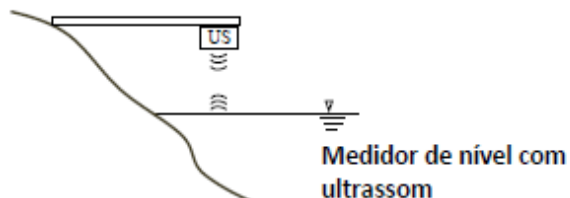
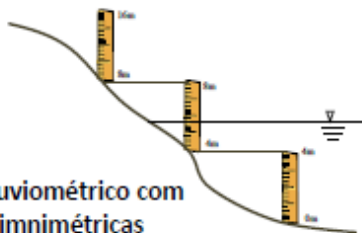


Figura 6. Mapa de ETP distribuída, para 28/08/09.

Relação entre o nível e a vazão

- Curva-chave: obtenção da vazão a partir da medição do nível d'água
- Métodos de medição: leitura manual ou eletrônica/mecânica (linígrafos de bóia, de bolha; sensores ultrassônicos ou de pressão)



Limnígrafo Ultrassônico



Limnógrafo Ultrassônico

Data Logger



Transmissão de dados

Relação entre o nível e a vazão

- Curva chave: nível (H) X vazão (Q)
- Forma geral

$$Q = a(H - H_0)^b$$

Q – vazão (m³/s)
H – nível da água (m)
H₀, a, b – parâmetros de ajuste

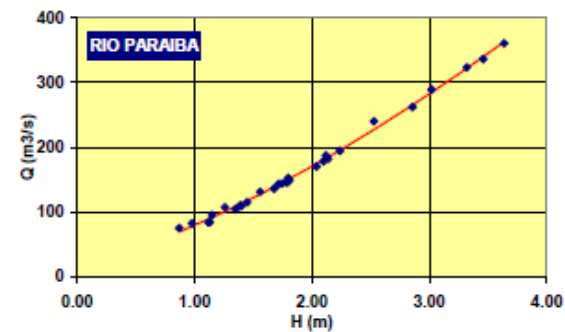


Tabela 3 – Variáveis de entrada e saída de água do Balanço Hídrico

Entrada de água	Saída de água
Chuva	Evapotranspiração
Orvalho	Escoamento Superficial
Escoamento Superficial	Escoamento Subsuperficial
Escoamento Subsuperficial	Drenagem Profunda
Ascensão capilar	

Fonte: Tomaz, 2006.

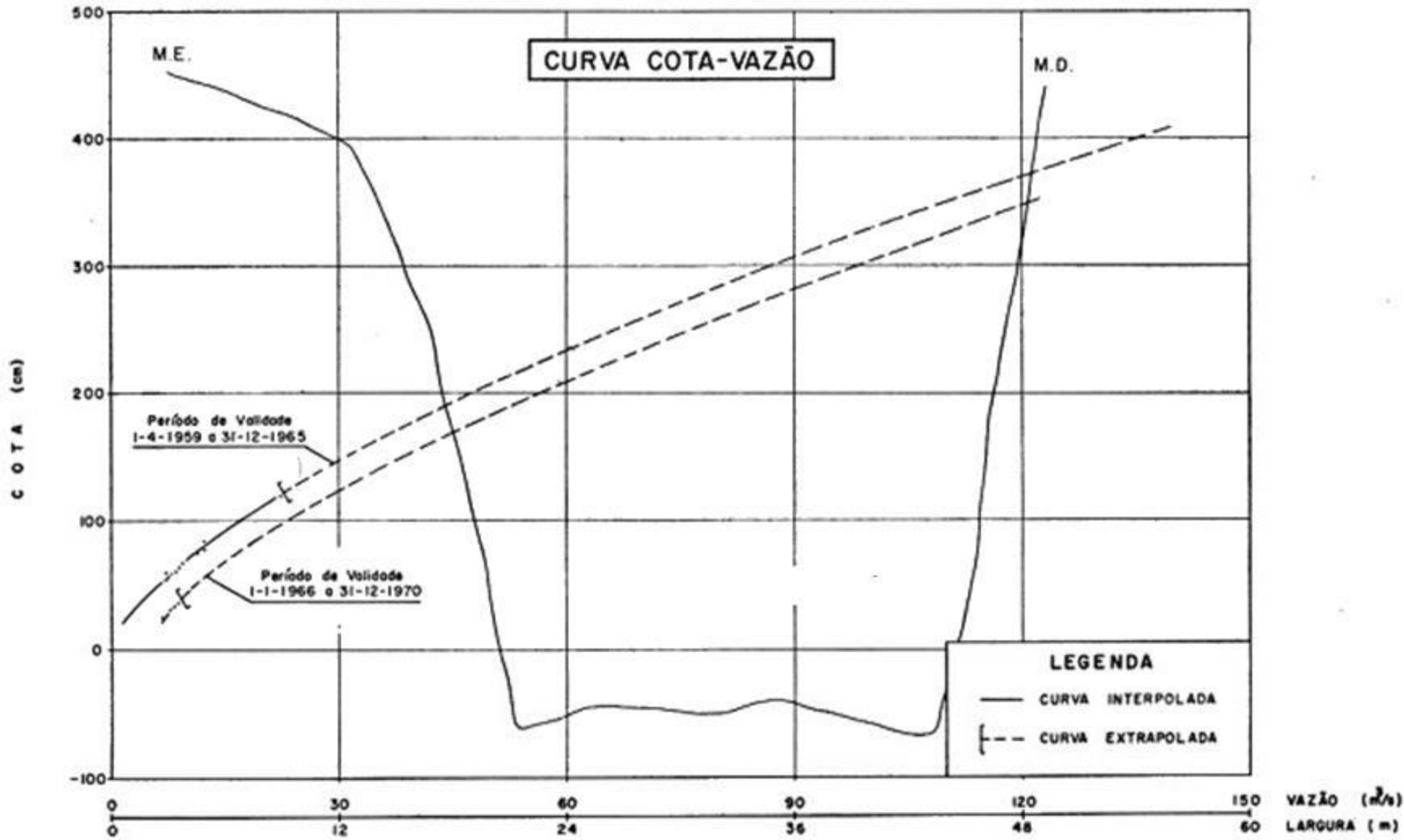
Seção de um rio e Curva-Chave

RIO ASSUNGUI

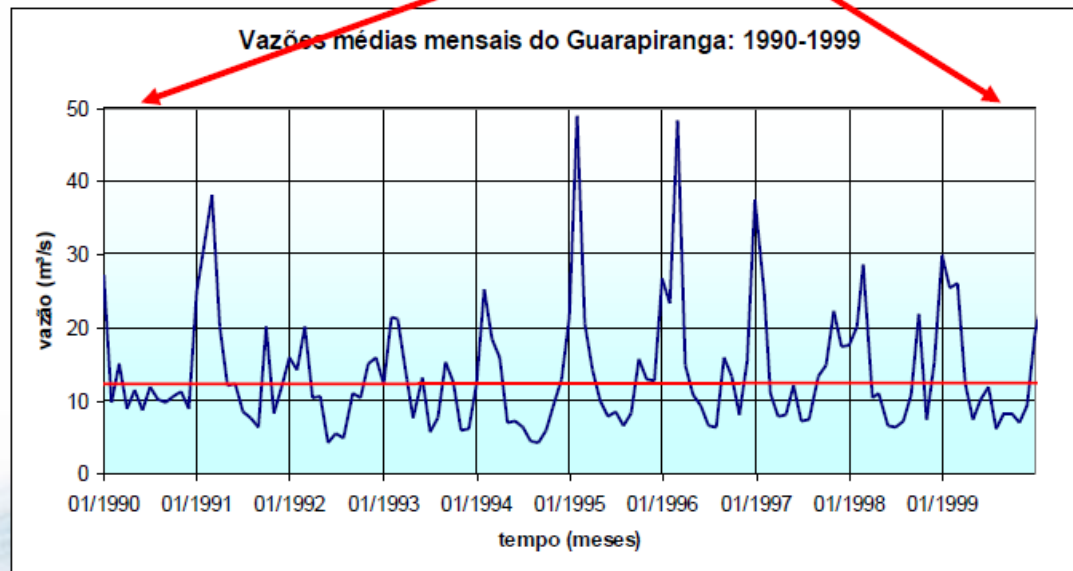
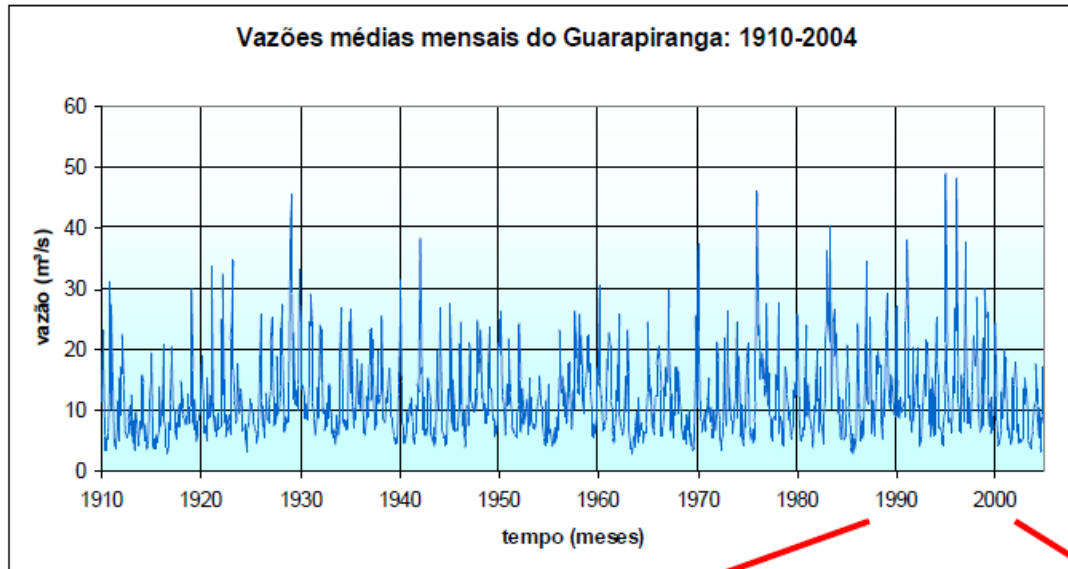
PREFIXO 4F-5

POSTO BAIRRO IPORANGA

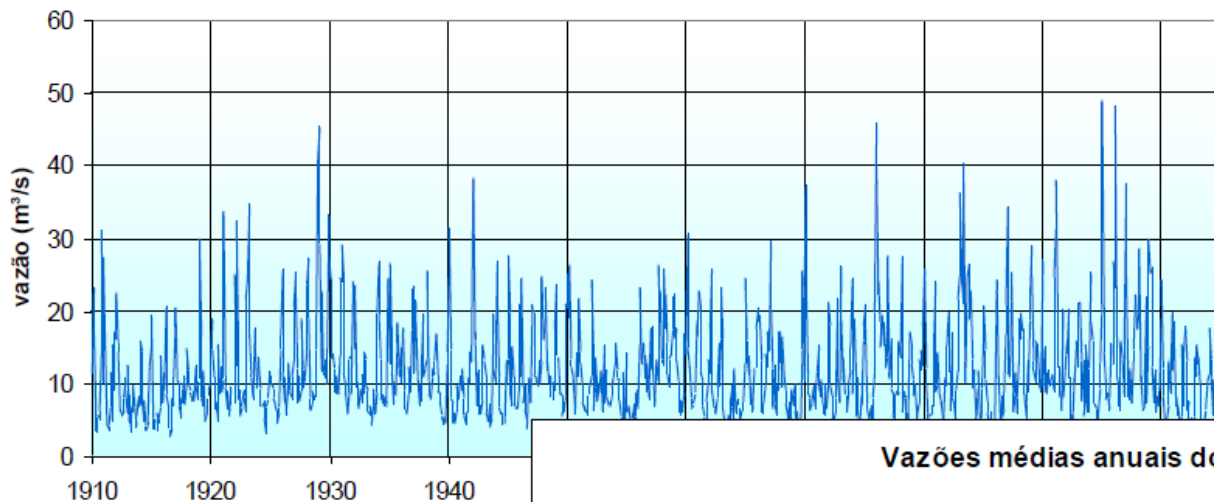
CURVA COTA-VAZÃO



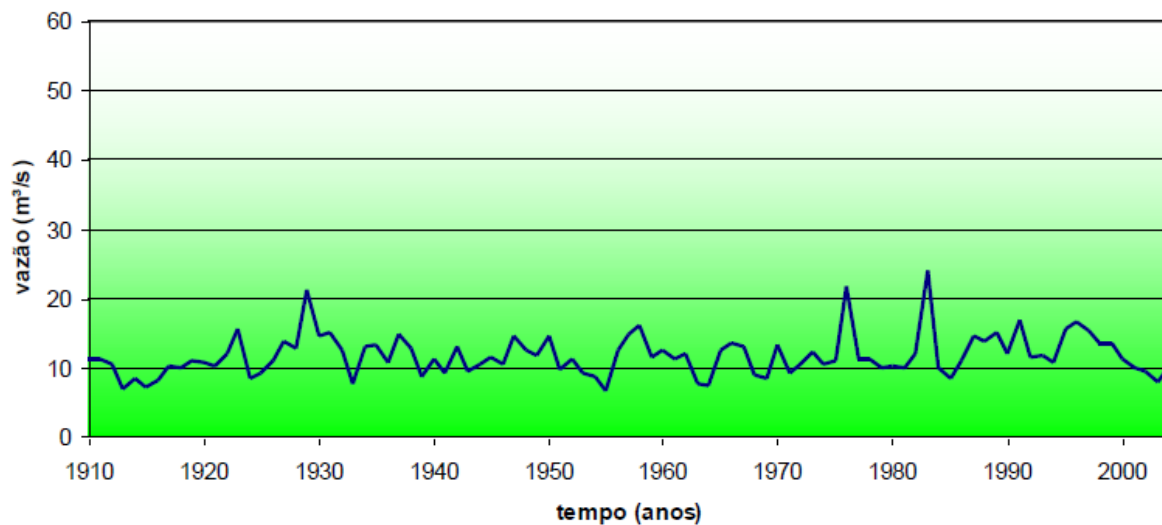
Visualização de Hidrogramas



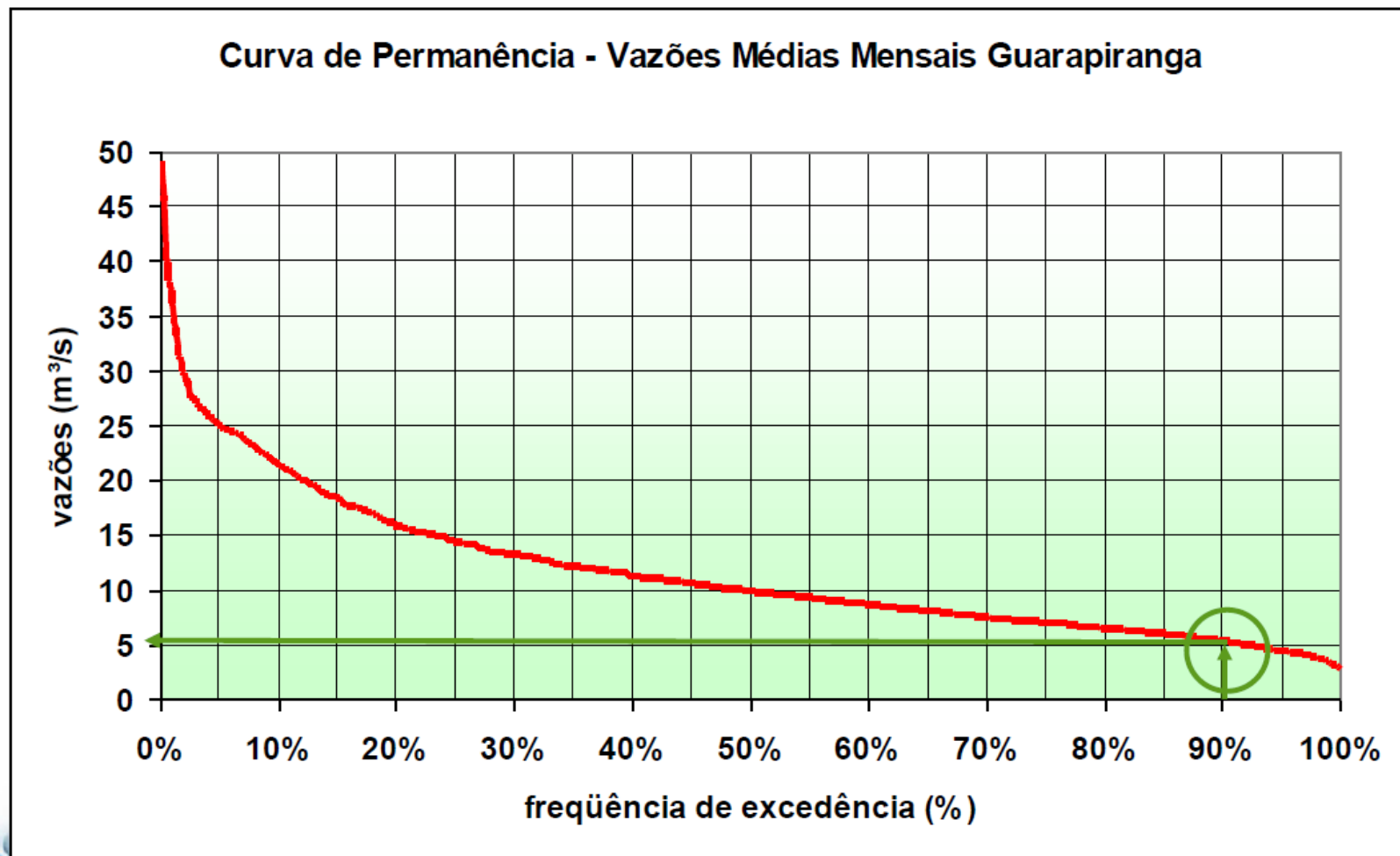
Vazões médias mensais do Guarapiranga: 1910-2004



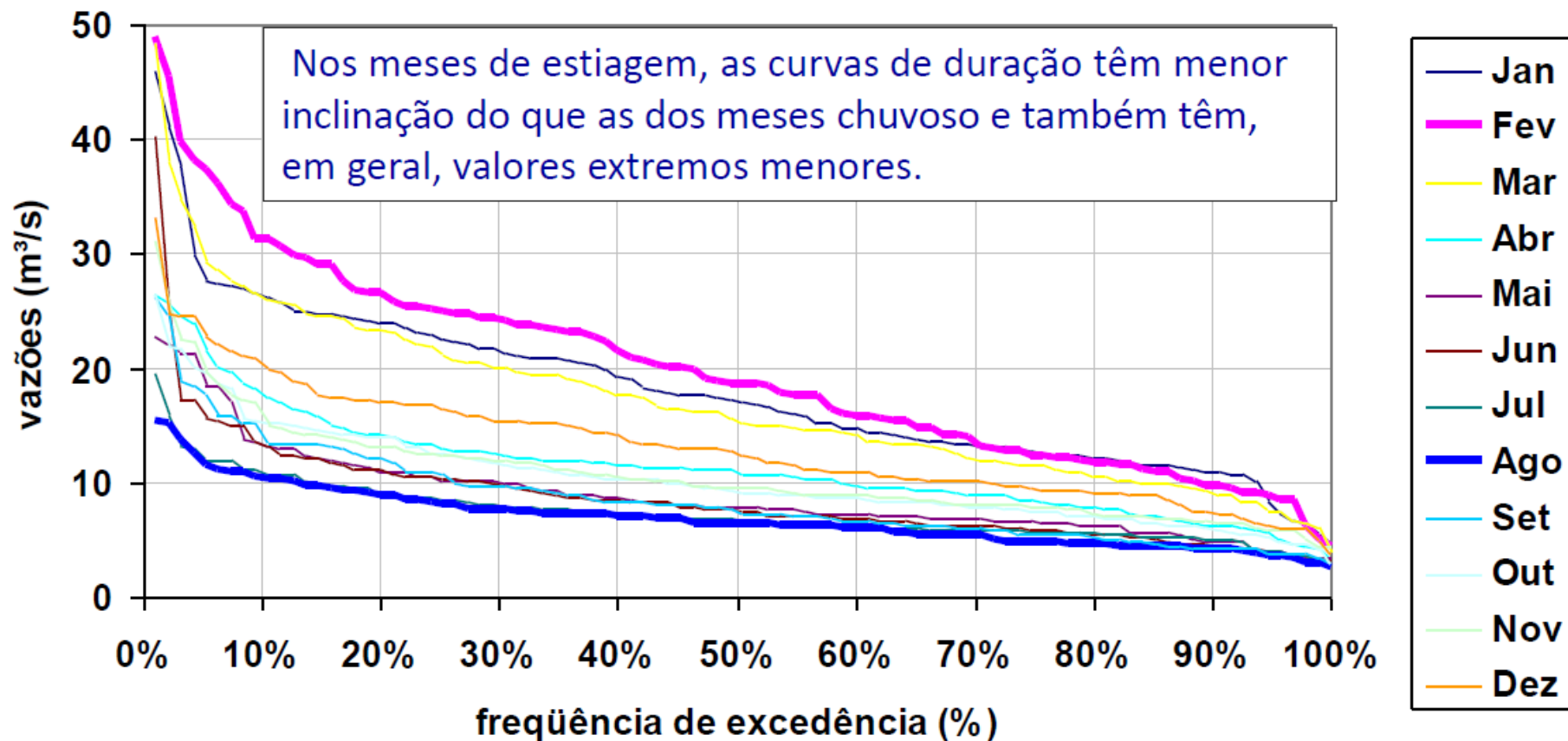
Vazões médias anuais do Guarapiranga



Exemplo: a vazão de 5,4 m³/s é igualada ou superada em 90% dos meses

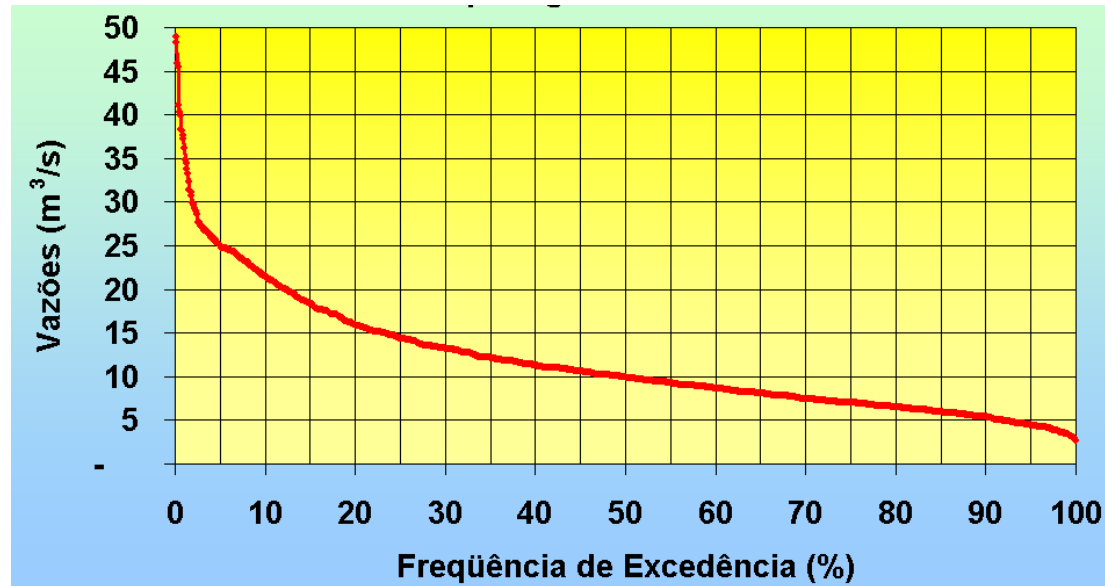


Curva de Permanência - Vazões Médias Mensais Guarapiranga (para cada mês)



Um curso d'água possui uma curva de duração de vazões diárias indicada na figura. A navegação neste trecho é possível quando as vazões estão entre 10 e 25 m³/s. Pode-se afirmar que isto é possível em:

- a) 45% do tempo
- b) 55% do tempo
- c) Mais do que 55% do tempo
- d) Menos do que 45% do tempo



Definição da Altura de Barragens e Volumes Operacionais

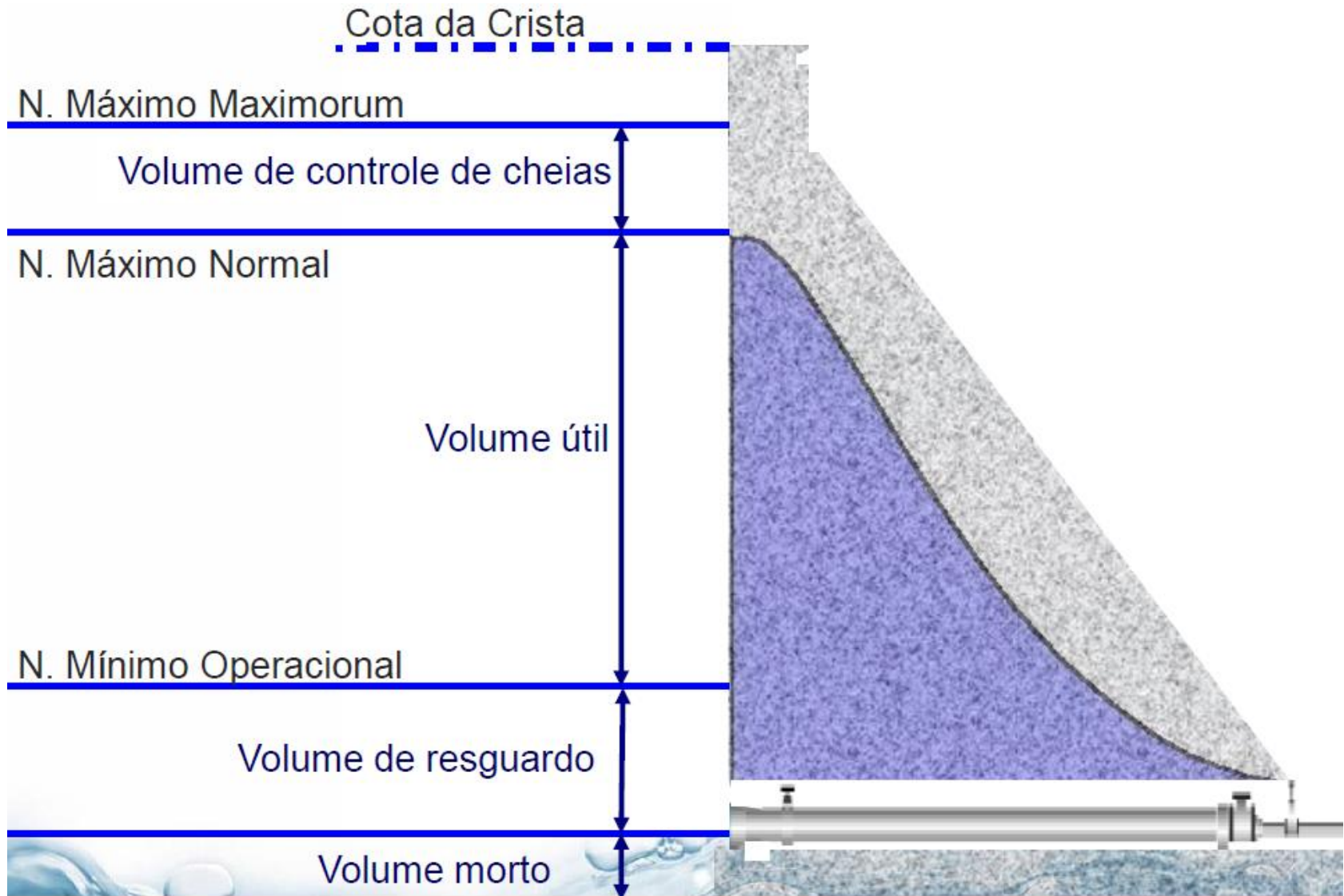


Diagrama de Massas ou Diagrama de Rippl (1883)

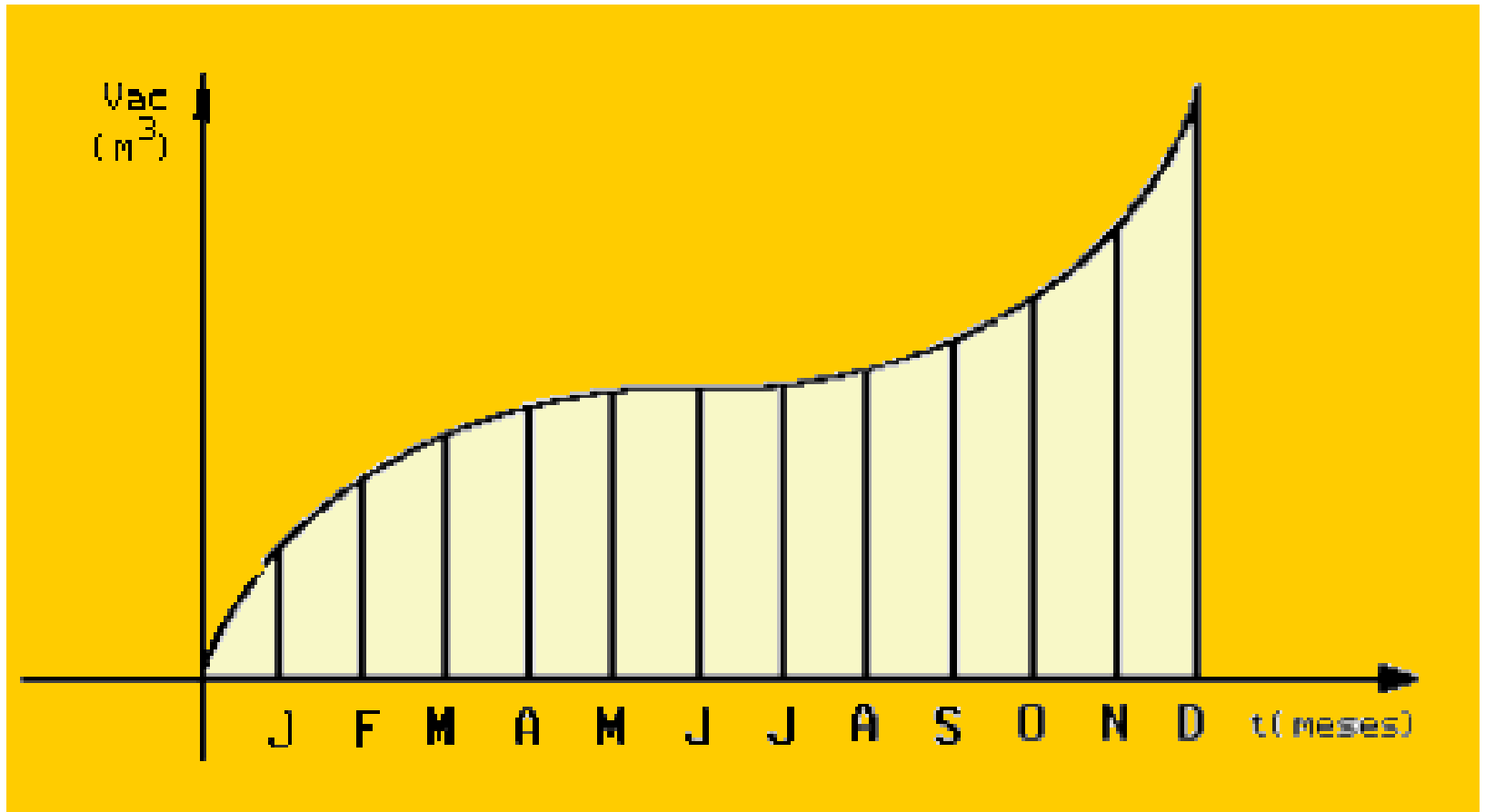


Diagrama de Massas ou Diagrama de Rippl (1883)

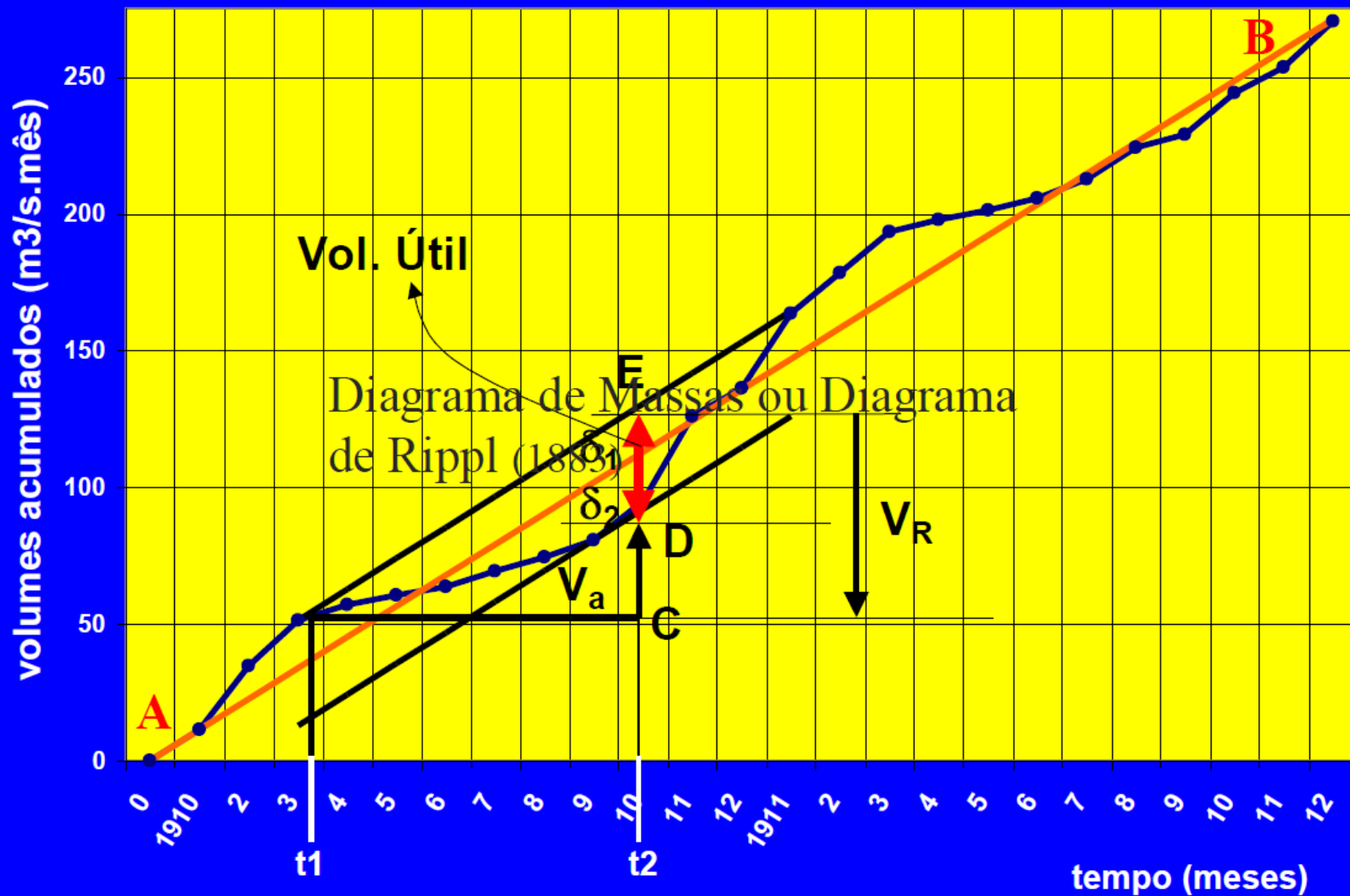


Diagrama de Diferenças Totalizadas ou
Diagrama de Picos Sequenciais

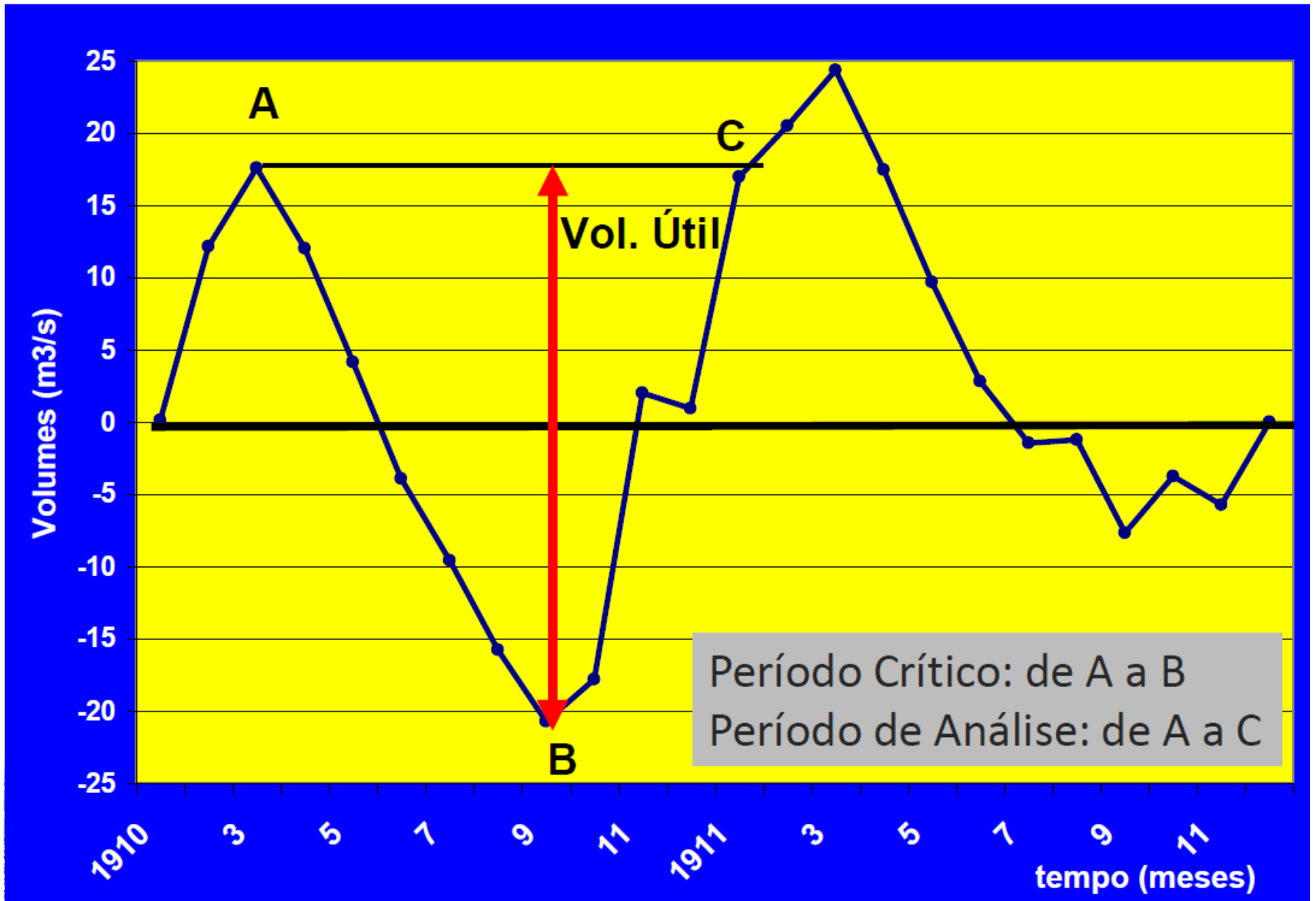


Diagrama de Diferenças Totalizadas ou
Diagrama de Picos Sequenciais – Forma Analítica

Mês	Vazão	Vazão – Vazão Média	Soma das Diferenças
1	Q_1	$d_1 = Q_1 - Q_{med}$	d_1
2	Q_2	$d_2 = Q_2 - Q_{med}$	$d_1 + d_2$
3	Q_3	$d_3 = Q_3 - Q_{med}$	$d_1 + d_2 + d_3$
...
N	Q_N	$d_N = Q_N - Q_{med}$	$\sum d_i \text{ (} i = 1 \text{ a } N\text{)}$

Diagrama de Diferenças Totalizadas para Vazões Regularizadas menor que a Média (Forma Analítica)

$Q_r = 10,61 \text{ m}^3/\text{s}$

Mês	Vazão (m^3/s)	(Q-Q _{reg}) (m^3/s).mês	Σ (Q-Q _{reg}) (m^3/s).mês
0			0.00
1910	11.4	0.69	0.69
2	23.3	12.59	13.29
3	16.7	5.99	19.28
4	5.7	-5.01	14.27
5	3.4	-7.31	6.96
6	3.2	-7.51	-0.54
7	5.6	-5.11	-5.65
8	5.1	-5.61	-11.26
9	6.3	-4.41	-15.67
10	14.2	3.49	-12.17
11	31.1	20.39	8.22
12	10.2	-0.51	7.71
1911	27.3	16.59	24.31
2	14.8	4.09	28.40
3	15.1	4.39	32.79
4	4.4	-6.31	26.48
5	3.5	-7.21	19.28
6	4.4	-6.31	12.97
7	7	-3.71	9.26
8	11.5	0.79	10.05
9	4.8	-5.91	4.15
10	15.2	4.49	8.64
11	9.3	-1.41	7.23
12	17	6.29	13.53

Referências

- Conceitos básicos de Hidrologia Urbana , PHA 3337 – Águas em Sistemas Urbanos I, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, ESCOLA POLITÉCNICA , DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL, Prof. Joaqui I. Bonnacarrère
- Hidrologia Básica - *Carlos Eduardo M. Tucci*
- Processos Hidrológicos - Camilo Daleles Rennó e Laura De Simone Borma - <http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/>
- Escoamento Superficial Curva-Chave – Epusp - - Prof. Dr. Arisvaldo Mélo e Prof. Dr. Joaqui I. Bonnacarrere
- Hidrograma Unitário Sintético – Epusp - - Prof. Dr. Arisvaldo Mélo e Prof. Dr. Joaqui I. Bonnacarrere
- Escoamento Superficial - Processos de Medição de Vazão - Epusp - - Prof. Dr. Arisvaldo Mélo e Prof. Dr. Joaqui I. Bonnacarrere
- Regularização de Vazões – Parte 1 - Epusp - Prof. Dr. Arisvaldo Mélo e Prof. Dr. Joaqui I. Bonnacarrere
- Instrumentos de medição hidrometeorológicos – Epusp - Prof. Dr. Arisvaldo Mélo e Prof. Dr. Joaqui I. Bonnacarrere
- **CURSO DE CAPACITAÇÃO EM HIDROLOGIA E HIDROMETRIA PARA CONSERVAÇÃO DE MANANCIAIS -**
- **3ª EDIÇÃO – LABHIDRO - UFSC - MASATO KOBIYAMA, FERNANDO GRISON e ALINE DE ALMEIDA MOTA -2011**