

# Da Geologia à Hidrogeologia

**Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB**

Superintendência de Implementação de Programas e  
Projetos – SIP

Letícia Lemos de Moraes



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

# ASSUNTOS

## TEMAS



1

Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

2

Tipos de rocha x tipo de aquífero

3

Influência do Relevo, Clima, Solo e Uso do Solo

4

Ciclo Hidrológico (Visão Integrada)

5

Mapa de aquíferos do Brasil



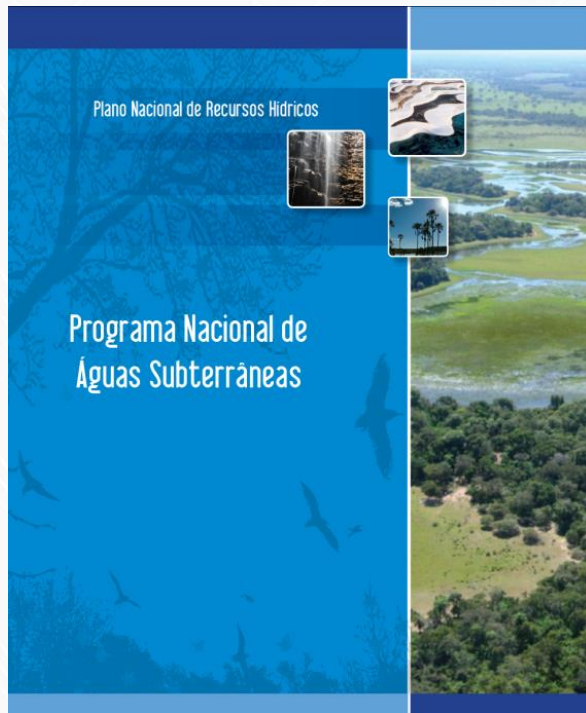
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

#AÁguaÉUmaSó

# Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

# Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

## Plano Nacional de Recursos Hídricos



*Executores diretos:*

Nível Federal

**ANA**

*SNSH/MDR*

*CPRM*

Nível Estadual

*órgãos gestores*

Subprograma VIII.1 – Ampliação do Conhecimento Hidrogeológico

Subprograma VIII.2 - Desenvolvimento dos Aspectos Institucionais e Legais

Subprograma VIII.3 - Capacitação, Comunicação e Mobilização Social

# Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Agenda de Ações para a gestão Integrada



**Ação A:** *Promoção da gestão integrada de aquíferos conectados com rios federais*

**Ação B:** *Elaboração de Avaliações Hidrogeológicas*

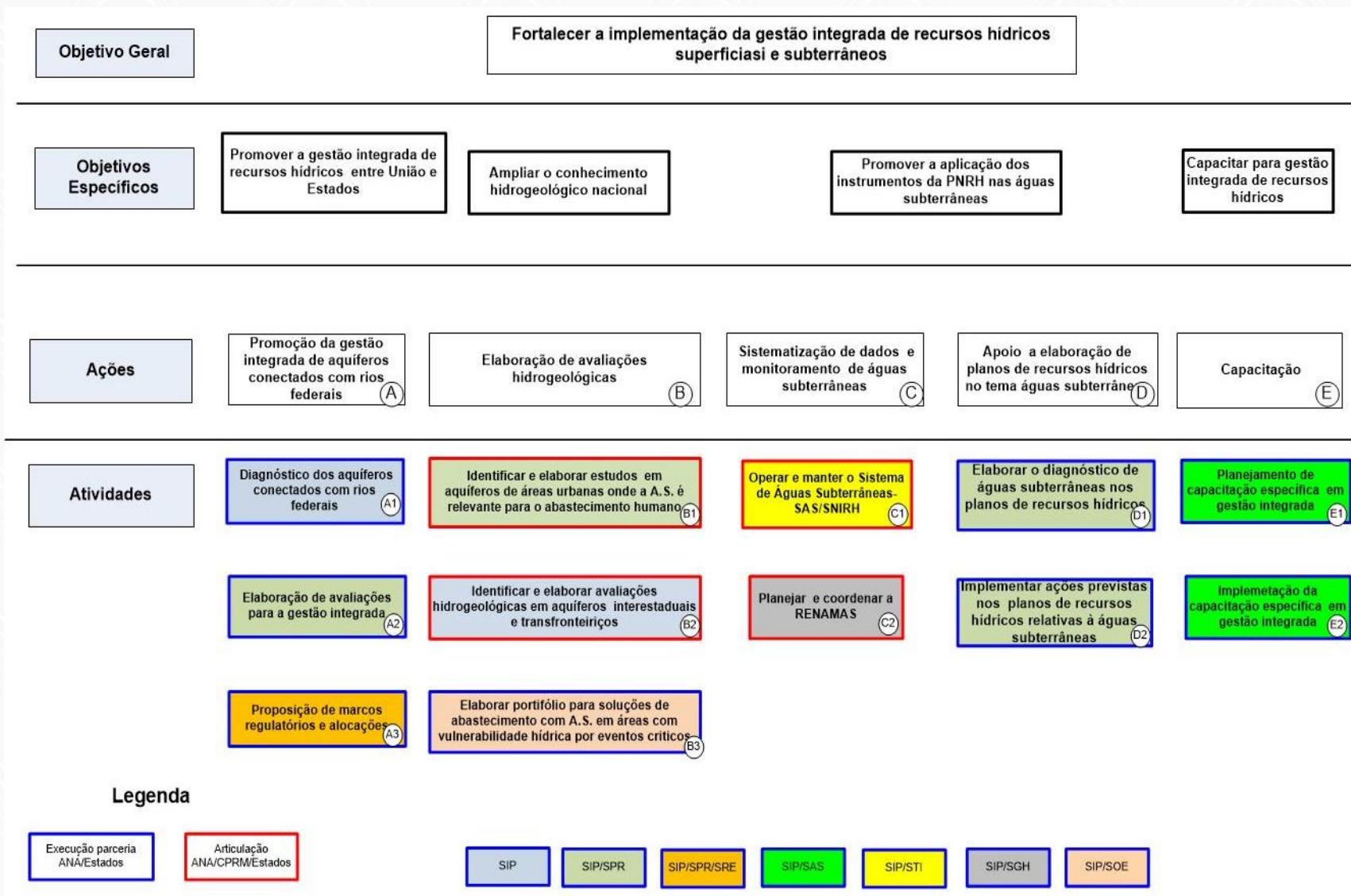
**Ação C:** *Sistematização de dados e monitoramento de águas subterrâneas*

**Ação D:** *Apoiar a elaboração de planos de recursos hídricos no tema águas subterrâneas*

**Ação E:** *Capacitação*

# Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

## Agenda de Ações para a gestão Integrada



# Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Agenda de Ações para a Gestão Integrada

## Atividades em andamento

- Estudos Hidrogeológicos da **Região Metropolitana de São Luís/MA**: Subsídios para o Uso Sustentável dos Recursos Hídricos.
- Estudos Hidrogeológicos das Regiões Urbana e Periurbana de **Manaus/AM**: Subsídios para o Uso Sustentável dos Recursos Hídricos.
- Estudos integrados nas bacias dos rios **Carinhanha e Verde Grande** com vistas à proposição de marcos regulatórios com abordagem compartilhada e integrada
- Definição de metodologias para **estimativas de Escoamento de Base** e de rotinas de cálculo automatizado para subsidiar o balanço hídrico integrado.

## Atividades em andamento

- Definição de metodologias para a avaliação e incorporação de **estações fluviométricas** representativas do **escoamento de base** na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR); bem como para incorporação de pontos de **monitoramento** de **aquíferos** relevantes ao **escoamento de base** de rios **federais** .
- Proposta de Rede Monitoramento de aquíferos para a bacia do rio Paranapanema (implementação do PIRH).
- Definir **metodologias** para a seleção de **áreas** de **recarga** para a implantação de **práticas agrícolas** conservacionistas com vistas ao aumento da **segurança hídrica**.

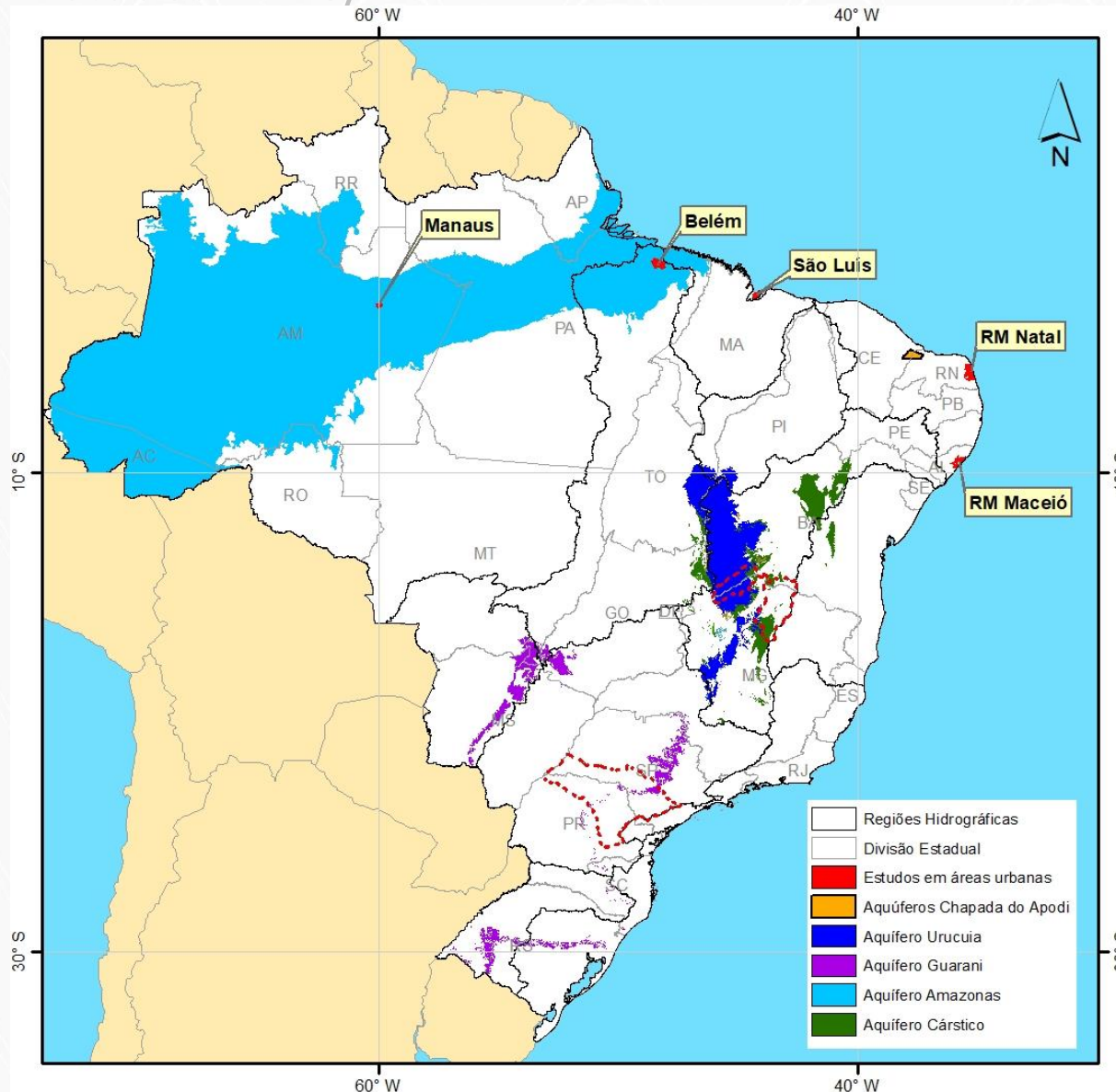


## Atividades Permanentes

- ❑ Área responsável pela avaliação da **meta federativa do PROGESTÃO: Integração dos dados de usuários de recursos hídricos** - Parte 2- Complementação no CNARH de dados adicionais sobre águas subterrâneas referentes aos poços de usuários regularizados;
- ❑ Área técnica responsável no GTPEG- Grupo de Trabalho Interinstitucional de Atividades de Exploração e Produção de Óleo e Gás- pela **avaliação de aquíferos** com vistas a avaliação prévia de áreas e blocos a serem licitados pela ANP para **petróleo, gás e shale gas** ;
- ❑ Coordenação nacional de projeto de hidrologia isotópica junta a AIEA;

# Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Estudos PNAS/PNRH



## ➤ 21 Estados envolvidos

Aquíferos interestaduais ou transfronteiriços

- ✓ Aquíferos da Chapada do Apodi
- ✓ Sistema Aquífero Urucuia (SAU)
- ✓ Estudo da Vulnerabilidade do Aquífero Guarani (SAG)
- ✓ Aquíferos da Prov. Hidr. do Amazonas
- ✓ Aquíferos Cársticos na Bacia do São Francisco

- Bacias rios Verde Grande e Carinhanha
- Bacia rio Paranapanema

Estudos em áreas urbanas

- ✓ Região Metropolitana de Maceió
- ✓ Região Metropolitana de Natal
- ✓ Belém (PA)

- Ilha de São Luís (MA)
- Manaus (AM)

- ✓ Finalizado
- Em andamento

# Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

## Estudos PNAS/PNRH

2010



2011



2012



2015



2016



2017



2018



2018



<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>

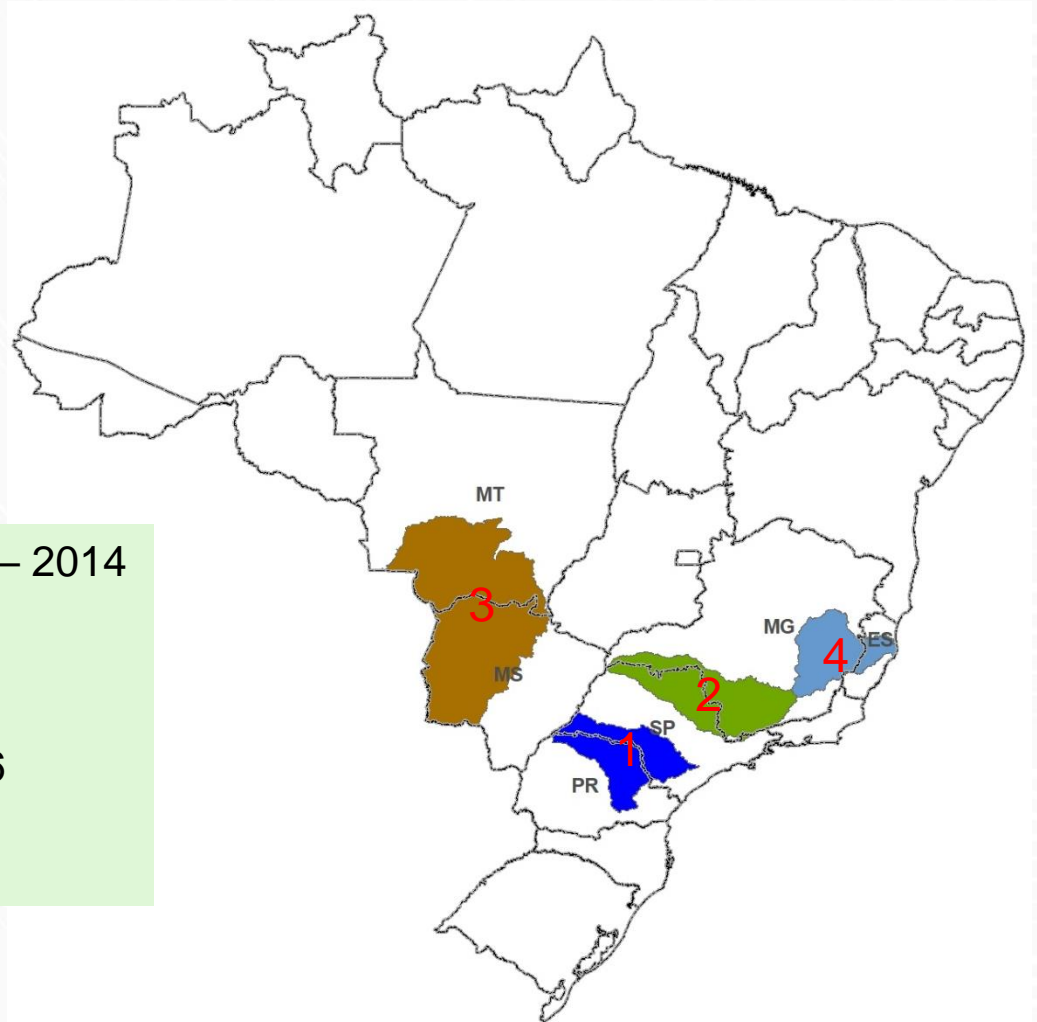
#AÁguaÉUmaSó

# Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

## Diagnóstico Hidrogeológico nos Planos de Bacia

### Avaliação Integrada da Disponibilidade Hídrica

- 1 – Bacia do Rio Paranapanema – 2014
- 2 – Bacia do Rio Grande – 2015
- 3 – Bacia do Rio Paraguai – 2016
- 4 - Bacia do rio Doce - 2019





AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

#AÁguaÉUmaSó

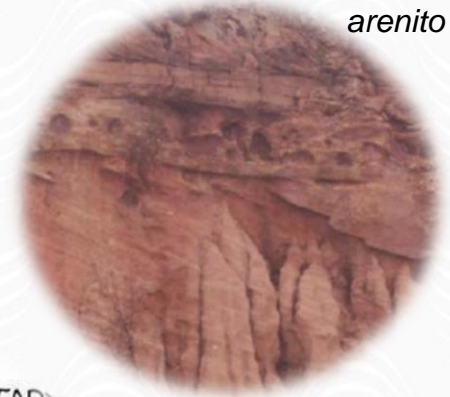
# Rochas e Aquíferos

## TIPOS DE ROCHAS

granito



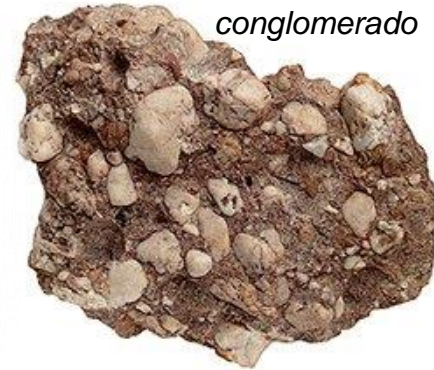
arenito



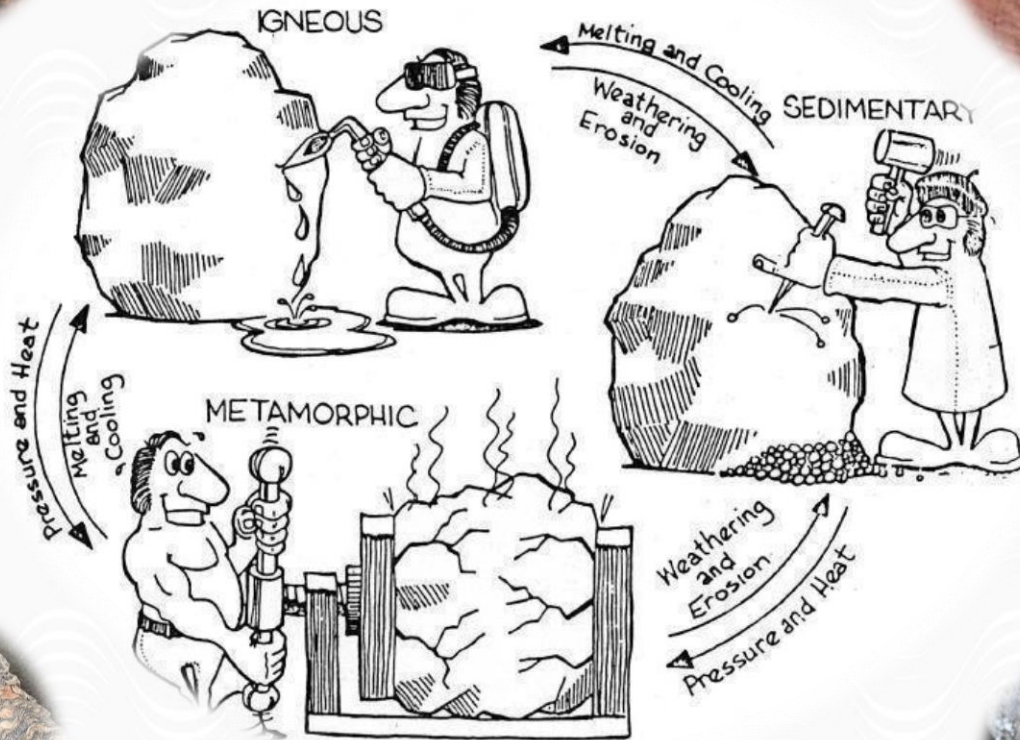
basalto



conglomerado



gnaisse



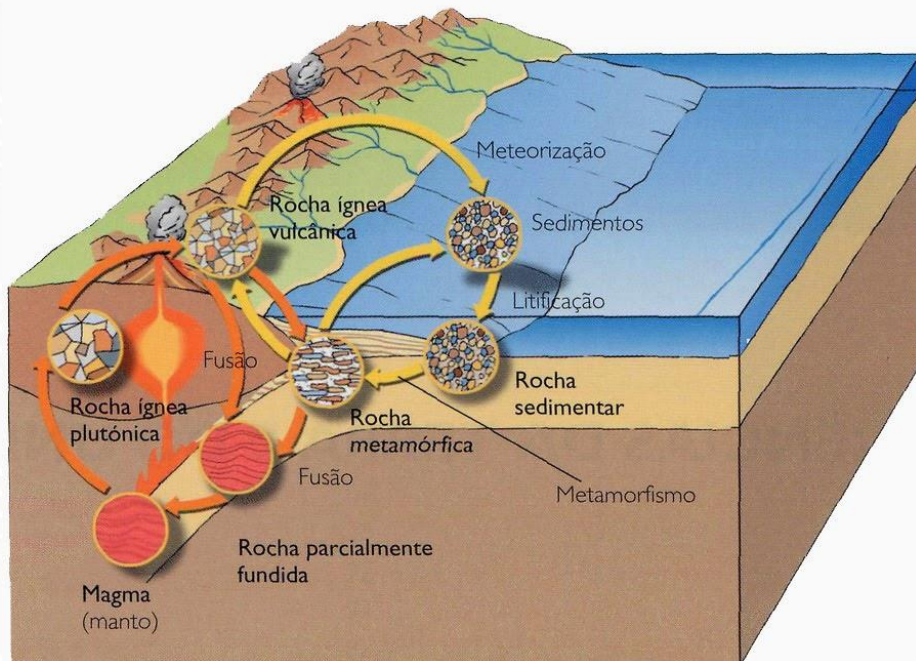
Xisto



Fonte: [http://letthememoriesbeginconf.blogspot.com.br/2015\\_08\\_01\\_archive.html](http://letthememoriesbeginconf.blogspot.com.br/2015_08_01_archive.html)

## TIPOS DE ROCHAS

Define as características intrínsecas dos aquíferos como o tipo de porosidade, a permeabilidade (conexão entre poros), grau de heterogeneidade, o potencial para armazenar e transmitir água.



Rochas  
Sedimentares  
Detríticas



Porosidade  
entre fragmentos  
e grãos

Rochas  
Sedimentares  
Não detríticas



Porosidade  
em fissuras e  
cavidades

Rochas Ígneas  
e Rochas  
Metamórficas



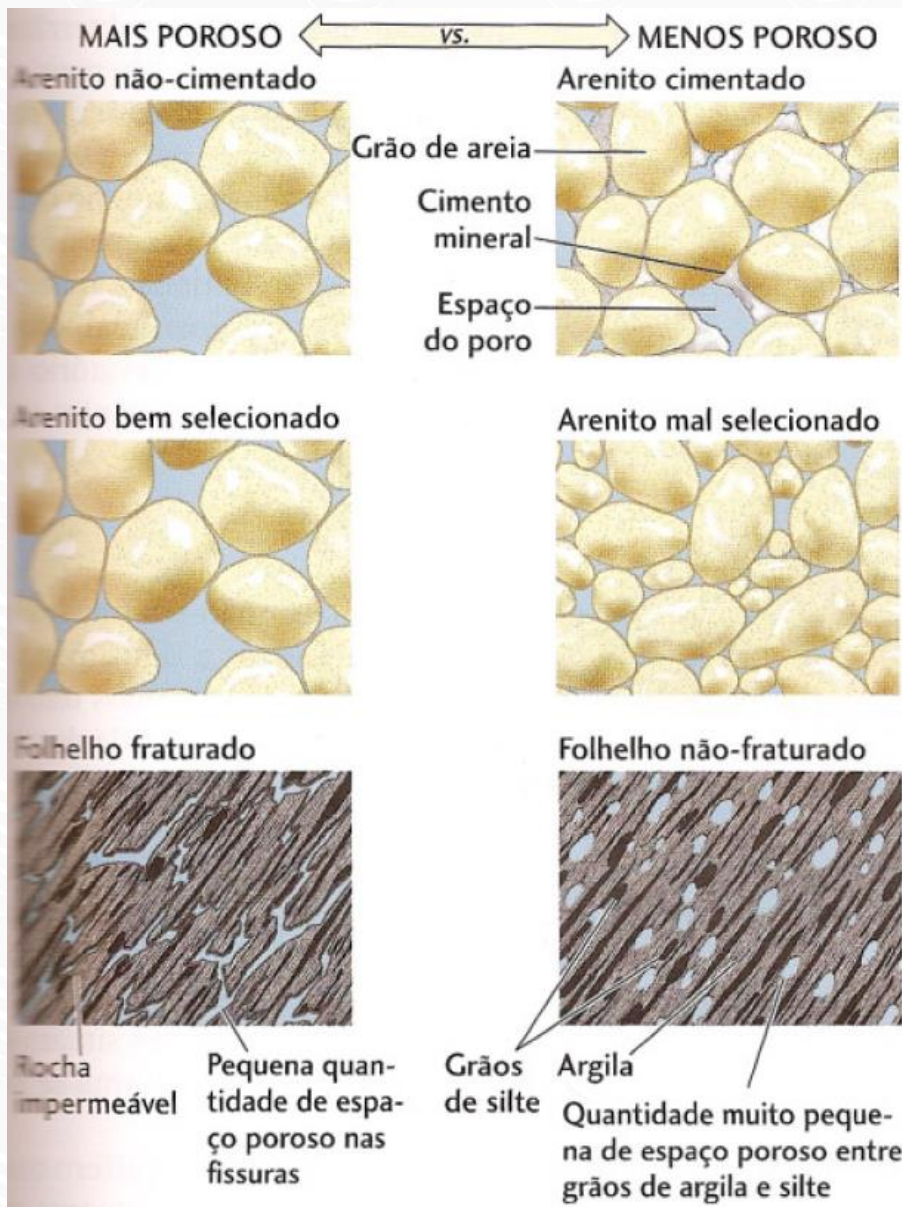
Porosidade  
em  
Fissuras

## Faixa de valores de porosidade

Material	Porosidade (%)	Porosidade efetiva (%)
Argila	45	3
Areia	35	25
Pedregulho	25	22
Pedregulho e areia	20	16
Arenito	15	8
Calcáreo e folhelho	5	2
Quartzito e granito	1	0.5



# Interface Geologia x Hidrogeologia



Nos materiais granulares o potencial hidrogeológico dependerá do tamanho, da forma e do arranjo dos grãos. De maneira geral, rochas arenosas caracterizam bons aquíferos, enquanto as de composição argilosa possuem potencial muito baixo ou nulo.

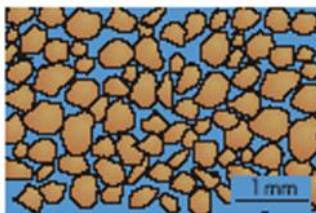
Tipo de Rocha	Porosidade	Permeabilidade
Cascalho	Muito alta	Muito alta
Areia Grossa a média	Alta	Alta
Areia fina e silte	Moderada	Moderada a baixa
Arenito, moderadamente cimentado	Moderada a baixa	Baixa
Folhelho fratura ou rochas metamórficas	Baixa	Muito baixa
Folhelho não-fraturado	Muito baixa	Muito baixa

## Classificação dos aquíferos quanto ao tipo de porosidade

### 1- Aquífero Poroso ou granular – porosidade primária

Água armazenada nos espaços entre os grãos da rocha ou solo

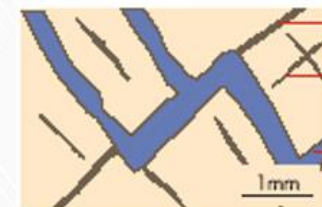
①



②



③

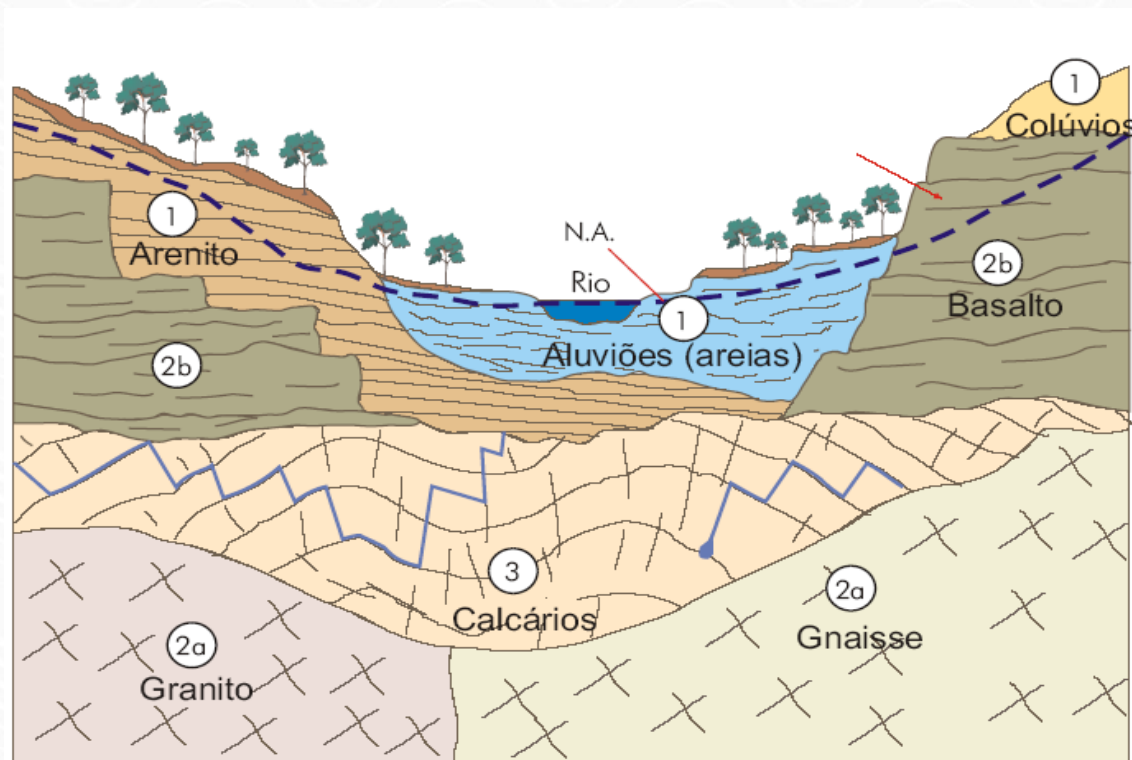


### 2 - Aquífero Fissural ou Fraturado – porosidade secundária

Água armazenada nas fraturas interconectadas da rocha

### 3 - Aquífero Cárstico - porosidade secundária

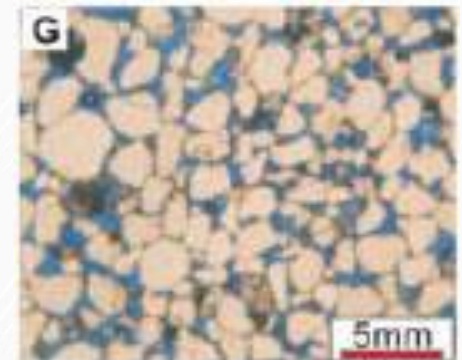
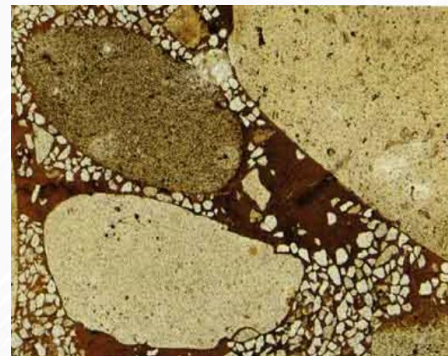
Água armazenada nos condutos e canais da rochas carbonáticas





## 1 AQUÍFEROS POROSOS

Rochas sedimentares e sedimentos não consolidados - arenitos, siltitos, areias, cascalho



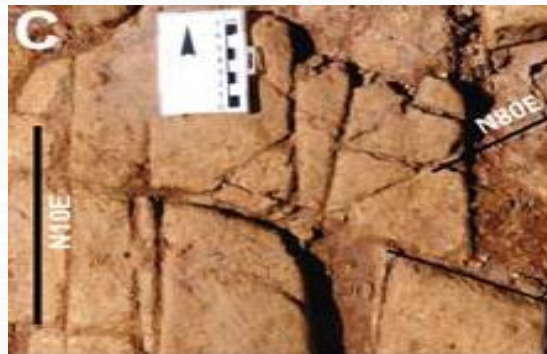
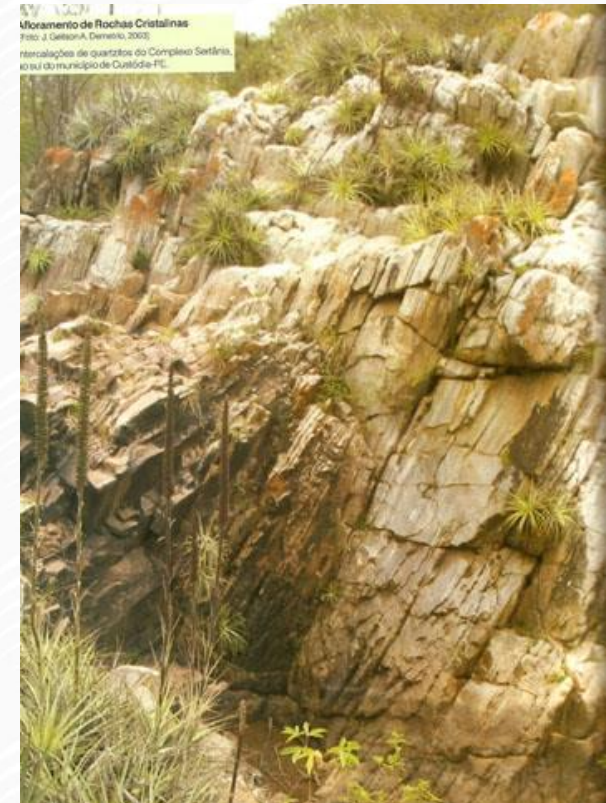
## 2 AQUÍFEROS FISSURAIS

Granito



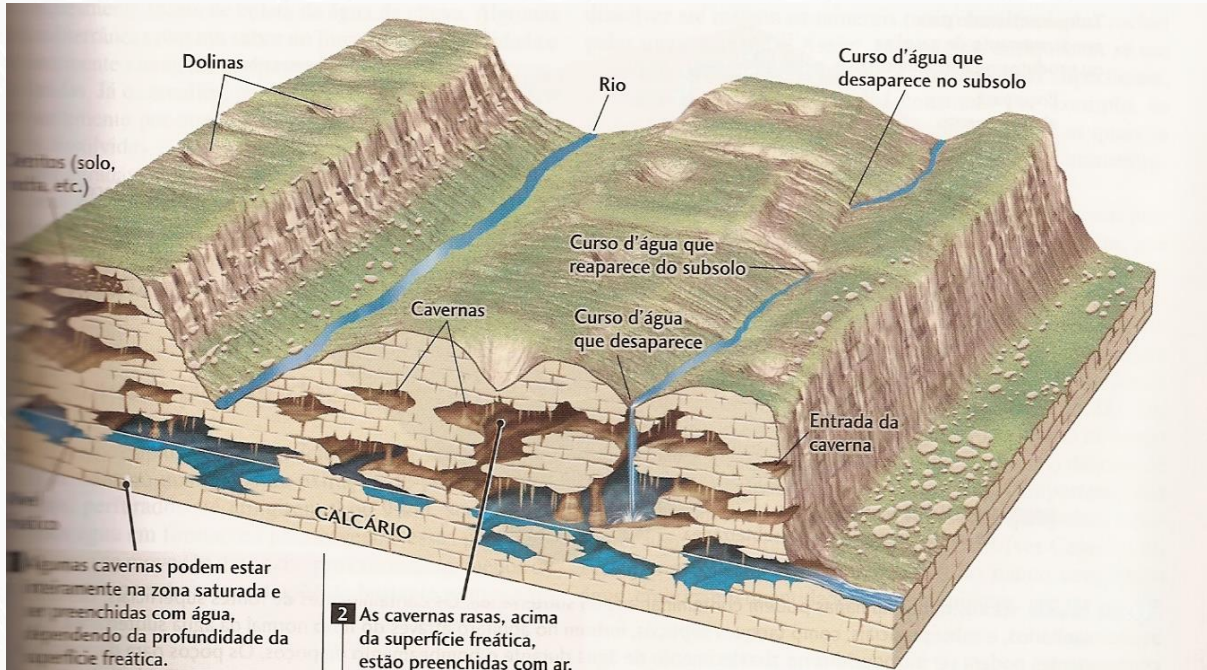
Rochas maciças e compactas -  
ígneas e metamórficas

Quartzito



# Interface Geologia x Hidrogeologia

## 3 Aquíferos cársticos

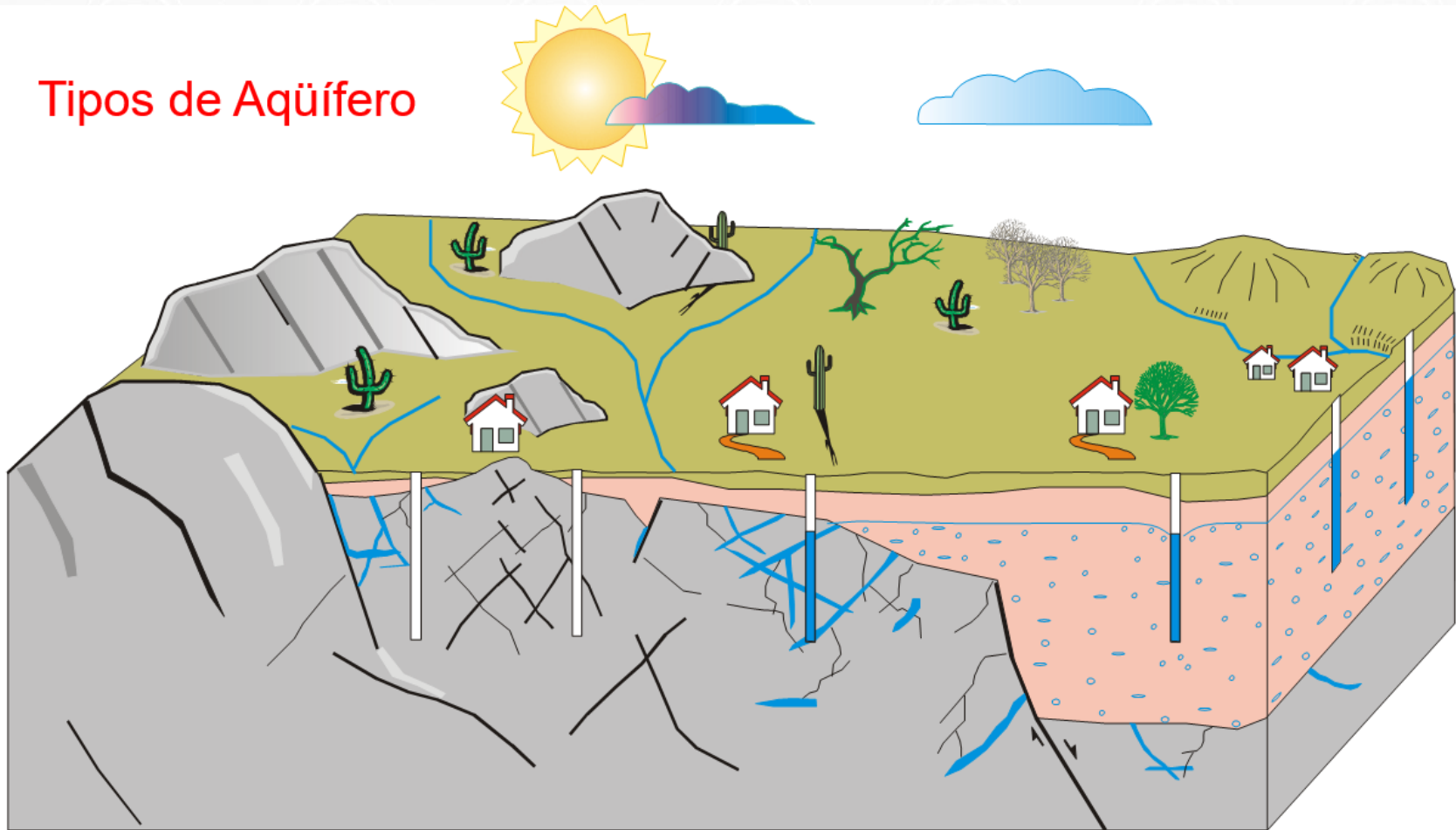


Fonte: Para Entender a Terra, 2006 (4ª edição)

ROCHAS CARBONÁTICAS: Calcários, dolomitos, margas



## Tipos de Aquífero

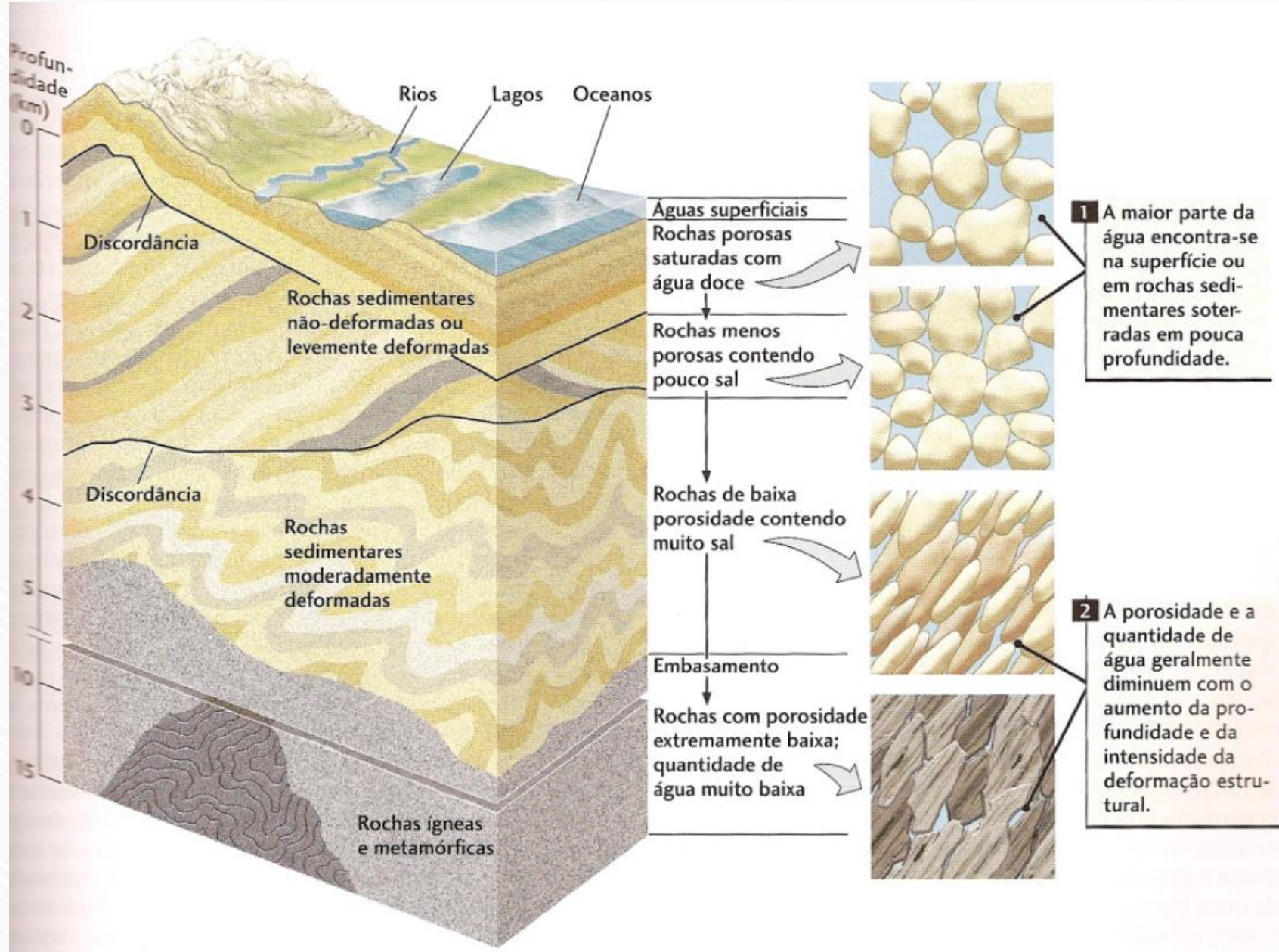


 **Rochas Cristalinas e Cársticas (Anisotrópicas)**

 **Rochas Sedimentares (Isotrópicas)**

# Interface Geologia x Hidrogeologia

## Controle estrutural e Estratigráfico

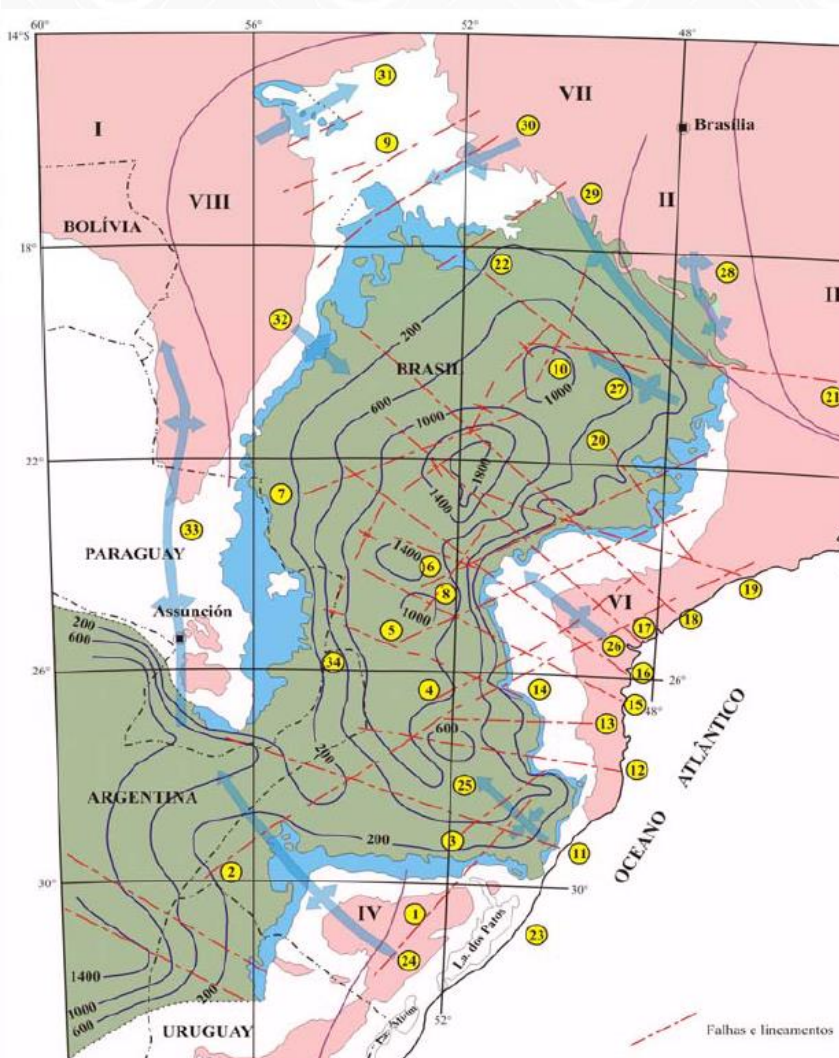


# Interface Geologia x Hidrogeologia

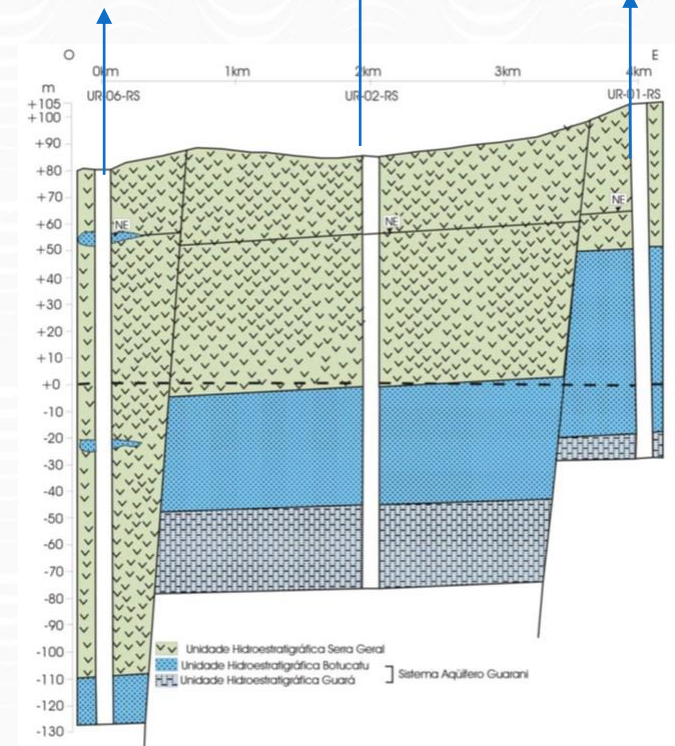
## Controle estrutural e Estratigráfico

Compartimentação estrutural do SAG:

- ❑ Potencialidades Diversas
- ❑ Qualidade da água Diversa



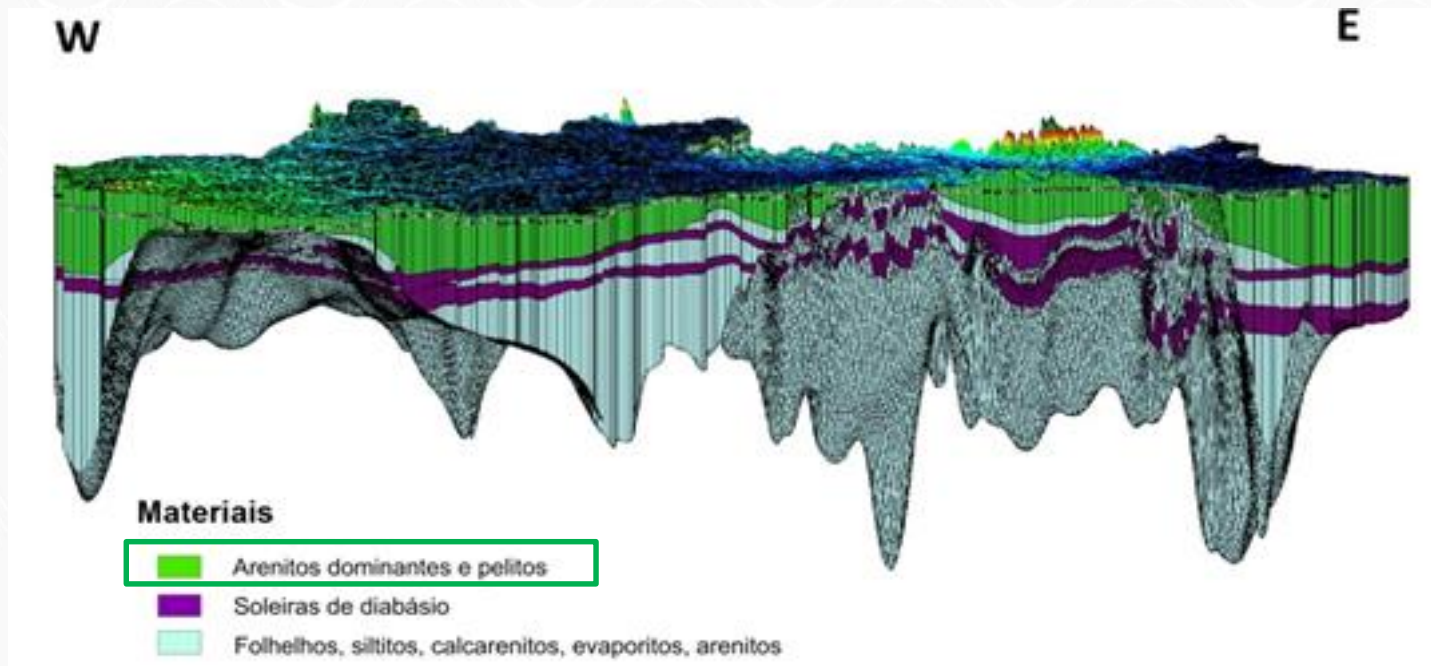
10 m<sup>3</sup>/h/m      6 m<sup>3</sup>/h/m      1,7 m<sup>3</sup>/h/m





# Interface Geologia x Hidrogeologia

## Controle estrutural e Estratigráfico



- Modelo Conceitual do Sistema Aquífero Amazonas

Espessura camadas aquíferas x reservas

Relação entre camadas aquíferas e não aquíferas

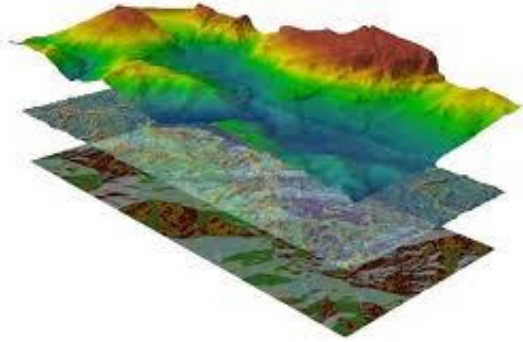
Profundidades limite para exploração (1 km) economicamente viável por poços



#AÁguaÉUmaSó

Relevo, Clima, Solo,  
Uso do Solo

# Relevo, Clima, Solo e Uso do Solo



São fatores que influenciam no mecanismo de infiltração, percolação, armazenamento e qualidade da água



# Relevo

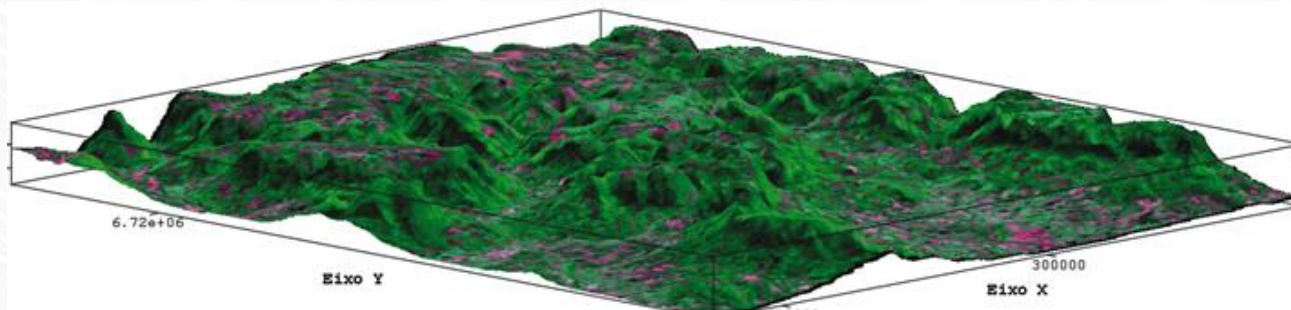
## Declividade

- As **maiores taxas** de recarga, em geral, ocorrem nas **regiões planas**, onde a água tem maior tempo para **infiltrar** no solo quando comparado com um **relevo acentuado**, o qual privilegia o escoamento superficial em detrimento da infiltração.

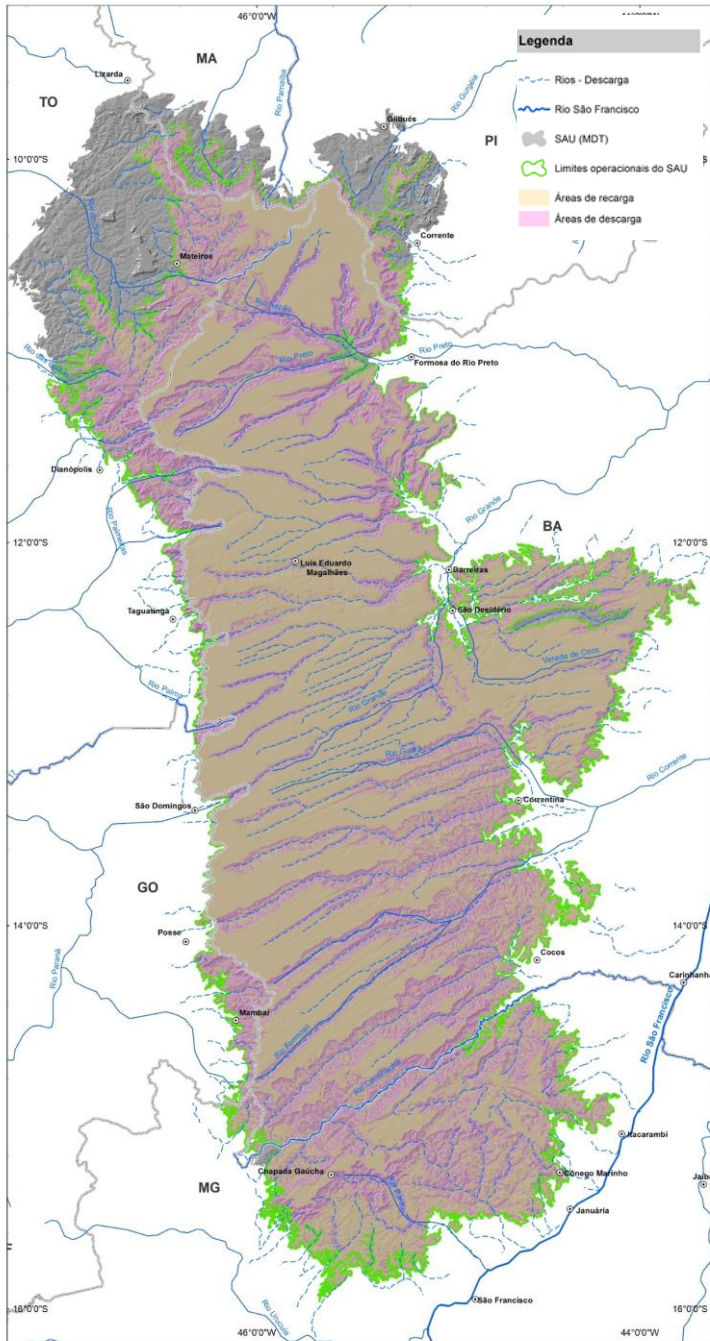
**Plano**  
0-3%  
**Suave-ondulado**  
3-8%

**Montanhoso**  
45-75%  
**Forte-montanhoso**  
>75%

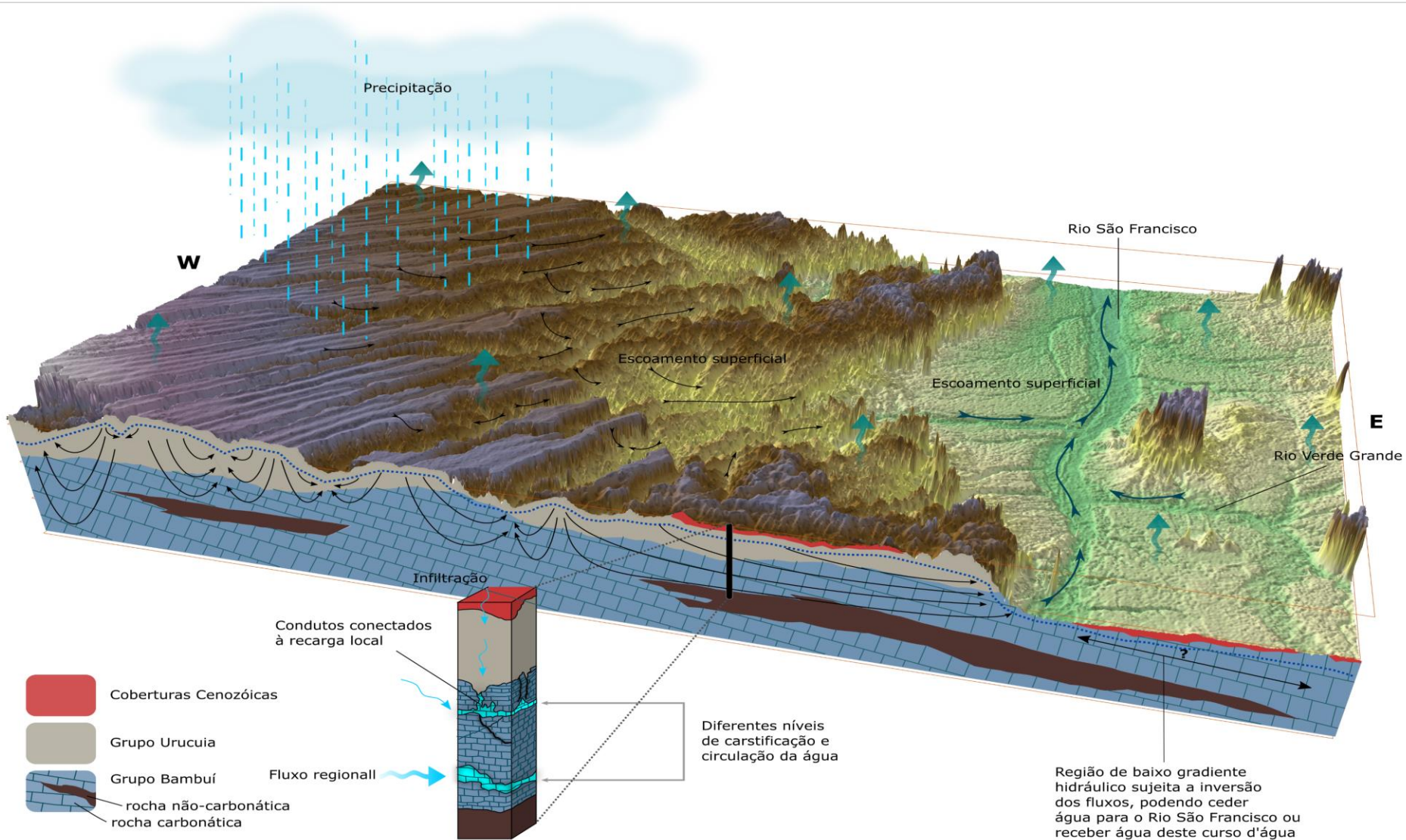
**Ondulado**  
8-20%  
**Forte-Ondulado**  
20-45%

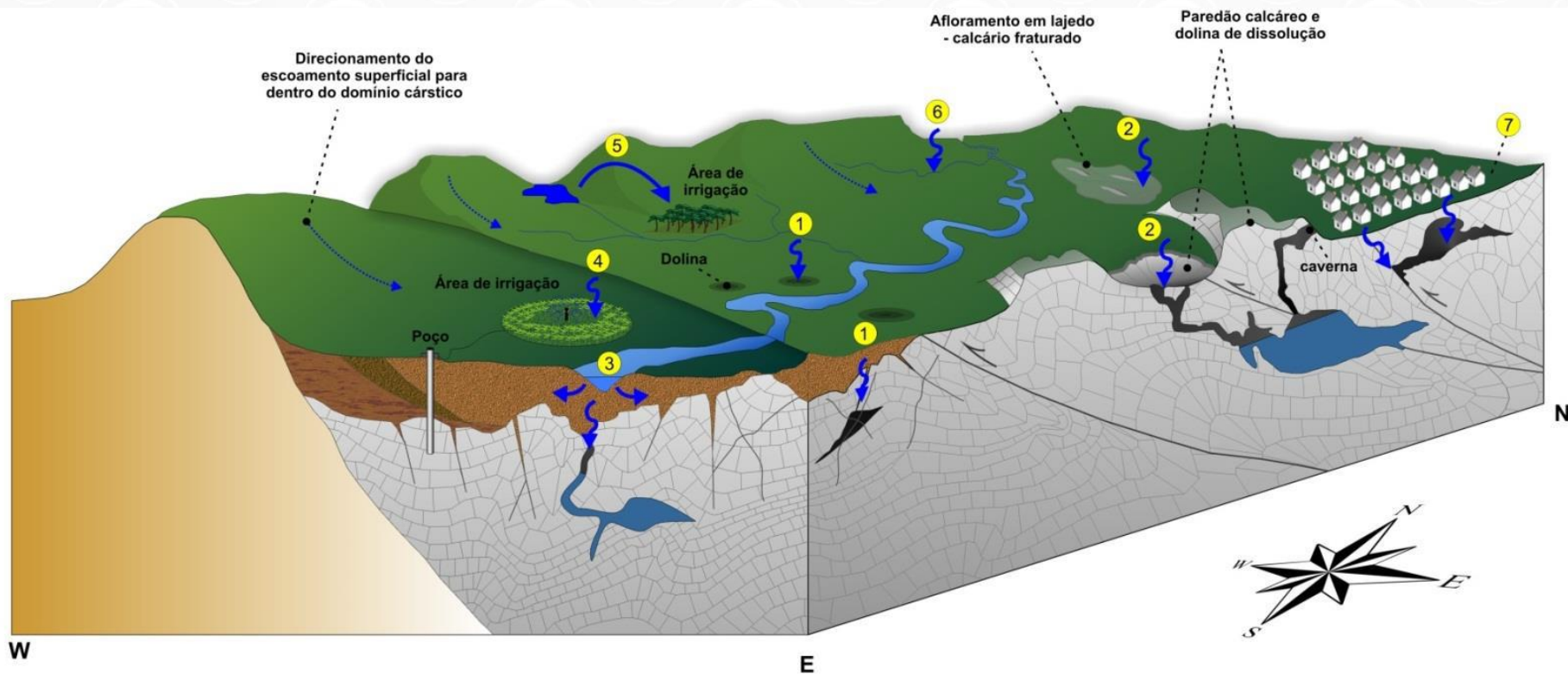





# Relevo



Áreas aplainadas favorecem  
infiltração/recarga





-  COBERTURAS CENOZOICAS
-  FORMAÇÃO SALITRE NEOPROTEROZOICO
-  UNIDADES PALEO A MESOPROTEROZOICA

-  FALHA INVERSA
-  FRATURAS

## TIPOS DE RECARGA

- 1 - RECARGA PELA INFILTRAÇÃO NOS SOLOS QUE RECOBREM A ROCHA CARBONÁTICA E EM DOLINAS EM SOLO
- 2 - RECARGA EM FEIÇÕES CÁRSTICAS DE ROCHA AFLORANTE
- 3 - RECARGA NAS CALHAS DOS RIOS NO SUBSTRATO CARBONÁTICO
- 4 - RECARGA ARTIFICIAL POR IRRIGAÇÃO UTILIZANDO ÁGUA SUBTERRÂNEA

- 5 - IRRIGAÇÃO DE CULTIVOS SOBRE ÁREA CÁRSTICA POR CAPTAÇÃO DE ÁGUAS FORA DO DOMÍNIO CÁRSTICO
- 6 - INFILTRAÇÃO NAS CALHAS FLUVIAIS DE CURSOS D'ÁGUA ORIGINADOS FORA DE TERRENO CÁRSTICO
- 7 - INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS PROVENIENTES DE VAZAMENTO DE ESGOTO E REDE DE ABASTECIMENTO

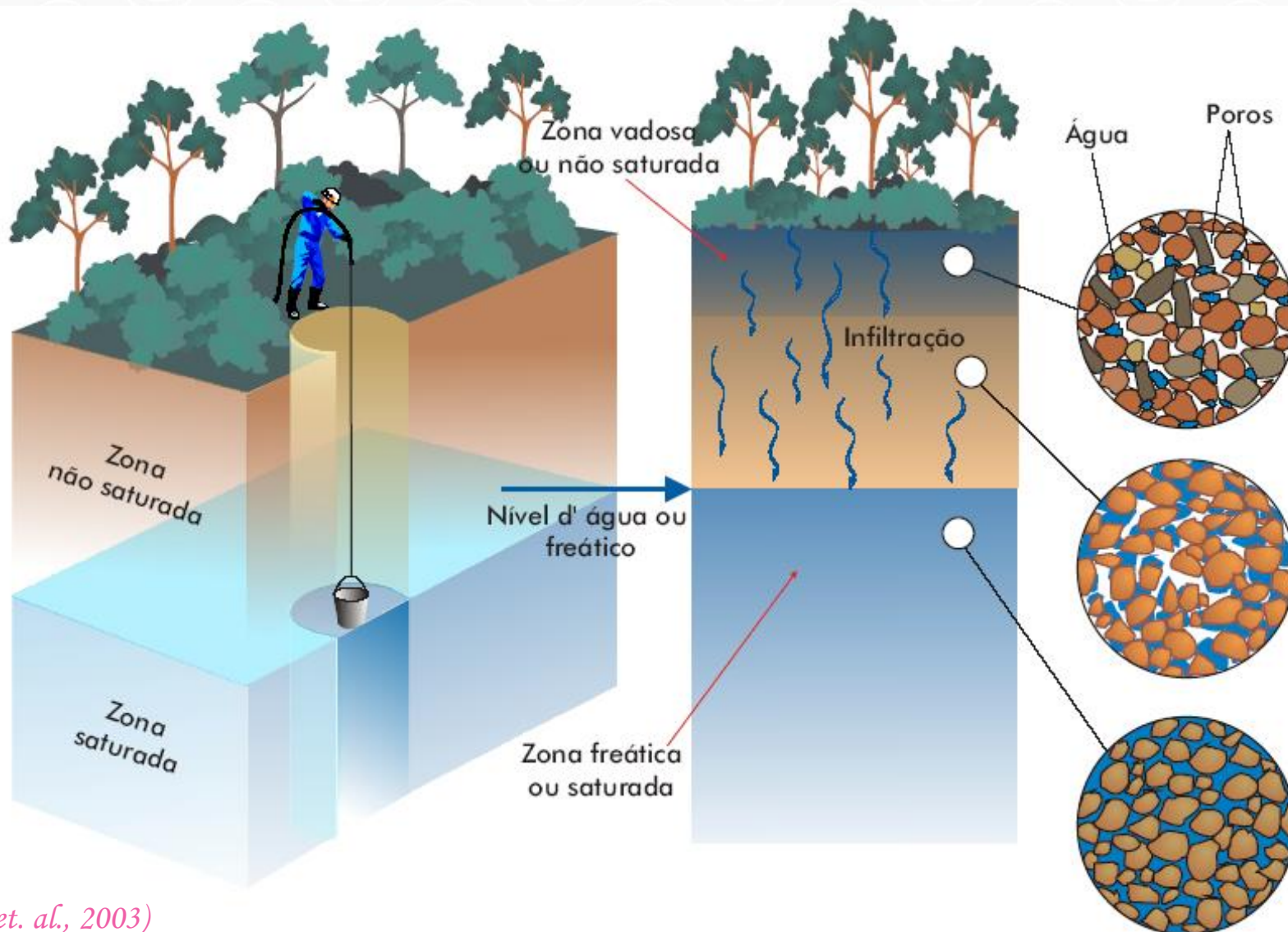
# SOLOS

- Espessura, composição e textura influenciam na recarga ou na sua caracterização como aquífero (usualmente captados por poços escavados)
- Possuem também importante papel como filtro a contaminantes
- A capacidade de infiltração/retenção de água vai depender também do tipo de cobertura vegetal e uso e ocupação





## Distribuição da água no solo



**QUADRO 6.1 - CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS INALTERADOS EM FUNÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE**

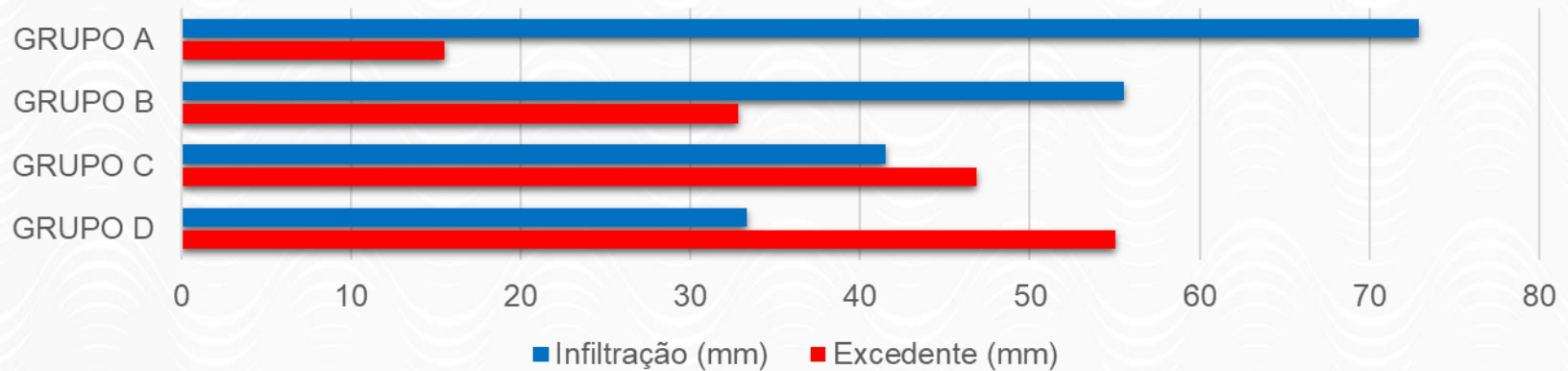
<i>Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)</i>	<i>Grau de Permeabilidade Terzaghi &amp; Peck (1967)</i>	<i>Tipo de Solo Mello &amp; Teixeira (1967)</i>
109 a 1	Alta	Pedregulhos
1 a 10 <sup>-1</sup>		Areias
10 <sup>-1</sup> a 10 <sup>-3</sup>	Média	
10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-5</sup>	Baixa	
10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-7</sup>	Muito Baixa	Argilas
< 10 <sup>-7</sup>	Praticamente Impermeável	

## CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DOS SOLOS

Grupo Hidrológico	Características	Exemplos
<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solos com <b>alta taxa</b> de infiltração (&gt; 7,62 mm/h);</li> <li><b>Alto grau</b> de resistência e tolerância à erosão;</li> <li>Solos bem ou excessivamente <b>drenados</b>;</li> <li>Solos com argila de <b>atividade baixa</b> (Tb);</li> </ul>	Latossolo amarelo, Latossolo vermelho, Latossolo vermelho amarelo.
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solos com <b>moderada</b> taxa de infiltração (3,81-7,62 mm/h);</li> <li>Solos <b>porosos</b> com gradiente textural variando entre 1,2m e 1,5m;</li> <li>Solos com argila de <b>atividade baixa</b> (Tb).</li> </ul>	Neossolo quartzarênico, Nitossolo háplico, Nitossolo vermelho.
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solos com <b>baixa</b> taxa de infiltração (1,27 - 3,81 mm/h);</li> <li><b>Baixa resistência</b>/tolerância à erosão;</li> <li>Apresenta mudança textural <b>abrupta</b>;</li> <li>Solos com argila de <b>atividade baixa</b> (Tb).</li> </ul>	Neossolo flúvico, Cambissolo húmico, Cambissolo háplico, Argissolo vermelho-amarelo.
<b>D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solos com taxa de infiltração <b>muito baixa</b> (0 - 1,27 mm/h);</li> <li>Solos <b>rasos</b>;</li> <li>Solos com argila de <b>atividade alta</b> (Ta);</li> <li>Solos orgânicos.</li> </ul>	Alissolo, Gleissolo, Organossolo, Plintossolo, Neossolo litólico, solos de mangue.

# SOLOS

## Infiltração x Grupo Hidrológico



**Aumento na infiltração em detrimento do escoamento superficial** quando o grupo hidrológico se altera de **D para A**.

## Grupos Hidrológicos Ae B



- Solos mais desenvolvidos, mais espessos, porosos. Favorecem a recarga

## Grupos Hidrológicos C e D



Cambissolo



Neossolo Litólico



Plintossolo

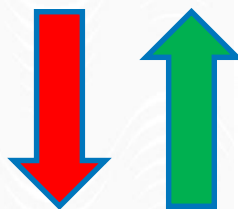


Gleissolo

- Solos pouco desenvolvidos, geralmente pedregosos, mais rasos, menos permeáveis, favorecem o escoamento superficial e solos mal drenados, que comumente estão associados a áreas de descarga.

# Uso e ocupação do solo

O uso e cobertura do solo está diretamente relacionada a **infiltração** do mesmo. Se sua ocupação é em sua maioria urbana, sua **impermeabilização** será maior, logo uma menor quantidade de água irá infiltrar.



# Uso e ocupação do solo

## Permeabilidade é influenciada pelo uso do solo

Ensaio de infiltração em solos com características granulométricas similares na área do aquífero Urucuaia



Resultados (Permeâmetro Guelph)

Solos em **cerrado nativo** (média de  $7,0 \times 10^{-3}$  cm/s)

Solos com **agricultura** (média de  $1,6 \times 10^{-3}$  cm/s)



Resultados (Infiltrômetro de Anel Duplo)

Solos em **cerrado** (média de  $1,6 \times 10^{-2}$  cm/s)

Solos com **agricultura** (média de  $3,4 \times 10^{-3}$  cm/s)

**SOLOS EM CERRADO SÃO MAIS PERMEÁVEIS QUE SOLOS COM ATIVIDADES AGRÍCOLAS!**



## Práticas conservacionistas

- As **práticas conservacionistas** tem como objetivo controlar as perdas de solo e **água** em terras agrícolas, além de ter o papel fundamental na **recarga dos aquíferos**. As práticas de terraceamento, curvas de nível e barraginhas bem projetadas são bastante eficientes.



### Terraceamento

- ✓ Redução de perdas de solo em 70% a 80% e de água em até 100% (RECARGA);
- ✓ Contenção das enxurradas;

### Barraginhas

- ✓ Aumento da infiltração (RECARGA);
- ✓ Diminuição da erosão do solo;
- ✓ Proteção dos corpos d'água do assoreamento e contaminação.

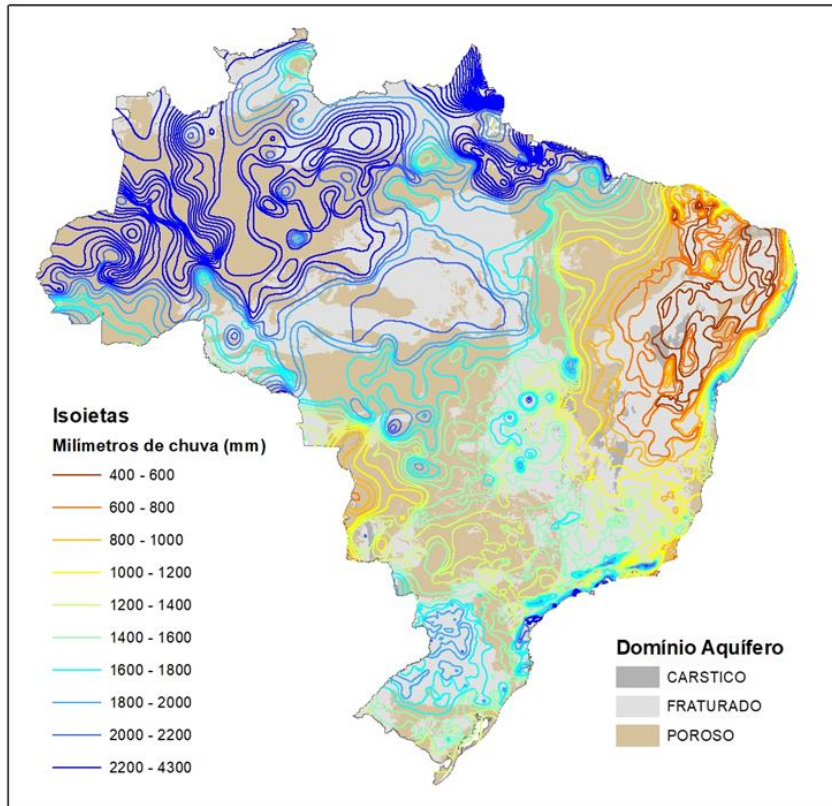


- INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA (MAIS ELEVADA NO CRISTALINO)
- INFLUÊNCIA NA QUANTIDADE DE ÁGUA (RECARGA)

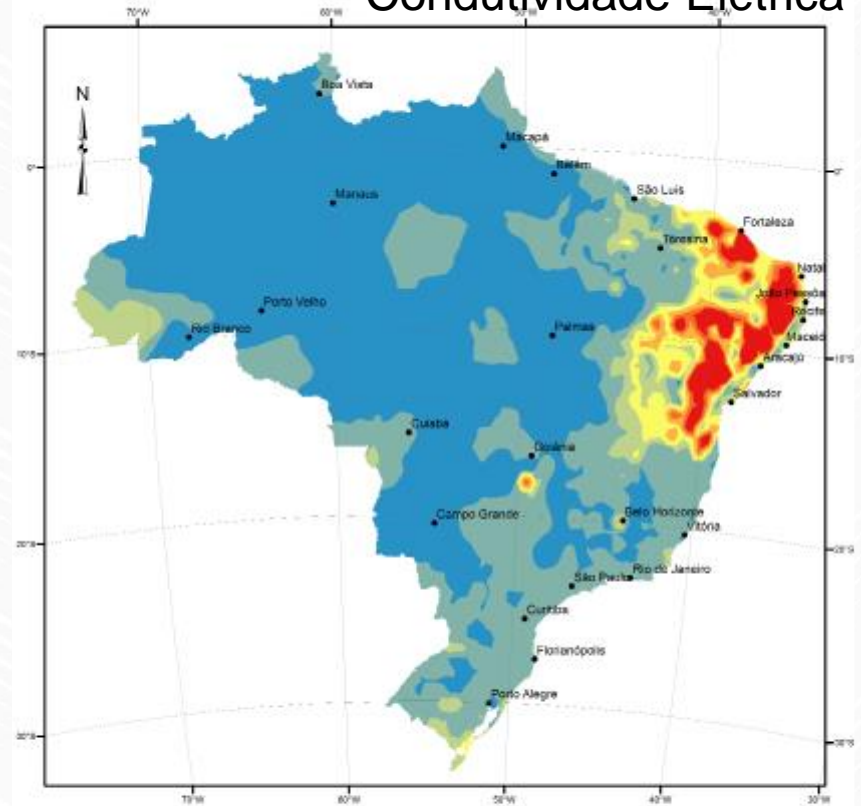


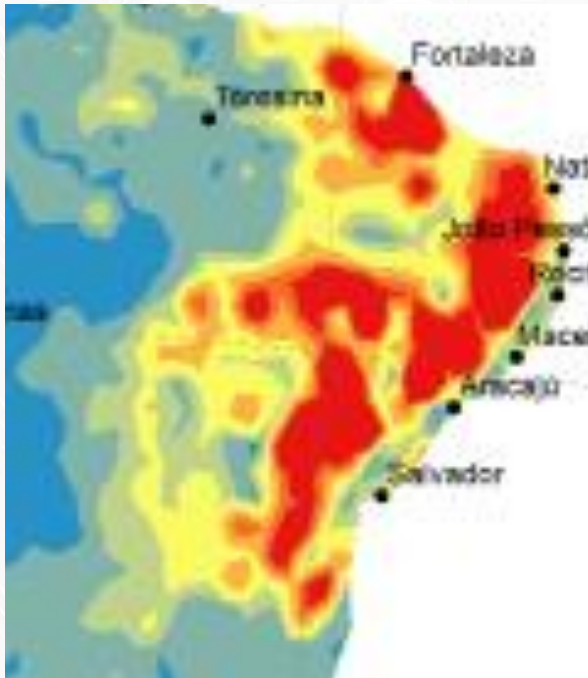
# Associação fatores intrínsecos e extrínsecos

Tipo de rocha x solos x clima → Produtividade e qualidade das águas dos aquíferos



## Condutividade Elétrica





## Semiárido

Rochas cristalinas (fraturado)

Pouca chuva

Solos Rasos



Aquíferos de baixa produtividade  
(vazões da ordem de 1 a 3 m<sup>3</sup>/h)  
e alta concentração de sais  
(STD de 1.000 a 35.000 mg/L)





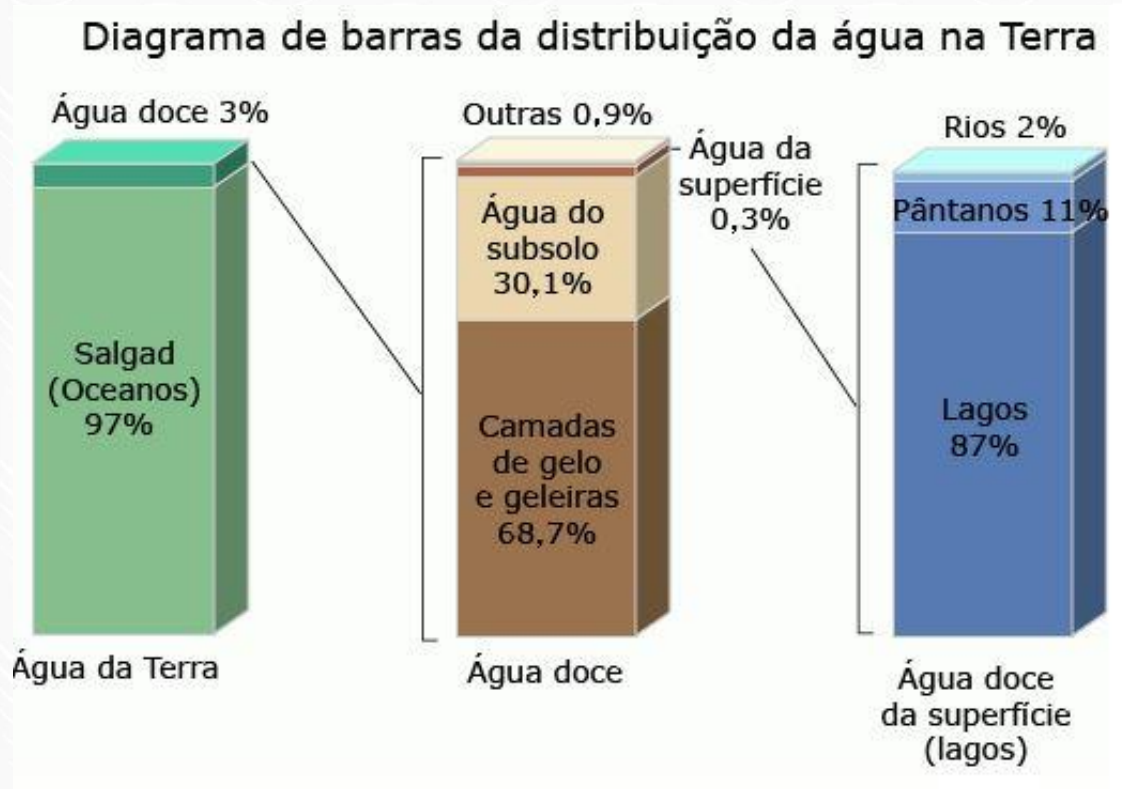
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

#AÁguaÉUmaSó

# Ciclo Hidrológico

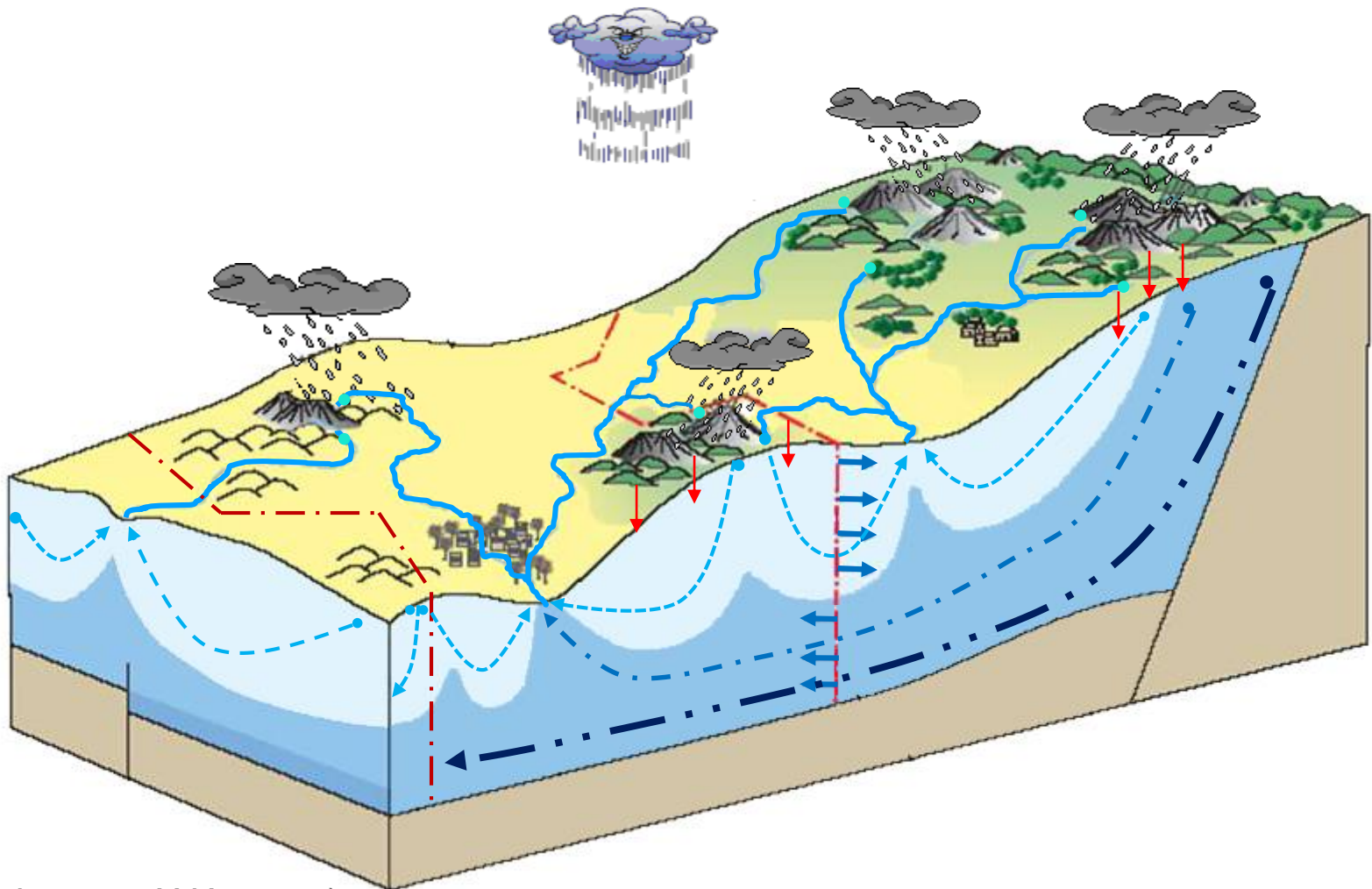


# Visão sistêmica do ciclo hidrológico



# Visão sistêmica do ciclo hidrológico

No período chuvoso, a água dos rios são provenientes tanto do escoamento superficial como da descarga subterrânea

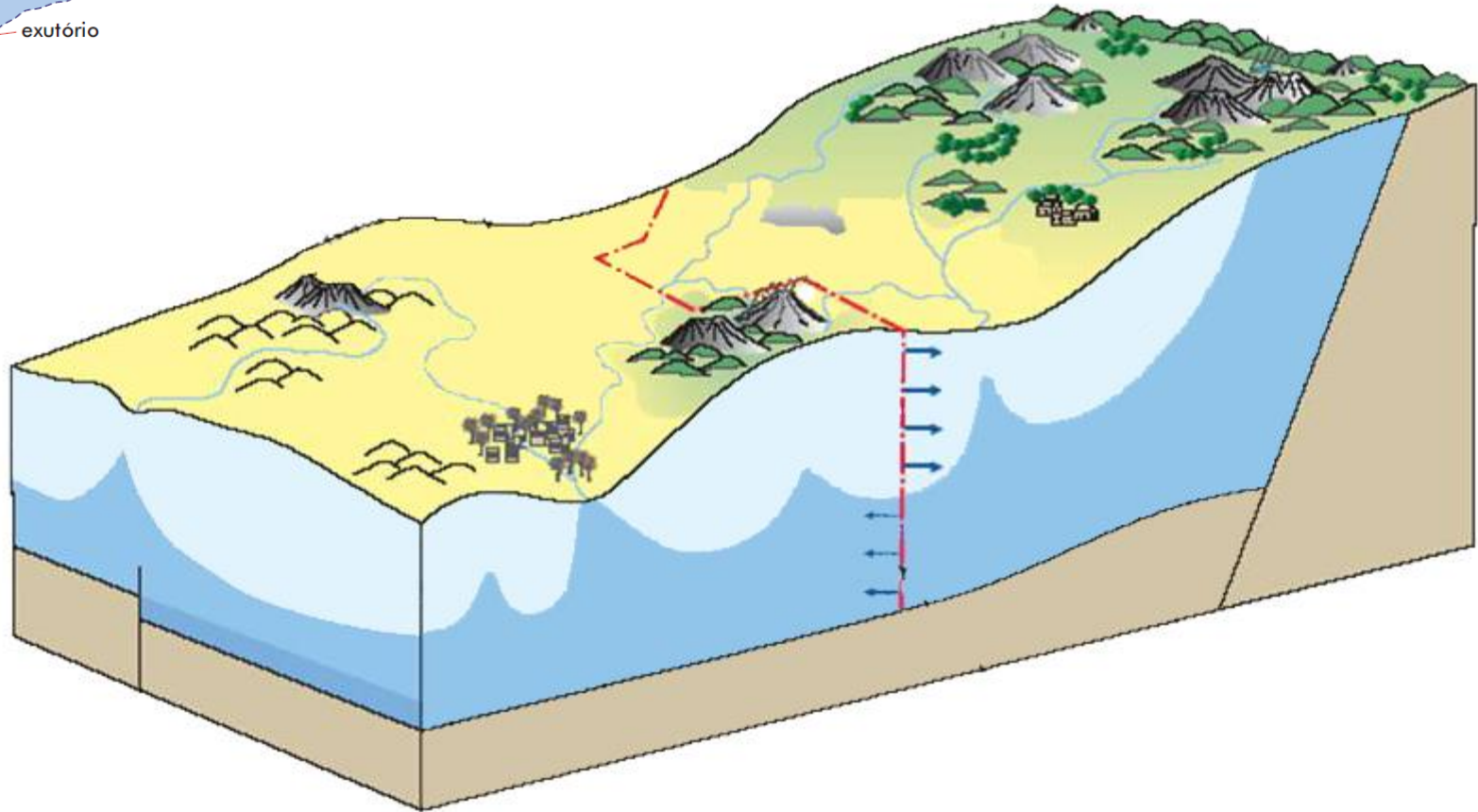
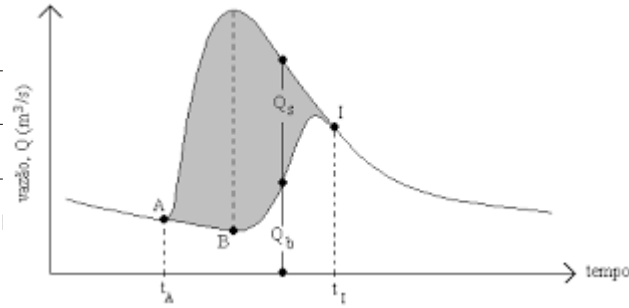
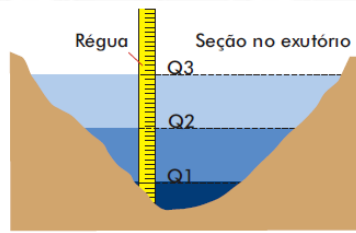
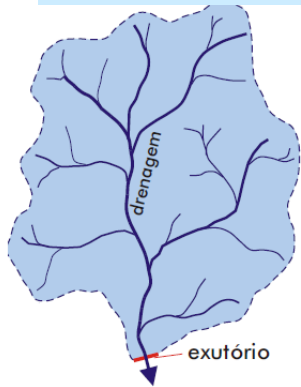


(Puri, 2002; ANA, 2010)

#AÁguaÉUmaSó



# Visão sistêmica do ciclo hidrológico

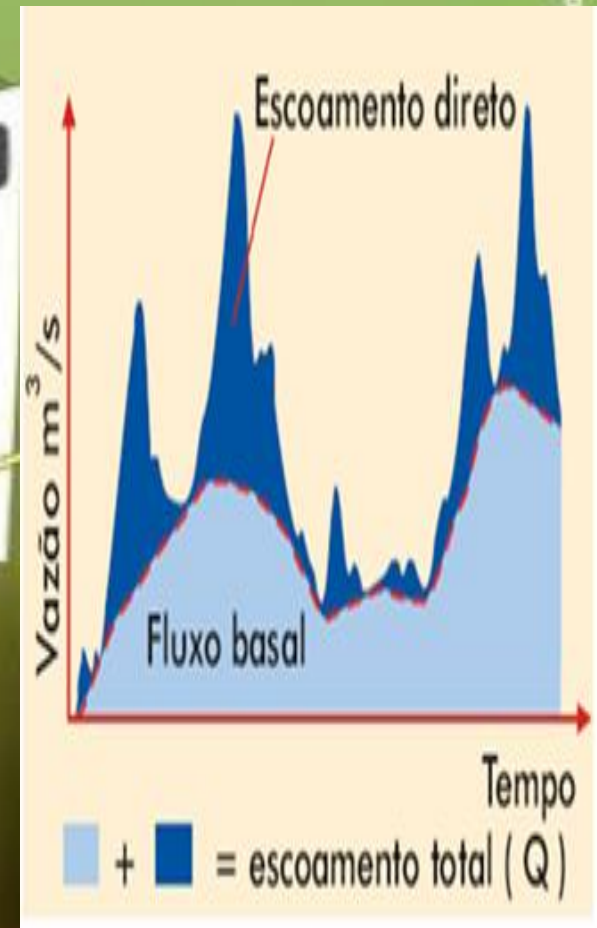


No período seco, a maior parte da água dos rios é de origem subterrânea

# A MIOPIA PARA COM O AQUÍFERO !

O que vê neste hidrograma?

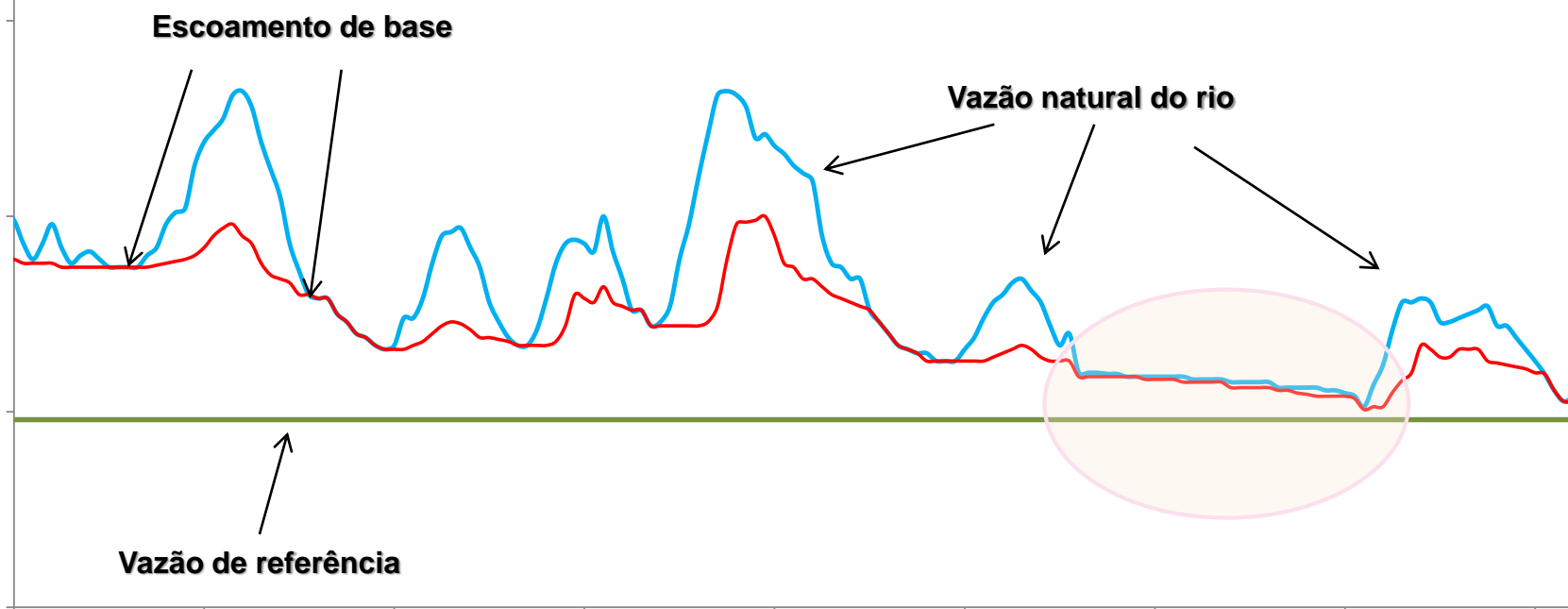
Humm... Só água superficial...

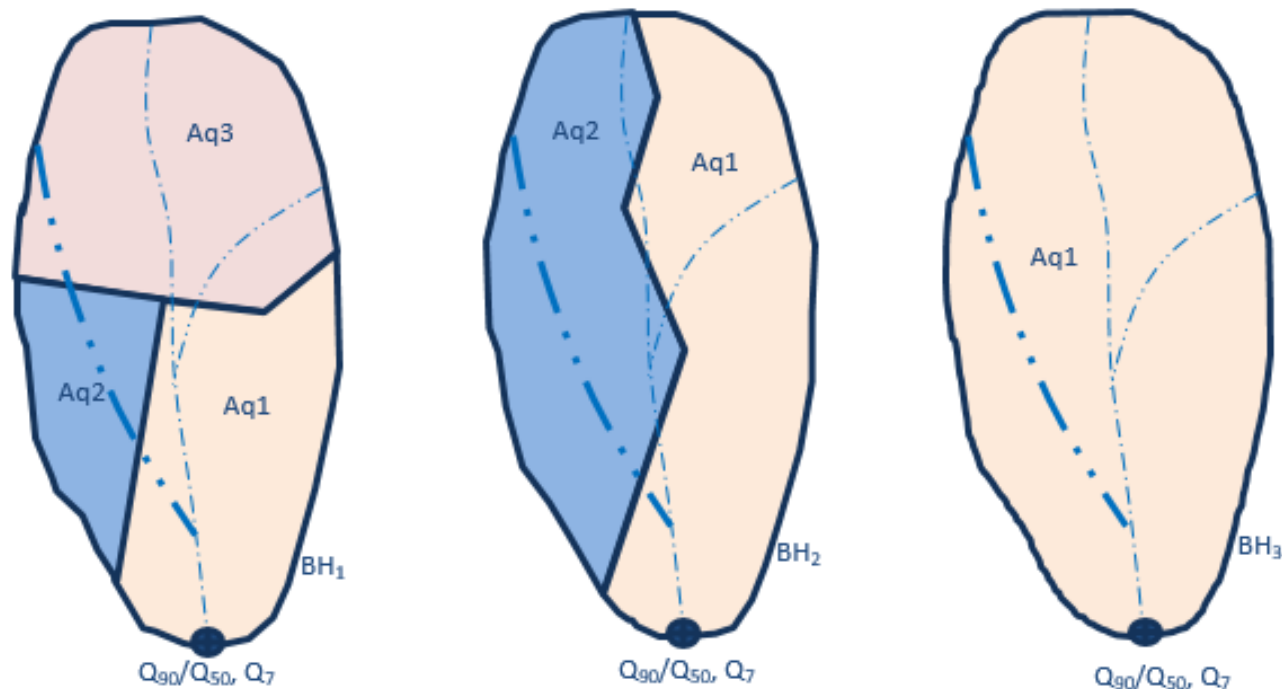


Geologia e Hidrologia

— Q1 — Qbase1 — Q90

## Vazão natural do rio e escoamento de base





$$(Q_{90}/Q_{50}, Q_7) BH1 = \sum (P1Aq1) + (P2Aq2) + (P3Aq3)$$

$$(Q_{90}/Q_{50}, Q_7) BH2 = \sum (P1Aq1) + (P2Aq2)$$

$$(Q_{90}/Q_{50}, Q_7) BH3 = Aq1$$

Aq1= aquífero 1 - peso aquífero (P1) = (A1, K1, ne1, dec1)

Aq2= aquífero 2 - peso aquífero (P2) = (A2, K2, ne2, dec2)

Aq3= aquífero 3 - peso aquífero (P3) = (A3, K3, ne3, dec3)

BH1 –bacia hidrográfica 1

A1= área aflorante do aquífero 1 na bacia hidrográfica

K1 = condutividade hidráulica do aquífero 1

ne1= porosidade eficaz do aquífero 1

dec1 =declividade da área aflorante do aquífero 1



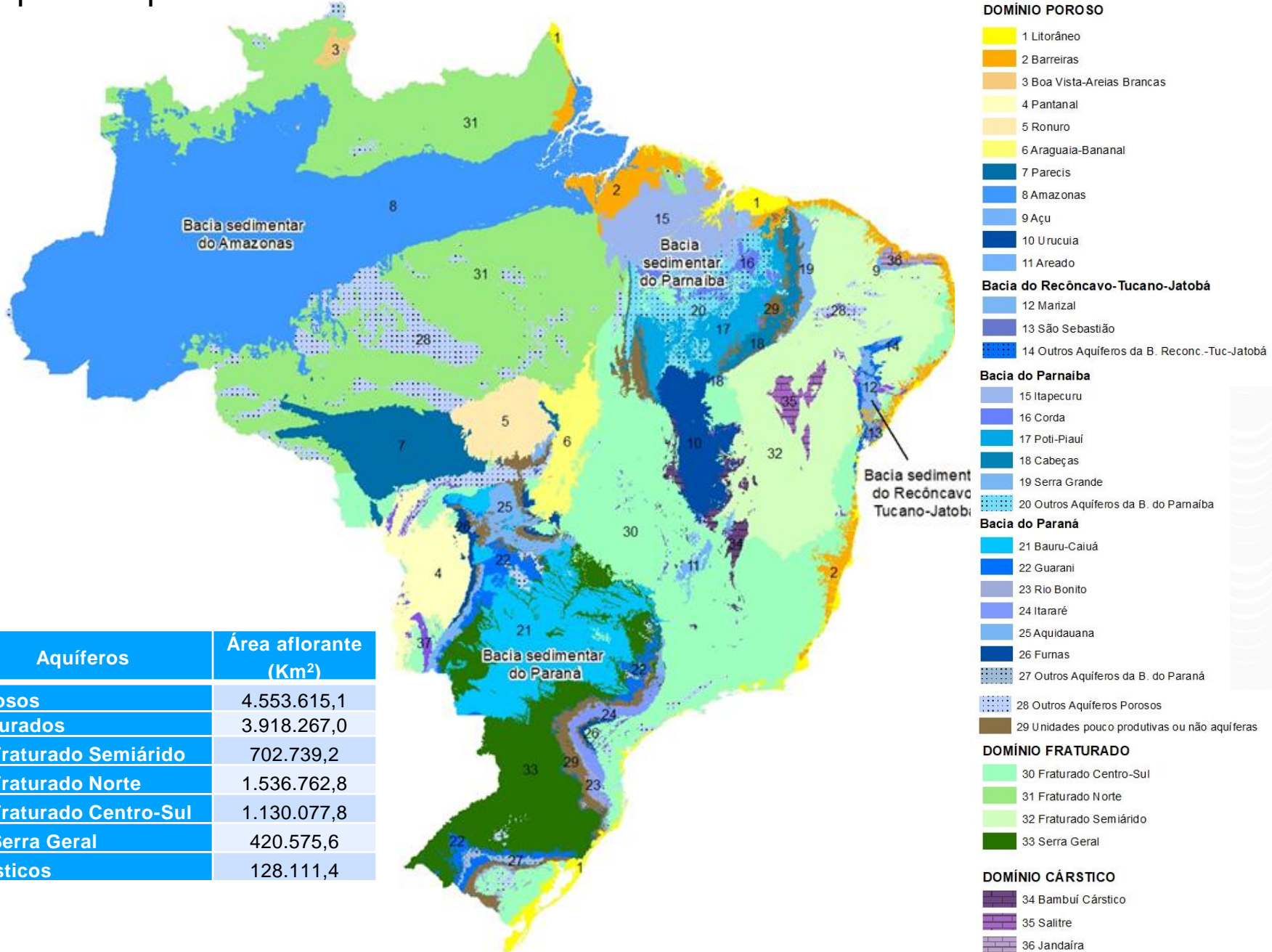


AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

#AÁguaÉUmaSó

# Mapa de Aquíferos Aflorantes

# Mapa de Aquíferos Aflorantes



## DOMÍNIO POROSO

- 1 Litorâneo
- 2 Barreiras
- 3 Boa Vista-Areias Brancas
- 4 Pantanal
- 5 Ronuro
- 6 Araguaia-Bananal
- 7 Parecis
- 8 Amazonas
- 9 Açú
- 10 Uruçuia
- 11 Areado

## Bacia do Recôncavo-Tucano-Jatobá

- 12 Marizal
- 13 São Sebastião
- 14 Outros Aquíferos da B. Recon.-Tuc-Jatobá

## Bacia do Parnaíba

- 15 Itapecuru
- 16 Corda
- 17 Poti-Plauí
- 18 Cabeças
- 19 Serra Grande
- 20 Outros Aquíferos da B. do Parnaíba

## Bacia do Paraná

- 21 Bauru-Caiuá
- 22 Guarani
- 23 Rio Bonito
- 24 Itararé
- 25 Aquidauana
- 26 Furnas
- 27 Outros Aquíferos da B. do Paraná
- 28 Outros Aquíferos Porosos
- 29 Unidades pouco produtivas ou não aquíferas

## DOMÍNIO FRATURADO

- 30 Fraturado Centro-Sul
- 31 Fraturado Norte
- 32 Fraturado Semiárido
- 33 Serra Geral

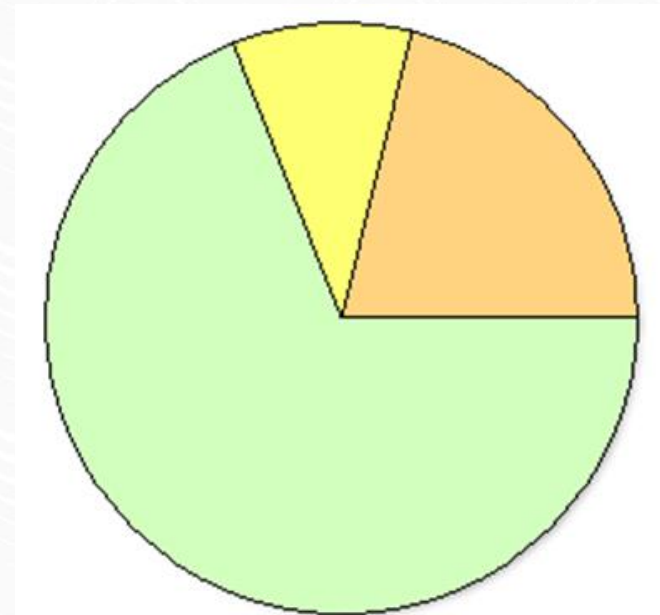
## DOMÍNIO CÁRSTICO

- 34 Bambuí Cárstico
- 35 Salitre
- 36 Jandaíra
- 37 Outros aquíferos cársticos

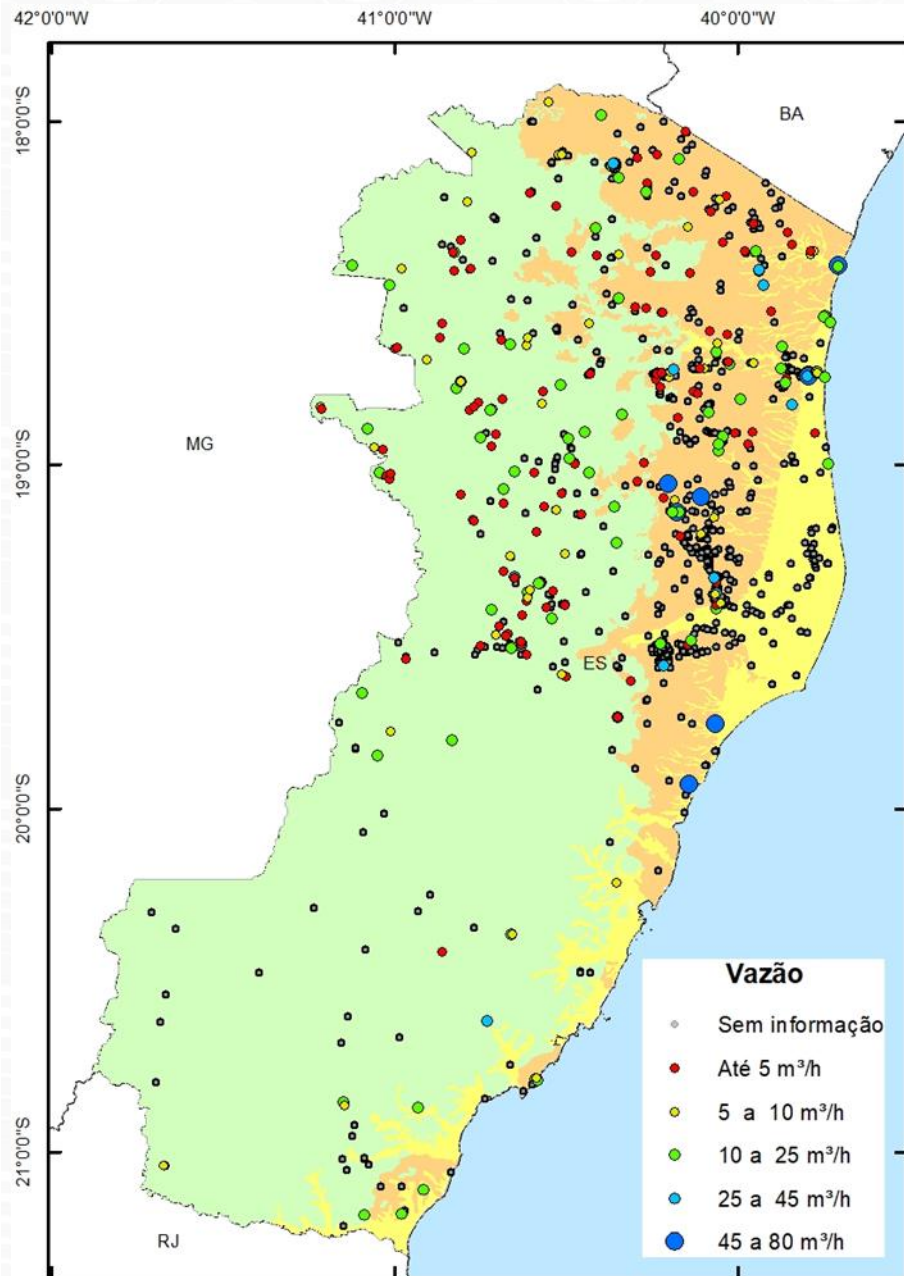
Aquíferos	Área aflorante (Km <sup>2</sup> )
<b>Porosos</b>	4.553.615,1
<b>Fraturados</b>	3.918.267,0
Faturado Semiárido	702.739,2
Fraturado Norte	1.536.762,8
Fraturado Centro-Sul	1.130.077,8
Serra Geral	420.575,6
<b>Cársticos</b>	128.111,4

## Recorte Espírito Santo

AQUÍFERO	DOMÍNIO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )
Litorâneo	Poroso	4.520,6
Barreiras	Poroso	9722,93
Faturado Centro-Sul	Faturado	31.747,21



# Mapa de Aquíferos Aflorantes



Recorte Cadastro Siagas/CPRM:

1.005 pontos

Poços	Média	Mín.	Máx.	N
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	10,56	0,1	80	279





# Letícia Moraes

Coordenação de Águas Subterrâneas  
Superintendência de Implementação e Programas e Projetos

marcia.gaspar@ana.gov.br | (+55) (61) 2109 –5465



[www.twitter.com/anagovbr](http://www.twitter.com/anagovbr)

facebook

[www.facebook.com/anagovbr](http://www.facebook.com/anagovbr)

You Tube

[www.youtube.com/anagovbr](http://www.youtube.com/anagovbr)

## Obrigada