



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



# CICLO HIDROLÓGICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS

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

# Motivação

The screenshot shows the 'Emprego Agrônomo' section of the Agrobases website. The page features a navigation bar with options like 'RESUMO DIÁRIO', 'VAGAS EMPREGO', 'VAGAS ESTÁGIO', and 'VAGAS TRAINEE'. Below the navigation, there are three job listings, each with a '10 fev' label and a 'CANDIDATE-SE' button. The first listing is for a 'Vaga representante comercial (genética), Goianésia – GO'. The second is for a 'Vaga representante comercial (aditivos e peças de ordenha), Alto Vale – SC'. The third is for an 'Emprego analista de logística (agro), Uberlândia – MG'. To the right of the listings is a 'FILTRAR VAGAS' section with a dropdown menu set to '<Todos Estados>'. Below that is an 'OPORTUNIDADES POR E-MAIL' section with an 'E-mail' input field, a 'Sua Profissão' dropdown menu, and a green 'CADASTRAR' button.

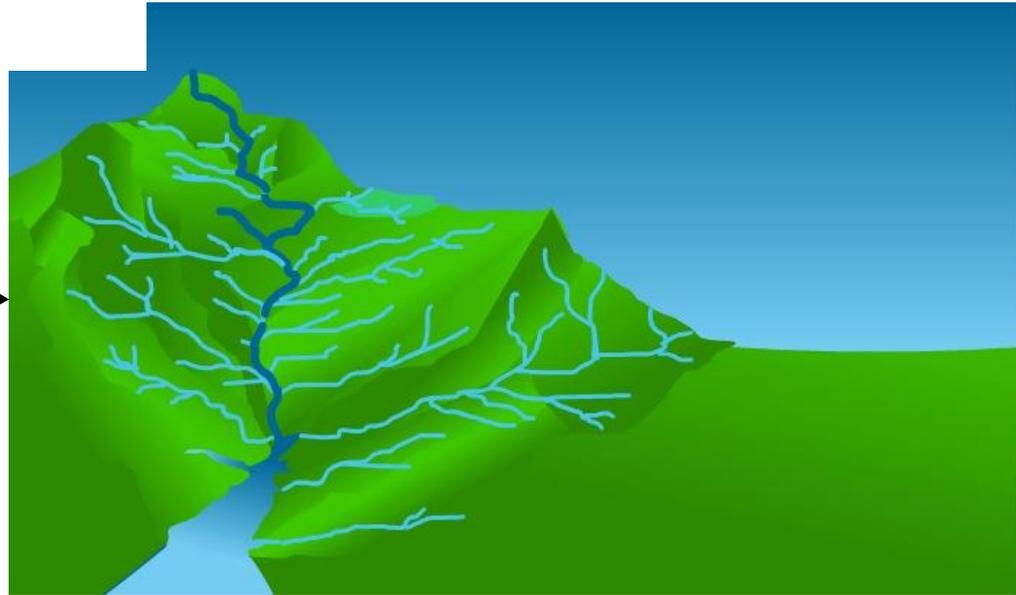
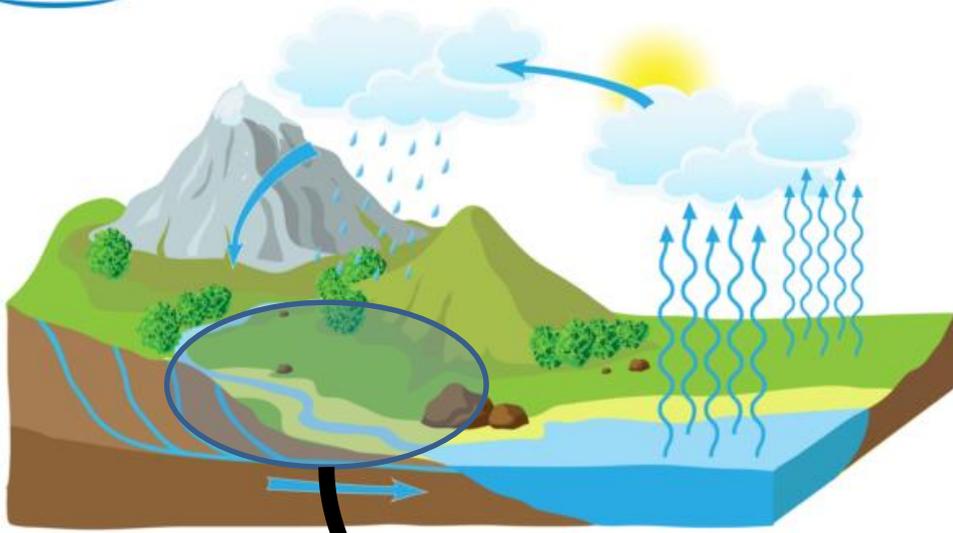
- 29/01/2020
- 35 vagas pesquisadas
- 16 exigiam conhecimento básico do pacote Office

# A PIRÂMIDE DO APRENDIZADO



# Haikai hidrológico

Tem água, todo dia,  
Que passa pela bacia



1069 Rua Dom Pedro I

Piracicaba, São Paulo



Street View



Google



- Reportagem - Rio PIRACICABA – 10/02/2020
- Chuvas no estado de São Paulo 10/02/2020

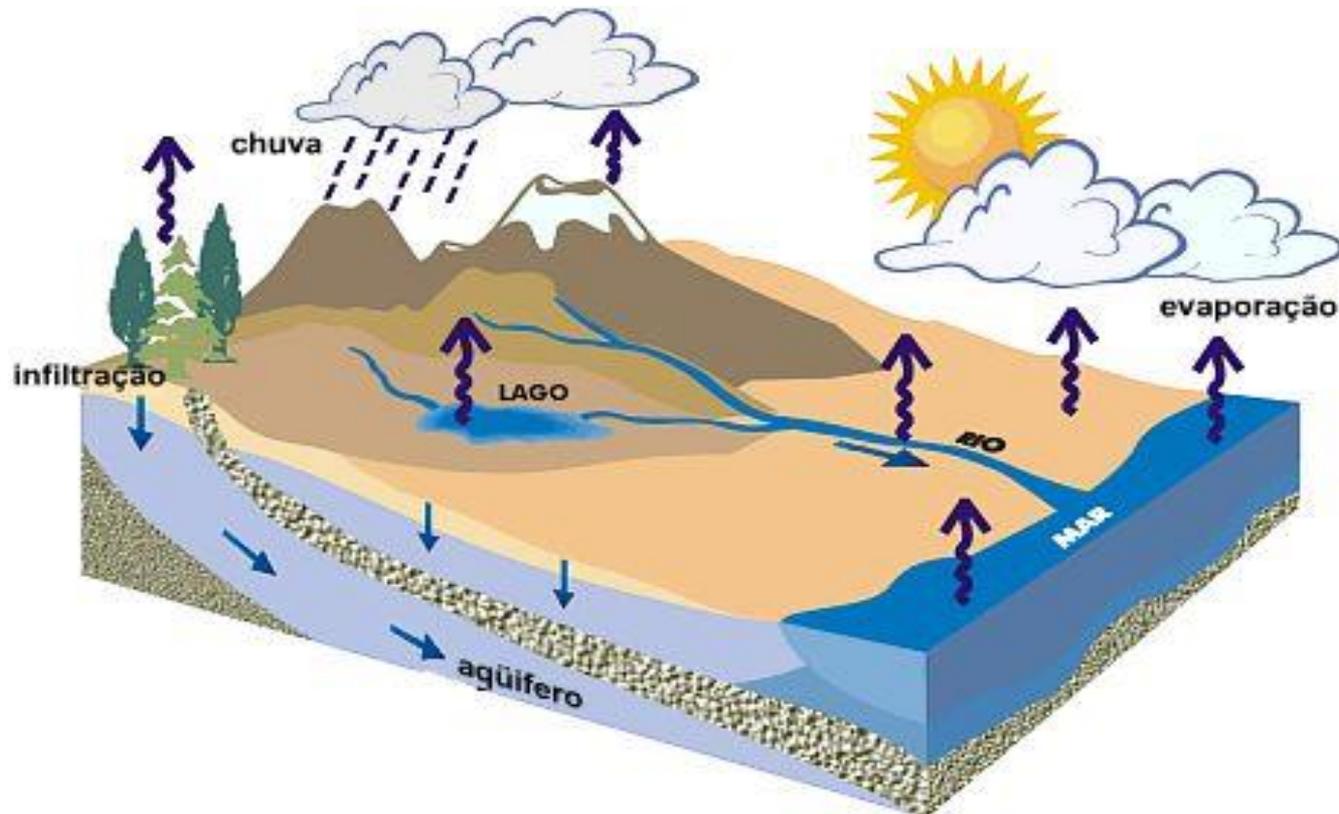






# Hidrologia: Ciência que estuda a água

- O que ela estuda:
- Ocorrência, distribuição e circulação



# Hidrologia: Ciência que estuda a água

- Efeitos sobre o meio ambiente e os seres vivos

## Mariana - MG



**ANTES**



**DEPOIS**

# Aplicações: Usos da Água

- Abastecimento Humano



# Aplicações: Usos da Água

- Dessedentação animal



# Aplicações: Usos da Água

- Captação para irrigação



# Aplicações: Usos da Água

- Piscicultura



# Aplicações: Usos da Água

- Aproveitamento hidrelétrico



# Aplicações: Usos da Água

- Retificação para navegação – Rio Pinheiros



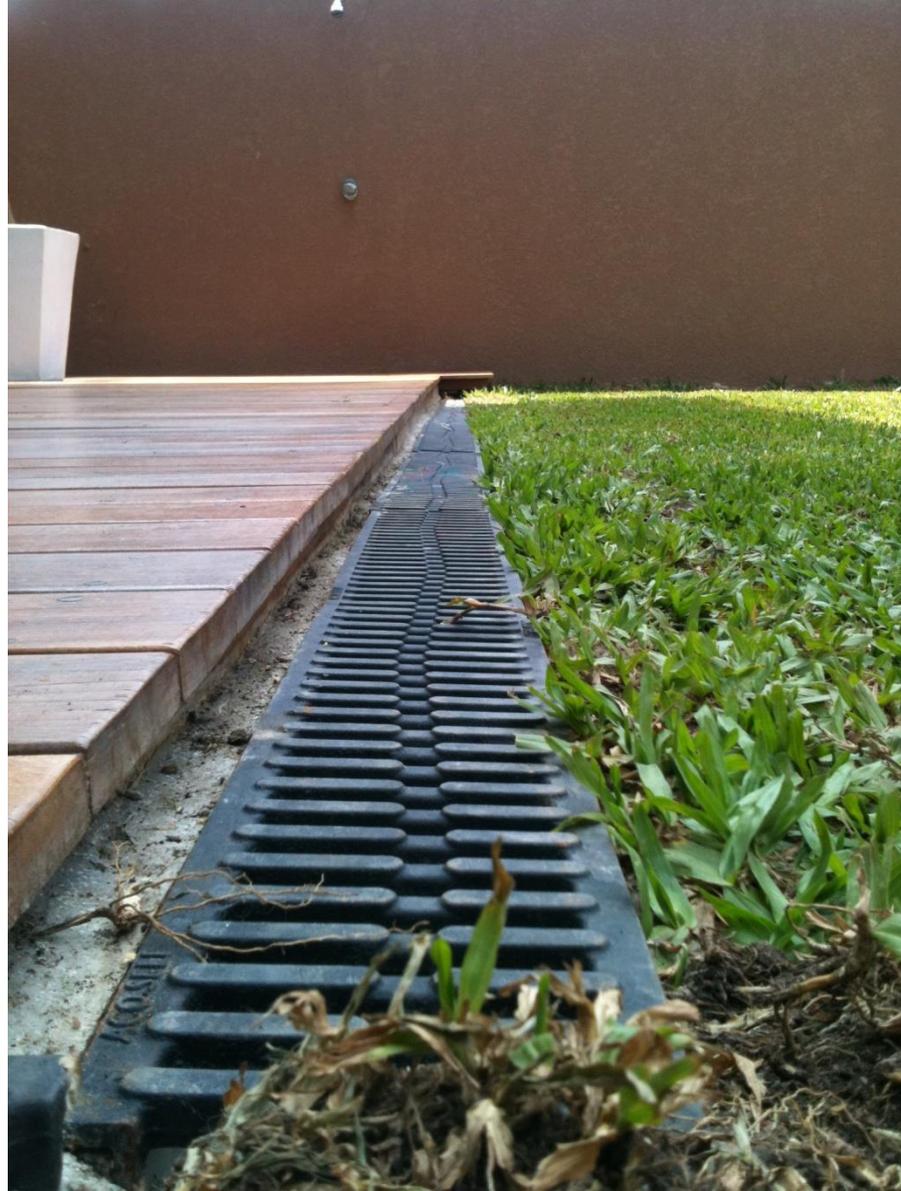
# Aplicações: Controle da Água

- Erosão



# Aplicações: Controle da Água

- Drenagem superficial - Doméstica



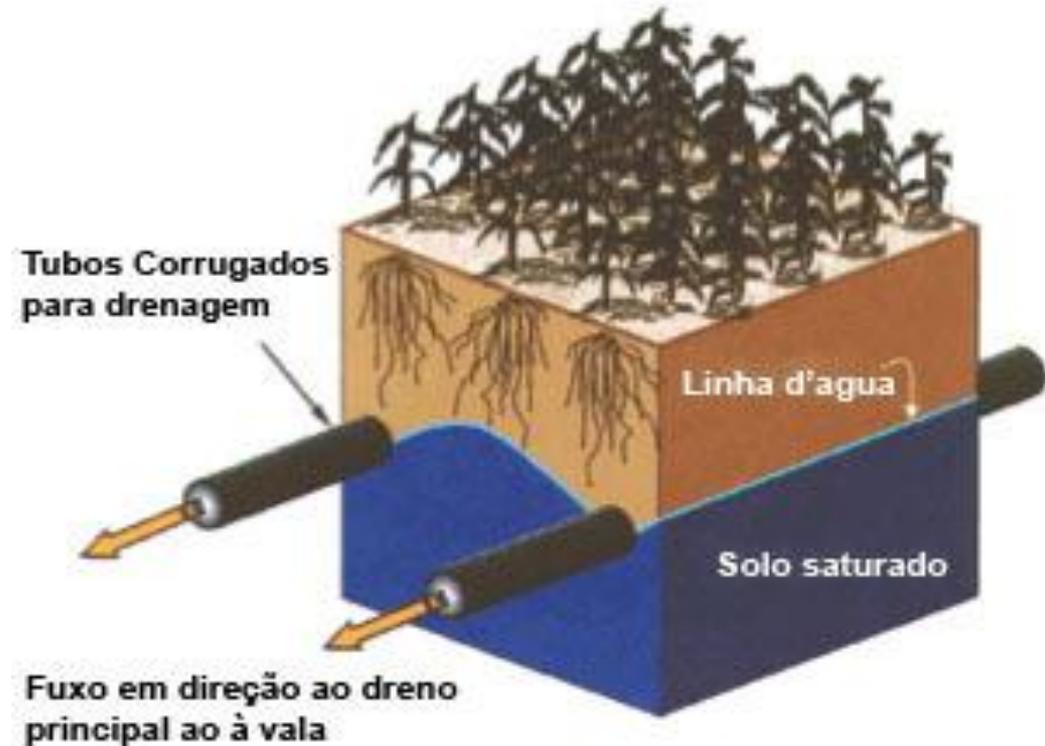
# Aplicações: Controle da Água

- Drenagem urbana – Águas pluviais



# Aplicações: Controle da Água

- Drenagem Subterrânea



# Aplicações: Controle da Água

- Diques



# Aplicações: Controle da Água

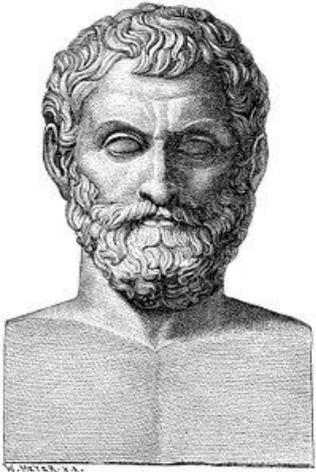
- Bueiros



# Aplicações: Controles da Água

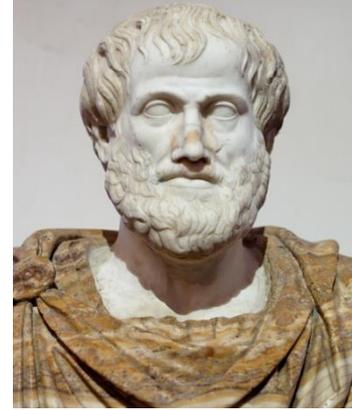
- “Piscinões”





# História da Hidrologia

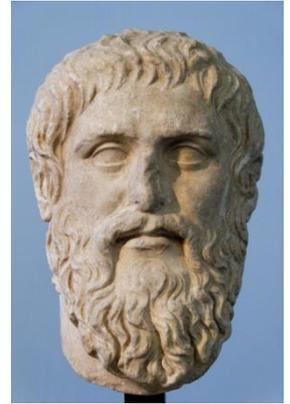
## Antiguidade



- Grécia: Platão + Aristóteles + Tales de Mileto
  - De onde vem a água dos rios?
  - Teoria da Surgência
    - Fontes e mananciais abastecidos por reservatórios subterrâneos
    - Chuva pouco contribuía na vazão dos rios

# História da Hidrologia

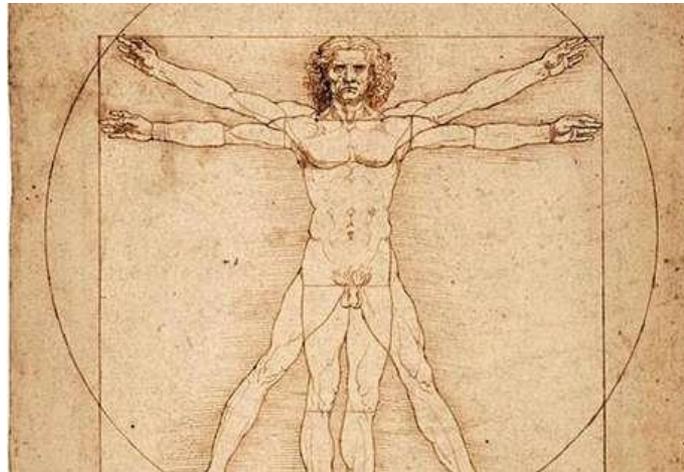
## Antiguidade



- Roma:
  - Marcus Vitruvius Pollio:
    - Chuva que cai nas montanhas infiltra
    - Surge nos sopés das montanhas e forma rios

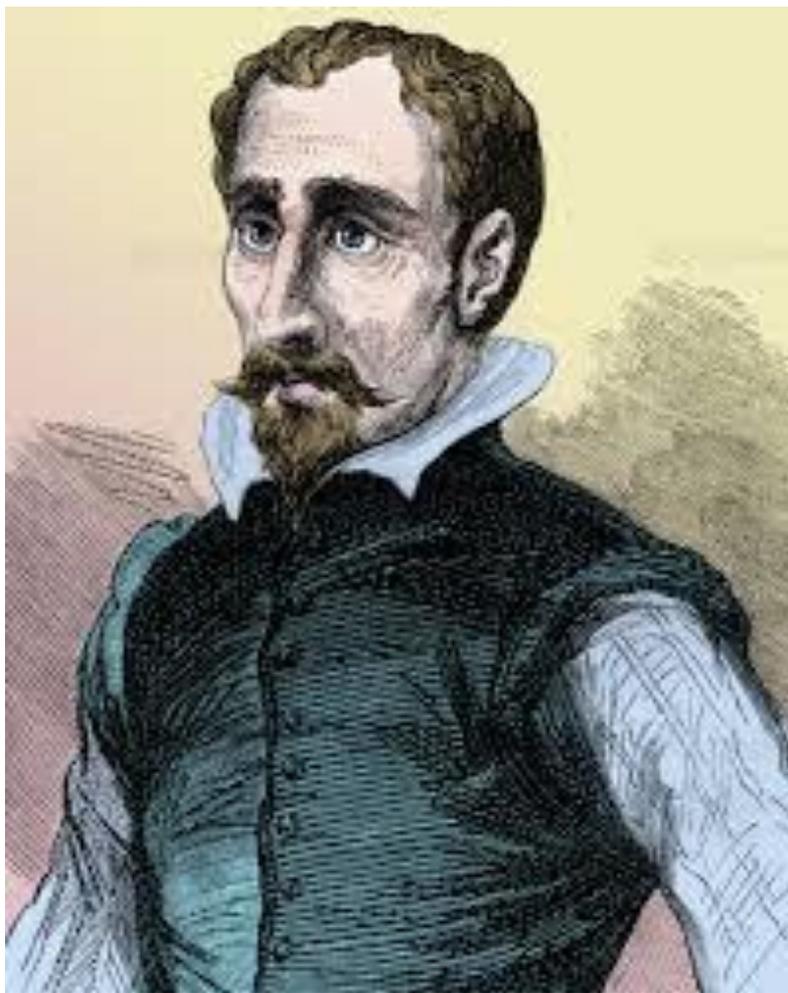
# História da Hidrologia: Renascimento

## Leonardo Da Vinci



- Explicou a salinidade do mar
- Infiltração das água continentais
- Dissolução e carreamento de sais p/ o oceano

# História da Hidrologia



- Bernard Palissy França ( Séc. XVI)
- Teoria da Infiltração
  - Chuvas geram fontes e nascentes
- Origem das águas associada às precipitações pluviais

# História da Hidrologia

## Confirmação da Teoria da Infiltração



### Pierre Perrault

- Medição de Ppt e Q do Rio Sena
- $Ppt = 6 Q$
- $Q/Ppt = 0,17$
- Estudo de evaporação

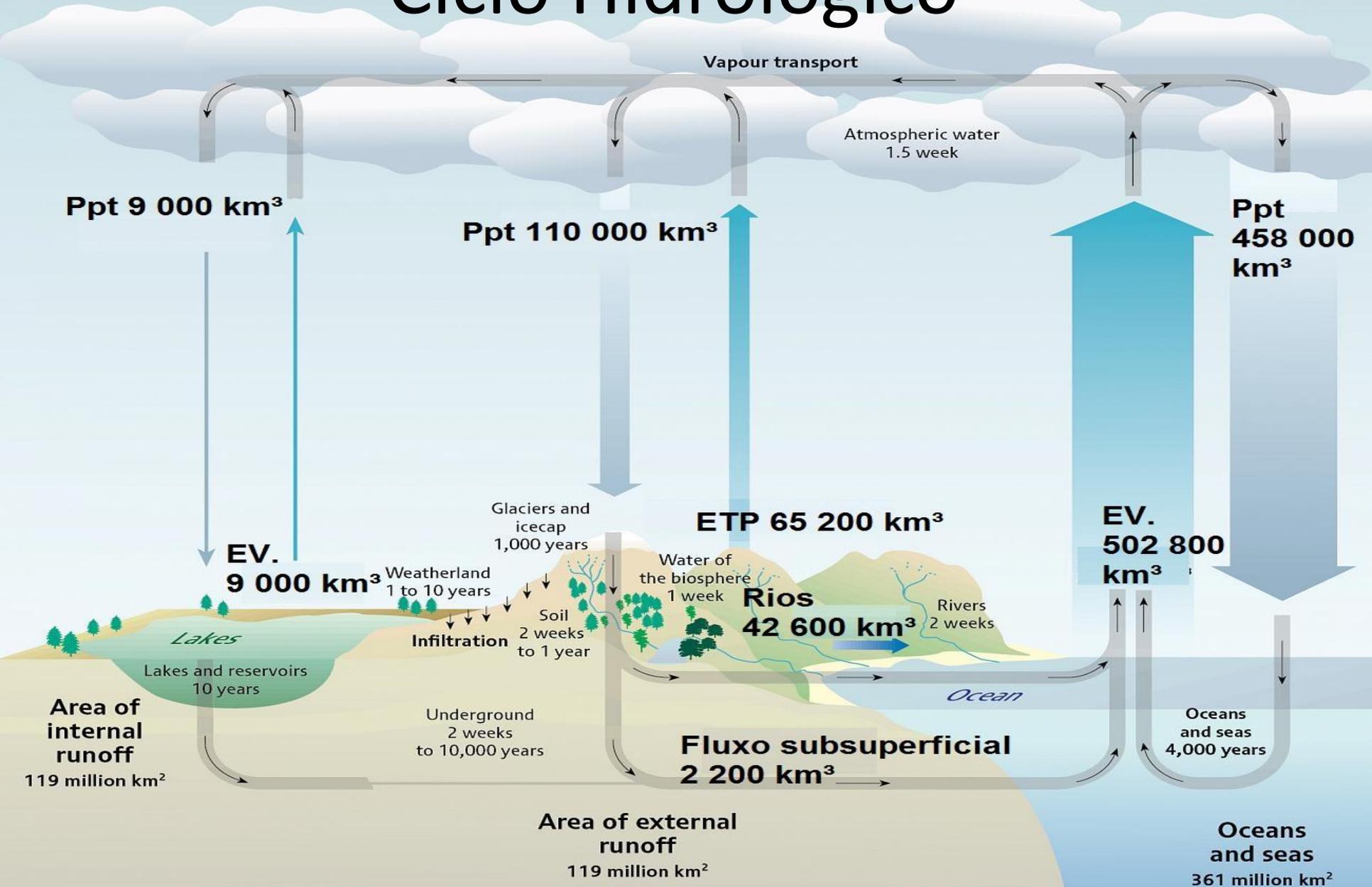
### Edmé Marriotte

- Vazão do Rio Sena
- Confirmou resultados de Perrault
- Q das nascentes aumenta c/ chuvas

### Edmond Halley

- Medição de evaporação (Mar Mediterrâneo)
- Vol. Evap. =  $\Sigma$  deflúvio dos rios
- Mar: Nível d'água cte.

# Ciclo Hidrológico



**Note:** The width of the blue and grey arrows is proportional to the volumes of transported water

Source: Igor A. Shiklomanov, State Hydrological Institute (SHI, St. Petersburg) and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO, Paris), 1999; Max Planck, Institute for Meteorology, Hamburg, 1994; Freeze, Allen, John, Cherry, *Groundwater*, Prentice-Hall: Engle wood Cliffs NJ, 1979.

# Razão Q / Ppt

## Razão deflúvio / precipitação das principais bacias hidrográficas brasileiras

<b>Número</b>	<b>Bacia</b>	<b>Razão Q / ppt</b>
<b>1</b>	<b>Amazonas</b>	<b>0,39</b>
<b>2</b>	<b>Tocantins</b>	<b>0,30</b>
<b>3a</b>	<b>Atlântico norte</b>	<b>0,51</b>
<b>3b</b>	<b>Atlântico nordeste</b>	<b>0,13</b>
<b>4</b>	<b>São Francisco</b>	<b>0,15</b>
<b>5a</b>	<b>Atlântico leste 1 (SE e BA)</b>	<b>0,09</b>
<b>5b</b>	<b>Atlântico leste 2 (MG/BA, ES e RJ)</b>	<b>0,31</b>
<b>6a</b>	<b>Paraná</b>	<b>0,29</b>
<b>6b</b>	<b>Paraguai</b>	<b>0,08</b>
<b>7</b>	<b>Uruguai</b>	<b>0,47</b>
<b>8</b>	<b>Atlântico sudeste</b>	<b>0,42</b>

# Tempo de residência

- Tempo que uma molécula de água leva para completar um ciclo em determinada fase do ciclo hidrológico.

$$Q = \text{Vol}/t$$

$$t = \text{Vol}/Q$$

- Exemplo: Atmosfera
- Água na Terra distribuída por toda superfície: 25mm  
(25 L/m<sup>2</sup>)
- Precipitação média na Terra: 860mm/ano ou 2,36 mm/dia
- Tempo de residência:  $t = 25\text{mm} / 2,36 \text{ mm/dia}$   
 $t \cong 11 \text{ dias}$

# Tempo de residência

- Aquíferos:  $t$  = milhares de anos
- Maior tempo para acúmulo de sais
- Piracicaba: Aquífero Passa Dois
  - Água salobra
  - Problemas de qualidade
    - Nutrição mineral de plantas
    - Consumo humano
    - Uso industrial

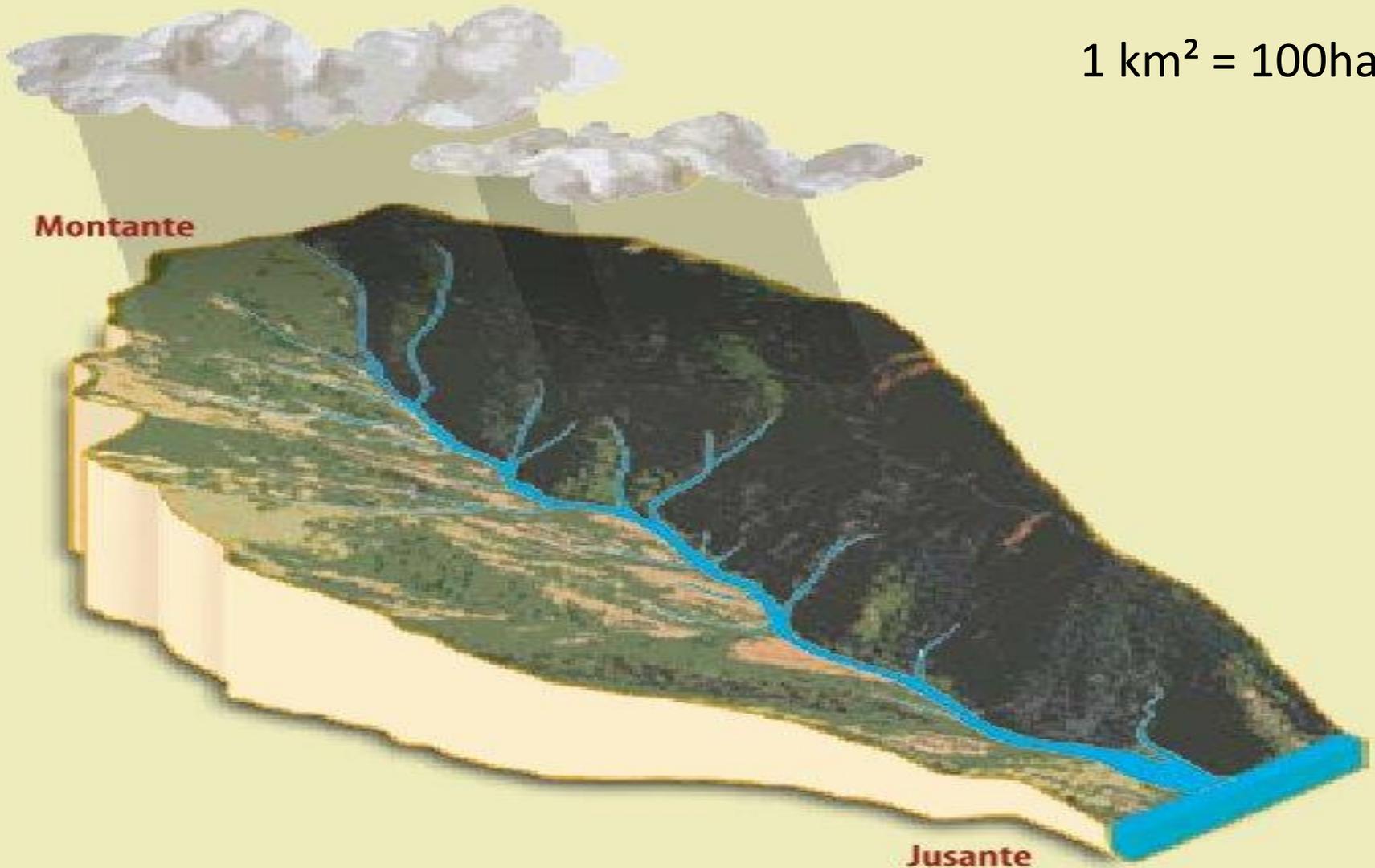
# Bacia Hidrográfica BH

## Definição

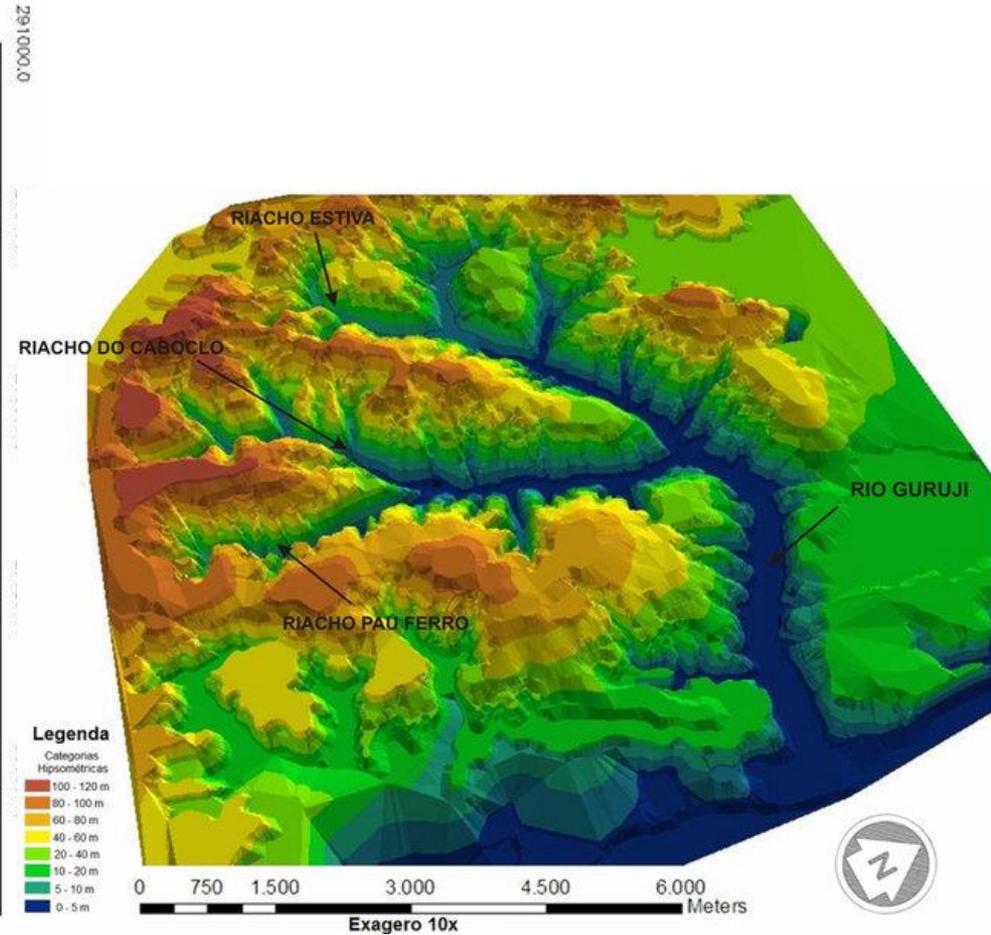
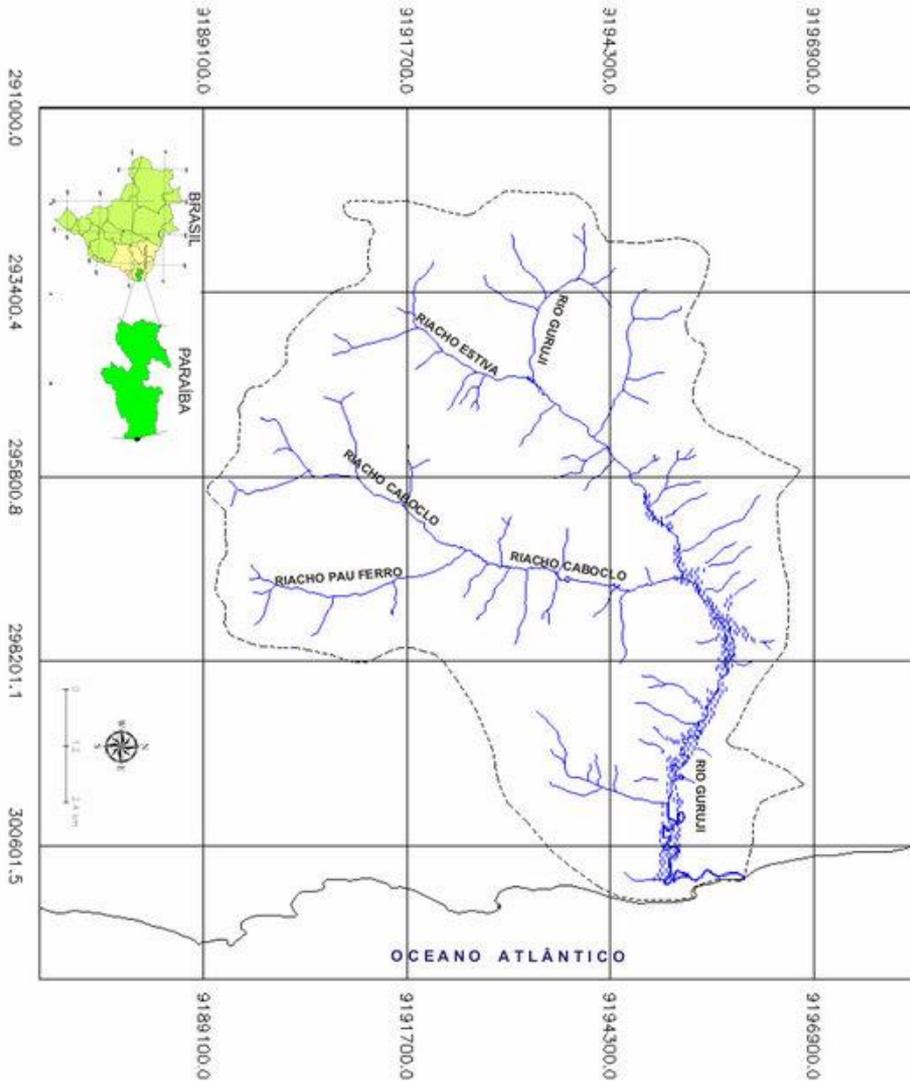
BH é a **área a montante** de um dado ponto ou seção, que faz com que a **água precipitada** e não evaporada passe, obrigatoriamente, por uma **seção de controle** em um balanço anual.

# Bacia Hidrográfica BH

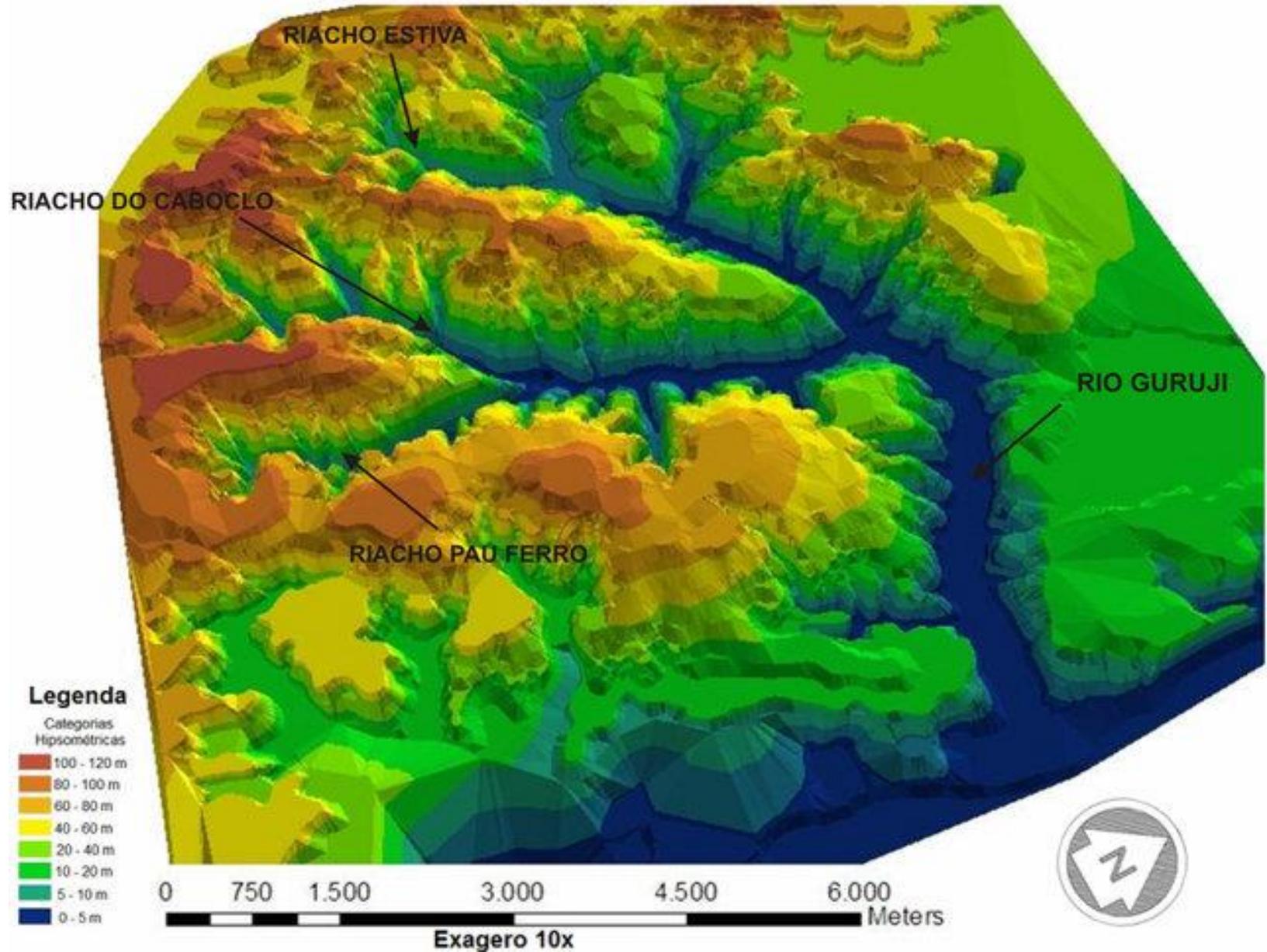
1 km<sup>2</sup> = 100ha



# Exemplos



# MDT – Modelo de Elevação Digital de Terreno



# Balanço Volumétrico

- Entrada  
Ppt

$$\text{Vol E} = \text{Vol S} + \Delta \text{ Arm}$$

- Saídas  
ETP  
Q

$$\text{Vol E} - \text{Vol S} = \Delta \text{ Arm}$$

$$\text{Ppt} - (\text{ETP} + \text{Q}) = \Delta \text{ Arm}$$

- Armazenamento  
 $\Delta \text{ Arm}$

- Balanço Anual:  $\Delta \text{ Arm} = 0$

- $\text{Ppt} - \text{ETP} = \text{Q}$

(funciona bem em ciclos longos)

Lençol freático (LF)

Solo (Acima do LF)

Abaixo do LF

Lagos

Calhas dos rios

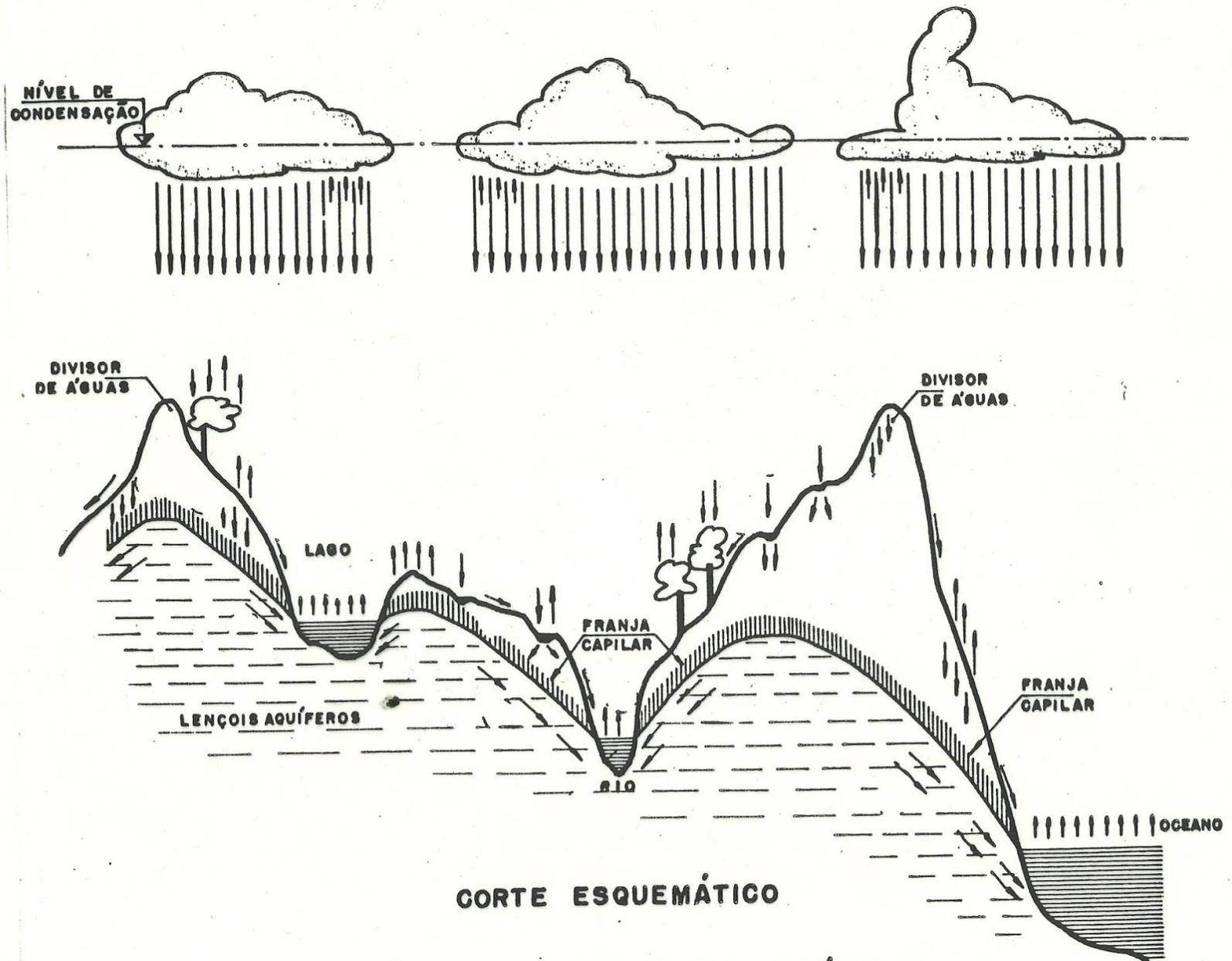
- Vazamentos de Bacias:

Recargas de Aquíferos

Formação cárstica ( ou cársica)

Transposição

# Bacia Hidrográfica x Bacia Hidrogeológica

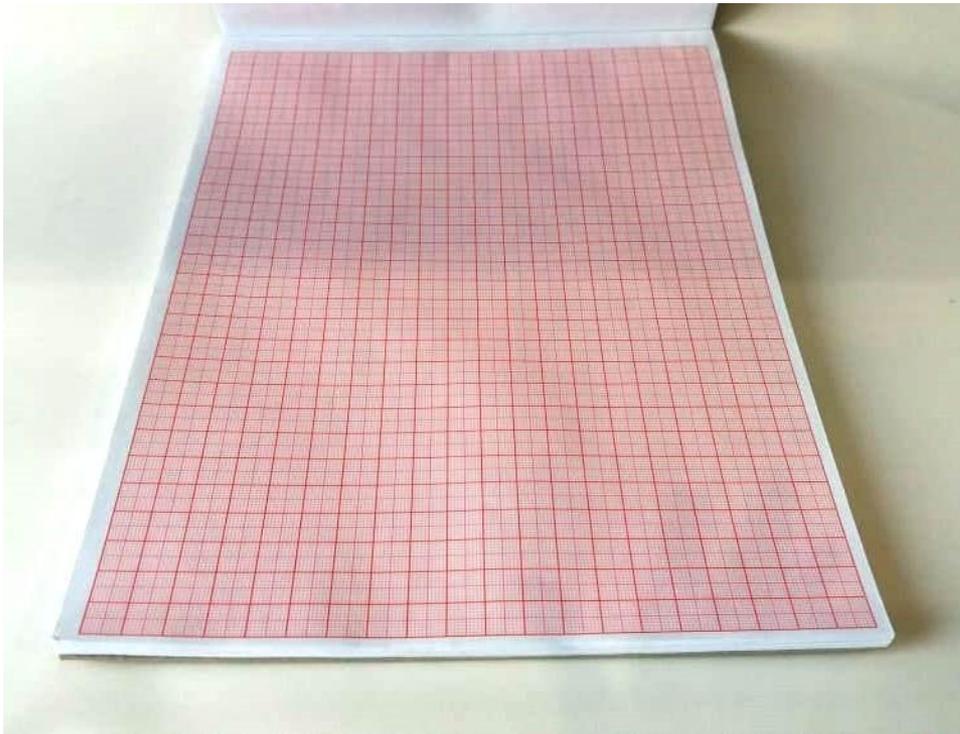


# Bacia Hidrográfica – Características Físicas

- Área
- Forma
- Sistema de drenagem (cursos d'água)

# Área – Técnicas de Medição

## Papel Milimetrado



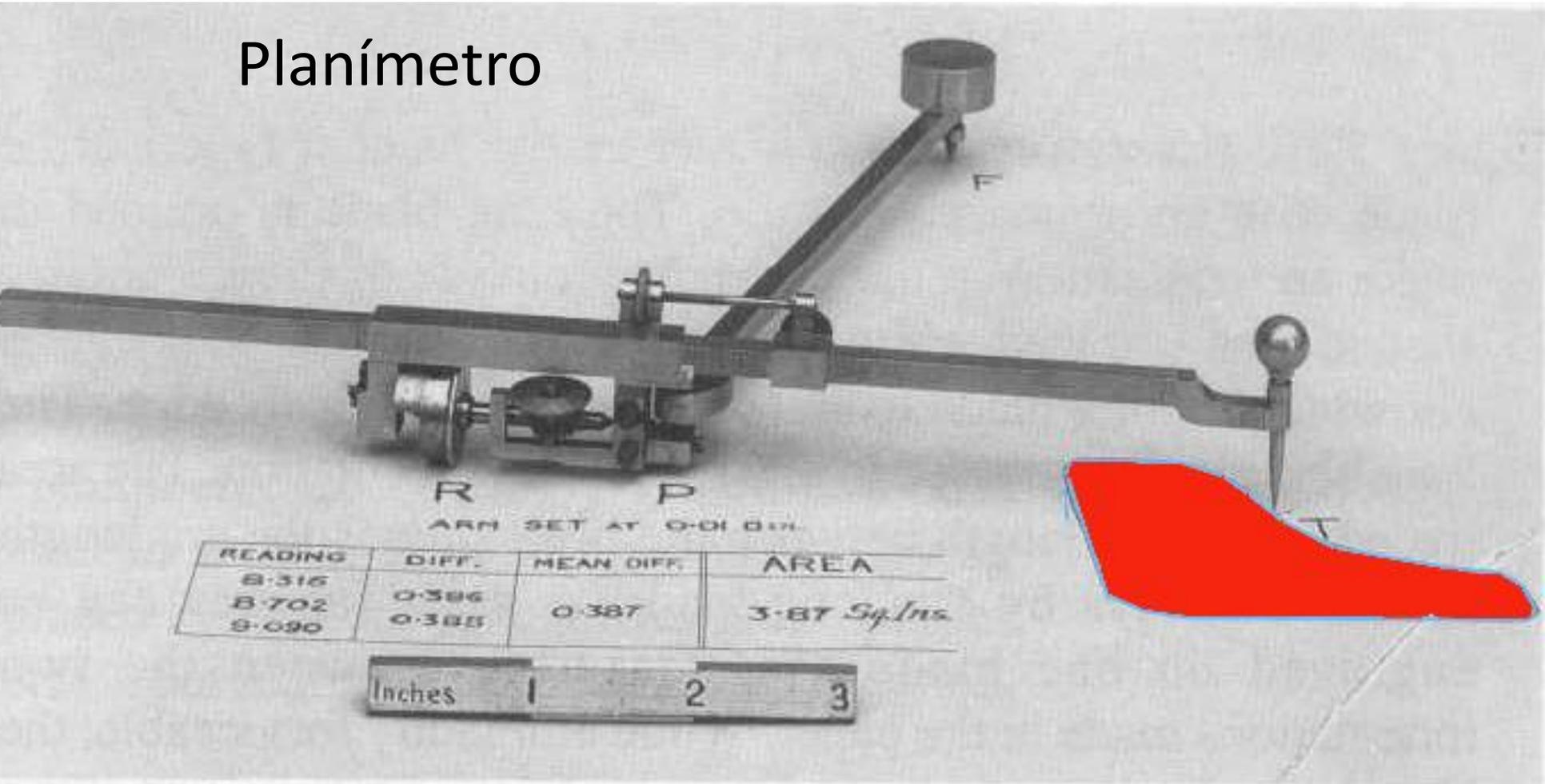
## Pesagem

- planta em papel
- Comparação  
Papel de área conhecida

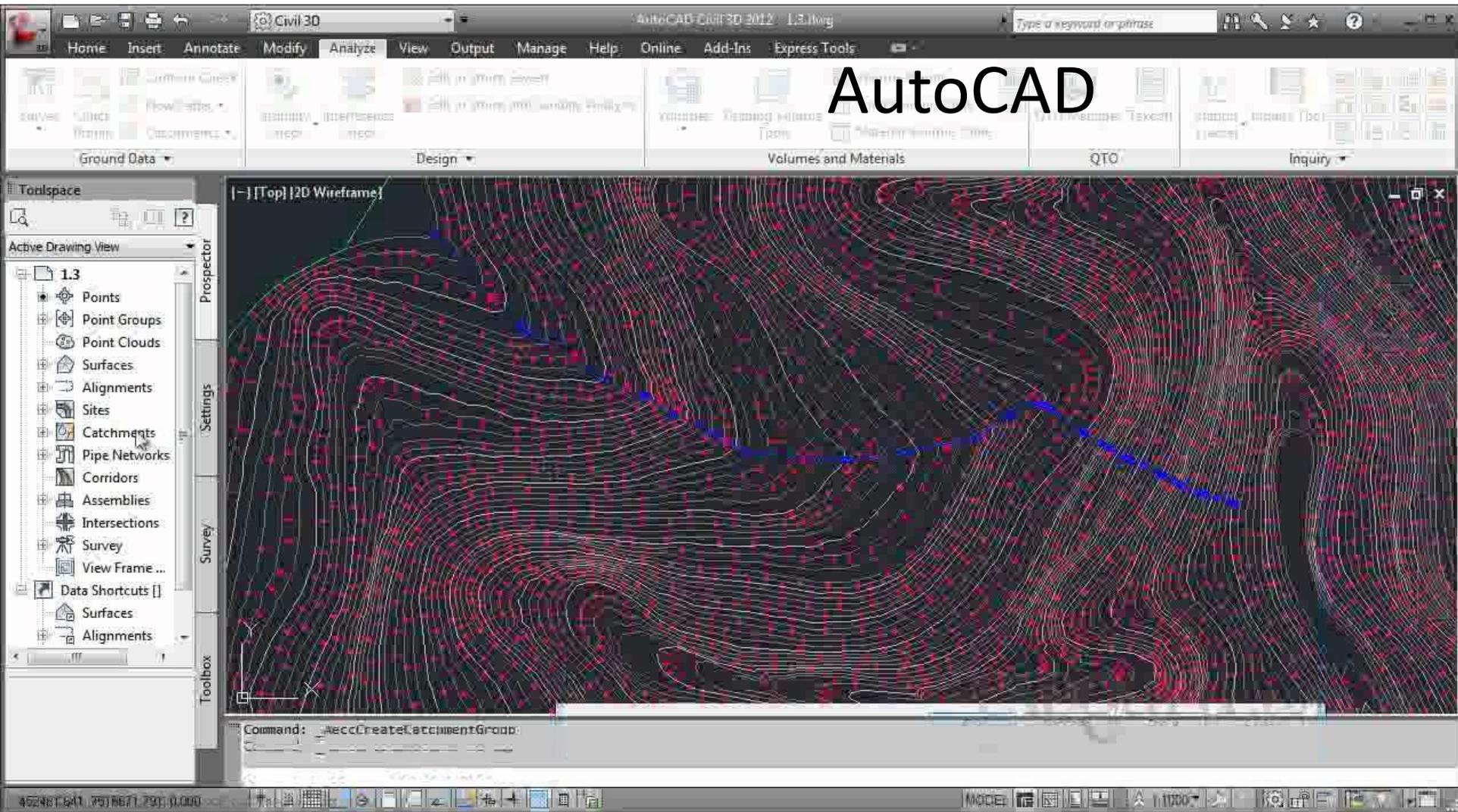
Ex.: Papel  $1 \text{ cm}^2$

# Técnicas de medição de área

## Planímetro



# Técnicas de medição de área



# Técnicas de medição de área

The screenshot shows a GIS application window titled "SPRING-5.5.1 [STA\_VITORIA][ARROZ\_IRRIGADO]". The main window displays a map with a yellow and orange color scheme. A "Select Color" dialog box is open, showing a color palette and a color selection tool. The dialog box includes a "Pick Screen Color" button and a "Cores customizadas" section with a grid of color swatches. The color selection tool shows a color gradient and a vertical slider. The dialog box also displays the following color values:

Cor:	354	Vermelho:	230
Saturação:	154	Verde:	91
Valor:	230	Azul:	104
HTML:	#e65b68		

The status bar at the bottom of the window shows "Editando BACIA\_HIDRO\_01". The taskbar at the bottom of the screen shows the Windows logo, a search icon, and several application icons. The system tray in the bottom right corner shows the date and time: "POR PTB 06/11/2017 14:04".

Spring

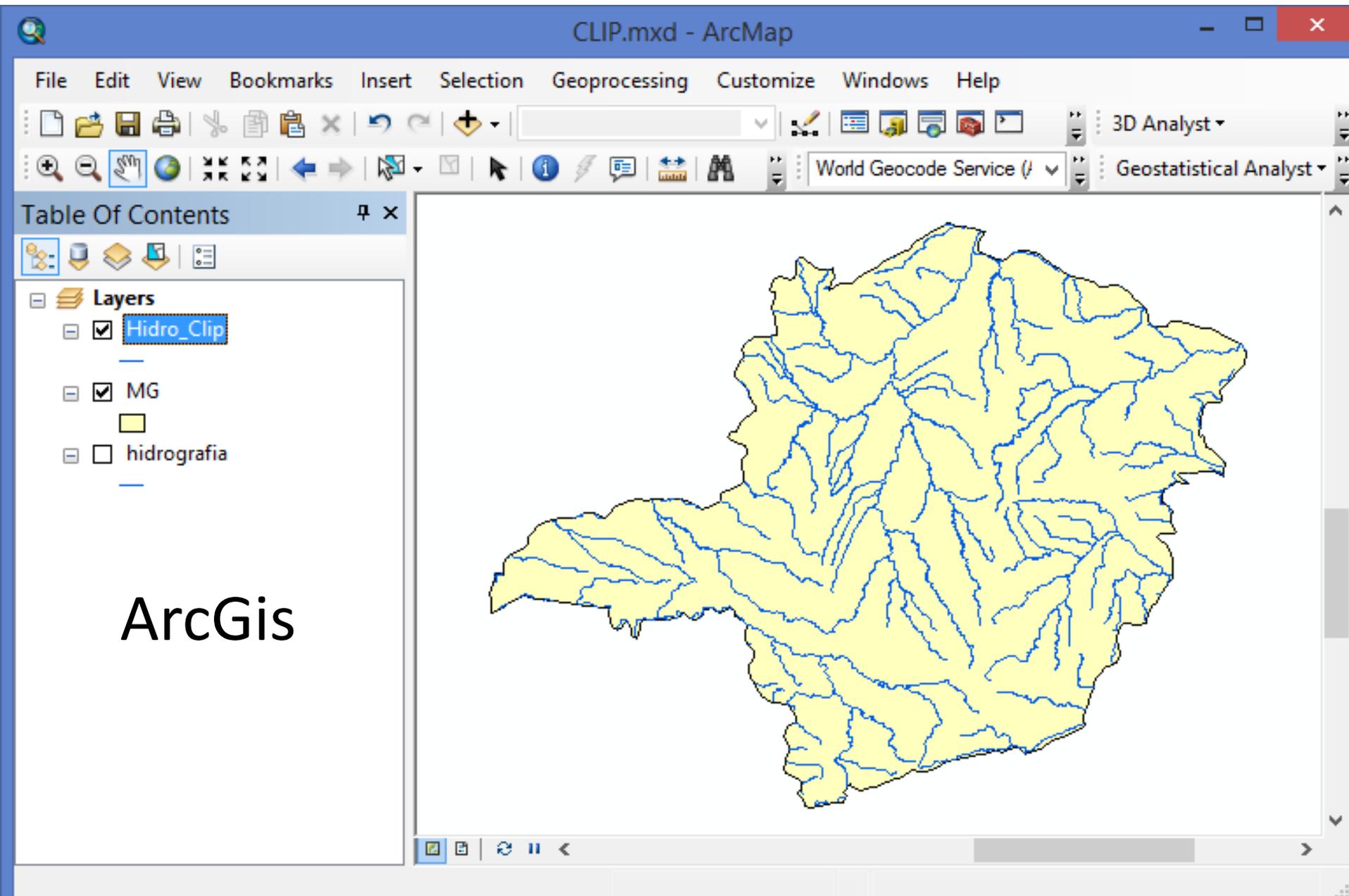
# Técnicas de medição de área

The screenshot displays the Idrisi GIS software interface with several key components:

- Main Map Window (sierraluminated):** Shows a fire risk map of the Sierra de Gredos region. The map is color-coded by risk level: green for 'Unforested', yellow for 'Low', orange for 'Moderate', and red for 'High'. Labeled locations include Burgohondo, Navalunga, Villaneuva de Avila, Mijares, Casavieja, Piedralaves, La Adrada, and Sobillo La Adrada. A scale bar indicates 5000 meters. A legend in the bottom right corner identifies symbols for 'Primary Roads' and 'Secondary Roads'. The title 'Sierra de Gredos : Fire Risk' is displayed at the bottom of the map.
- RUNOFF - surface runoff accumulation Window:** A configuration window for the runoff module. It includes fields for 'Input surface image' (sierradem) and 'Output runoff image' (sierra\_runoff2). It also has checkboxes for 'Add precipitation image' (precip), 'Add infiltration image' (permeability), 'Add duration image', and 'Add initial absorption image'. A 'Perform pit removal' checkbox is checked. Buttons for 'OK', 'Close', and 'Help' are at the bottom.
- Image Calculator - Map Algebra and Logic Modeler Window:** A window for creating mathematical expressions. The 'Expression to process' field contains the formula  $ln[sierra_runoff+1]$ . A numeric keypad and various mathematical functions (COVER, EXP, SIN, ARCCOS, etc.) are available. Buttons for 'Process Expression', 'Save Expression', 'Open Expression', 'Close', and 'Help' are at the bottom.
- sierra\_in\_runoff Window:** A window titled 'Surface Runoff Derived from the DEM using the RUNOFF Module' showing a 2D map of the runoff network in green and blue.
- Fly Through Window:** A 3D perspective view of the terrain, showing the topography and the runoff network.

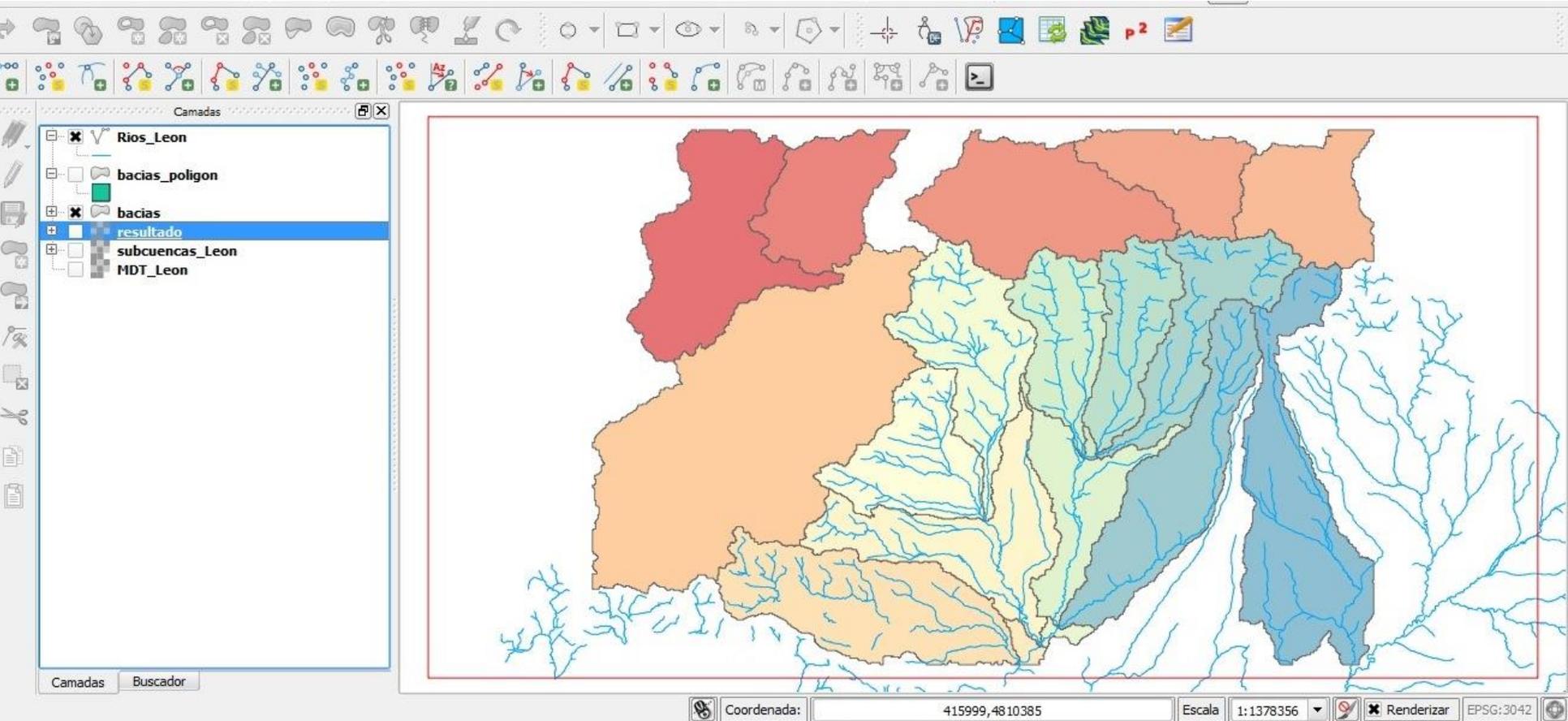
The Idrisi logo is prominently displayed in the lower right quadrant of the interface.

# Técnicas de medição de área



# Técnicas de medição de área

## QGis



# Bacia Hidrográfica – Características Físicas

- Forma
  - Coeficiente de compacidade ( $K_c$ )
  - Fator de Forma de I-Pai-Wu ( $F$ )

# Forma da Bacia Hidrográfica

- Coeficiente de compacidade ( $K_c$ ):
  - Comparação entre Círculo e BH de mesma área

Círculo: Perímetro  $P' = 2 \pi r$

Área  $A = \pi r^2 \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$

BH: Área = A

Perímetro = P

$$K_c = \frac{P}{P'} = \frac{P}{2 \pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}}$$

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

# Forma da Bacia Hidrográfica

- Fator de Forma de I-Pai-Wu (F):
  - Comparação entre comprimentos axiais de uma BH (L) e de um círculo com mesma área (L')

Círculo: Compr. Axial  $L' = D = 2r$

$$\text{Área} \quad A = \pi r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

BH: Compr. axial = L (Medição na carta topográfica)

Área = A

$$F = \frac{L}{L'}$$

# Bacia Hidrográfica – Características Físicas

- Sistema de drenagem (cursos d'água)
  - Perenes
  - Efêmeros
  - Intermitentes

# Referências:

- Ciclo hidrológico esquema simples. Disponível em: <https://cptstatic.s3.amazonaws.com/imagens/enviadas/materias/materia15058/ciclo-hidrologico-uov.jpg> Acesso em 12/02/2020
- Esquema simples de bacia hidrográfica. Disponível em: <https://www.aquafluxus.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Regi%C3%A3o-hidrogr%C3%A1fica-do-Parana3.jpg> Acesso em 12/02/2020
- Agrobases. Disponível em <https://www.agrobases.com.br/>. Acesso em 29/01/2020
- Cruzamento Avenida Armando Salles de Oliveira com a Rua Dom Pedro I, Centro, Piracicaba-SP. Disponível em Google Earth. Março de 2017
- Ciclo Hidrológico com alguns processos. Disponível em: <https://cssantjaume.webnode.com/medi/medi-5/laigua-a-la-terra/>. Acesso em 12/02/2020
- Mariana Antes e Depois. Google Imagens. Disponível em: <https://images.app.goo.gl/Mz8fzrhdkX73g1Ub6> Acesso em 18/12/2019
- Abastecimento humano. Disponível em: <https://www.ibahia.com/economia-de-agua/detalhe/noticia/pureza-da-agua-tratada-tambem-e-responsabilidade-do-consumidor-saiba-como-mante-la-limpa/>. Acesso em 15/01/2020
- Dessedentação Animal. Disponível em: <https://images.app.goo.gl/mY61JpeQf5qCzcgE8>. Acesso em 18/12/2019
- Captação para irrigação. Disponível em: <https://images.app.goo.gl/KxK85BTZ6RvaQya28>. Acesso em 18/12/2019
- Piscicultura. Disponível em: <https://images.app.goo.gl/9pFDQUs7x1mK7y7s8> Acesso em 18/12/2019
- Aproveitamento Hidrelétrico Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/jonasdecarvalho/>. Acesso em 18/12/2019
- Retificação para navegação Disponível em: <https://jornaldopora0.wordpress.com/2014/12/13/agua-rios-e-mananciais-a-cidade-de-sao-paulo-afogou-seus-rios.Acesso em 15/01/2020>
- Erosão. Disponível em: <https://www.icnet.com.br/noticias/geral/2019/09/694583-erosao-e-alvo-de-acao-do-mp.html> Acesso em 06/02/2020
- Drenagem Superficial Disponível em: <http://www.diprotec.com.br/solucao/drenagem-superficial/> Acesso em 06/02/2020
- Drenagem Profunda Disponível em: <https://twitter.com/claytonnolet065/status/1154480811183394817> Acesso em 06/02/2020
- Dique Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Levee#/media/File:Seawallventnor.jpg> Acesso em 06/02/2020
- Bueiros Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Bueiro#/media/Ficheiro:Boca\\_de\\_lobo.JPG](https://pt.wikipedia.org/wiki/Bueiro#/media/Ficheiro:Boca_de_lobo.JPG) Acesso em 06/02/2020
- Piscinões. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/12/03/entrega-de-projetos-de-piscinoes-atrasa-em-sao-paulo.ghtml>. Acesso em 06/02/2020
- Tales de Mileto Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Tales\\_de\\_Mileto](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tales_de_Mileto). Ilustrerad Verldshistoria band I Ill 107.jpg Acesso em 12/02/2020
- Aristoteles. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arist%C3%B3teles> Aristotle Altemps Inv8575.jpg.Acesso em 12/02/2020
- Platão. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Plat%C3%A3o> Plato Silanion Musei Capitolini MC1377.jpg. Acesso em 12/02/2020
- Bacia hidrográfica de Roma. Disponível em: DUFFY, Christopher J. The terrestrial hydrologic cycle: an historical sense of balance. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 4, n. 4, p. e1216, 2017. Acesso em 12/02/2020
- Bernard Palissy. Disponível em: <https://www.sciencesource.com/archive/Bernard-Palissy--French-Potter-SS2771195.html> Acesso em 12/02/2020
- Reunião de Naturalistas. Disponível em: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b7300360x/f11.item.zoom>. Acesso em 12/02/2020
- Esquema do Ciclo Hidrológico. Disponível em: <https://visionscarto.net/water-cycle> Acesso em 12/02/2020
- Razão entre vazão e precipitação. Disponível em: Lima CJG de S, Salvador CA, Alves DG, Silva EM da, Mendonça FC, Silva JF, José JV, Pimentel J da S, Jacomazzi MA, Folegatti MV, Mingoti R, Coelho RD, Duarte SN, Wolf W, Souza W de J. Hidrologia. 2012 . Acesso em 12/02/2020
- Esquema de bacia hidrográfica em 3D. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/259575661\\_Os\\_Ecossistemas\\_Ribeirinhos/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/259575661_Os_Ecossistemas_Ribeirinhos/figures?lo=1) Acesso em 12/02/2020
- Área e Mapa em 3D da Bacia hidrográfica do rio Gurujá. Disponível em: BARBOSA, Maria Emanuella Firmino; FURRIER, Max. ANÁLISE DE BACIA HIDROGRÁFICA COMO SUBSÍDIO PARA DETECÇÃO DE NEOTECTÔNICA: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GURUJÁ, LITORAL SUL DO ESTADO DA PARAÍBA. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 1, p. 10-18, 2011. Acesso em 12/02/2020.
- Balanço Volumétrico. Disponível em: Lima CJG de S, Salvador CA, Alves DG, Silva EM da, Mendonça FC, Silva JF, José JV, Pimentel J da S, Jacomazzi MA, Folegatti MV, Mingoti R, Coelho RD, Duarte SN, Wolf W, Souza W de J. Hidrologia. 2012 . Acesso em 12/02/2020
- Papel Milimétrico. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1034117247-papel-milimetrado-a4-bloco-c-50-folhas-jandaia- JM> . Acesso em 12/02/2020
- Planímetro. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Plan%C3%ADmetro#/media/Ficheiro:Planimeter.jpg> Acesso em 12/02/2020
- Bacia no AutoCAD Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qVZ6WIG4h3w> Acesso em 12/02/2020
- Bacia no Spring. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5vcYdjz7kk> Acesso em 12/02/2020
- Bacia no Idrisi. Disponível em: <https://clarklabs.org/terrset/idrisi-gis/> Acesso em 12/02/2020
- Bacia no ArcQis. Disponível em: <http://www.clickgeo.com.br/clip-dados-vetoriais-no-arcmap/> Acesso em 12/02/2020
- Bacia no QGIS. Disponível em: <http://www.clickgeo.com.br/geracao-bacias-hidrograficas-qgis-grass/> Acesso em 12/02/2020