

Hidrogeologia Geral

Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB

Superintendência de Implementação de Programas e
Projetos – SIP

Márcia Tereza Pantoja Gaspar



ASSUNTOS

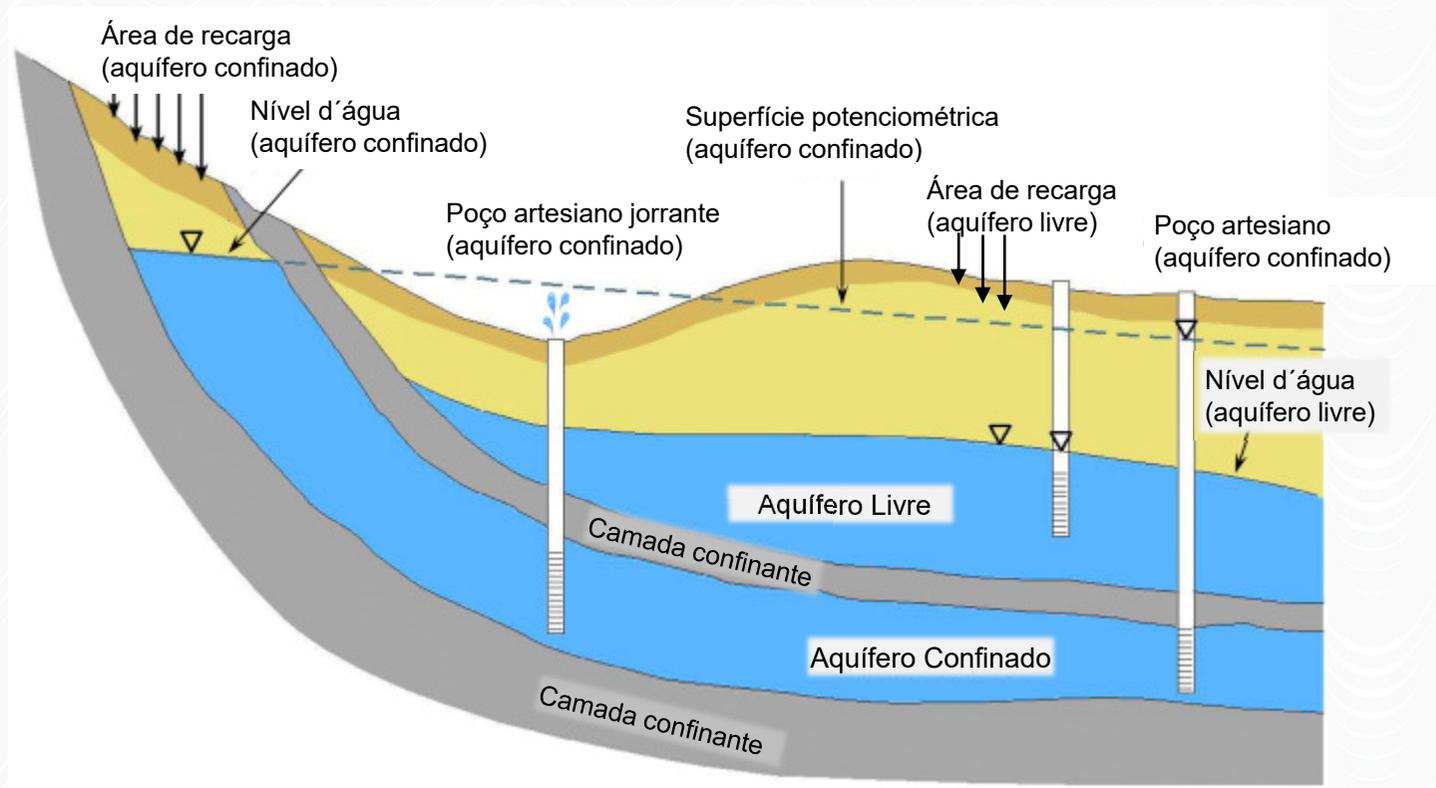
TEMAS



- 1 Classificação de aquíferos (quanto à pressão)
- 2 Movimento das águas subterrâneas (áreas de recarga e descarga)
- 3 Bacia Hidrográfica x Hidrogeológica
- 4 Parâmetros Hidrodinâmicos
- 5 Poços (aspectos construtivos)

Classificação dos aquíferos

quanto à pressão



<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/artesian-well>

Classificação dos aquíferos

quanto à pressão

1 LIVRES OU FREÁTICOS OU NÃO CONFINADOS

São aqueles cujo topo é demarcado pelo nível freático, onde a água subterrânea está sujeita à pressão atmosférica.

2 CONFINADOS OU ARTESIANOS

São aqueles onde a pressão da água em seu topo é maior do que a pressão atmosférica. São limitados por camadas confinantes (aquiclude)

3 SEMI-CONFINADOS

Tipo intermediário entre os dois anteriores. A camada confinante é semipermeável (aquitarde).

4 SUSPENSOS

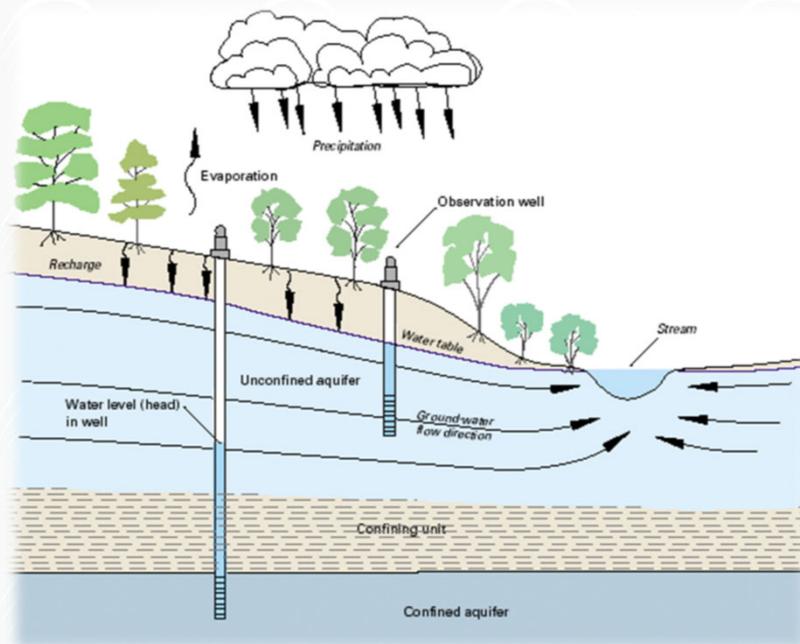
Acumulações de água sobre camadas descontínuas de material menos permeável (aquiclude ou aquitarde), formando um nível aquífero livre de extensão limitada acima do nível principal.

Classificação dos aquíferos

quanto à pressão

1 LIVRES OU FREÁTICOS OU NÃO CONFINADOS

São aqueles cujo topo é demarcado pelo nível freático, onde a água subterrânea está sujeita à pressão atmosférica.

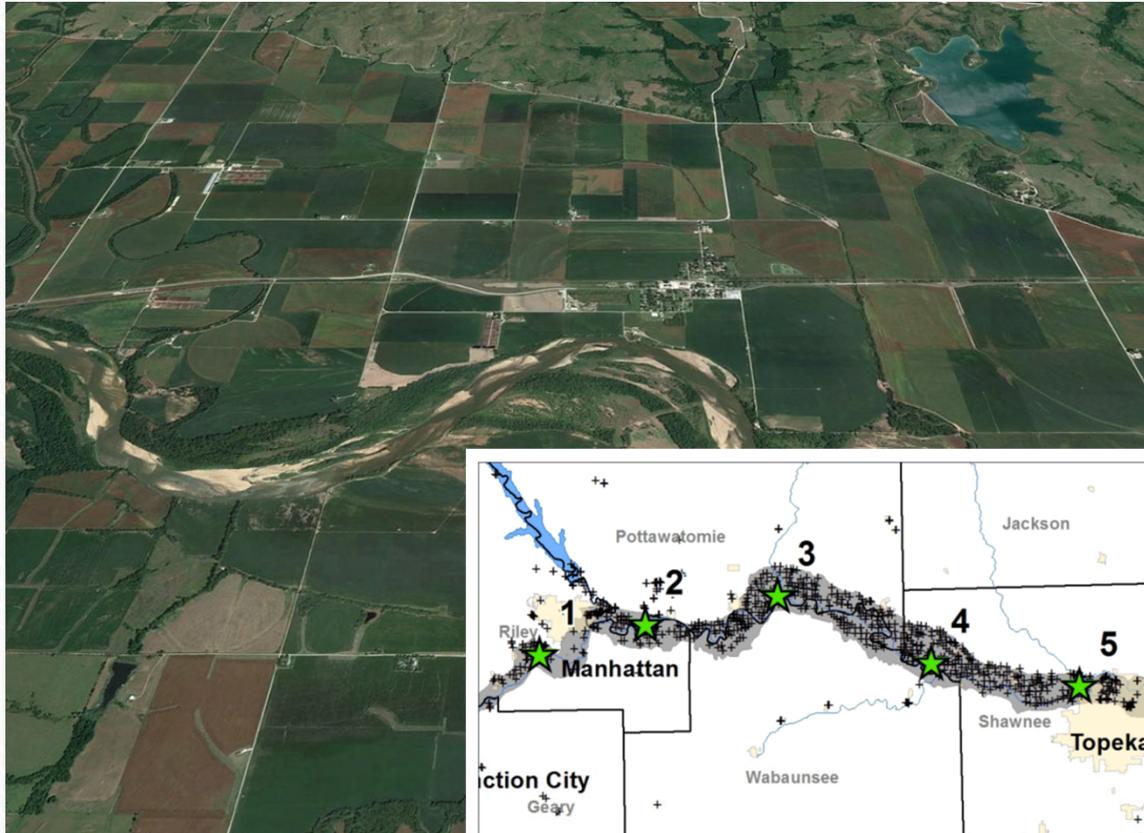


- Normalmente são os mais utilizados
- Níveis d'água mais rasos
- Naturalmente mais vulneráveis
- Poços de captação mais rasos e muitos são escavados manualmente
- Comum a perfuração de poços próximo às áreas de descarga (aluvião dos rios)

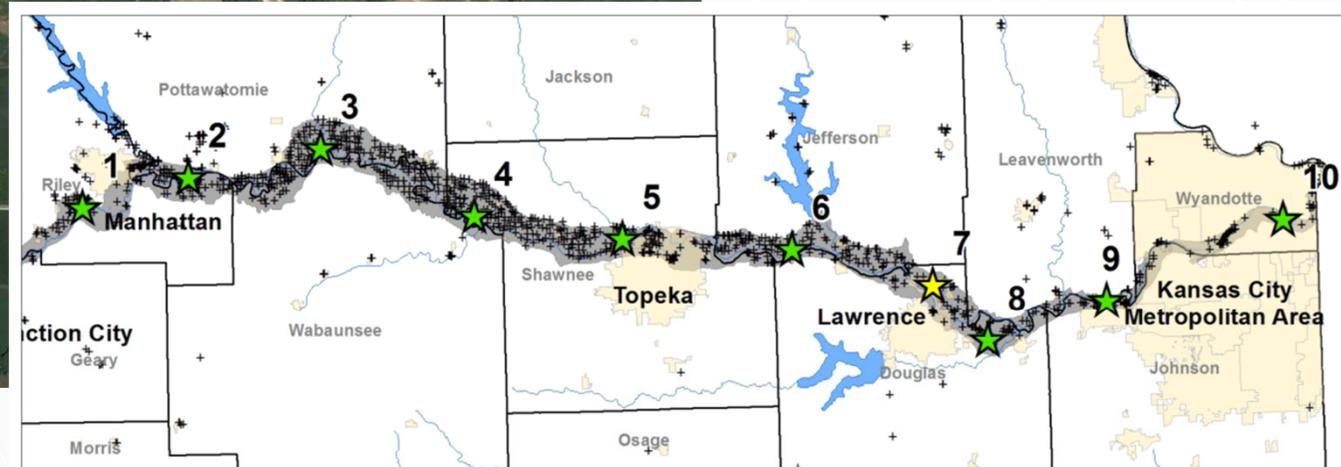
https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/water_science_society/student_materials/911

Classificação dos aquíferos

quanto à pressão



AQUÍFEROS LIVRES ALUVIONARES
RIO KANSAS (EUA)



Groundwater Wells

- + Groundwater well with a water right permit or certificate
- ★ Proposed site for well installation
- ★ Completed and operational Index Well

http://kslegislature.org/li_2018/b2017_18/committees/ctte_h_water_and_environment_1/documents/testimony/20180111_03.pdf

#AÁguaÉUmaSó

Classificação dos aquíferos

quanto à pressão

1 LIVRES OU FREÁTICOS OU NÃO CONFINADOS



AQUÍFEROS LIVRES ALUVIONARES
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE BRASIL

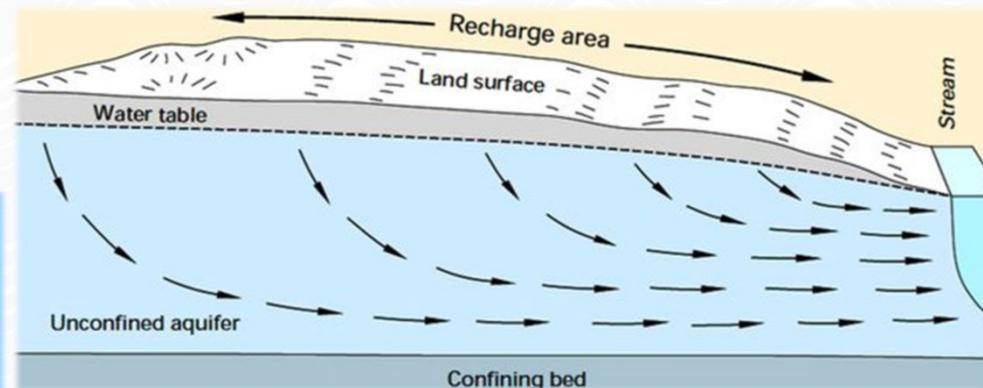
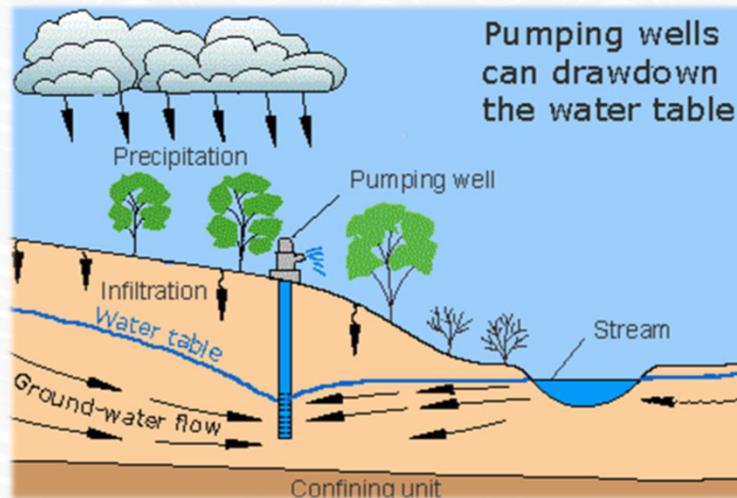
Classificação dos aquíferos

quanto à pressão

1 LIVRES OU FREÁTICOS OU NÃO CONFINADOS

- Interconexão direta rio x aquífero
- Manutenção da perenidade dos corpos superficiais

CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS



Ground Water And Surface Water A Single Resource. USGS (1998)

By T.C. Winter, J.W. Harvey, O.L. Franke, and W.M. Alley

<https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/>

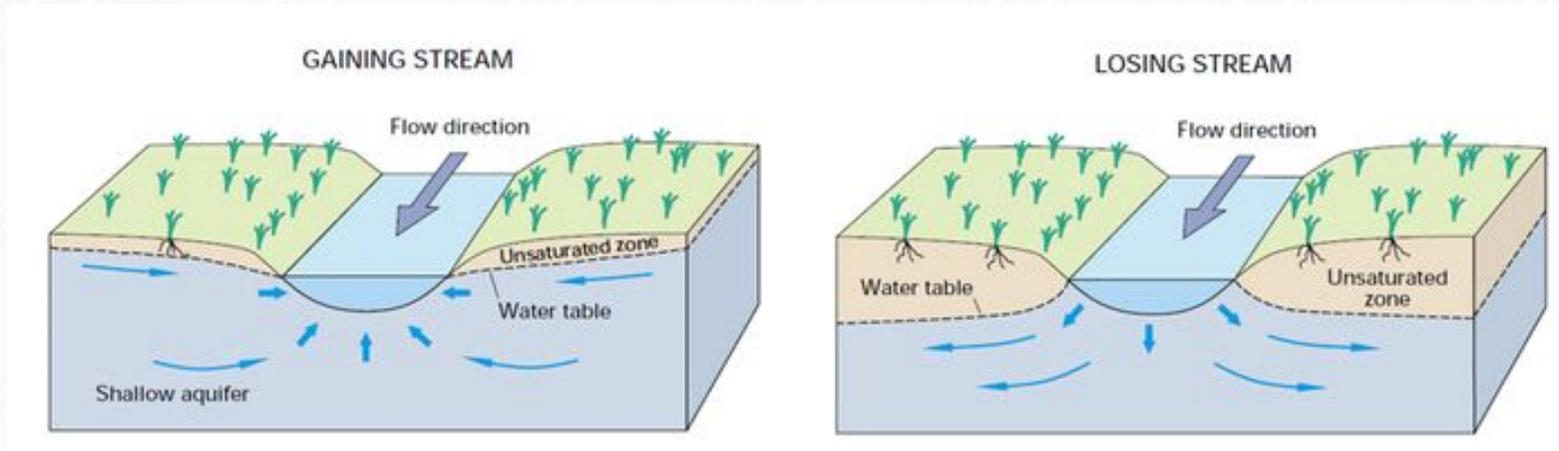
#AÁguaÉUmaSó

Classificação dos aquíferos

quanto à pressão

1 LIVRES OU FREÁTICOS OU NÃO CONFINADOS

CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS



Rio efluente

Rio influente

- Relação de perdas e ganhos, em muitos casos sazonais

Ground Water And Surface Water A Single Resource. USGS (1998)

By T.C. Winter, J.W. Harvey, O.L. Franke, and W.M. Alley

<https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/>

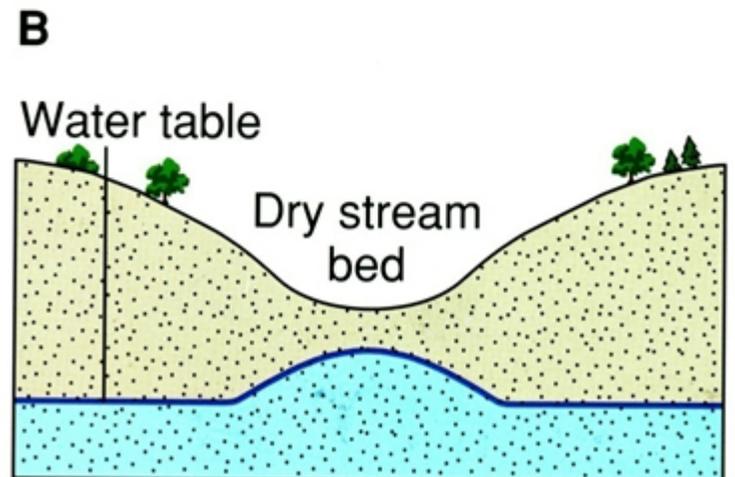
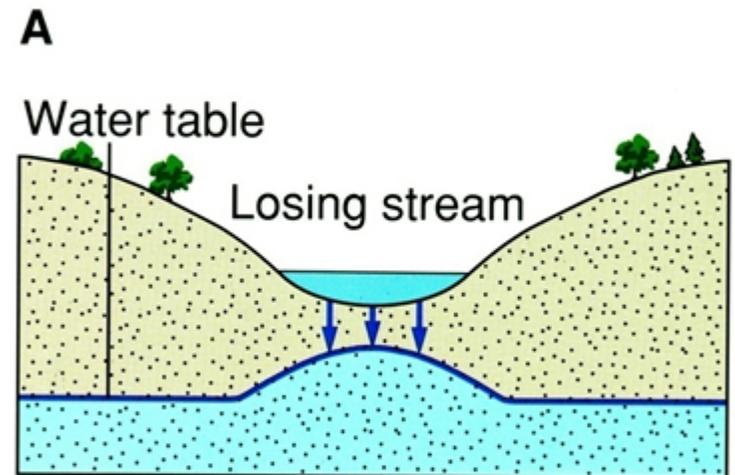
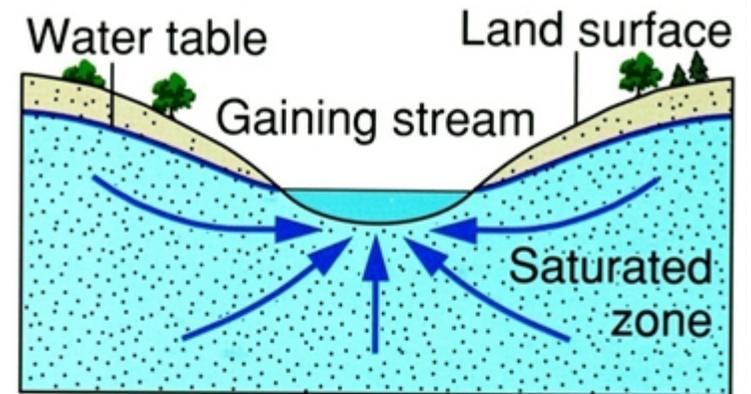
#AÁguaÉUmaSó

CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS

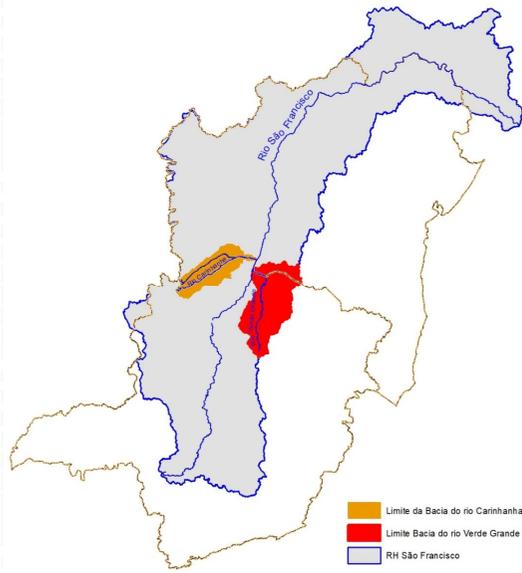
Rio influente

Rio efluente

Rio seco



CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – RIO VERDE GRANDE (MG)



Julho/2018



2013

<https://youtu.be/-FzagLMzXSU>

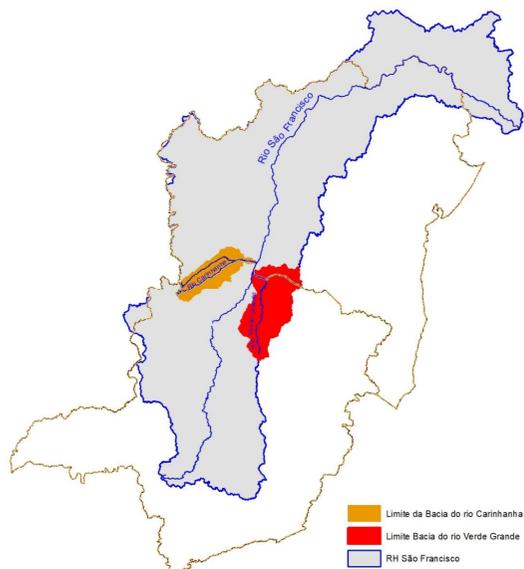
#AÁguaÉUmaSó

Setembro/2018



CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – RIO VERDE GRANDE (MG)

Julho/2018



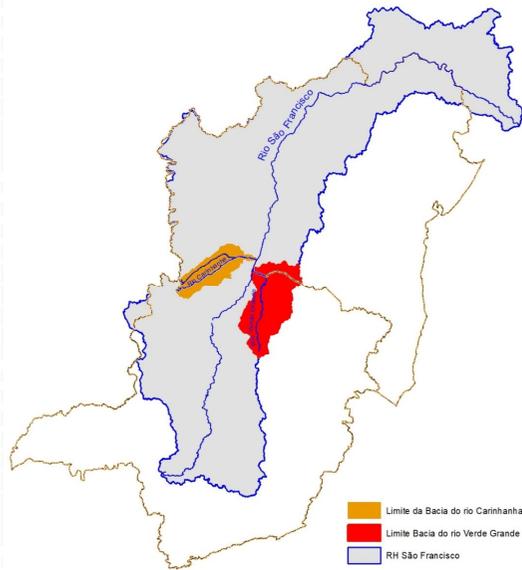
<https://globoplay.globo.com/v/6857298/>

#AÁguaÉUmaSó

#AÁguaÉUmaSó

CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – RIO VERDE GRANDE (MG)

Julho/2018



#AÁguaÉUmaSó

CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS – RIO VERDE
GRANDE (MG)

Setembro/2018



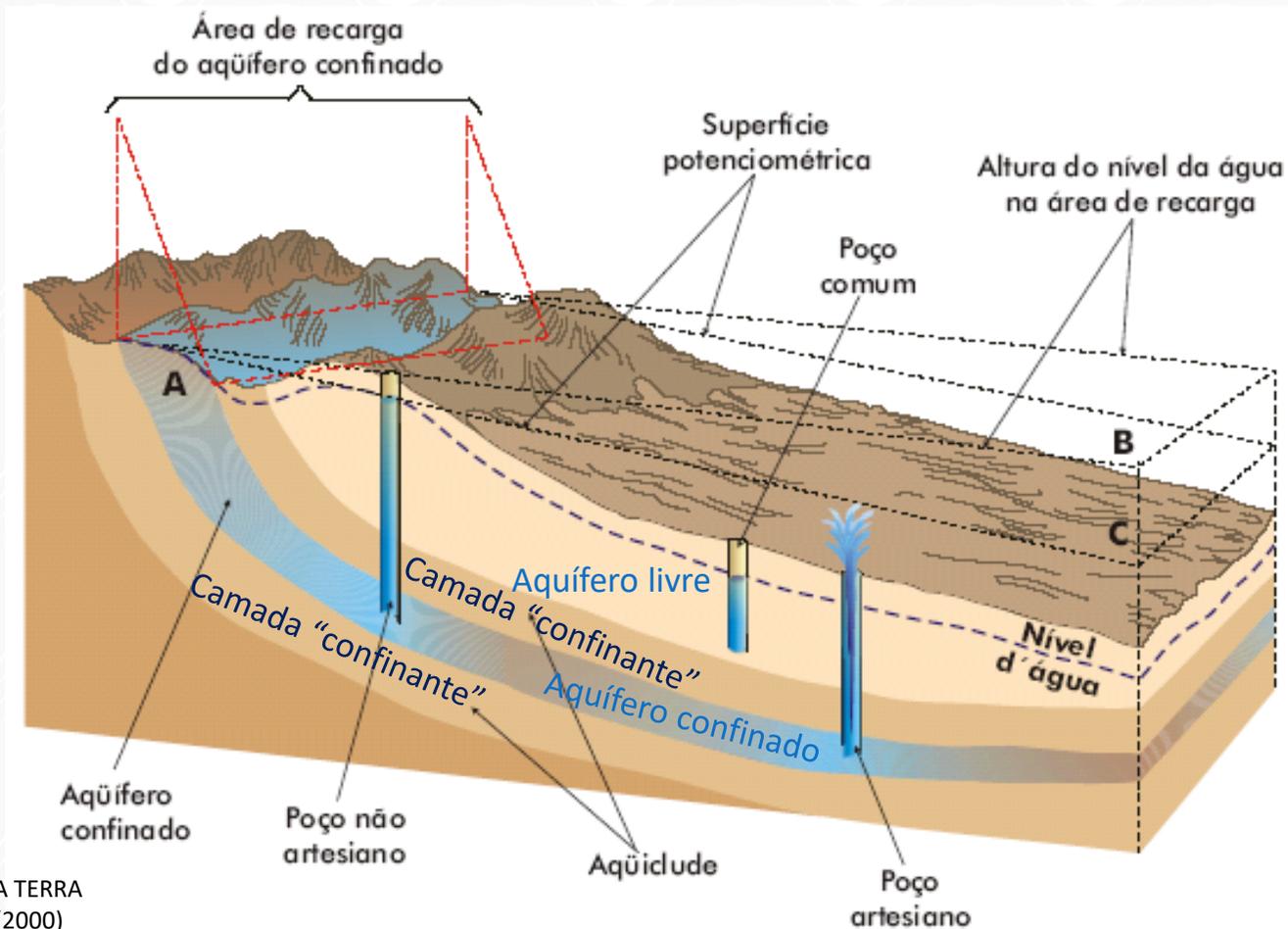
#AÁguaÉUmaSó

Classificação dos aquíferos

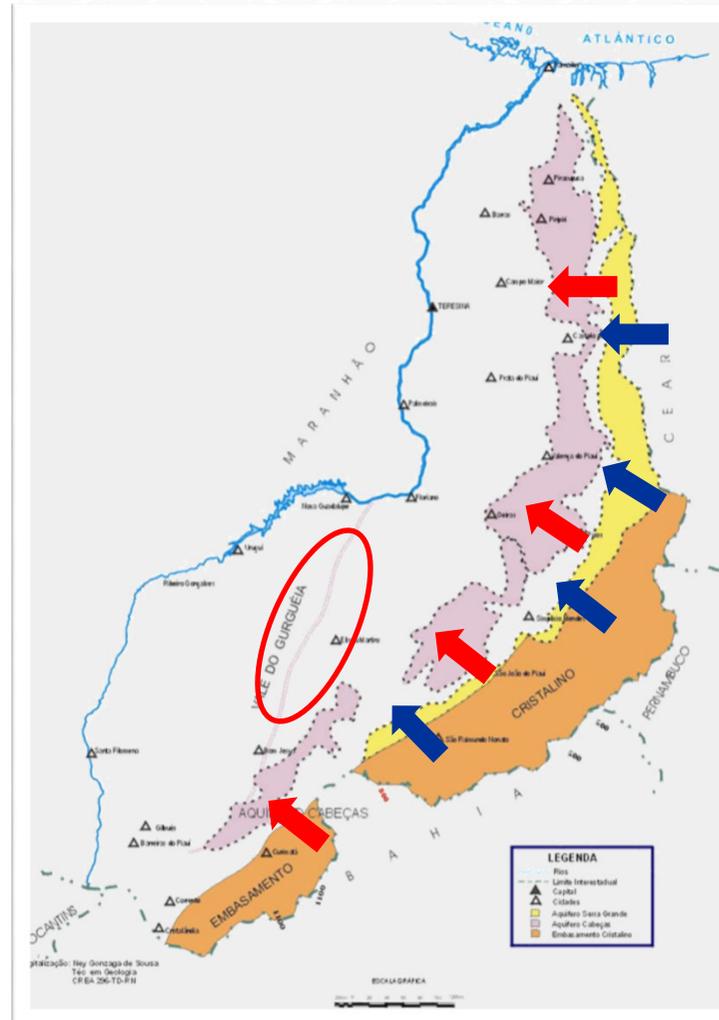
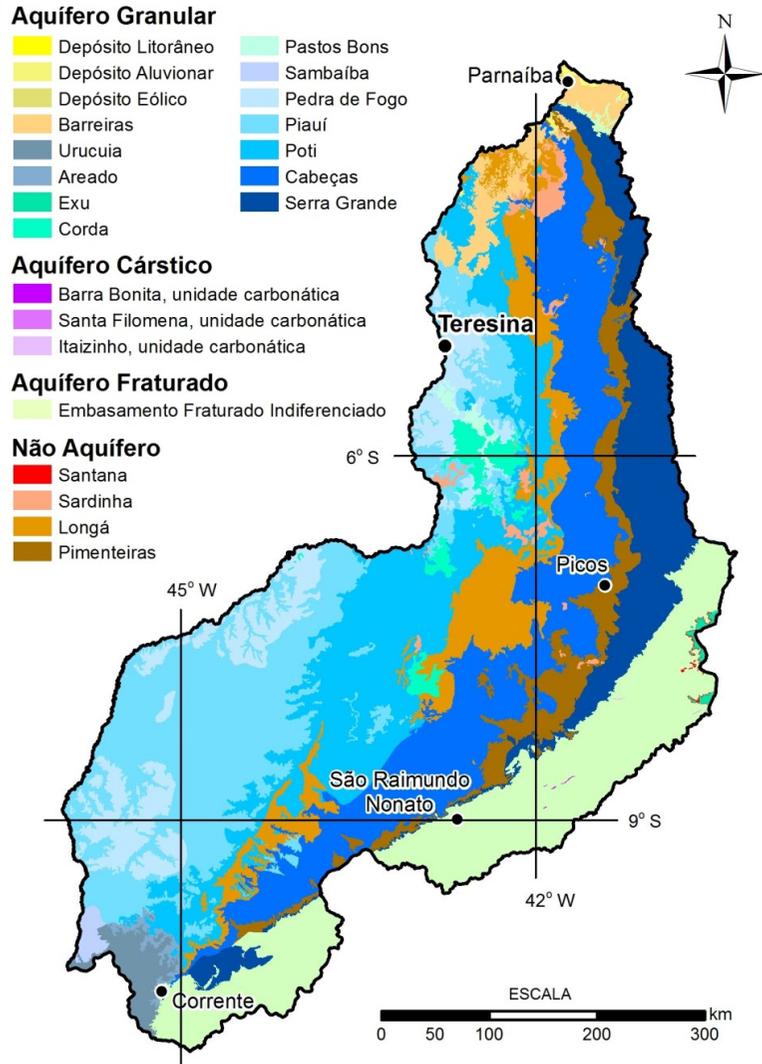
quanto à pressão

2 CONFINADOS OU ARTESIANOS

São aqueles onde a pressão da água em seu topo é maior do que a pressão atmosférica. São limitados por camadas confinantes (aquiclude)



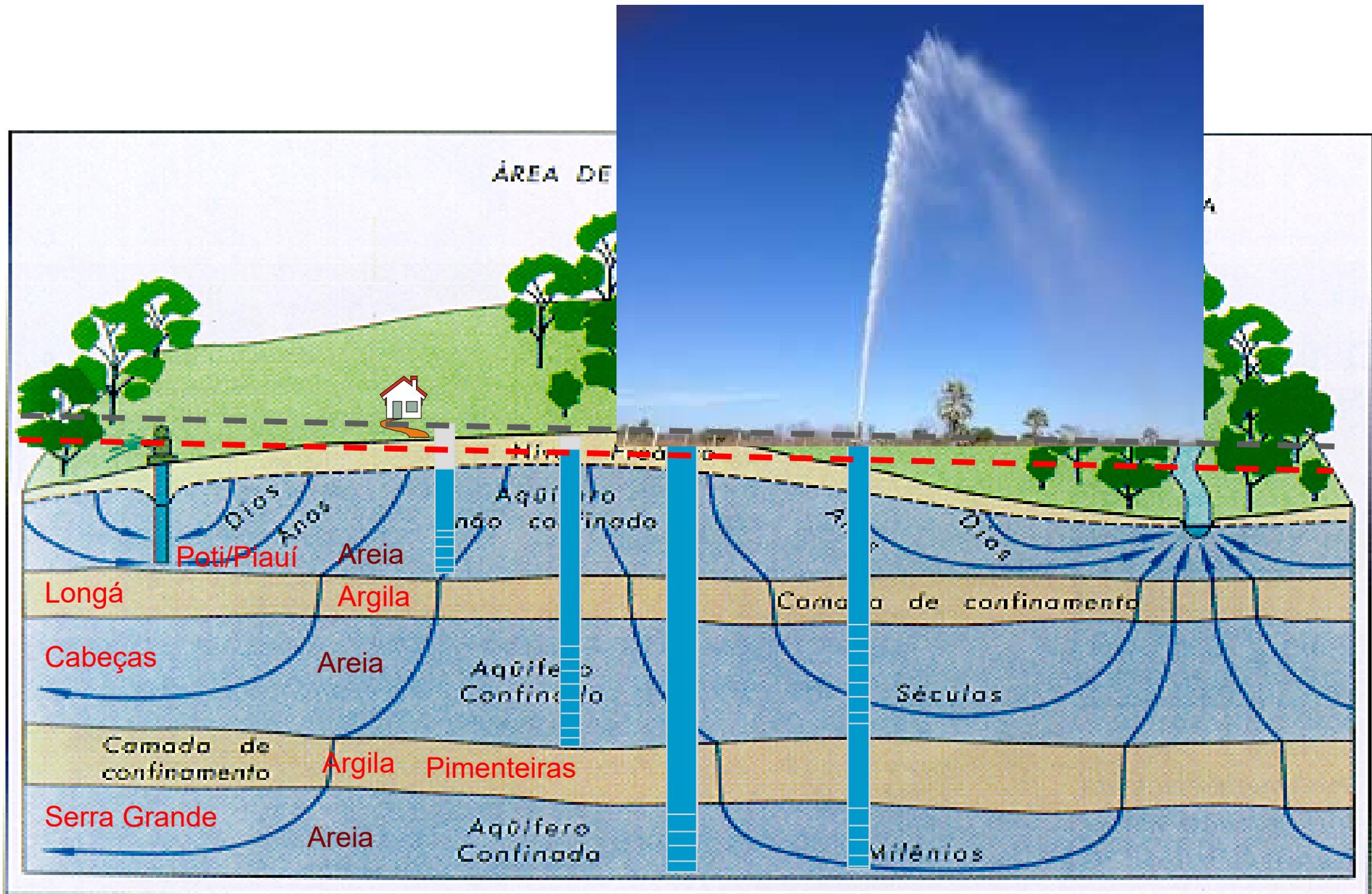
2 CONFINADOS OU ARTESIANOS



Áreas de Recarga e direção do fluxo dos aquíferos Serra Grande e Cabeças

← Fluxo Cabeças
← Fluxo S. Grande

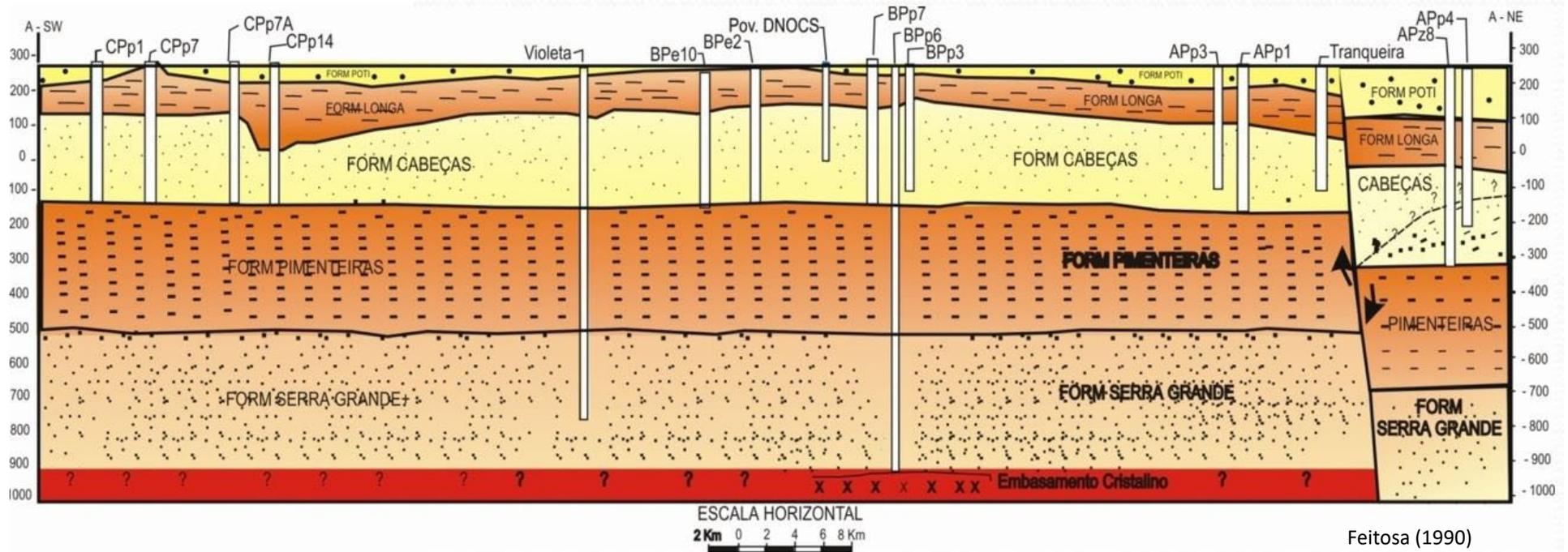
▭ Cabeças
▭ Serra Grande
▭ Cristalino



Classificação dos aquíferos

quanto à pressão

2 CONFINADOS OU ARTESIANOS



Poços jorrantes no Vale do Gurgueia (PI).

Captação dos aquíferos confinados Cabeças e Serra Grande

Classificação dos aquíferos

quanto à pressão

2 CONFINADOS OU ARTESIANOS



Poços Violeto – Alvorada do Gurgueia (PI)

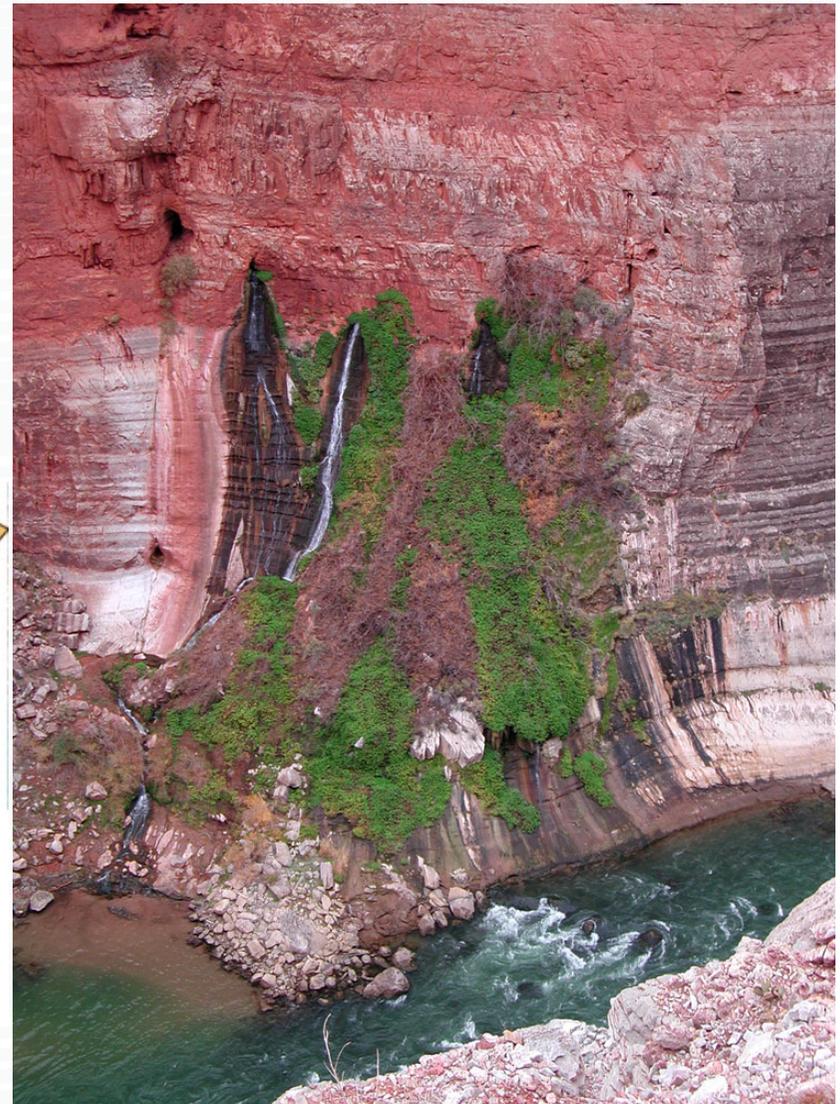
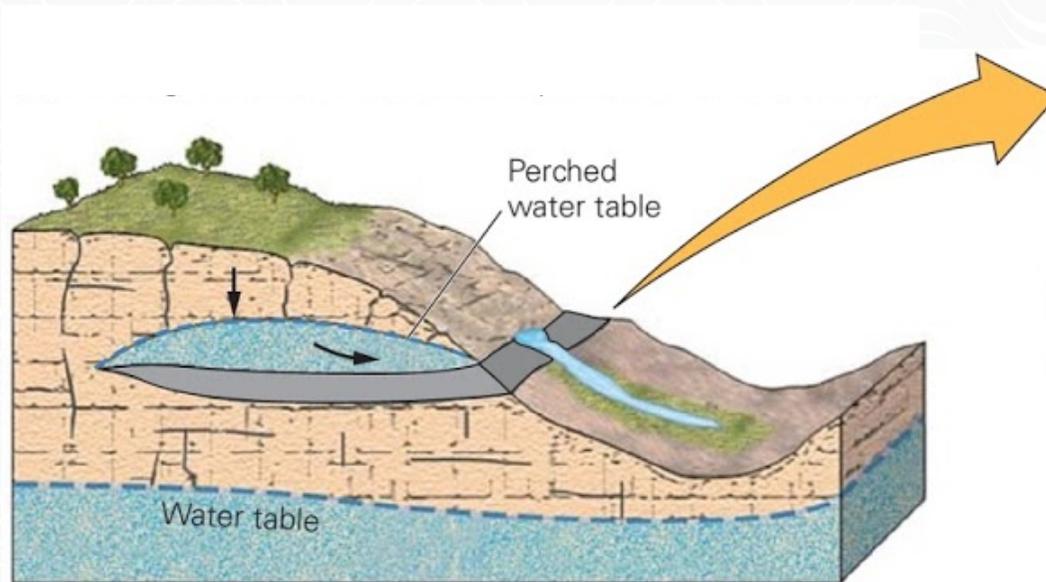
Poços jorrantes no Vale do Gurgueia (PI).
Captação dos aquíferos confinados Cabeças
e Serra Grande

Classificação dos aquíferos

quanto à pressão

4 AQUÍFEROS SUSPENSOS

Surgimento de nascentes onde o lençol freático intercepta a superfície de uma encosta



Vaseys Springs – Grand Canyon (EUA)

Classificação dos aquíferos

quanto à pressão

✚ **Livre:** pressão da água na superfície freática é igual a pressão atmosférica

➤ Maior vulnerabilidade natural

➤ Recarga mais rápida e maior

➤ Águas mais "jovens"

➤ Interação com as águas superficiais

➤ Poços mais rasos e de menor custo

✚ **Confinado:** A pressão no nível d' água é maior que a pressão atmosférica

➤ Menor vulnerabilidade natural

➤ Recarga mais lenta

➤ Águas mais "velhas"

➤ Poços mais profundos e de maior custo

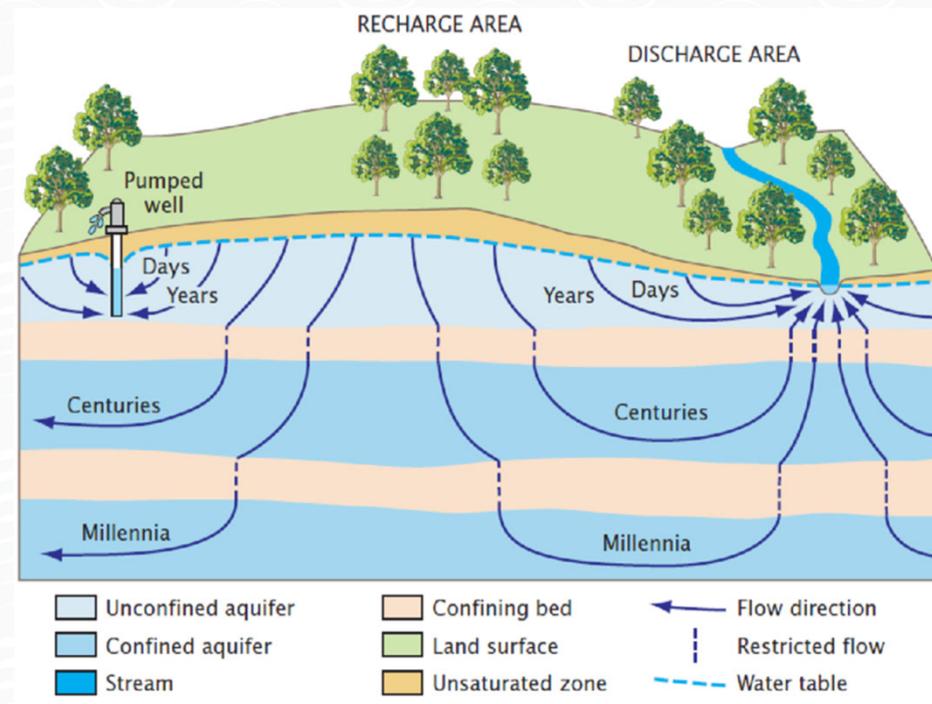
➤ Poços artesianos (jorrantes ou não)

Movimento das águas subterrâneas

Áreas de recarga e descarga



- Tempo de circulação das águas subterrâneas (aquíferos livres e confinados)
- Aquífero Livre: circulação “rápida” (dias, décadas)
- Por isso são mais “vulneráveis” às cargas potencialmente contaminantes (saneamento precário)



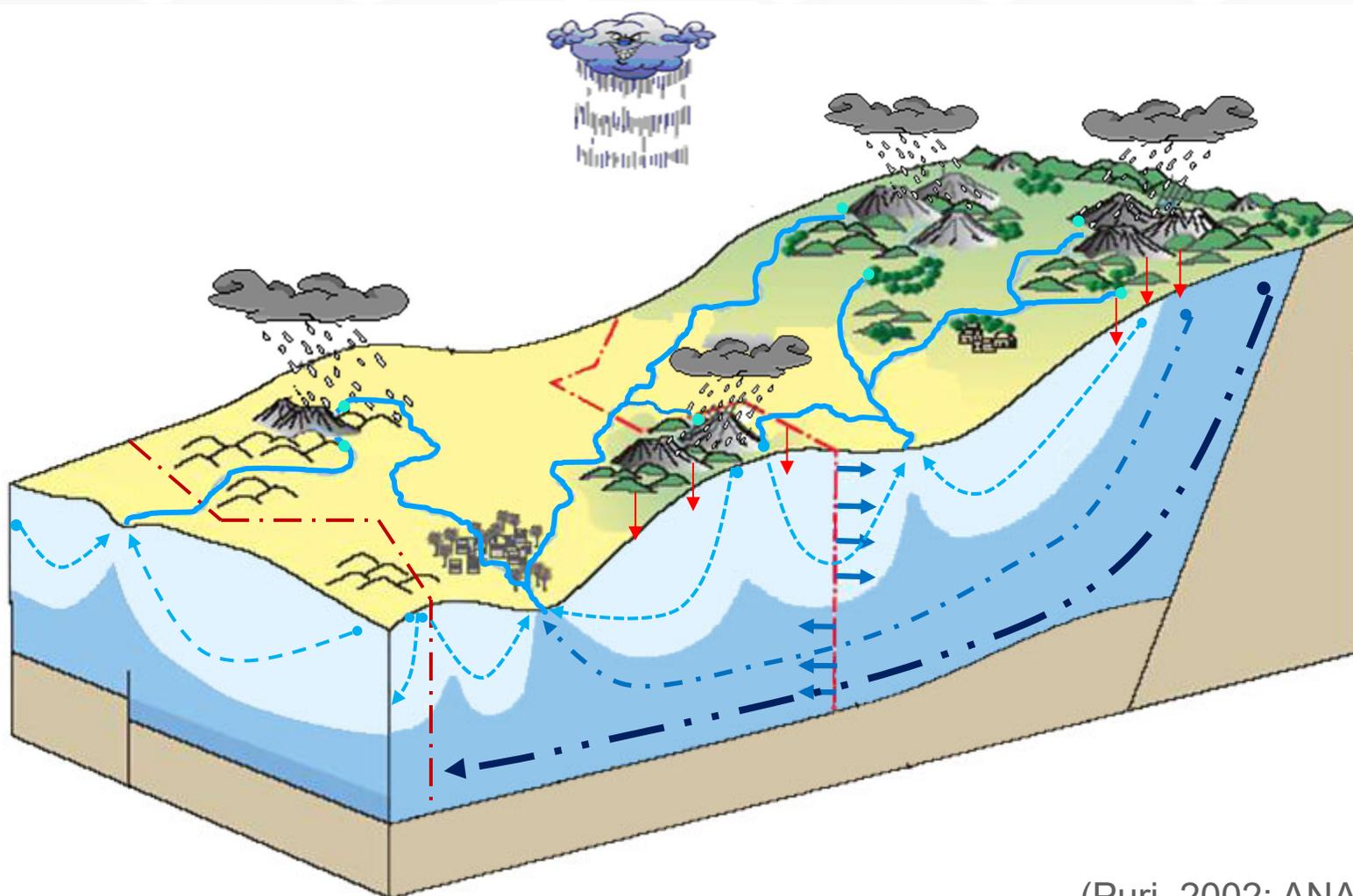
Ground Water And Surface Water A Single Resource. USGS (1998)
By T.C. Winter, J.W. Harvey, O.L. Franke, and W.M. Alley

<https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/>

#AÁguaÉUmaSó

Movimento das águas subterrâneas

Áreas de recarga e descarga



Movimento das águas subterrâneas

Áreas de recarga e descarga

- Áreas de recarga

Níveis d'água mais profundos

Relevo plano a suave ondulado

Solos espessos

- Áreas de descarga

Níveis d'água rasos ou "aflorantes"

Relevo mais "movimentado"

Solos menos espessos ou rocha aflorante

Movimento das águas subterrâneas

Áreas de recarga e descarga



Sistema Aquífero Guarani
8 estados
(MT,MS,GO,MG,SP,PR,SC,RS)

Área total: 738 mil km²

Área aflorante: (recarga)

Movimento das águas subterrâneas

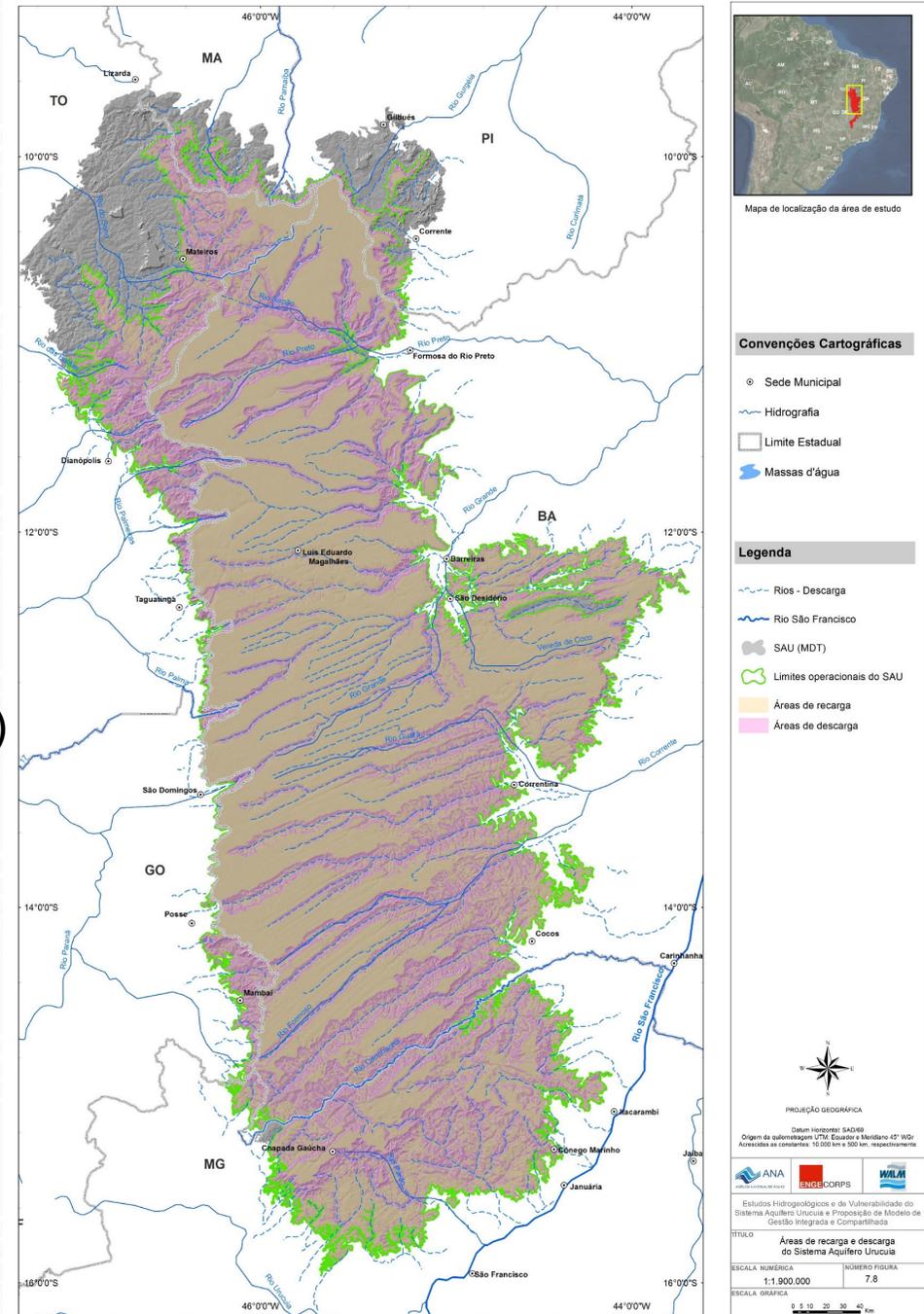
Áreas de recarga e descarga

Sistema Aquífero Urucuia
6 estados (MA,TO,PI,BA,GO,MG)

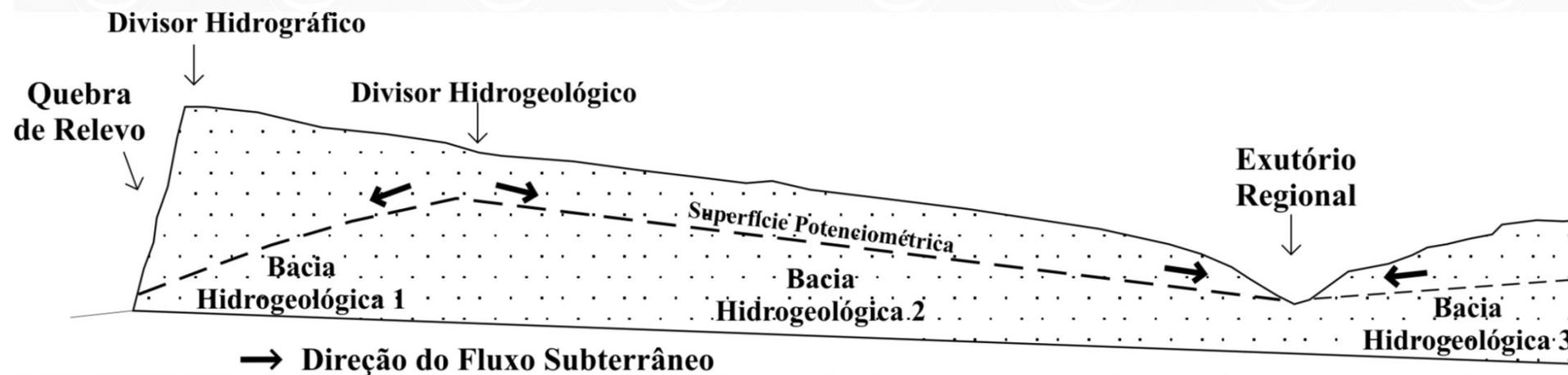
Área total: 126 mil km²

Área operacional: 109 mil km²

Área aflorante: 67% 73 mil km² (recarga)

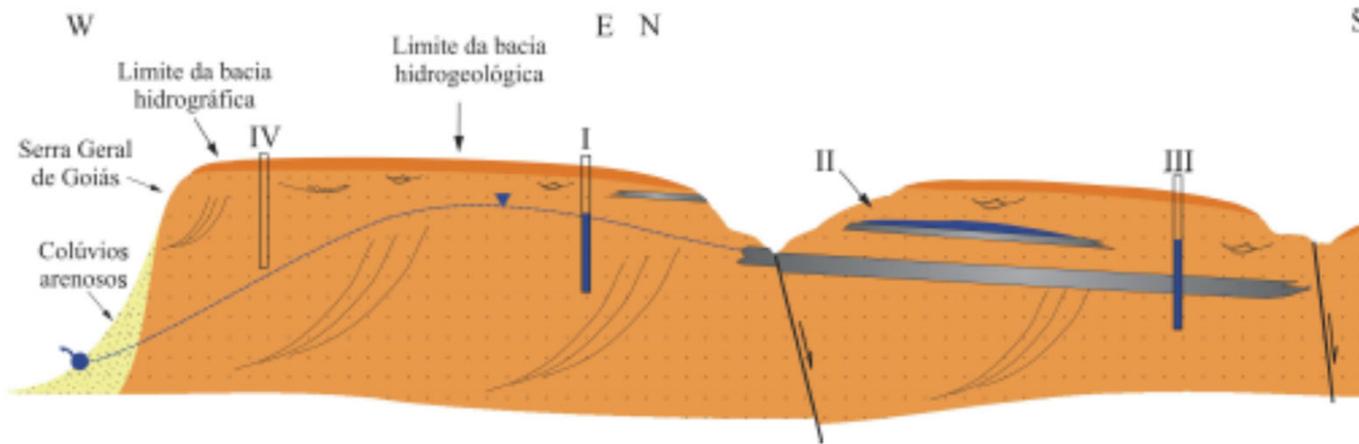
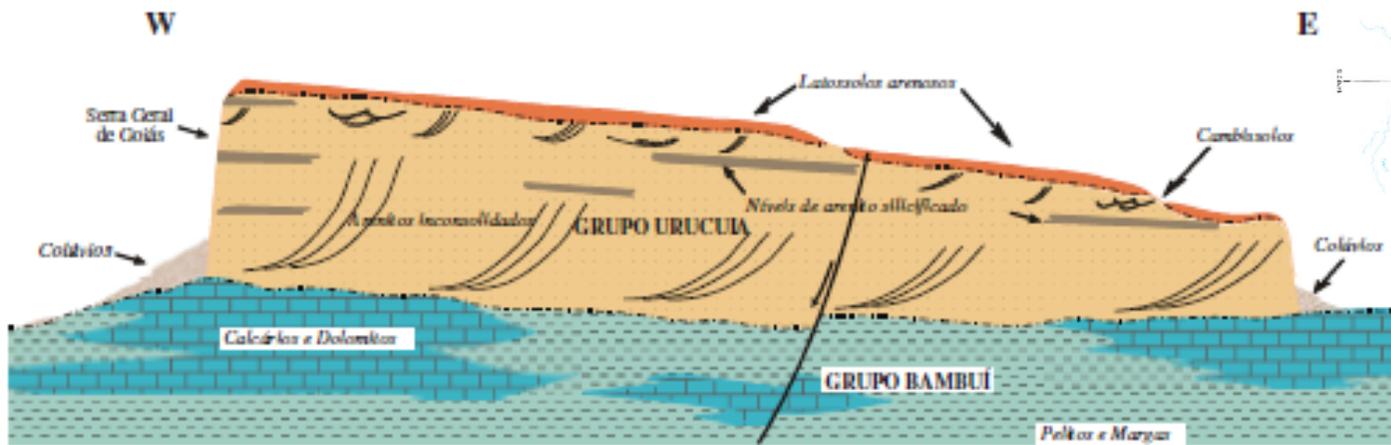
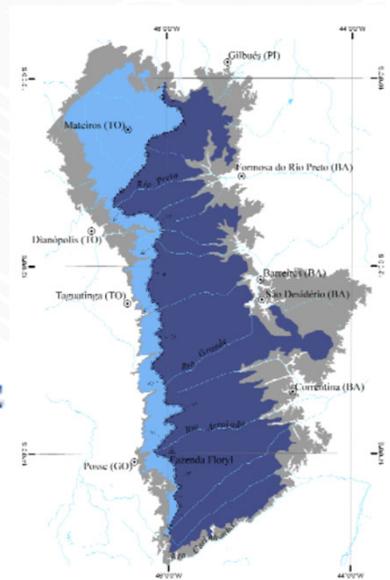


Bacia hidrográfica x hidrogeológica

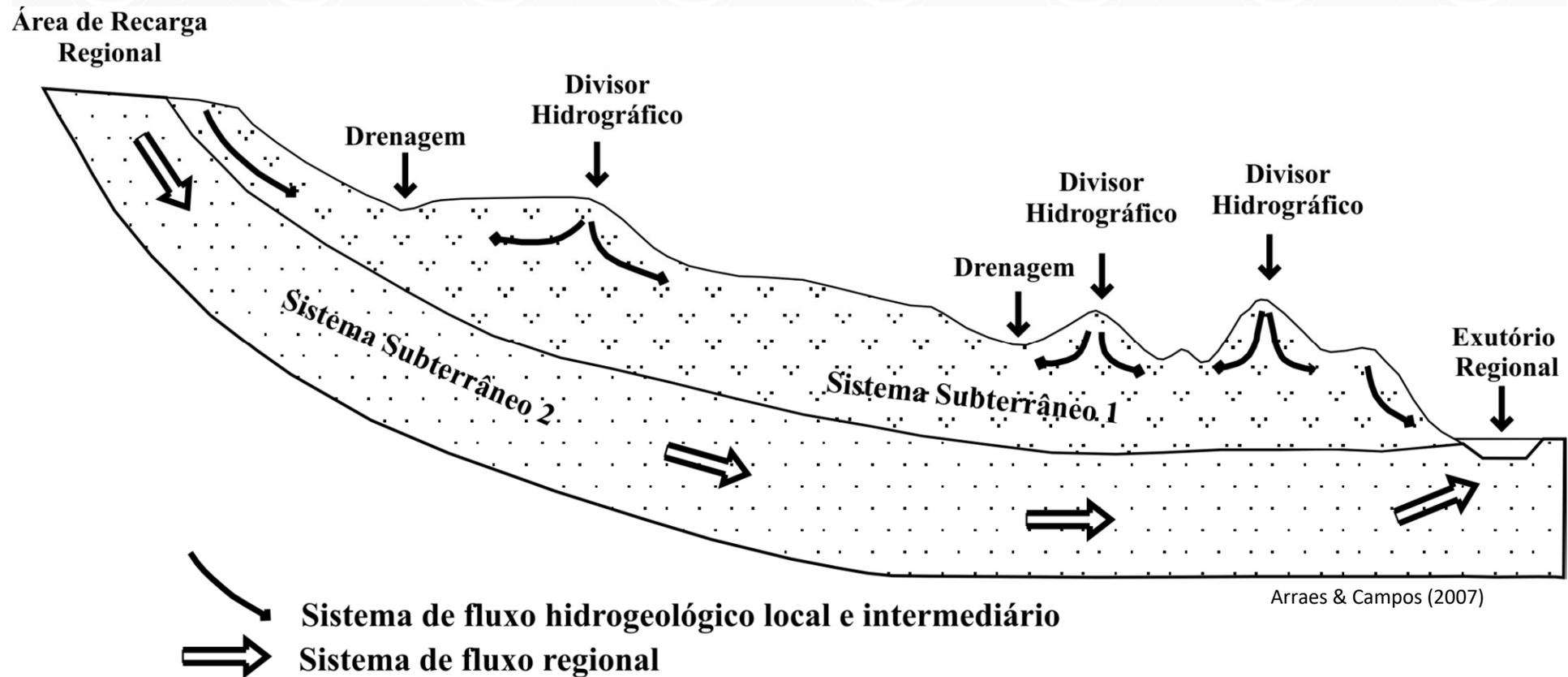


Arraes & Campos (2007)

Bacia hidrográfica x hidrogeológica

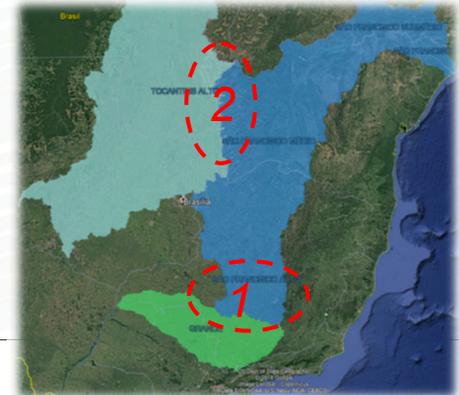


Bacia hidrográfica x hidrogeológica

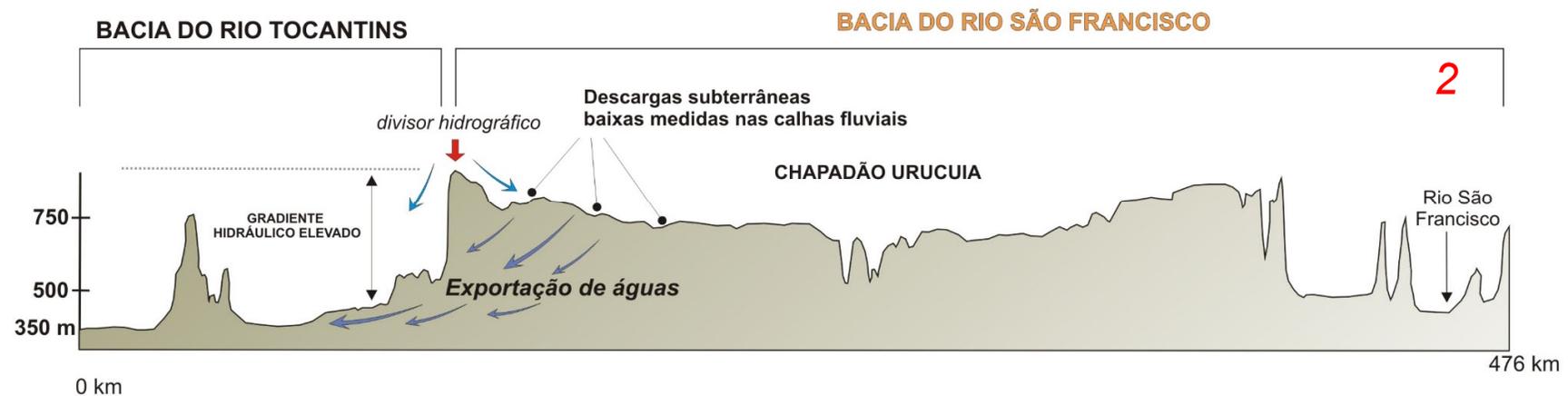
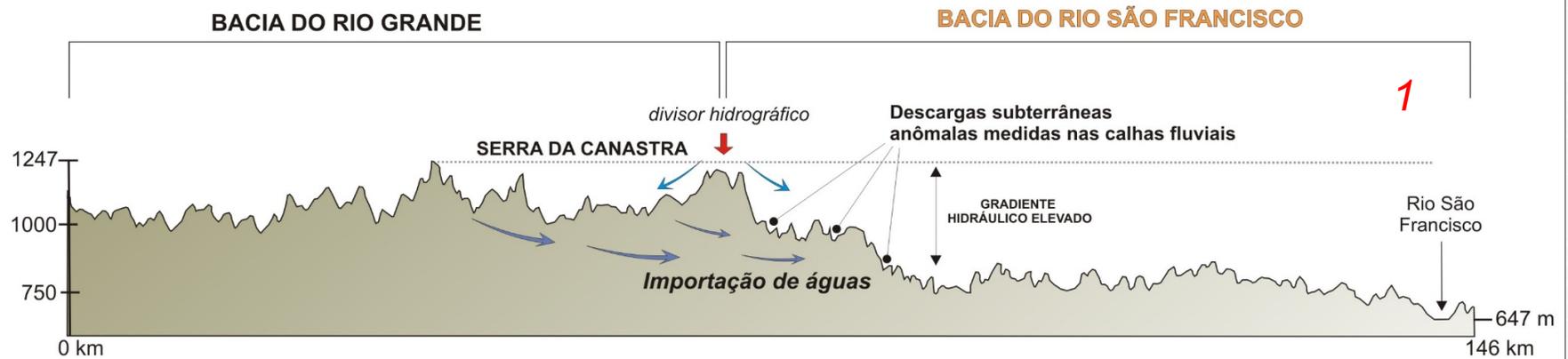


Bacia hidrográfica x hidrogeológica

Bacia do Rio São Francisco

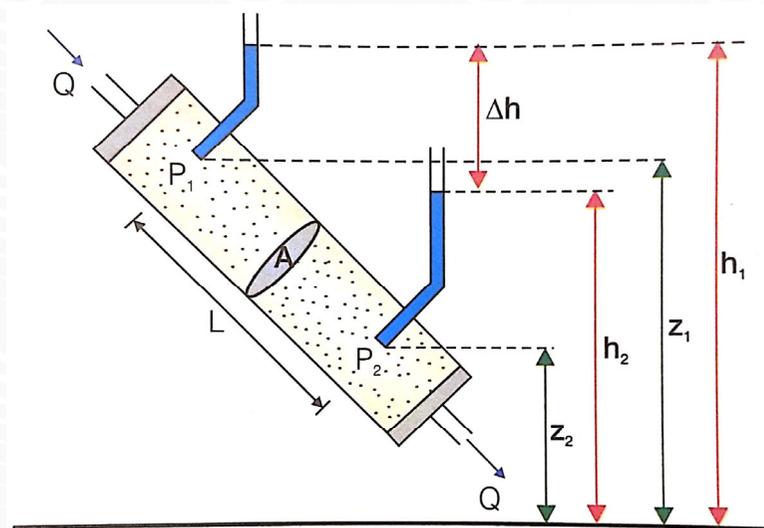


CONDIÇÕES DE EXPORTAÇÃO E IMPORTAÇÃO DE ÁGUA NAS BORDAS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO



PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

K, T, S



Datum ($z = 0$)

Esboço esquemático do experimento de Darcy

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{(h_1 - h_2)}{L}$$

Conductividade hidráulica → K

Gradiente hidráulico → $\frac{(h_1 - h_2)}{L}$

- h = carga hidráulica
- Z = cota no ponto
- Q = vazão
- A = área da seção transversal do cilindro
- L = distância entre os piezômetros



PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

K, T, S

K

CONDUTIVIDADE HIDRAÚLICA

Característica intrínseca do material (rocha, sedimentos do aquífero) e do fluido. É a facilidade com que a água se move através dos interstícios da rocha. Usualmente expressa em m/s, cm/s.

Material	Condutividade hidráulica (cm/s)
Argila	10^{-9} a 10^{-6}
Silte; Silte arenoso	10^{-6} a 10^{-4}
Areia argilosa	10^{-6} a 10^{-4}
Areia Siltosa; Areia fina	10^{-5} a 10^{-3}
Areia bem distribuída	10^{-3} a 10^{-1}
Cascalho bem distribuído	10^{-2} a 10^{-0}

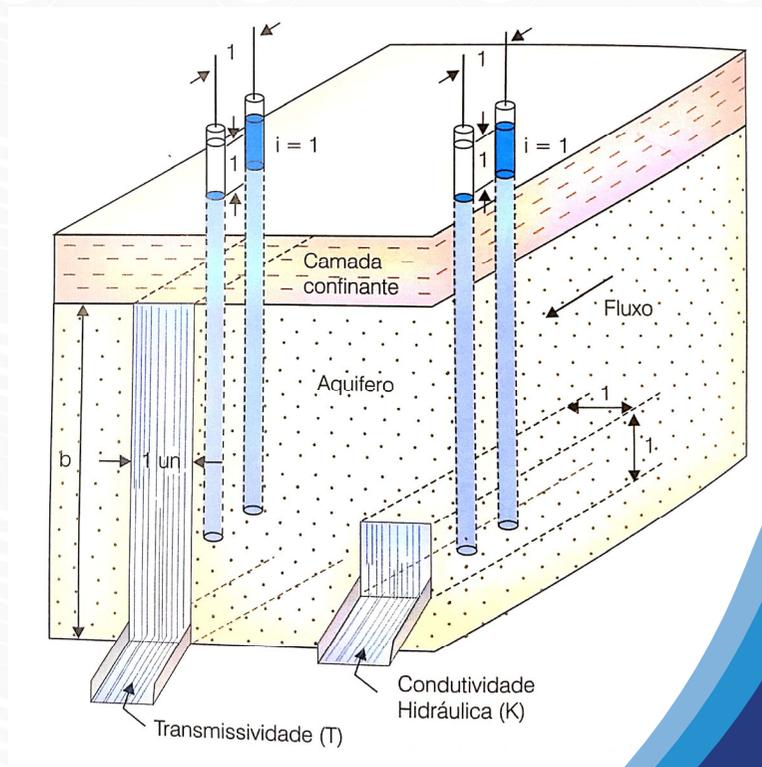
PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

K, T, S

T

TRANSMISSIVIDADE

É a capacidade de transmissão horizontal de água por toda a espessura saturada do aquífero. É usualmente expressa em m^2/s , m^2/dia .



$$T = K \cdot b$$

Onde:

b = espessura saturada

PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

K, T, S

S

COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO

É conceituada como a quantidade de água que pode ser liberada do aquífero de toda a espessura saturada do aquífero. É um valor adimensional.

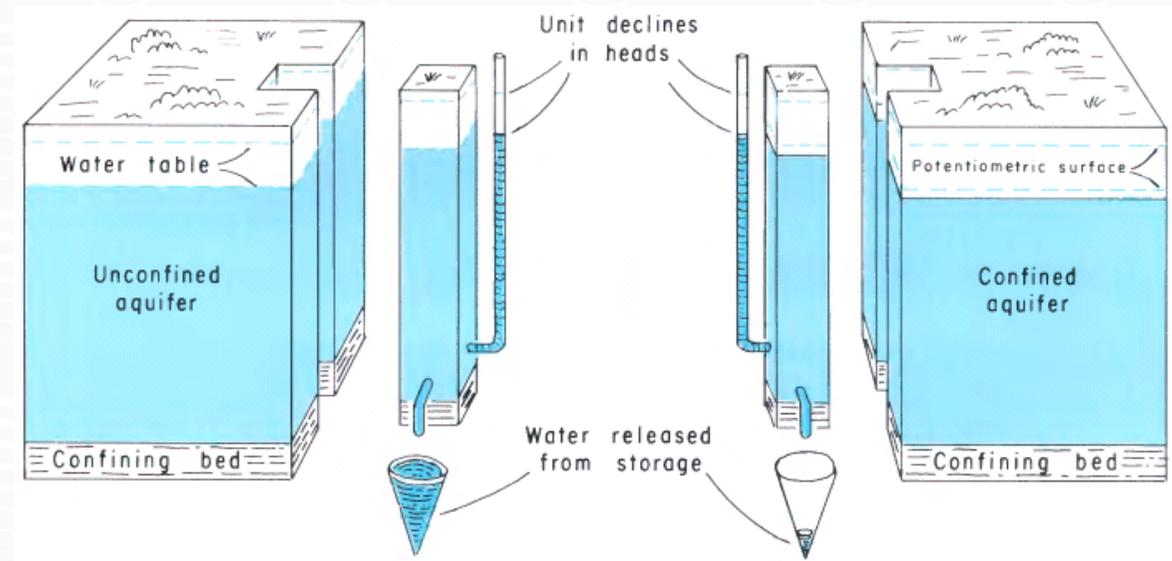
$$S = S_e \cdot b$$

Onde:

S_e = armazenamento específico

b = espessura saturada

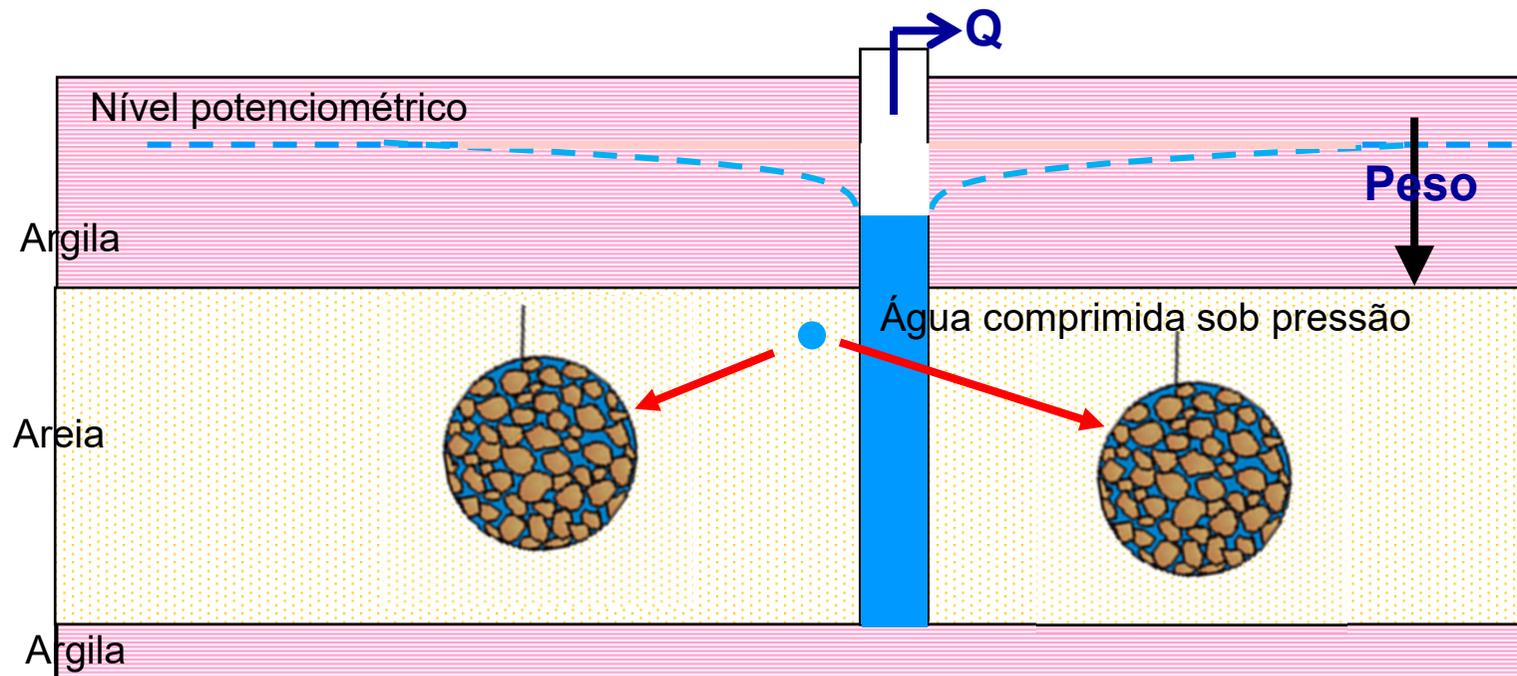
$$S_e = \frac{\delta V}{V \cdot \delta h}$$



AQUÍFEROS LIVRES: $S = 0,01$ A $0,35$

AQUÍFEROS CONFINADOS: $S = 10^{-3}$ A 10^{-5}

Mecanismos de Liberação de Água dos Aquíferos Confinados

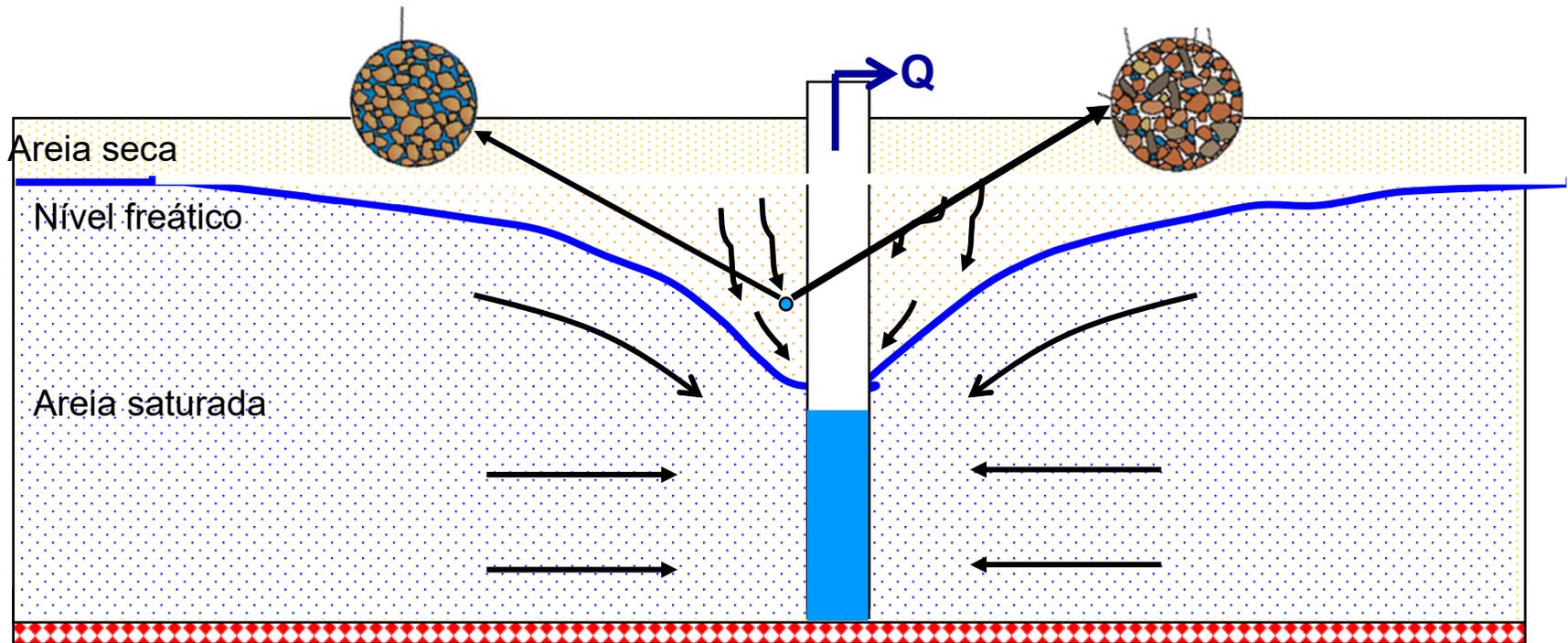


➡ *Descompressão da água*

➡ *Compactação do aquífero*

S

Mecanismos de Liberação de Água dos Aquíferos Livres



Descompressão da água
Compactação do aquífero

S

Drenagem gravitacional dos poros

η_e

PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

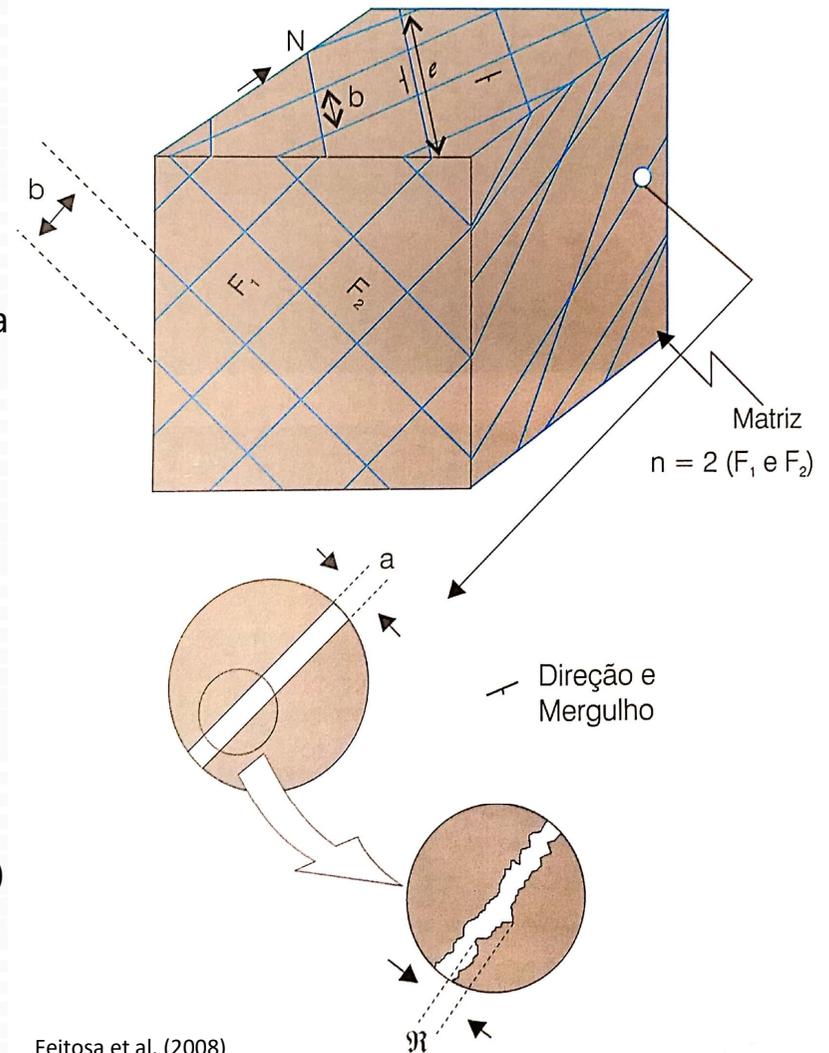
K , \mathcal{R} , S

■ Aquíferos Fissurais/Fraturados

HETEROGÊNEO E ANISOTRÓPICO

Porosidade secundária: função das fissuras e outras descontinuidades. Fatores que influenciam a hidrodinâmica do meio fissural:

1. Amplitude das fissuras (l)
2. Abertura das fissuras (a)
3. Forma e rugosidade das paredes das fissuras (\mathcal{R})
4. Propriedades do material que preenche as fissuras
5. Conectividade entre as fissuras
6. Frequência ou espalhamento das fissuras (b_f)
7. Orientação e posição das fissuras (direção e mergulho)
8. Porosidade e permeabilidade da matriz rochosa



Feitosa et al. (2008)

PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

- Aquíferos Fissurais/Fraturados



- Aquíferos Cársticos



POÇOS

Tipo de "OBRA DE ENGENHARIA" utilizada para captação das águas subterrâneas.
Normalmente de formato circular, com diâmetro e profundidade variáveis.

- 1 Tipos principais e incomuns
- 2 Aspectos construtivos
- 3 Testes de bombeamento



POÇOS

1 Tipos principais e incomuns

Poço Raso, Cisterna, Cacimba ou Amazonas - Poços Escavados

Poços de grandes diâmetros (1 metro ou mais), escavados manualmente e revestidos com tijolos ou anéis de concreto (ou sem revestimento). Captam a água do lençol freático, geralmente com profundidades de até 20 metros.



POÇOS

1 Tipos principais e incomuns

Poço Tubular

Obra de engenharia para acesso a água subterrânea, executada com sonda perfuratriz mediante perfuração vertical com diâmetro de 4" a 36".



POÇOS

1 Tipos principais e incomuns

“Poços” incomuns

- Poço aranha: poços rasos interligados a um único sistema de bombeamento.



POÇOS

1 Tipos principais e incomuns

“Poços” incomuns

- Cava mineração: Afloramento do lençol freático devido a escavação para atividades de extração mineral

POÇOS

1 Tipos principais e incomuns

“Poços” incomuns

- Tanques escavados: Tanques de formatos retangular ou quadrado, rasos, escavados manualmente, onde aflora o lençol freático



POÇOS

2

Aspectos construtivos



POÇOS

2

Aspectos construtivos

ABNT

Etapas Prévias: Projeto do Poço

NBR12.212 - Projeto de poço tubular

Etapas Construtivas:

NBR12.244 - Construção de poço tubular

- **Perfuração** - Percussivo, Rotativo ou Rotopneumático.
- **Completação** - Colocação do revestimento, filtro, pré-filtro e cimentação.
- **Limpeza** - retirar toda a lama e resíduos de perfuração.
- **Desenvolvimento** - tem o objetivo de aumentar a condutividade hidráulica natural nas proximidades do poço, através da retirada seletiva de finos, e corrigir danos causados ao aquífero devido a perfuração (compactação, colmatação).

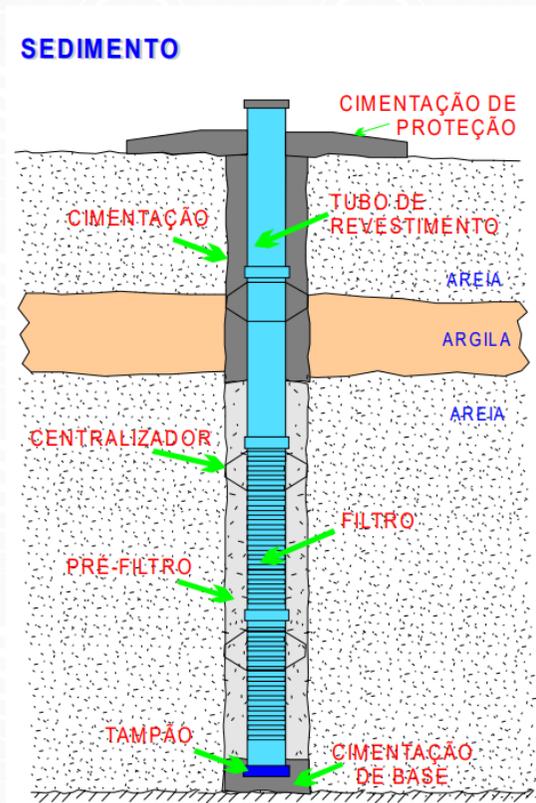
Etapas Posteriores:

- Teste de vazão
- Desinfecção

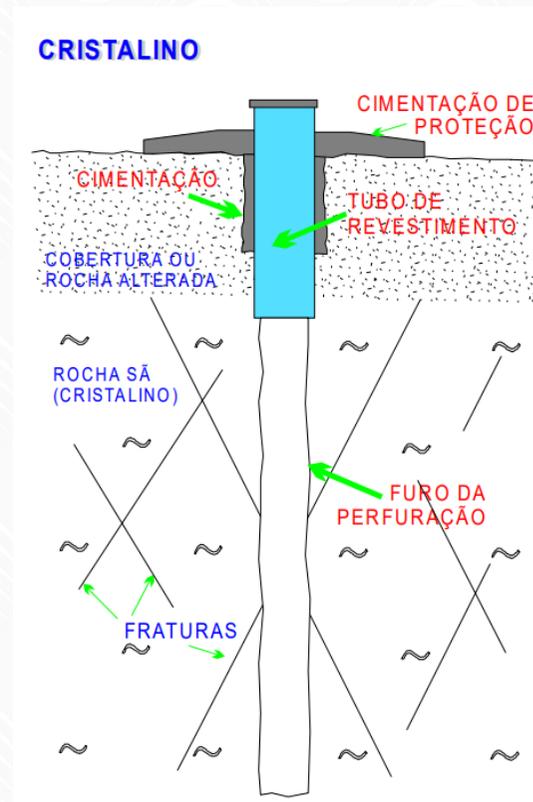
POÇOS

2

Aspectos construtivos



Aquífero Granular



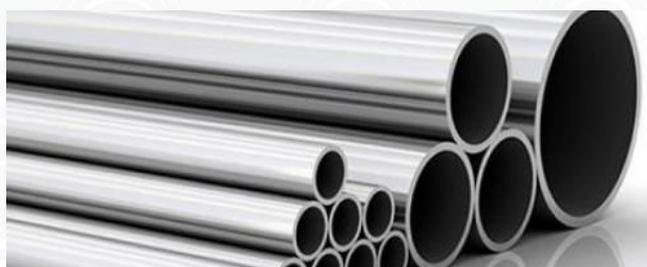
Aquífero Fissural

POÇOS

2

Aspectos construtivos

Revestimentos



Material

- PVC geomecânico
- Metais (aço carbono, ferro galvanizado)

POÇOS

2

Aspectos construtivos

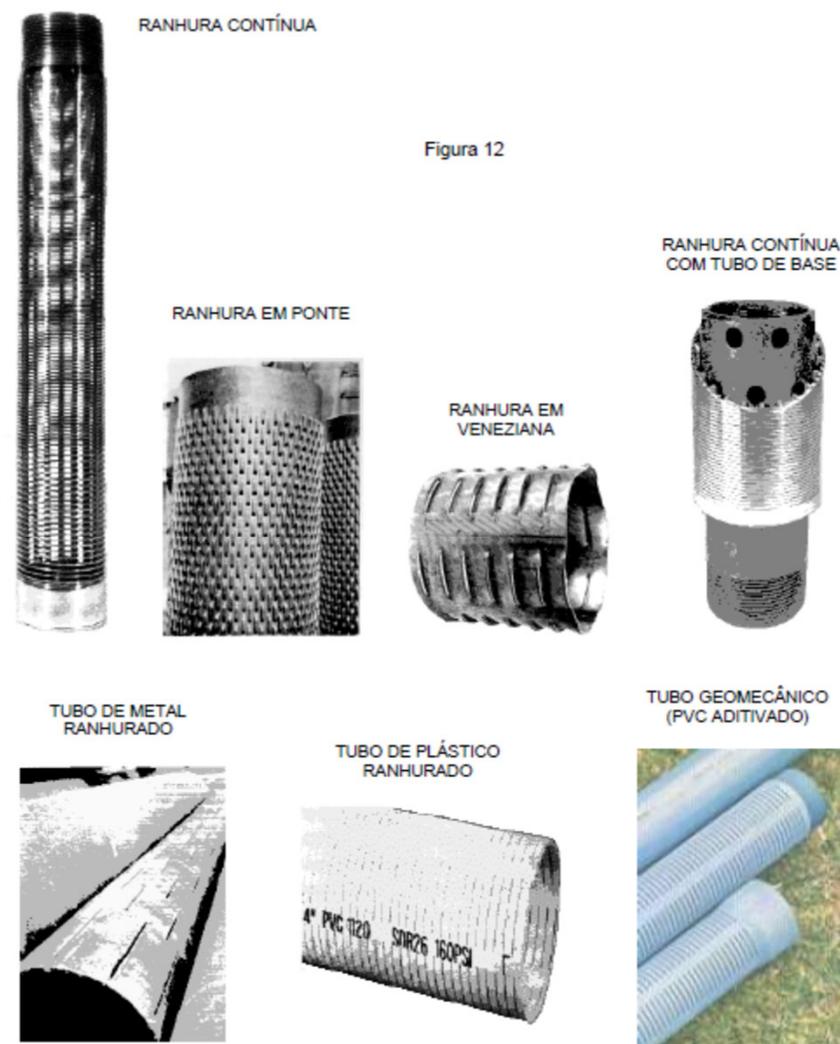
Filtros

Material

- PVC geomecânico
- Metais (aço carbono, ferro galvanizado)

Tipo de ranhura/abertura

- Ranhura em ponte
- Contínua
- Veneziana



POÇOS

2

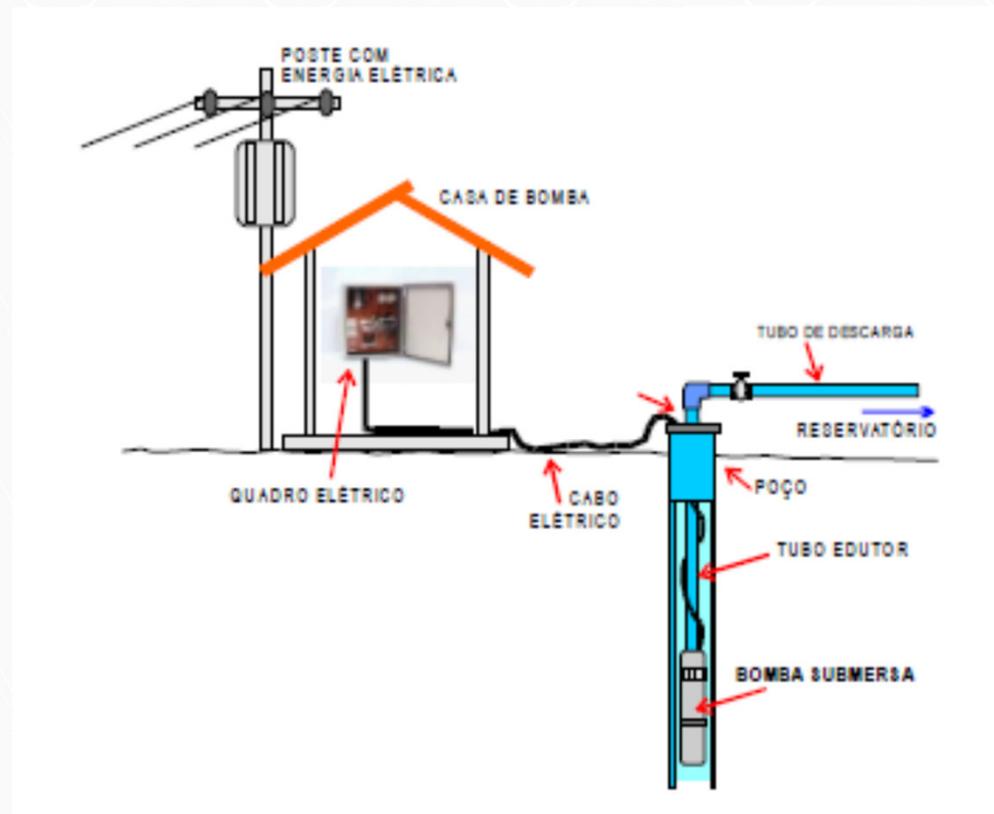
Aspectos construtivos

Unidades de bombeamento

Bomba e tubulação edutora

Tipos

- Submersa
- Centrífuga
- Compressor
- Manual
- ...



POÇOS

2

Aspectos construtivos

Unidades de bombeamento

Tipos

- Submersa
- Centrífuga
- Compressor
- Manual
- ...



POÇOS

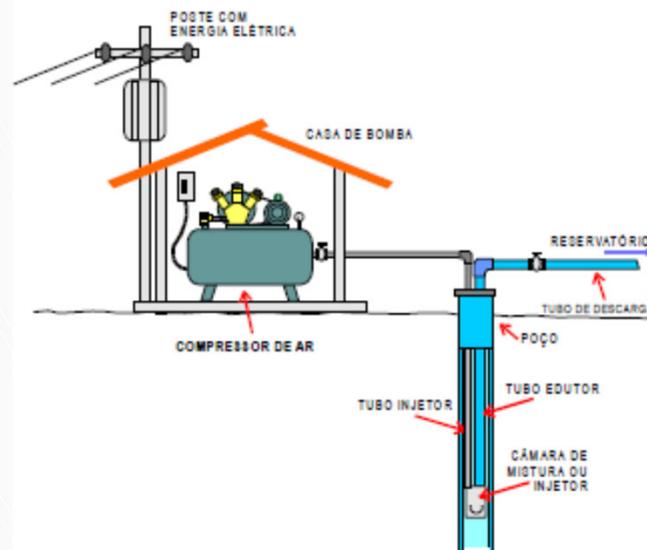
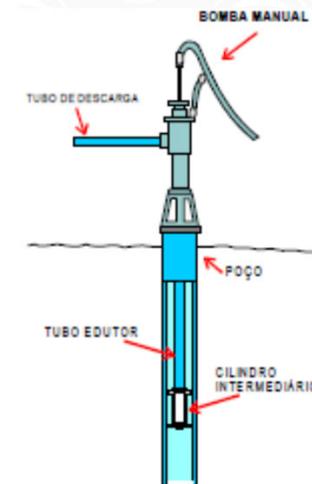
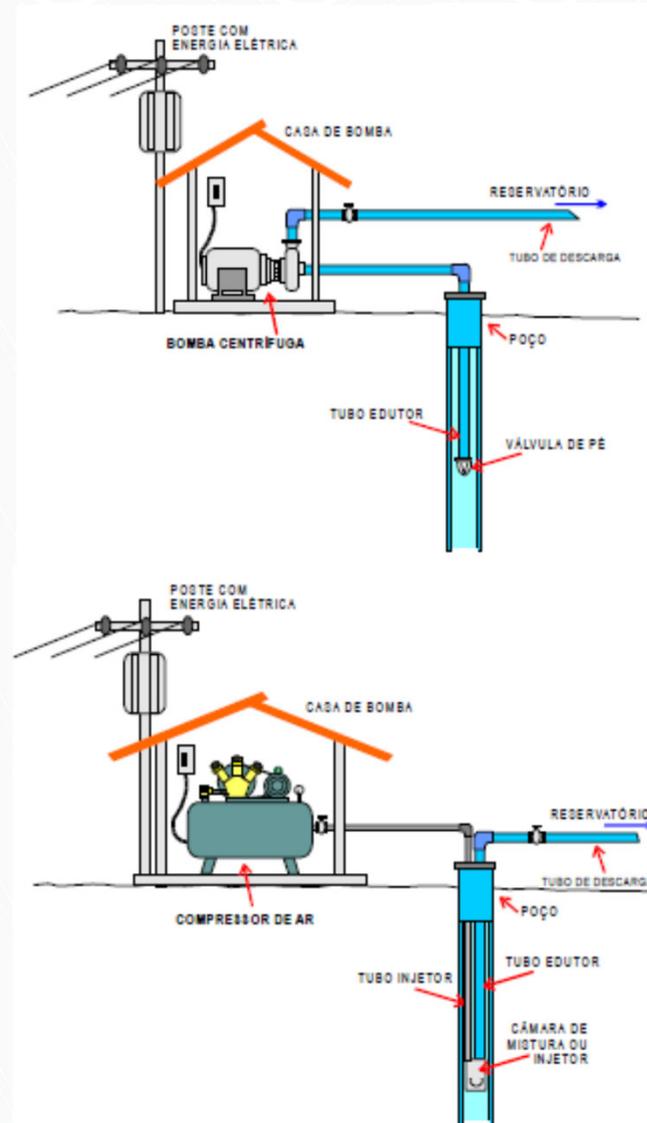
2

Aspectos construtivos

Unidades de bombeamento

Tipos

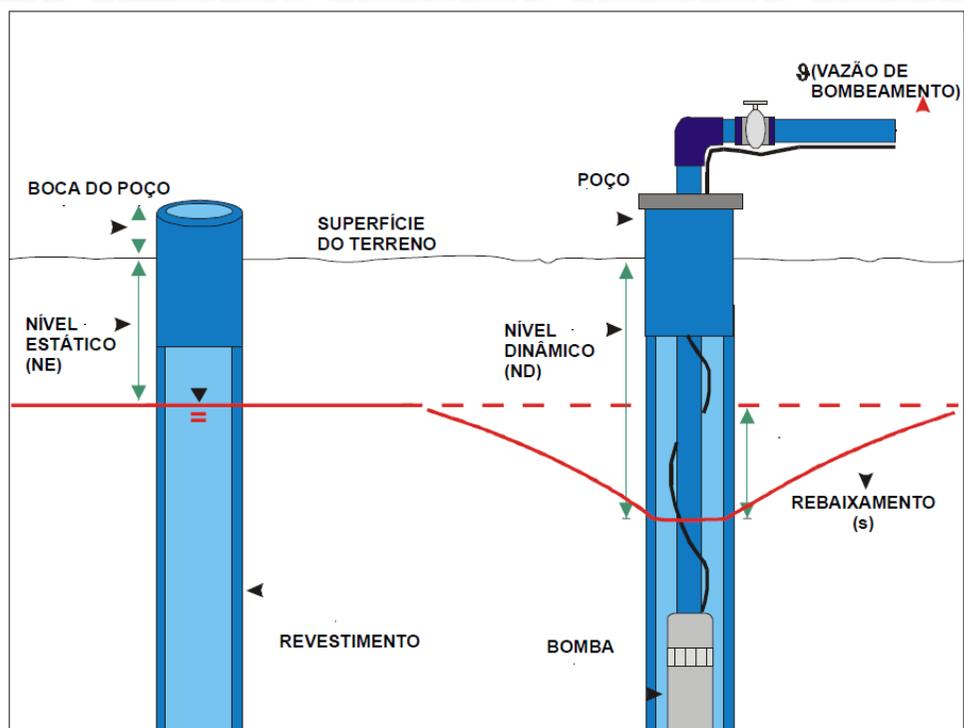
- Submersa
- Centrífuga
- Compressor
- Manual
- ...



POÇOS

3 Testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação)

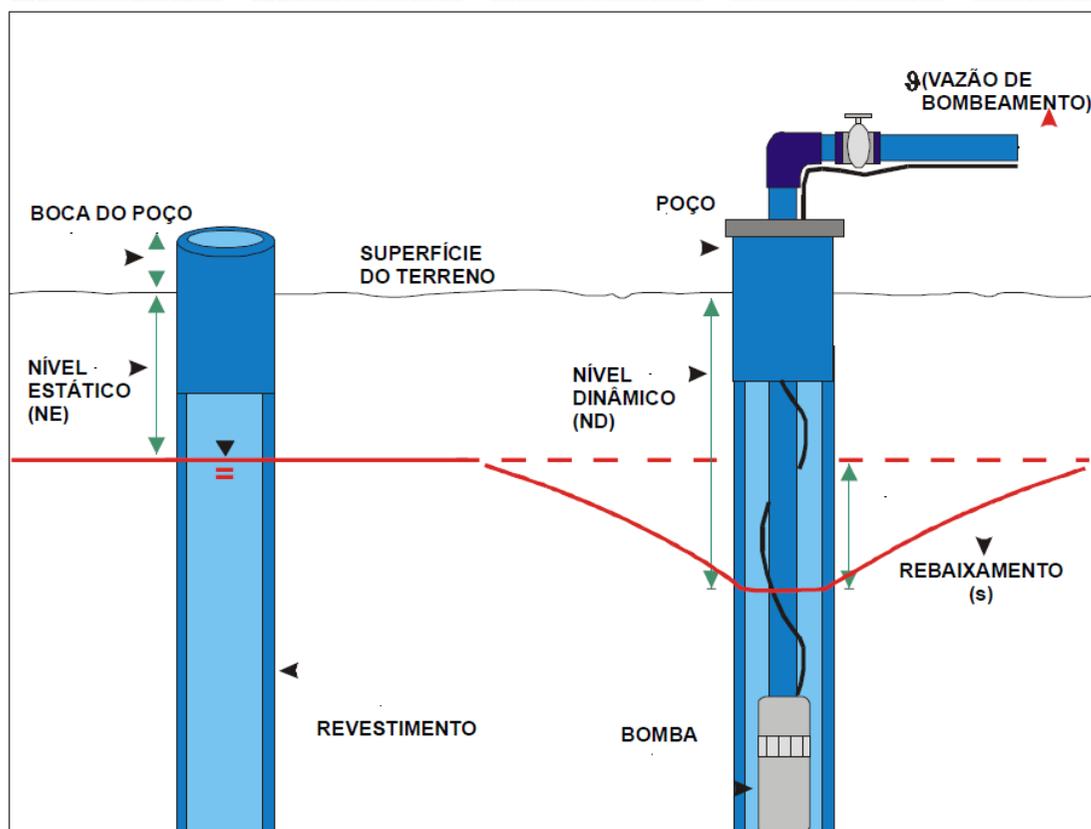
- Consiste na medida do nível do poço ao longo do tempo para uma determinada vazão. Variáveis envolvidas: **Vazão (Q)**, **rebaixamento (s)** e **tempo (t)**



POÇOS

3

Testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação)



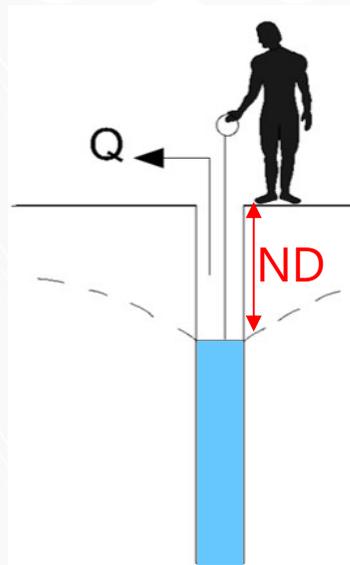
- **Nível Estático (NE):** É a profundidade do nível da água dentro do poço, quando não está em bombeamento por um bom período de tempo.
 - **Nível Dinâmico (ND):** É a profundidade do nível da água dentro do poço, quando está em bombeamento.
 - **Rebaixamento (s):** É a diferença entre o nível estático e o dinâmico, ou seja, o quanto o nível da água rebaixou dentro do poço, durante o bombeamento.
- ❖ Medidos geralmente em metros (m) em relação à boca do poço.

POÇOS

3 Testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação)

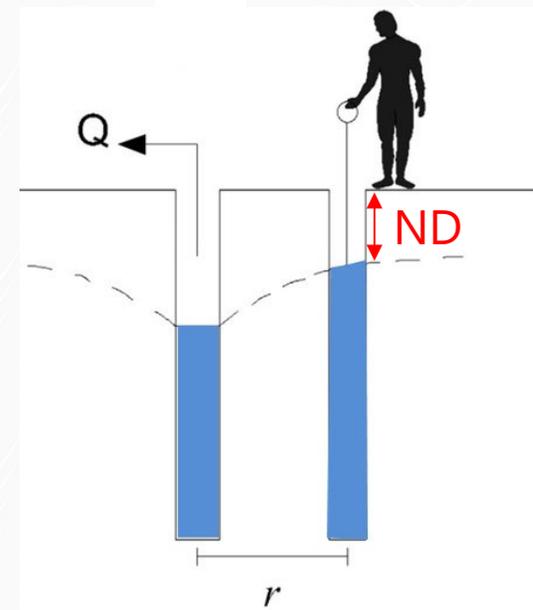
Teste de Produção

- Determinação da vazão de exploração.
- Registro do rebaixamento no próprio poço.



Teste de Aquífero

- Caracterizar o aquífero (K, T, S).
- Registro do rebaixamento em poços de observação.



POÇOS

3 Testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação)

Registro dos Dados (Teste de Aquífero ou Produção)

POÇO BOMB.:	PROF.:	Q (m³/h):							
POÇO OBSERV.:	R (m):	AQUÍFERO:							
LOCAL:	MUNIC./EST.:	EXECUTOR:							
TEMPO BOMB.:	NE (m):	ND (m):							
CRIVO BOMBA (m):	INÍCIO:	TÉRMINO:							
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	ND (m)	s _w (m)	Q (m ³ /h)	Q/s _w (m ³ /h/m)	t' (min)	ND (m)	s _w (m)	tb/t' + 1

Frequência de medição:

0-10	1 min
10-20	2 min
20-50	5 min
50-100	10 min
100-500	30 min
500-1000	60 min
>1000	100 min

Teste de Recuperação

Efetuada ao término do teste de produção. Consiste na medida do nível em função do tempo até que o nível atinja o nível estático original.

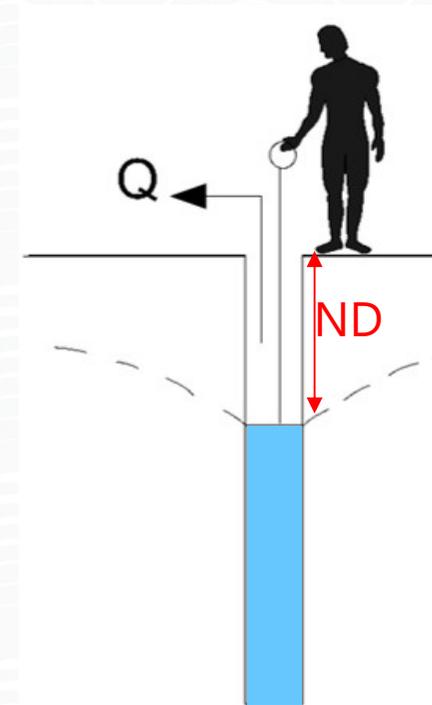
POÇOS

3 Testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação)

Teste de Produção

É o tipo de teste executado na grande maioria dos poços perfurados para produção de água. É esse o tipo de teste usualmente solicitado pelos órgãos gestores de recursos hídricos

- Bombeamento e registro dos rebaixamentos no próprio poço bombeado.
- Definir a vazão de operação do poço e a profundidade da bomba.
- Determinação das perdas de carga no poço e no aquífero (equação característica do poço $s = BQ + CQ^2$).
- Avaliação da eficiência do poço.
- Pode ser realizado em etapa única (contínuo) ou em múltiplas etapas (escalonado ou sucessivo).
- Tempo de bombeamento usual, de 24 a 48 hs (etapa única) e de 3 a 7 hs por etapa (escalonado ou sucessivo)

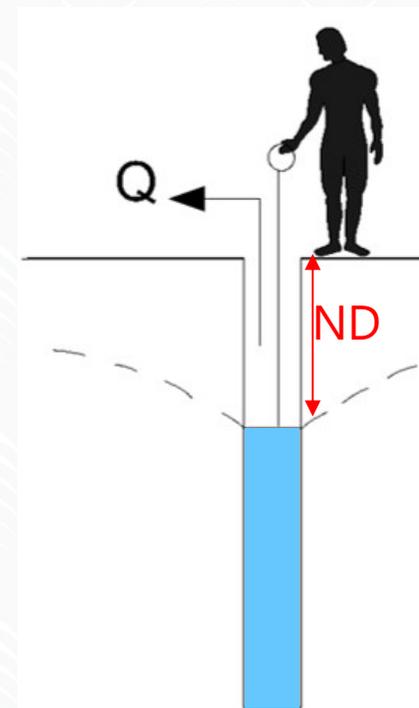
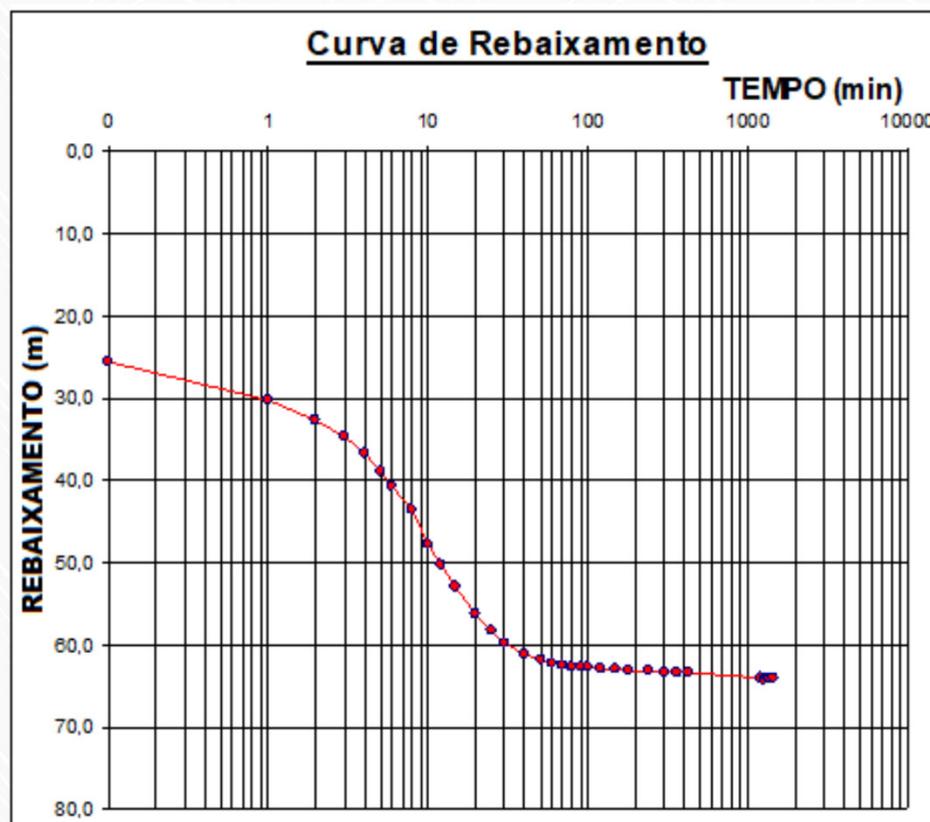


POÇOS

3

Testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação)

Teste de Produção em Etapa Única (Contínuo)



3

Testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação)

Teste de Produção em Múltiplas Etapas

- No mínimo 3 etapas, onde a vazão em cada etapa deve ser constante e $Q1 < Q2 < Q3 < Q4...$
- A maior vazão deve ser igual ou superior àquela cogitada para exploração.
- Duração do teste: 3 a 7 horas cada etapa.
- Permite a construção da equação característica do poço $s = BQ + CQ^2$ e a avaliação da eficiência do poço.
- Pode ser em etapas sucessivas (com recuperação do nível estático ao término de cada etapa) ou escalonadas (sem recuperação do nível estático).
- Podem ser realizados com ou sem estabilização final do ND.

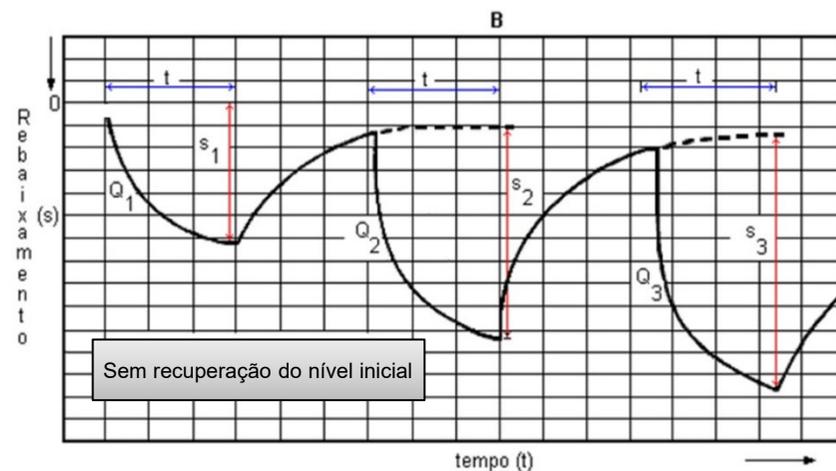
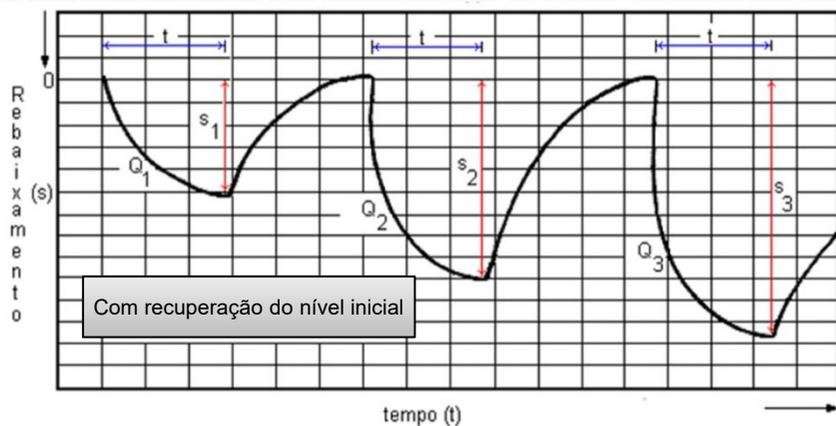
POÇOS

3

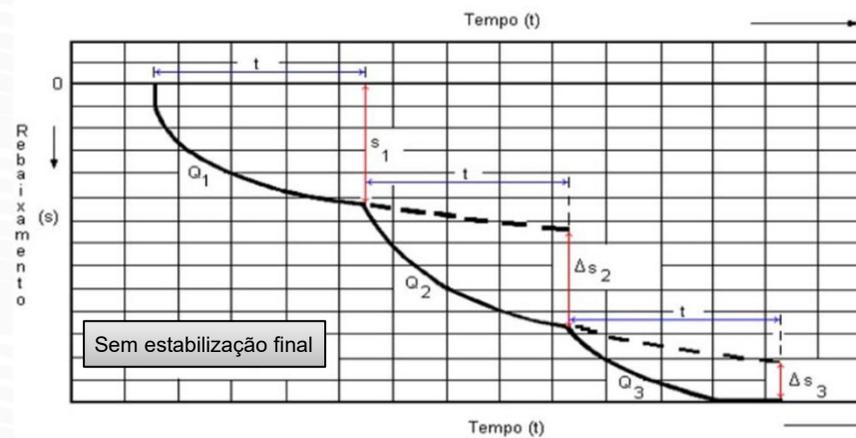
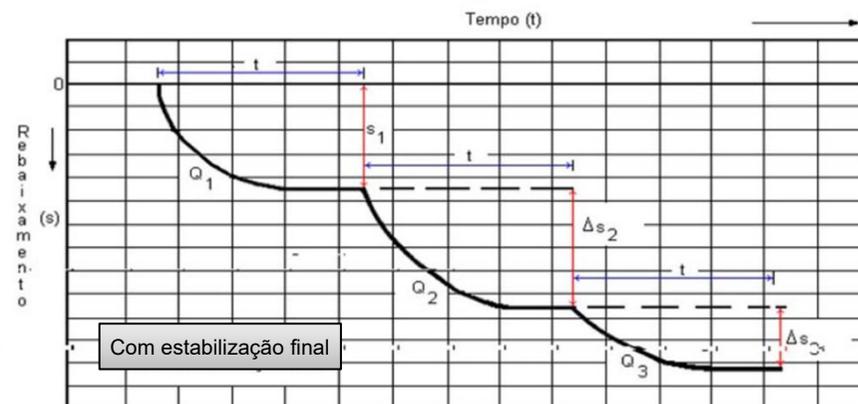
Testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação)

Teste de Produção em Múltiplas Etapas

Sucessivos



Escalonados

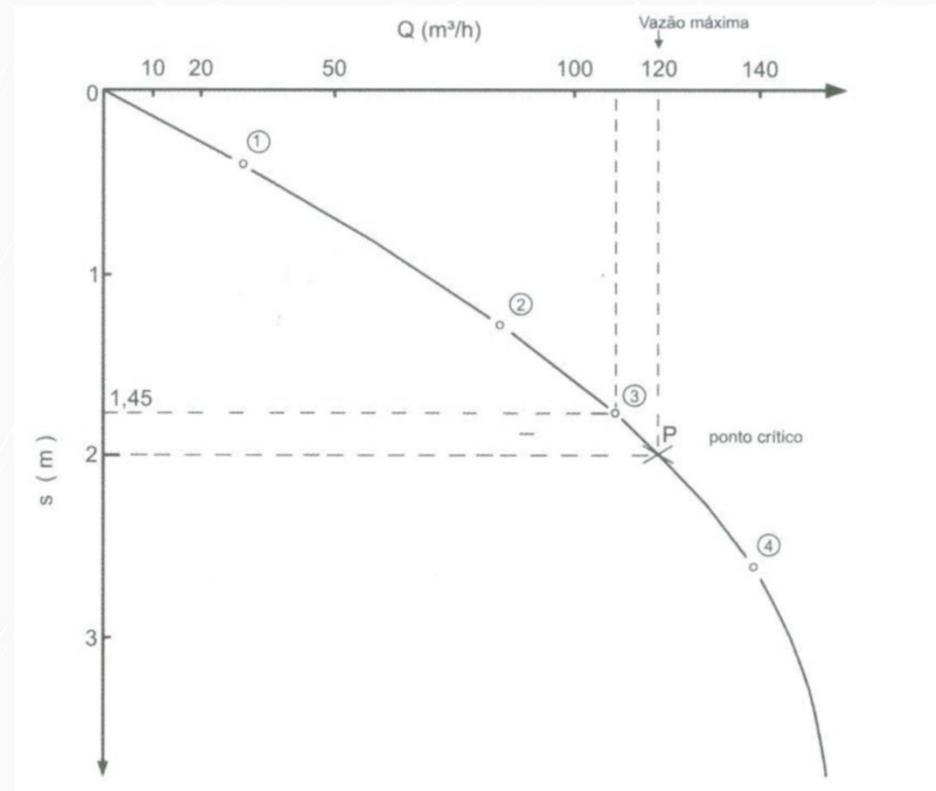


POÇOS

3

Testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação)

Vazão de exploração é aquela determinada para a produção do poço considerando um alcance determinado (5, 10, 15, 20 ... anos). É calculada considerando tanto a produtividade do aquífero captado, como as características construtivas do poço, além de fatores influentes externos (interferências de outros poços, etc.).

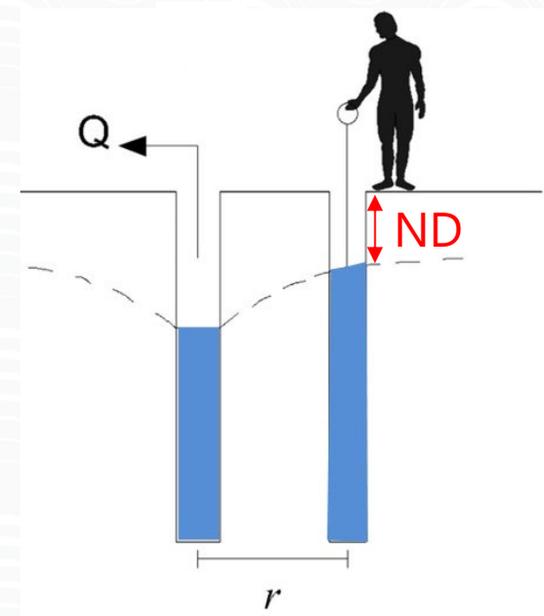


POÇOS

3

Testes de Aquífero

- Bombeamento do poço e registro dos rebaixamentos em poço(s) de observação localizado a uma distância r .
- Maior tempo de bombeamento - 24 a 72 hs (cada etapa).
- Caracterização do aquífero - K , T , S
- Diferentes métodos de interpretação a depender do tipo de aquífero e do regime de fluxo.



Análise de fluxo para poços em meios homogêneos

Regime de Fluxo	Tipo de aquífero		
	Confinado não drenante ¹	Confinado drenante ²	Livre
Estacionário ³	Thiem	De Glee Hantush-Jacob	Dupuit & Forchheimer
Transiente ⁴	Theis Jacob	Walton Hantush	Hantush-Jacob Boultoun-Pricket

- 1 - **Confinado drenante** - pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável
- 2 - **Não drenante** - as camadas limítrofes são impermeáveis
- 3 - **Regime Estacionário ou Permanente** - O cone de rebaixamento é estabilizado devido a contribuição de água de uma fonte externa
- 4 - **Regime Transiente** - O cone de rebaixamento evolui progressivamente com o tempo

POÇOS



Exercício

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS/CONSULTAS

HIDROGEOLOGIA – Conceitos e Aplicações CPRM. Feitosa et al. 2008
DECIFRANDO A TERRA
PARA ENTENDER A TERRA

Noções Básicas de Poços Tubulares – Cartilha Informativa. CPRM (1998). Disponível em :

https://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/Nocoas_Basicas_Pocos_Tubulares.pdf

SITES CONSULTADOS:

- THROUGH THE SANDGLASS
- LEARNING GEOLOGY - A Geology Outreach Website
- WATER EDUCATION FOUNDATION (CALIFORNIA)
- SPRINGS STEWARDSHIP INSTITUTE (VASEYS PARADISE)

Hidrogeologia dos Ambientes Cársticos da Bacia do Rio São Francisco (ANA, 2018) - Disponível do Portal de Metadados da ANA

Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucua e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada (ANA, 2017) – Disponível no Portal de Metadados da ANA

Sistema Aquífero Urucua: Caracterização regional e Propostas de Gestão. Tese de Doutorado (UnB) (Gaspar, 2006)

Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. Revista Brasileira de Geociências 37(1): 81-89
Tássia de Melo Arraes & José Eloi Guimarães Campos (2007)

Márcia Gaspar

Coordenação de Águas Subterrâneas
Superintendência de Implementação e Programas e Projetos

marcia.gaspar@ana.gov.br | (+55) (61) 2109 –5300



www.twitter.com/anagovbr

facebook

www.facebook.com/anagovbr

YouTube

www.youtube.com/anagovbr

Obrigada