



ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ" – ESALQ/USP
LEB 1440 – HIDROLOGIA E DRENAGEM



SISTEMAS DE DRENAGEM E PRECIPITAÇÕES (PARTE 1)

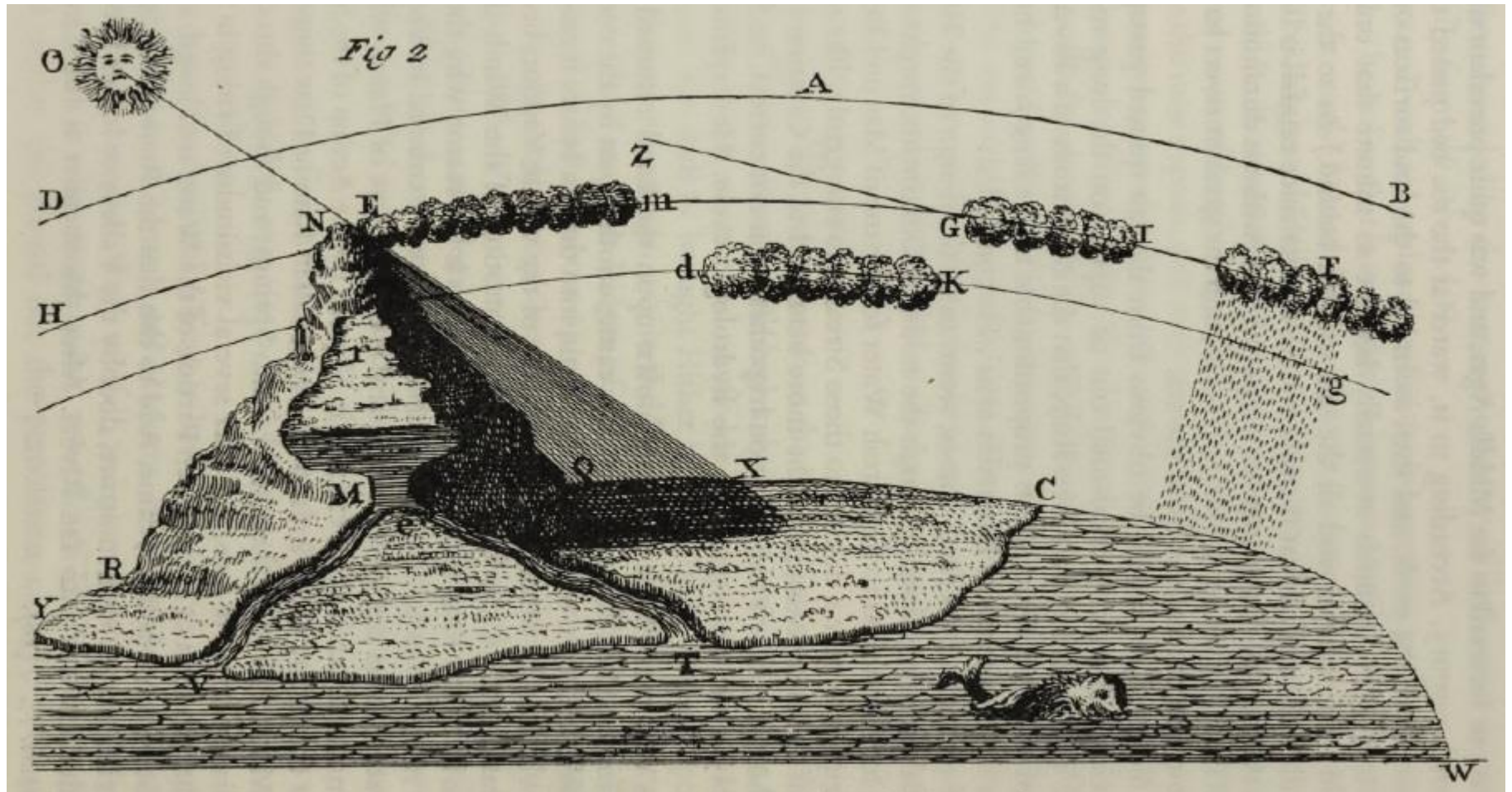
Prof. Dr: Fernando Campos Mendonça
Doutoranda: Elizabeth Lima Carnevskis

Haikai...

*Na bacia sempre tem
Rio, encosta e divisor também.*

ATÉ O SÉCULO XIX

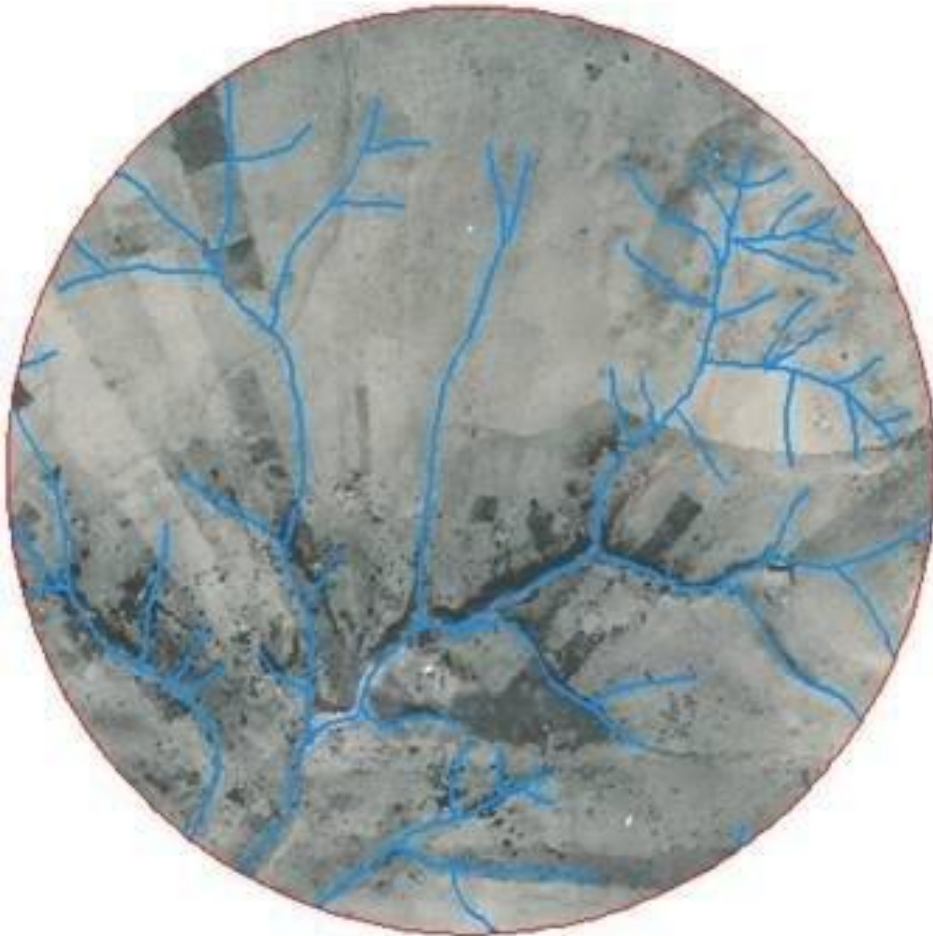
Hidrologia qualitativa



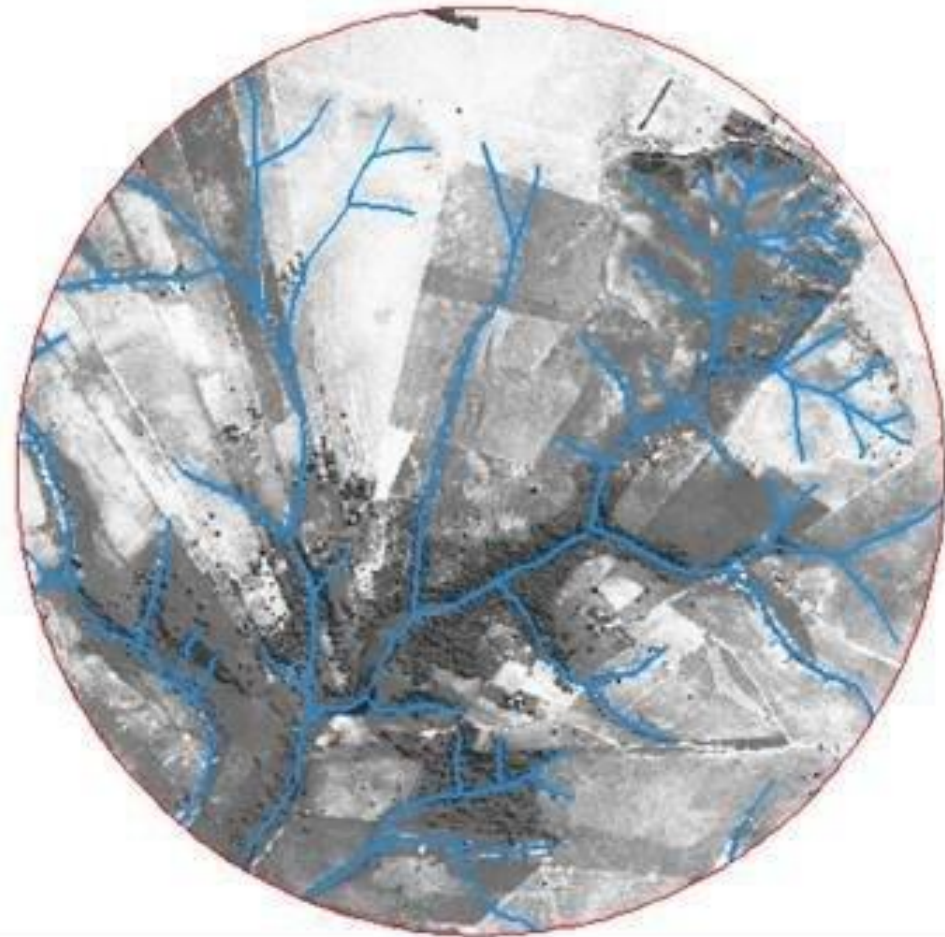
Identificação da rede de drenagem

Fotografia aérea (estereoscopia)

1962



2010

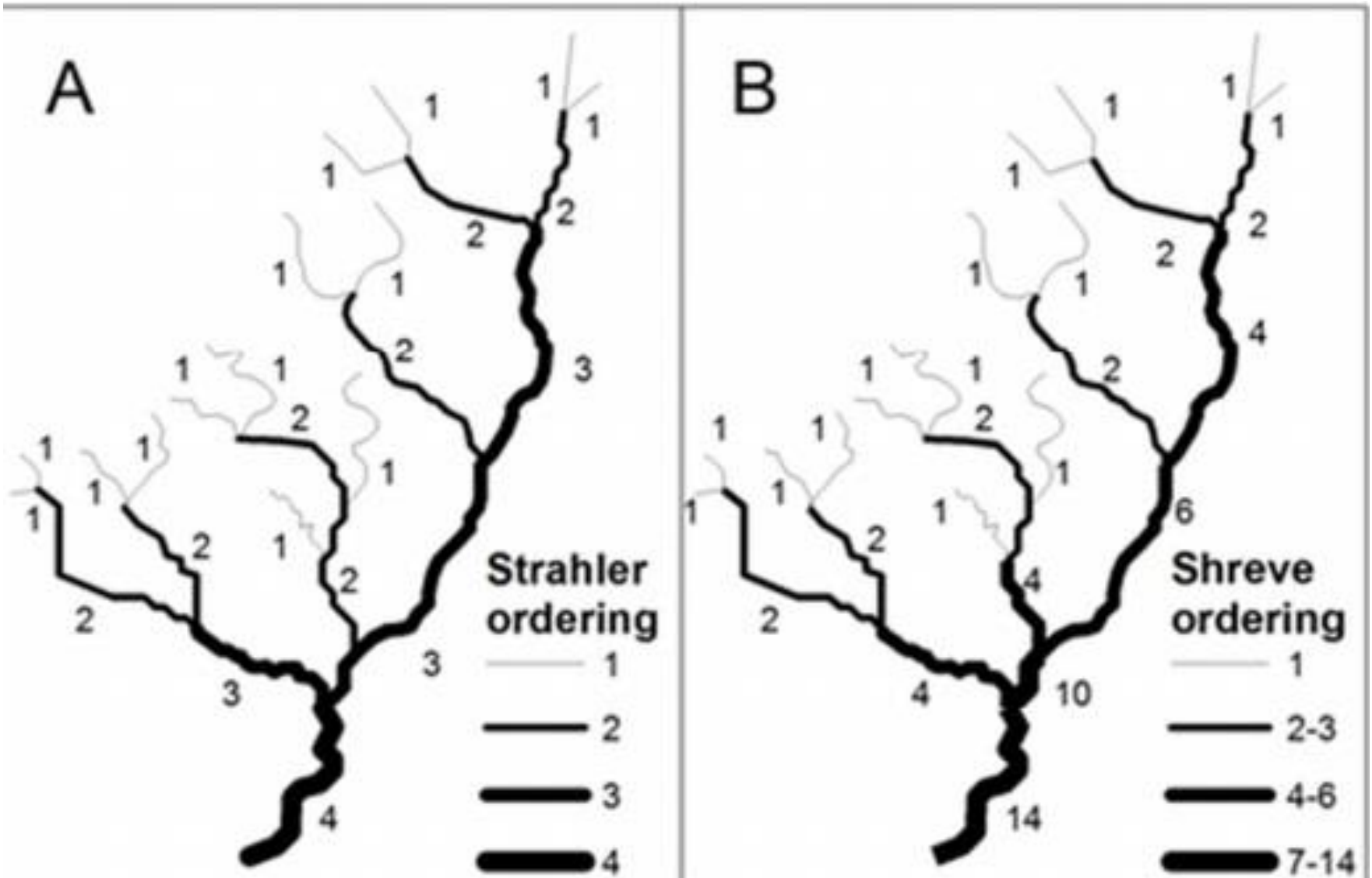


Identificação da rede de drenagem

Mapa topográfico

- Cursos perenes e intermitentes
- SP – Carta topográfica (1:50.000)

Hierarquia Fluvial



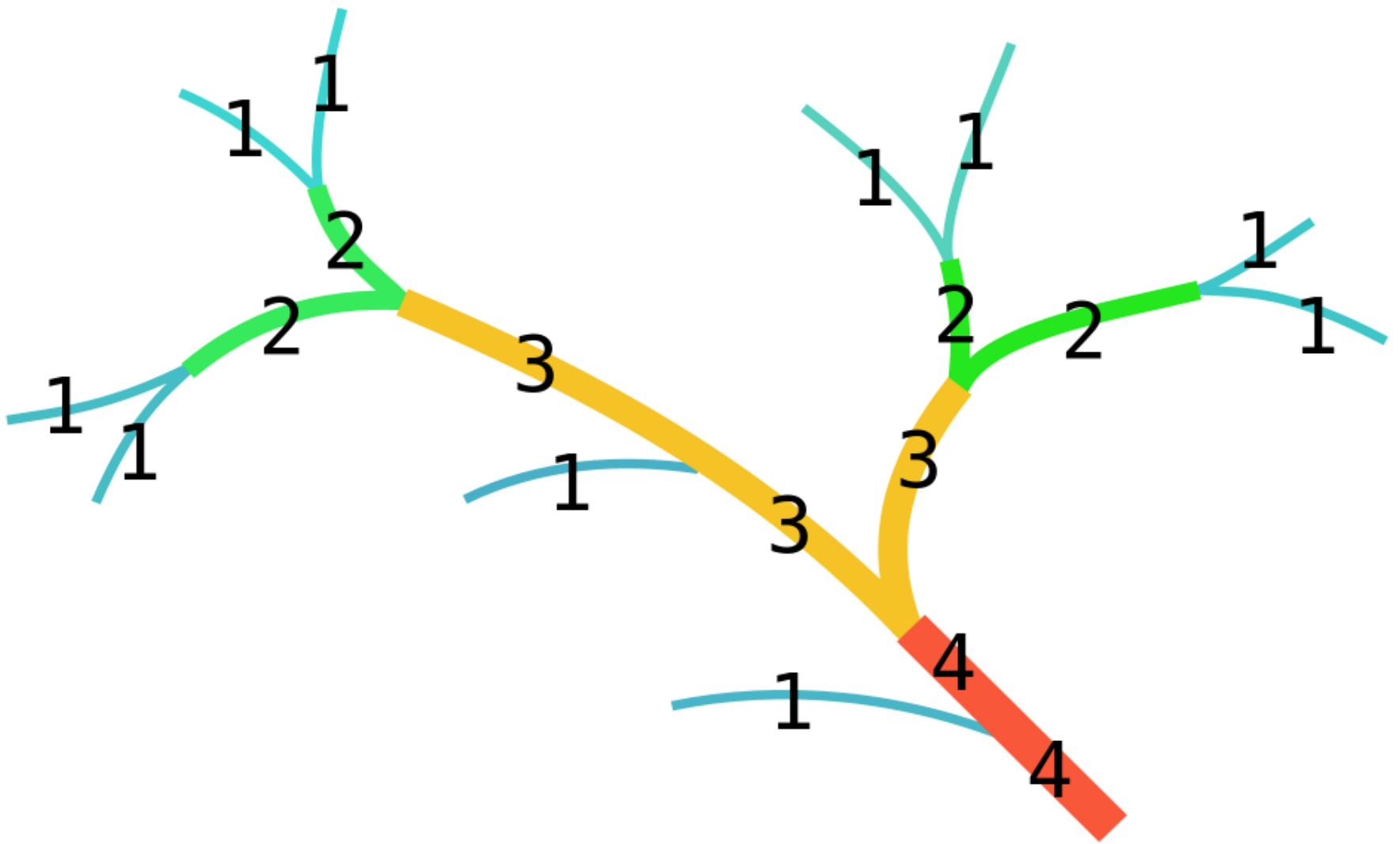
STRAHLER(1952)

Nascentes → N^o 1

Junção de 2 rios

- N^{os} de ordem iguais: N^o de ordem aumenta 1 unidade
- N^{os} de ordem diferentes: manter o maior N^o

STRAHLER(1952)



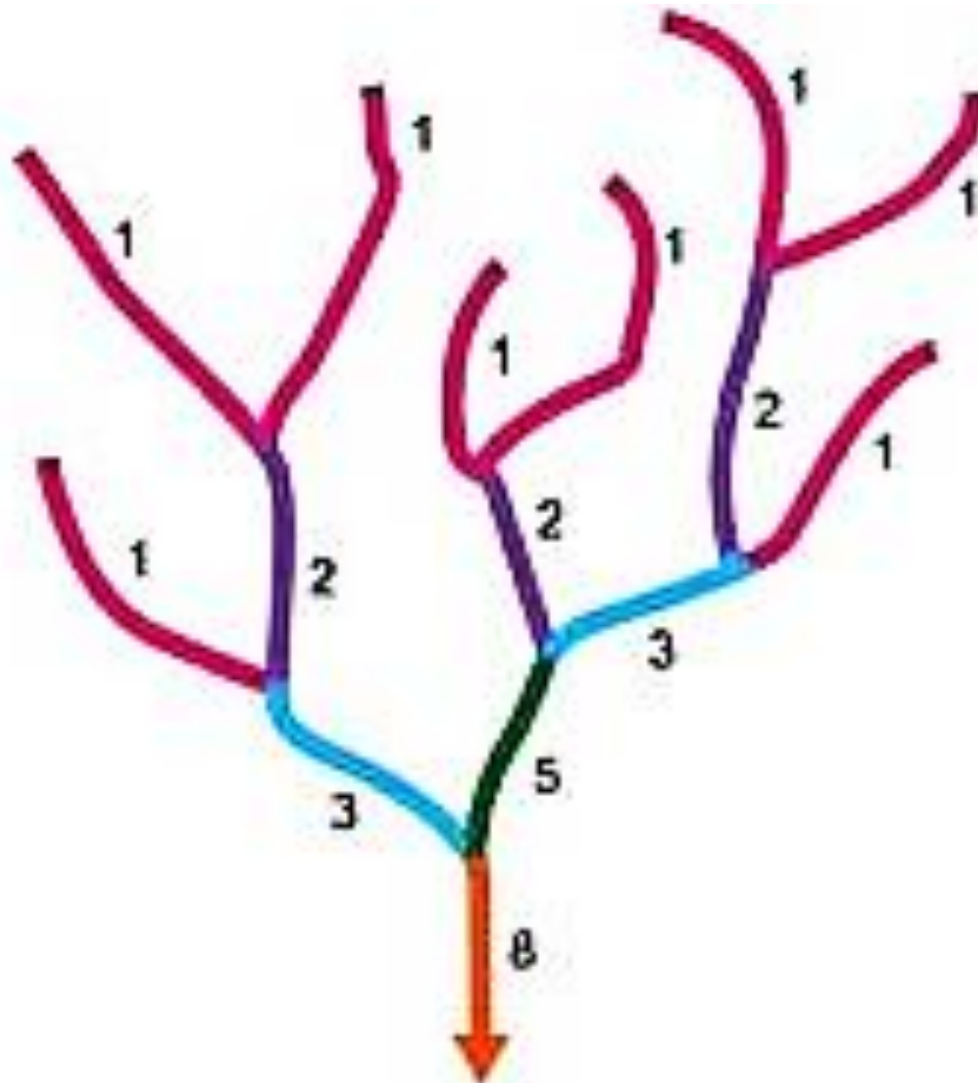
SHREVE (1967)

Nascentes → N^o 1

Junção de 2 rios

- Somar n^{os} de ordem
- N^o de ordem do trecho final = N^o de nascentes

SHREVE (1967)



Shreve stream ordering method

Densidade de drenagem (Dd)

$$D_d = \frac{\sum L_r}{A_b}$$

- L_r = comprimento dos rios (cursos perenes) (km)
- A_b – Área da bacia (km²)

Rede de drenagem

- Água que não infiltra nem evapora → Escoamento superficial
- Escoamento superficial (Q_{sup}):
 - Superfície do solo → lento
 - Cursos d'água → rápido
- Solos

↑ Infiltração

↑ Dd

↑ Picos de Q_{sup}

↓ Infiltração

↓ Dd

↓ Picos de Q_{sup}

Declividade Média da Bacia Hidrográfica

Método das Quadrículas

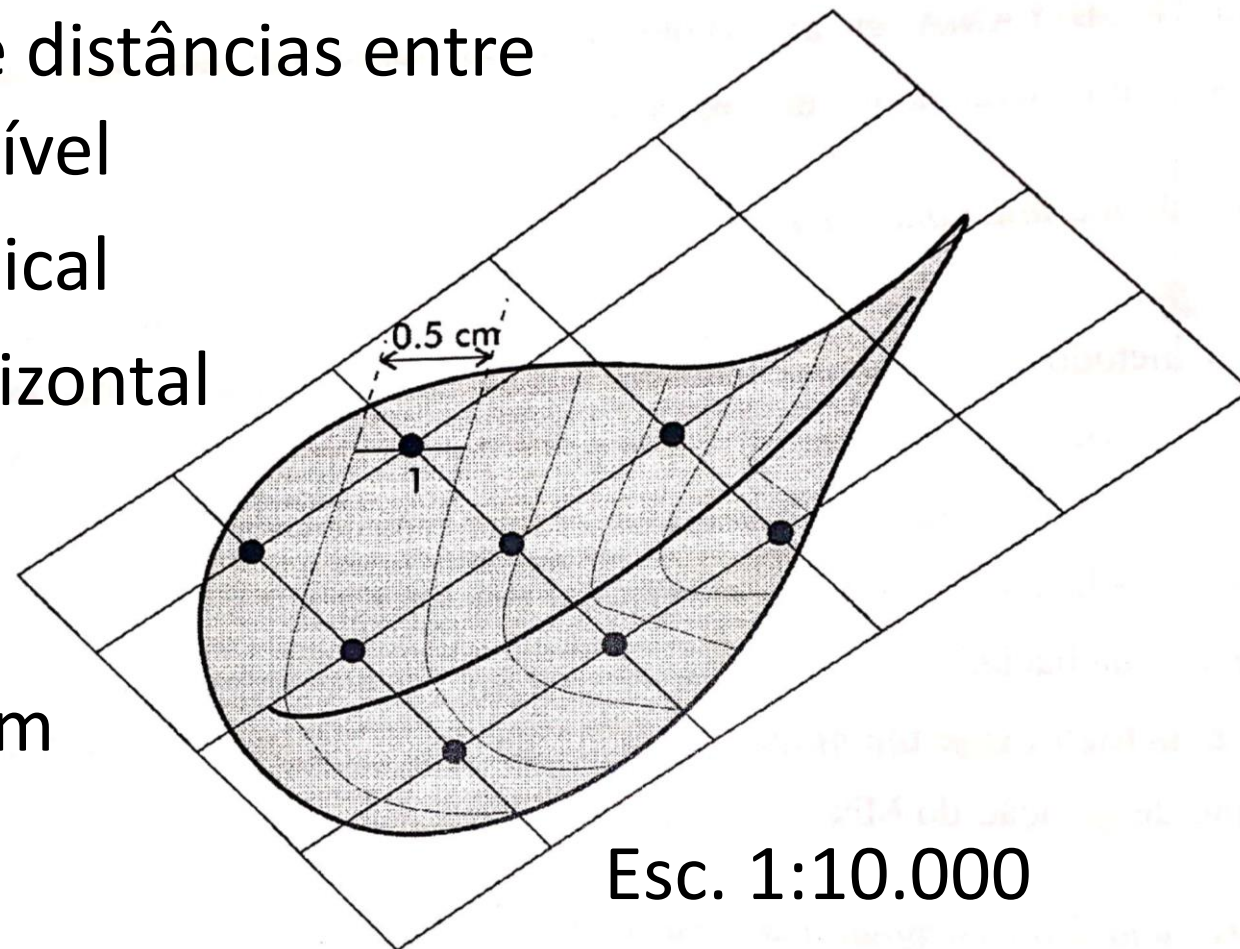
Nó 1: Medição de distâncias entre curvas de nível

LV – Dist. Vertical

LH – Dist. Horizontal

$$LV = 5 \text{ m}$$

$$LH = 0,5 \times 100 = 50 \text{ m}$$



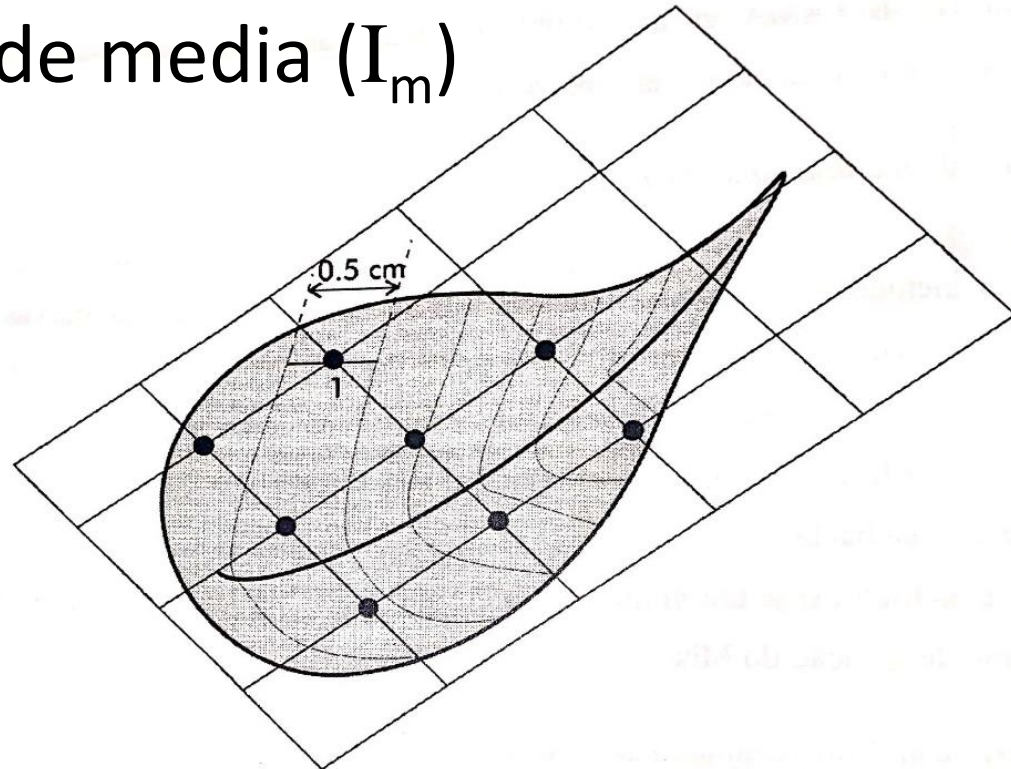
Esc. 1:10.000

Declividade Média da Bacia Hidrográfica

Método das Quadrículas

- Declive: $I = LV / LH = 5 / 50 = 0,1 \text{ m/m (10\%)}$
- Repetir o procedimento em cada nó
- Calcular a declividade media (I_m)

$$I_m = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$$



Declividade Média do Talvegue

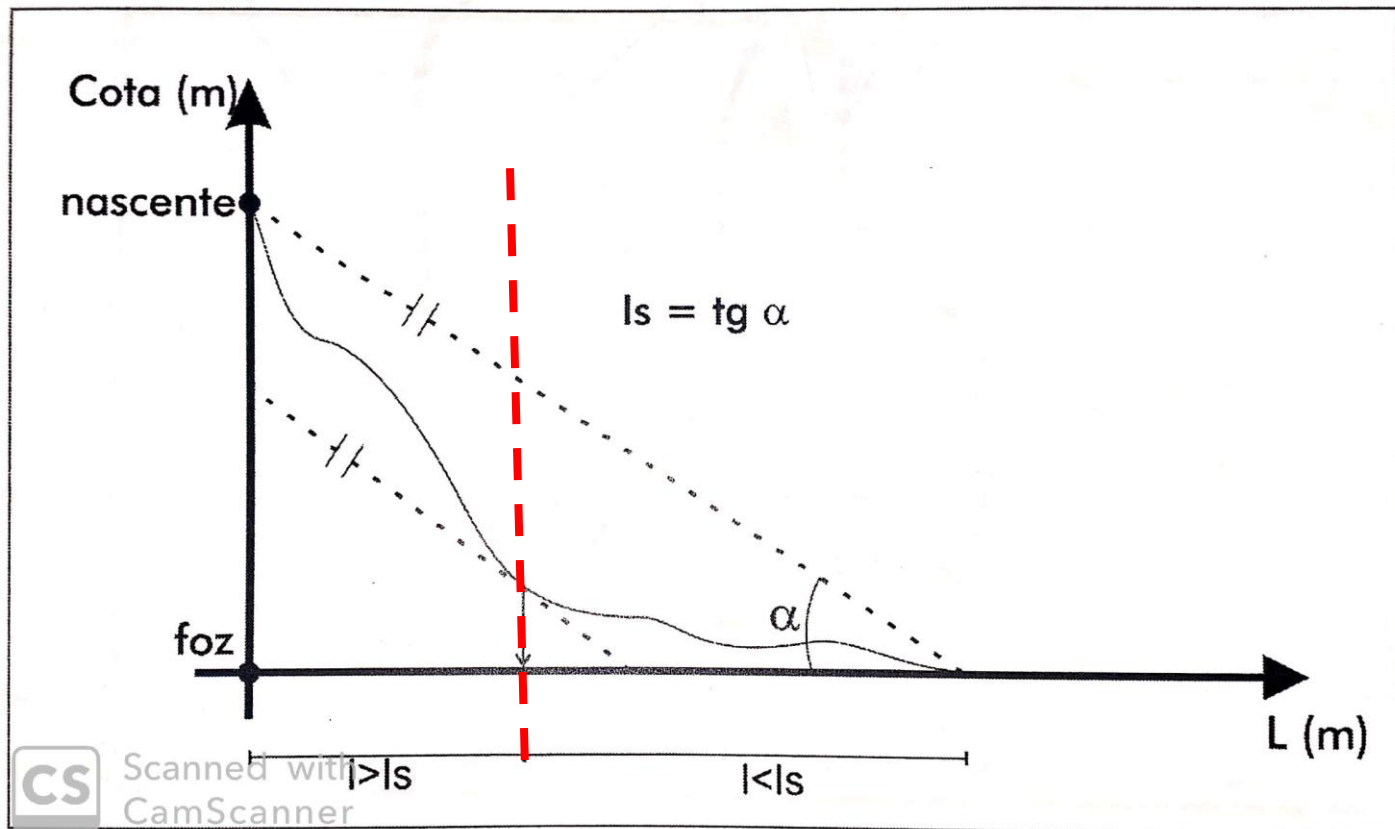
- Média simples (I_s)

$$I_s = \frac{\textit{cota nascente} - \textit{cota foz}}{L_{tv}}$$

L_{tv} = comprimento do talvegue, km

Declividade Média do Talvegue

- Problema: I_s não representa a média real
 - Declividade do talvegue é desuniforme
 - Perfil de rio: cascatas, corredeiras, remansos



Talvegue: Declividade Média Equivalente (l_{eq})

- Método adotado pelo DAEE-SP
- Mapa da Bacia Hidrográfica (BH)
 - Comprimento axial (L):
 - Estender o comprimento do talvegue até o limite da BH
 - Calcular declividade (do rio) entre duas curvas de nível
 - Calcular l_{eq} (média ponderada)

Talvegue: Declividade Média Equivalente (I_{eq})

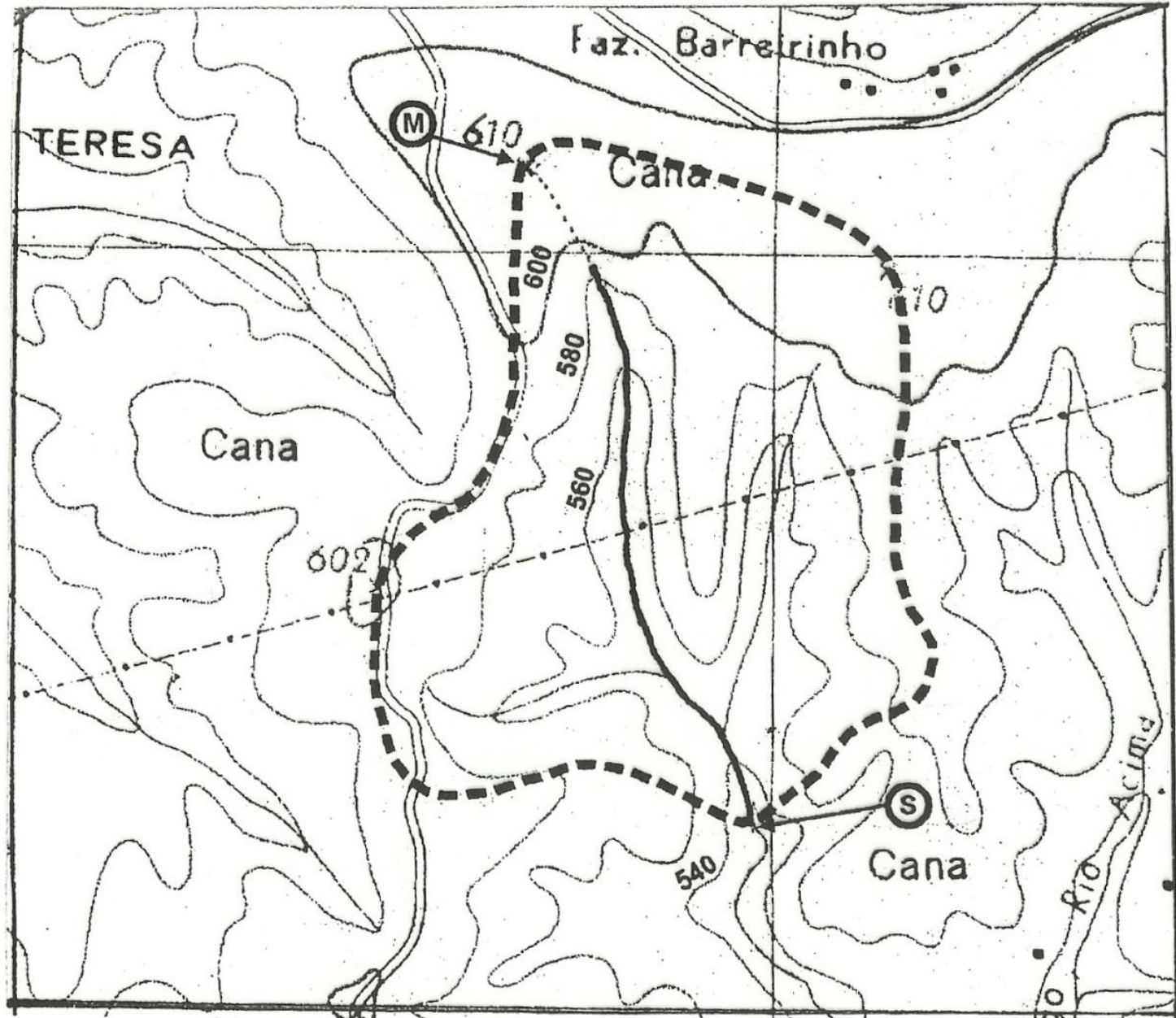
$$I_{eq} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{L_i}{\sqrt{I_i}} \right)} \right]^2$$

L_i = comprimento do talvegue no trecho i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) (km)

I_i – declividade do talvegue no trecho i (m)

- Importância: modelagem e estimativa de vazões de escoamento em BHs (picos de cheias)
- I_{eq} – menores picos e redução do custo de obras hidráulicas

Exemplo



Exemplo - Ieq

Trecho	Desnível	Comprimento	Declive	Li / $\sqrt{I_i}$
	(DH, m)	(L, km)	(I, m/km)	
1	10	0,23		
2	20	0,11		
3	20	0,26		
4	20	1,2		
5	0,5	0,2		

Exemplo - Ieq

Trecho	Desnível	Comprimento	Declive	Li / $\sqrt{I_i}$
	(DH, m)	(L, km)	(I, m/km)	
1	10	0,23	43,5	0,03487
2	20	0,11	181,8	0,00816
3	20	0,26	76,9	0,02965
4	20	1,2	16,7	0,29365
5	0,5	0,2	2,5	0,12649

Exemplo - Ieq

Trecho	Desnível	Comprimento	Declive	Li / $\sqrt{I_i}$
	(DH, m)	(L, km)	(I, m/km)	
1	10	0,23	43,5	0,03487
2	20	0,11	181,8	0,00816
3	20	0,26	76,9	0,02965
4	20	1,2	16,7	0,29365
5	0,5	0,2	2,5	0,12649
Soma	70,5	2	---	0,49282

Exemplo - leq

Trecho	ΔH	L	I	Li / $\sqrt{I_i}$	
	(m)	(km)	(m/km)		
1	10	0,23	43,5	0,03487	
2	20	0,11	181,8	0,00816	
3	20	0,26	76,9	0,02965	leq
4	20	1,2	16,7	0,29365	16,47 m/km
5	0,5	0,2	2,5	0,12649	1,65 %

Cobertura Vegetal

- Desmatamento
 - $Q_m \uparrow$ (Redução da ET)
 - $Q_{min} \downarrow$ (Redução da infiltração)
 - $Q_{max} \uparrow$ (Aumento do escoamento superficial)

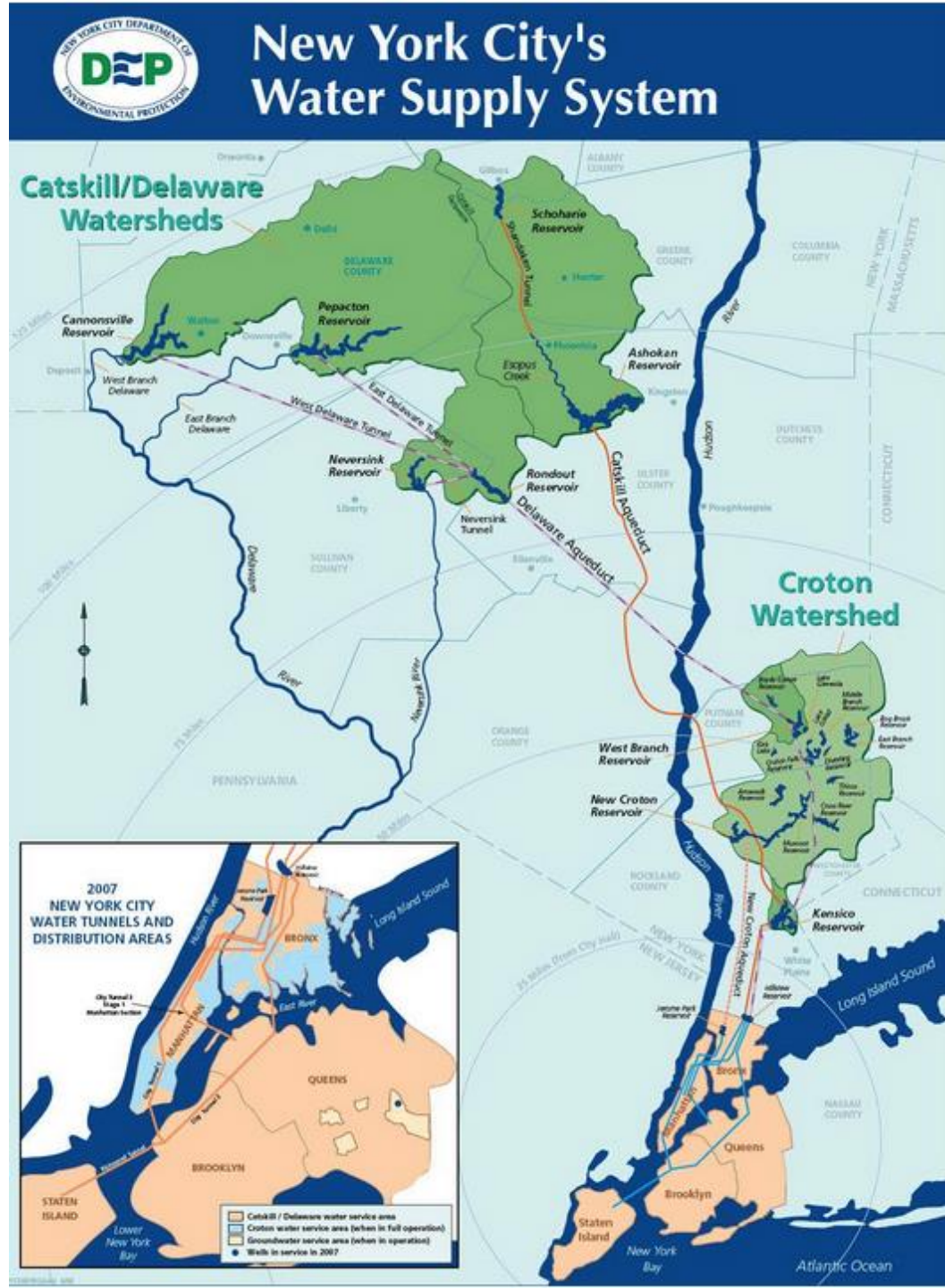


Se a vegetação das cabeceiras dos rios não tivessem sido removidas, não existiriam enchentes em grandes dimensões



Cobertura Vegetal

- Aplicações práticas:
- 1 – New York:
Reflorestamento na
BH a montante
 - $\uparrow Q_{\min}$
 - \uparrow Qualidade (água)



Cobertura Vegetal

- 2 – Brasil – MG e SP: Programa “Produtor de Água”
 - Extrema-MG
 - Nazaré Paulista e Joanópolis – SP
 - Maiores beneficiários: região metropolitana de São Paulo e bacia hidrográfica do sistema Piracicaba-Capivari-Jundiaí (BH-PCJ)
 - Pagamento por serviços ambientais

Cobertura Vegetal

- 2 – Brasil – MG e SP: Programa “Produtor de Água”
 - Extrema-MG
 - Nazaré Paulista e Joanópolis – SP
 - Maiores beneficiários: região metropolitana de São Paulo e bacia hidrográfica do sistema Piracicaba-Capivari-Jundiaí (BH-PCJ)
 - Pagamento por serviços ambientais

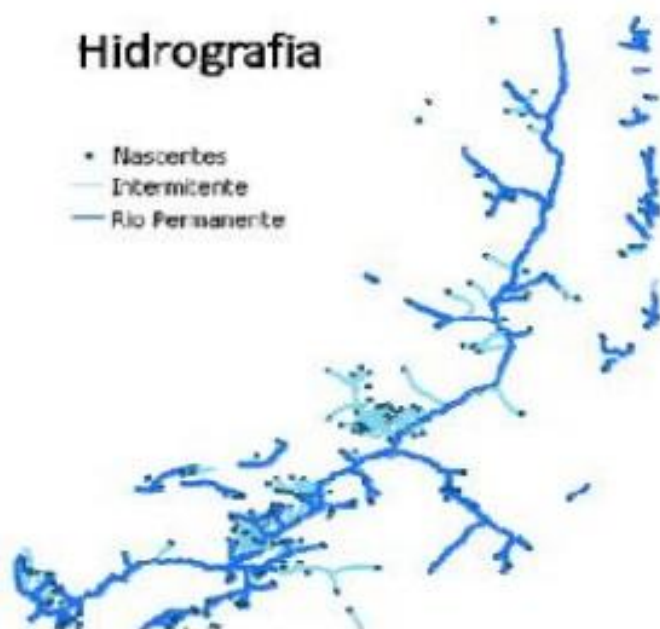
Uso e Cobertura Da Terra

- Remanescente
- Agricultura Extensiva
- Pastagem
- Outros Usos



Hidrografia

- Nascentes
- Intermitente
- Rio Permanente



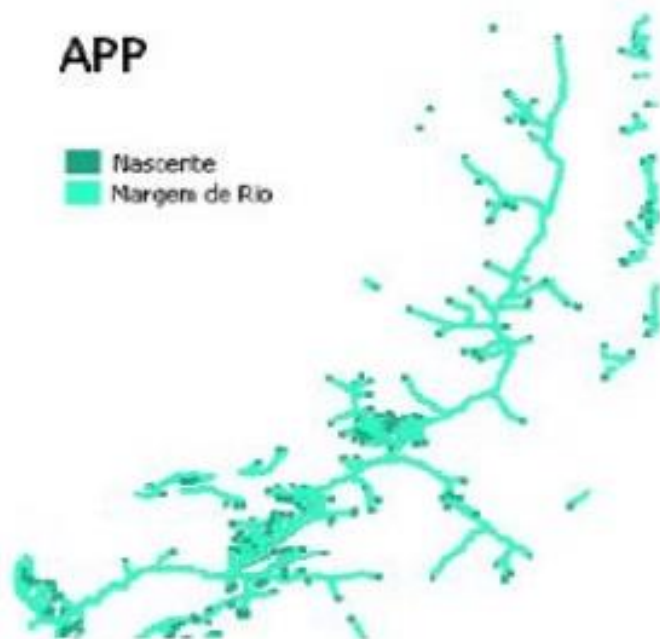
Sistema Viário

- Via não pavimentada
- Via pavimentada
- Micinal



APP

- Nascente
- Margens de Rio



Densidade de drenagem e cobertura vegetal (Código Florestal Brasileiro)

- Supondo $Dd = 3,5 \text{ km/km}^2$
- Mata ciliar de 30 m: $3,5 \text{ km/km}^2 \times 0,06 \text{ km} = 0,21 \text{ km}^2/\text{km}^2$ ou 21% de cobertura
- Mata ciliar de 15 m: $3,5 \text{ km/km}^2 \times 0,03 \text{ km} = 0,105 \text{ km}^2/\text{km}^2$ ou 10,5% de cobertura

PRECIPITAÇÕES

Haikai...

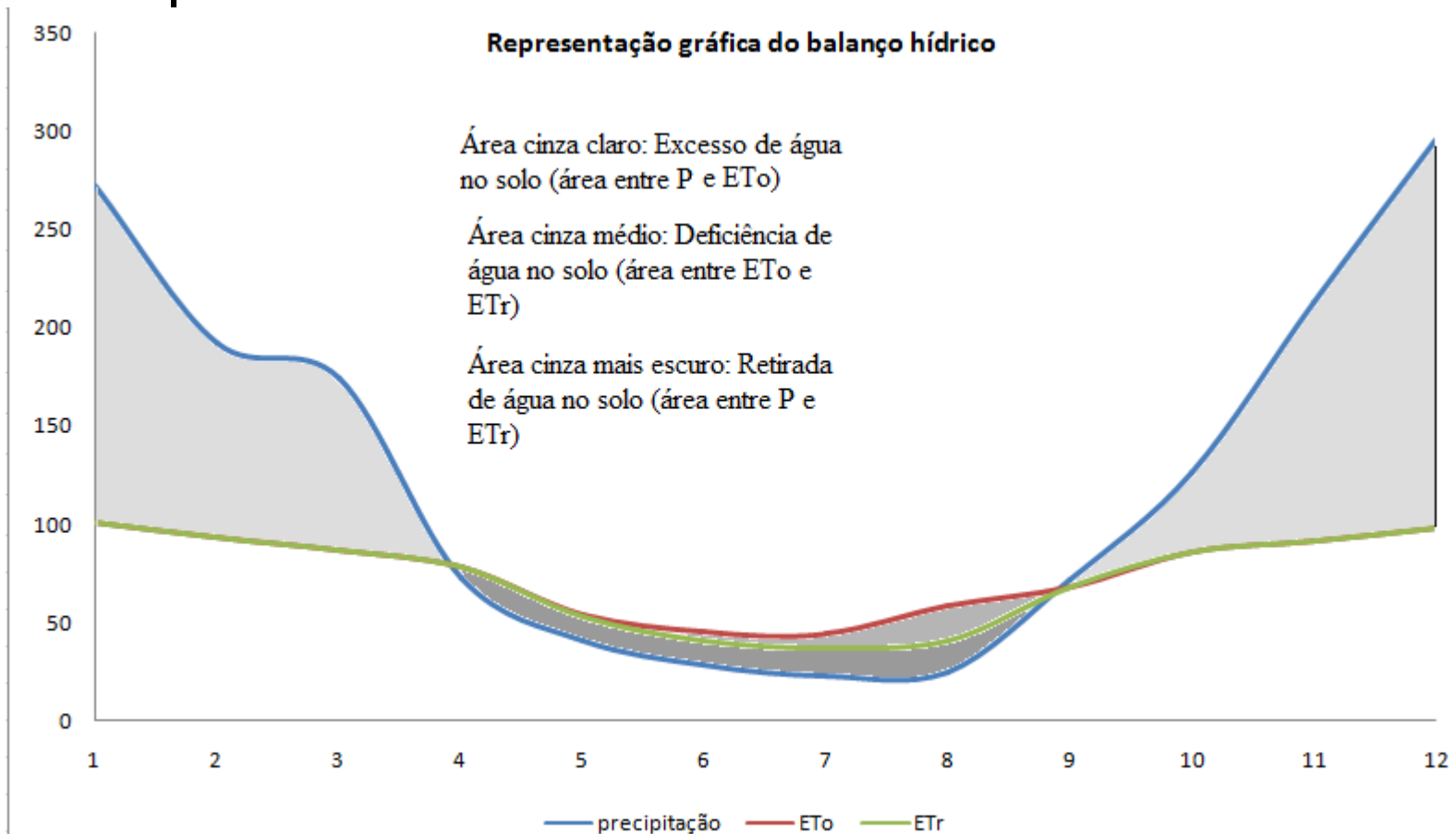
*Chuva, para a ciência,
Tem altura, duração, intensidade e frequência.*

Precipitações (Ppt)

- Importância dos dados de chuva
- Exemplos:
 - a) $Q_{\min}(Q_{7,10}; Q_{90}; Q_{95})$ Ppt totais anuais
 - $Q_{7,10}$ – Vazão mínima de 7 dias consecutivos e com período de retorno de 10 anos
 - Q_{90} – vazão mínima esperada em 90% do tempo (ano hidrológico)
 - Q_{95} – vazão mínima esperada em 95% do tempo (ano hidrológico)

Precipitações (Ppt)

- b) Balanço hídrico climatológico – Ppt mensais, quinzenais ou decendiais



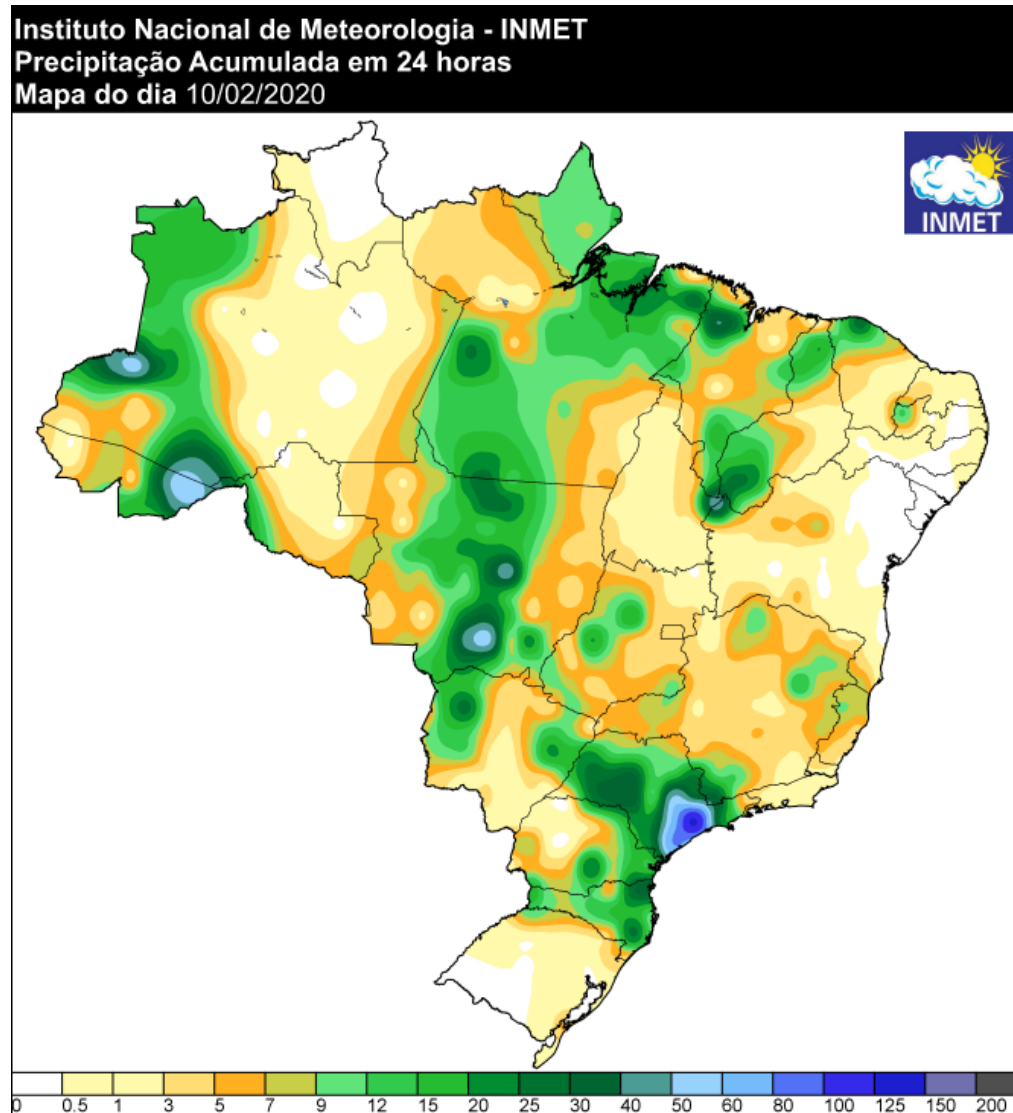
Precipitações (Ppt)

– c) Irrigação suplementar - Ppt de 5 a 15 dias



Precipitações (Ppt)

– D) Qmáx – Ppts intensas e curtas (≤ 24 h)



Precipitações (Ppt)

- Dados necessários:
 - (a),(b) e (c): chuva de um dia (pluviômetro)
 - (d): chuva instantânea (pluviograma)



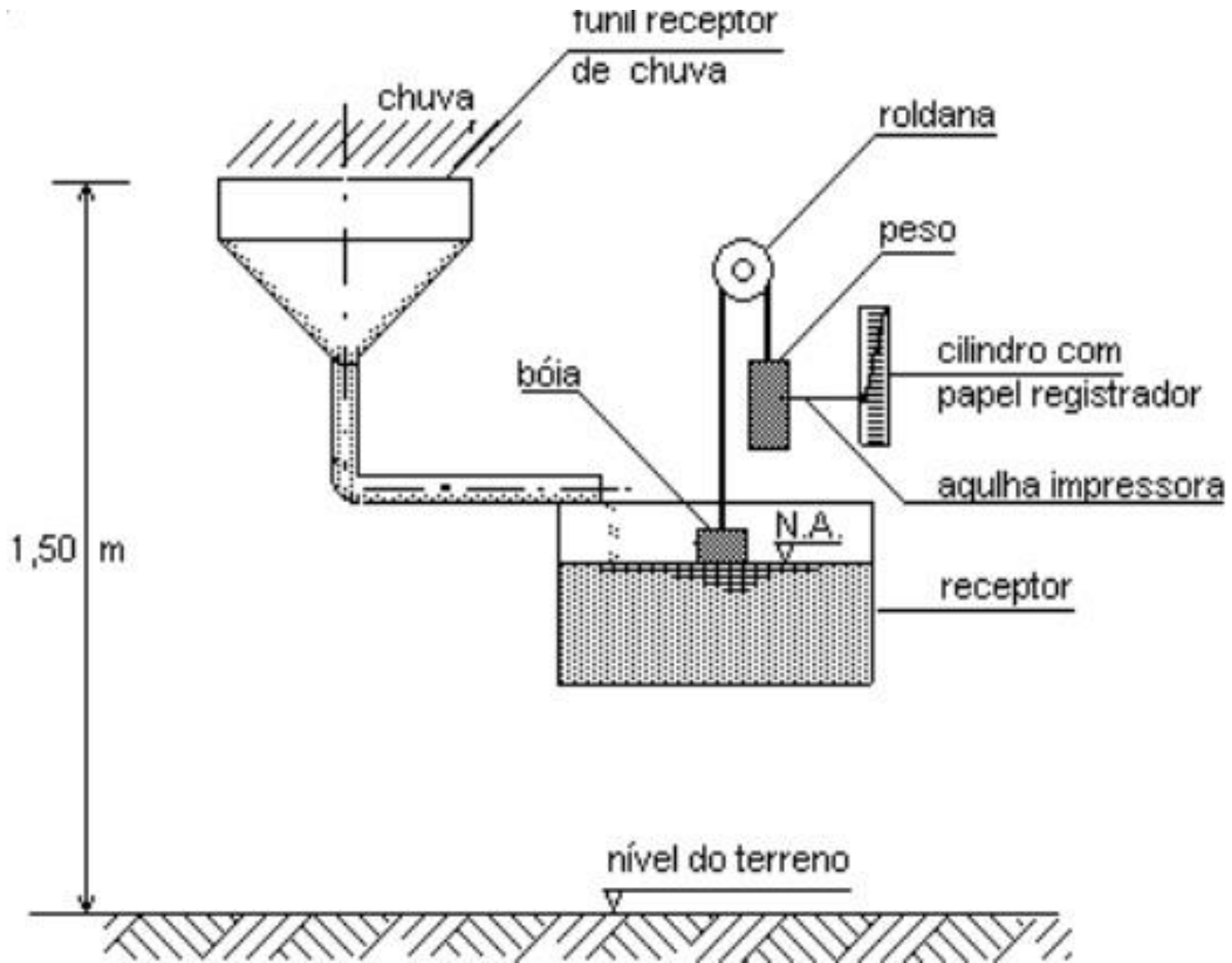
Pluviômetro: Ville de Paris



Pluviômetro: Paulista



Pluviógrafo: De bóia



Pluviógrafo: De cubas basculantes



Precipitações intensas - Caracterização



Altura Precipitada (h, mm)

- $h = \text{volume de água} / \text{área da boca do coletor}$
- $1 \text{ mm} = 1\text{L}/\text{m}^2$

$$A = 4\pi r^2$$

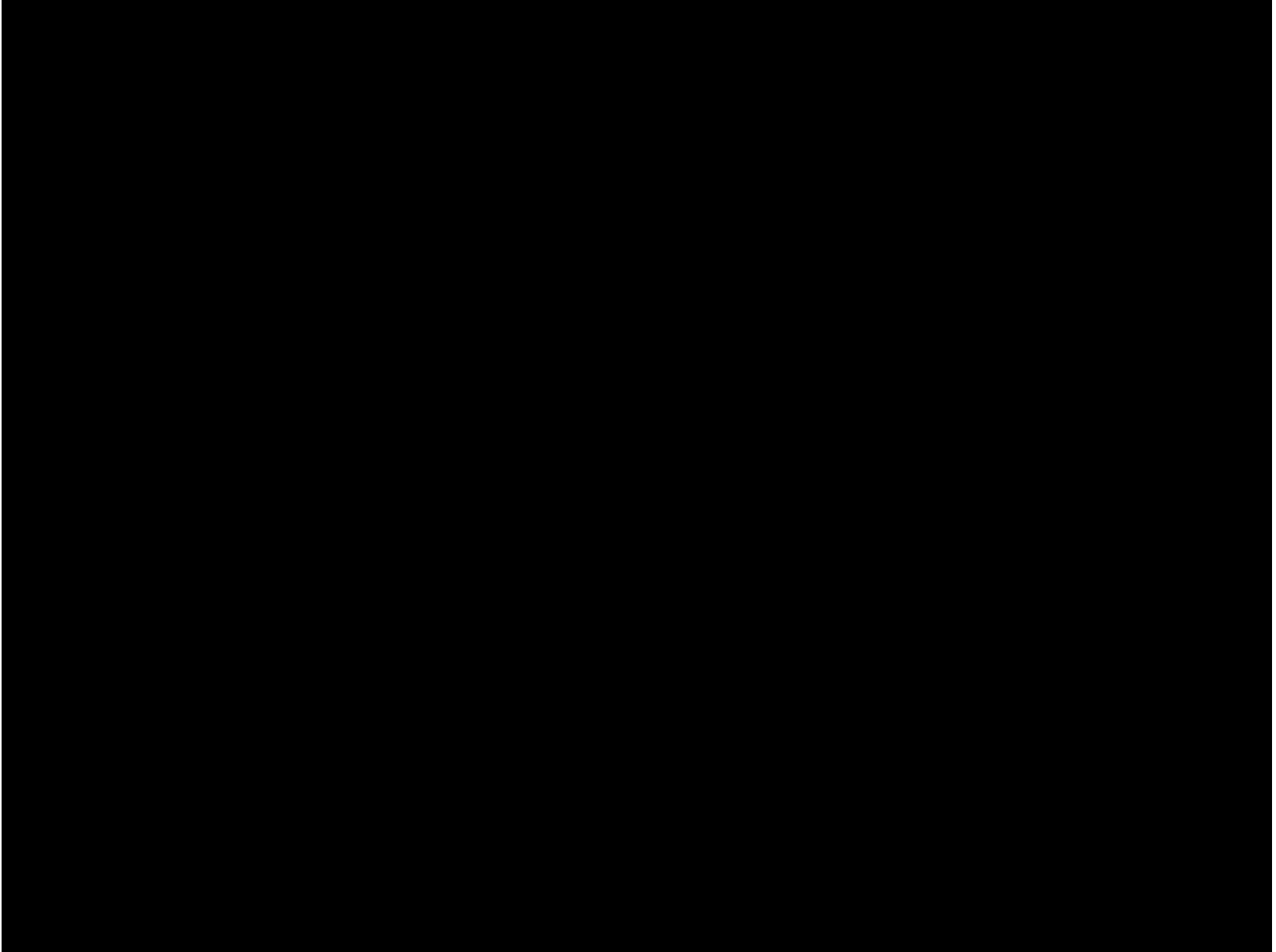


Duração(t, min ou h)

- t
 - Evento como um todo
 - Período específico de interesse (geralmente uma fração do todo)
- Calcular o escoamento superficial (enxurrada) a partir de uma chuva

Intensidade média (i, mm/h)

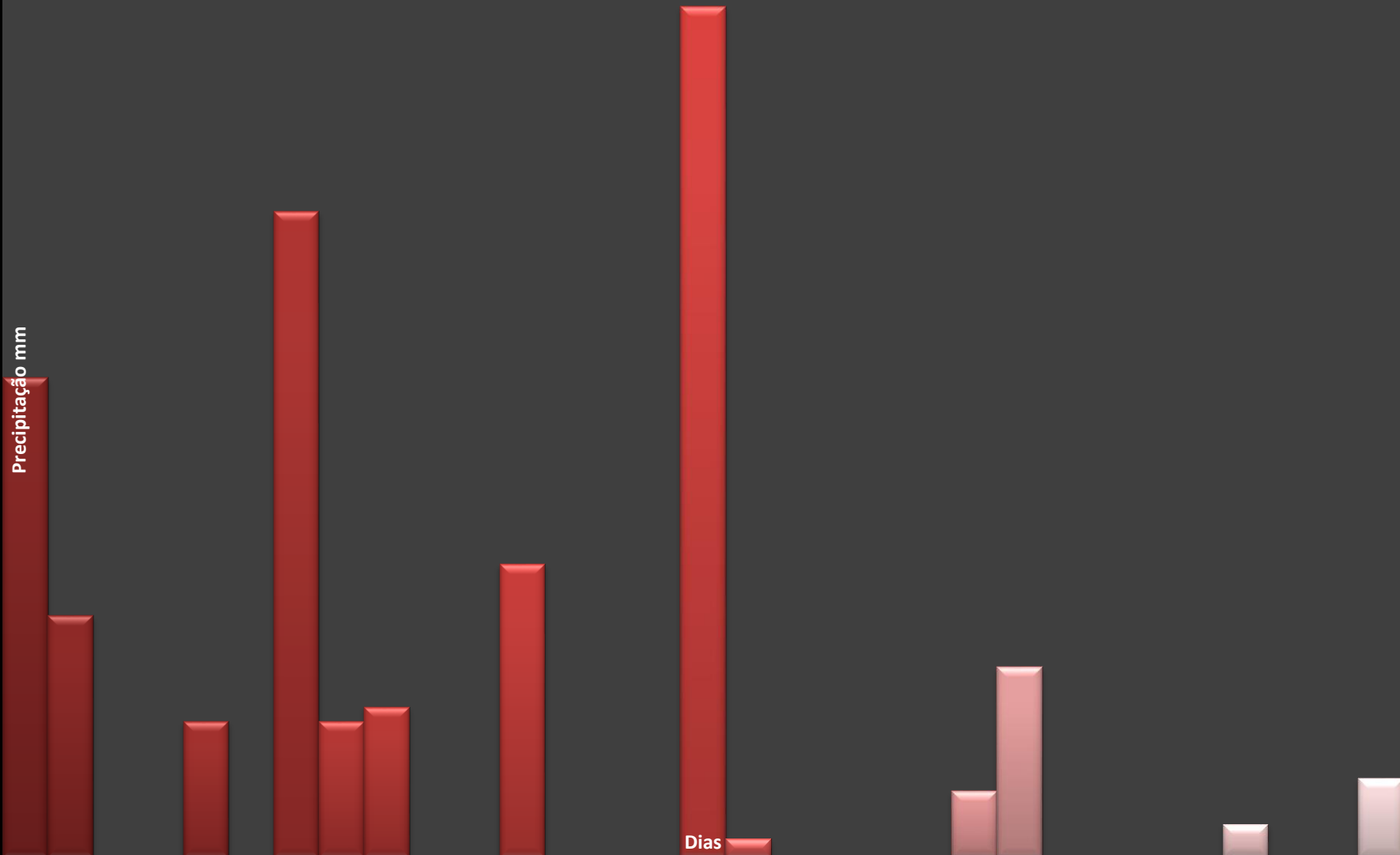
$$i = h/t$$



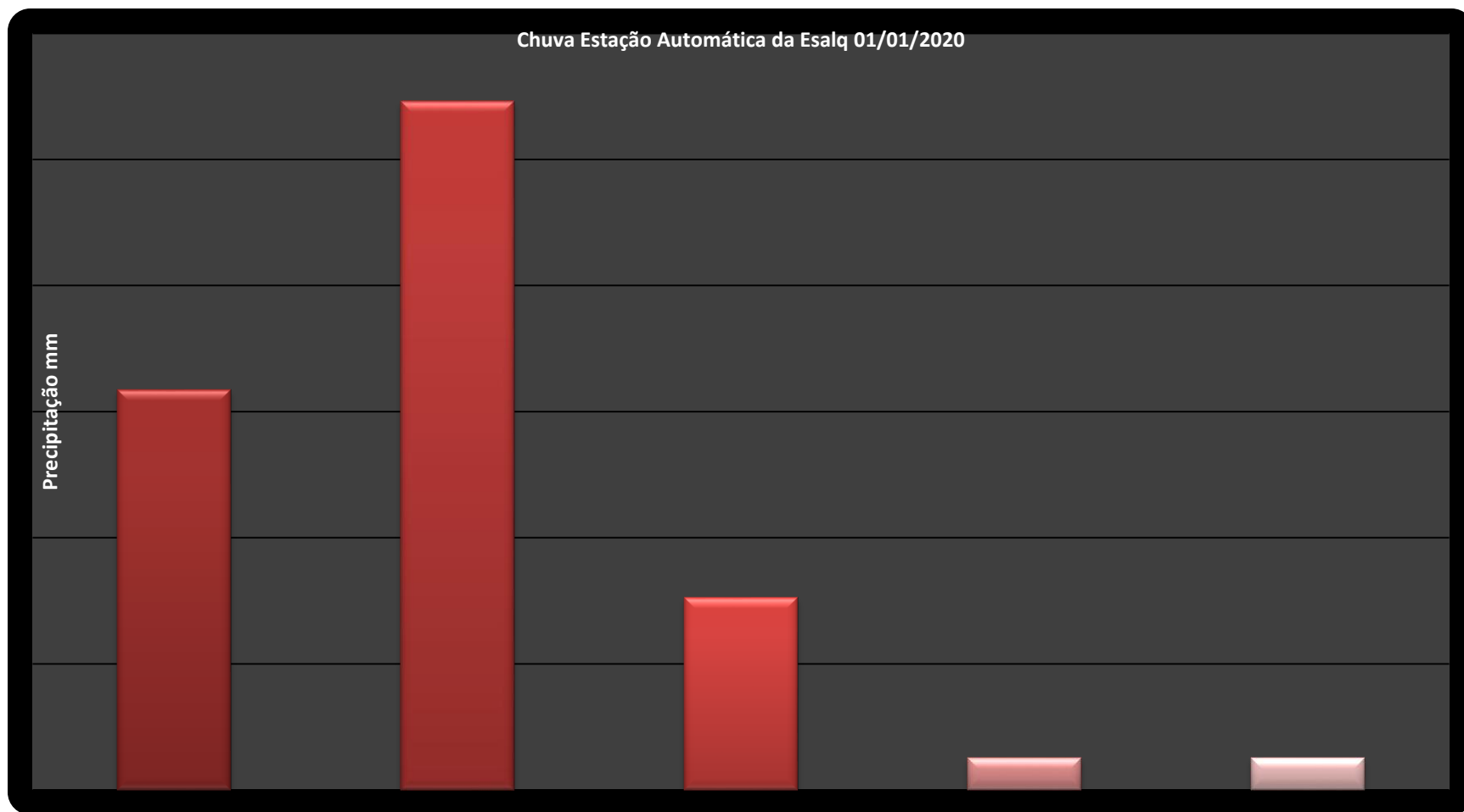
Distribuição temporal

Diagrama de blocos

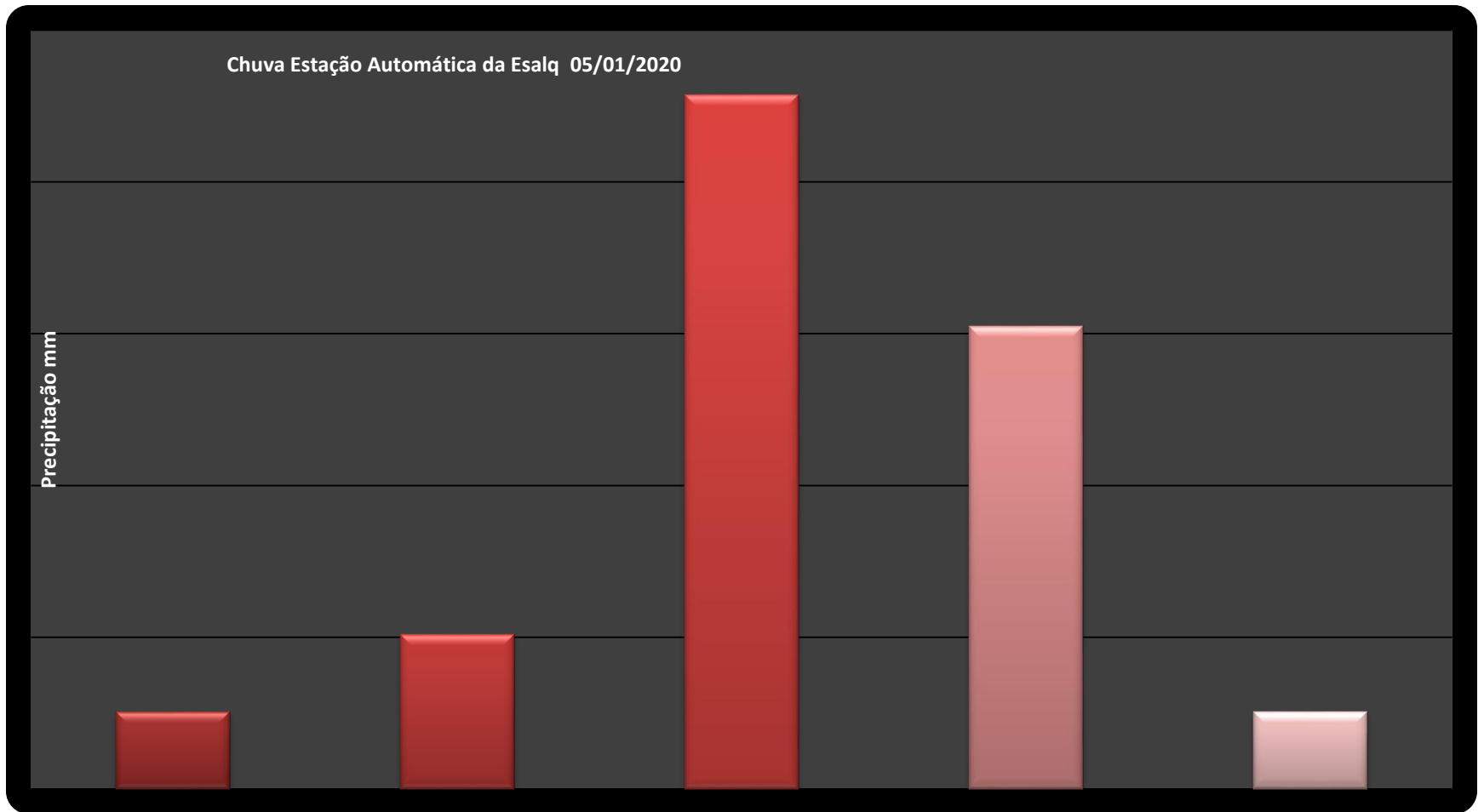
Precipitação diária do mês de janeiro 2020, no município de Piracicaba - SP



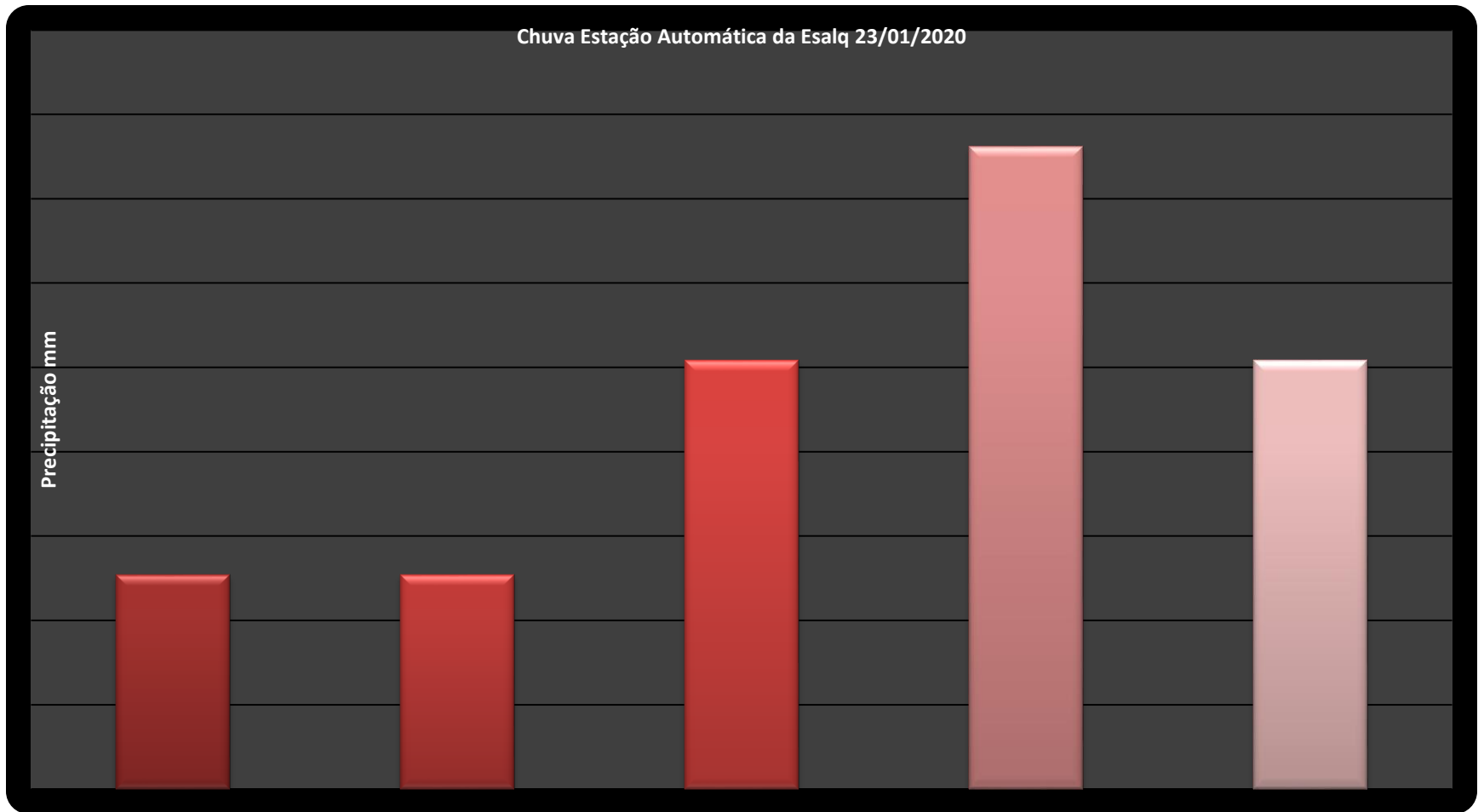
Exemplos: Chuva Adiantada



Exemplos: Chuva Intermediária

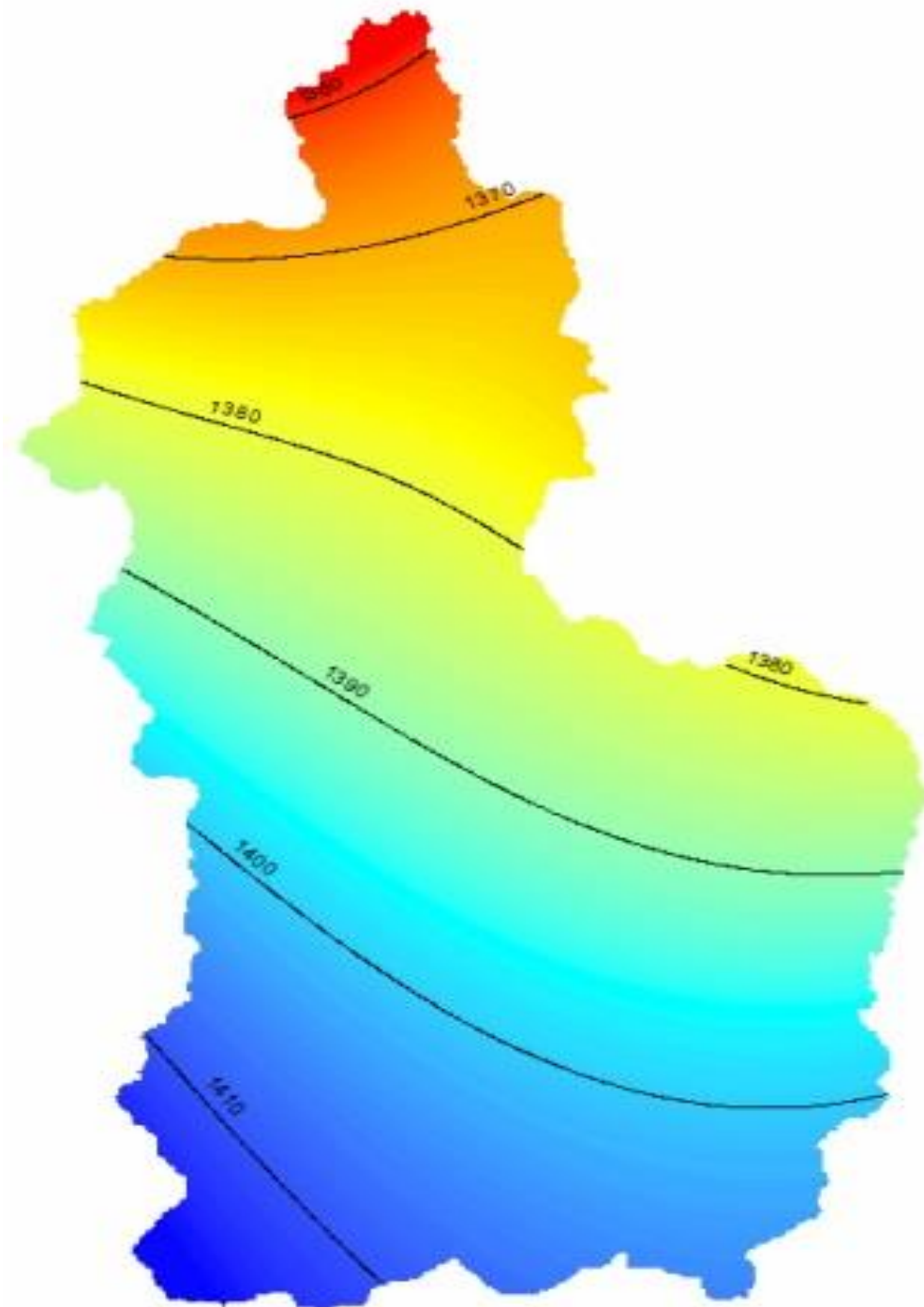


Exemplos: Chuva Atrasada



Distribuição espacial da chuva

Exemplo: área plana com 296km² - Isoietas



Distribuição espacial da chuva

- Chuvas em áreas pequenas ($\leq 2 \text{ km}^2$)
 - Despreza-se a distribuição espacial da chuva
 - Assumir $h_{\text{proj}} = h_{\text{epicentro}}$
- Chuvas em áreas grandes ($> 2 \text{ km}^2$)
 - Considerar a distribuição espacial da chuva
 - $h_{\text{proj}} = h_{\text{epicentro}} \times K$
 - K – fator ou fração de abatimento da chuva (determinação gráfica)

K

- Não consegue essa imagem

Probabilidade de excedência (P)

Período de retorno (T)

- Pressuposição
 - Clima não está mudando (na escala de tempo considerada)
 - Eventos passados têm mesma probabilidade de ocorrência futura
- Período de retorno (T): intervalo de tempo (geralmente em anos) em que se espera que o evento extremo seja igualado ou superado ao menos uma vez

Probabilidade de excedência (P) Período de retorno (T)

$$P = m/n$$

$$T = 1/P$$

P- probabilidade de ocorrência de um evento igual ou superior (\geq)

m- número de eventos iguais ou inferiores (\leq)

n- número de dados do evento

T – período de retorno do evento

Hidrologia qualitativa

<https://fineartamerica.com/art/1729>

Rede de drenagem

https://www.researchgate.net/publication/323589412_Erosao_remontante_em_cabeceiras_de_drenagem_e_acao_antropica_o_caso_do_corrego_Santa_Cruzinha_afluent_e_do_rio_Santo_Anastacio_-_oeste_do_estado_de_Sao_Paulo

Hierarquia Pluvial

Pastor-Martín, Candela et al. "Matlab-based tool for drainage network ordering by Horton and Hack hierarchies." (2017).

Strahler

[https://pt.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Strahler#/media/Ficheiro:Flussordnung_\(Strahler\).svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Strahler#/media/Ficheiro:Flussordnung_(Strahler).svg)

Shreve

<https://mundogeo.com/wp-content/uploads/2012/01/Spatial-Analyst.jpg>

Hidrologia

<https://www.facebook.com/IndiretasdaGeografia/photos/a.1447228482166404/2314524465436797/?type=3&theater>

Nova Iorque

<http://www.iea.usp.br/noticias/nova-york-a-metropole-com-a-agua-mais-pura-do-planeta-1>

<https://nycdep.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=ce8dc7f0a0044807b6ac2c061ee8d8fd&extent=-74.4499,40.4854,-73.3560,40.9351>

Produtor de Água

<https://www.ana.gov.br/programas-e-projetos/programa-produtor-de-agua>

<https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sip/produtor-de-agua/documentos-relacionados/1-nota-informativa-programa-produtor-de-agua.pdf>

<http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/MANUAL%20OPERATIVO%20-%20PROGRAMA%20PRODUTOR%20DE%20C3%81GUA.pdf>

Irrigação Suplementar

https://www.researchgate.net/publication/44373824_Manual_tecnico_para_a_restauracao_de_areas_degradadas_no_estado_do_Rio_de_Janeiro_Luiz_Fernando_Duarte_de_Moraes_et_al

Mapa de precipitação acumulada INMET

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo2/mapasPrecipitacao>

Pluviometro de Boia

https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/12/Unidade_5-modulo1.pdf

Pluviometro de Bascula

<https://www.romiotto.com.br/pluviometro.php>

Chuva sobre o gramado do Prédio Principal da ESALQ

Filipe Paes

Isoietas

<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015c/agrarias/pluviometria%20da%20bacia.pdf>