



Gestão Integrada das Águas Superficiais e Subterrâneas na Bahia – Aquífero Urucuia



Secretaria de Meio Ambiente e Recursos
Hídricos – SEMA

Superintendência de Estudos e
Pesquisas – SEP

Diretoria de Estudos Avançados em Meio
Ambiente - DEAMA



Houve, uma vez, dois verões...

Título de longa-metragem do cineasta Jorge Furtado

Houve, uma vez, duas águas...

Zoltan Romero C. Rodrigues
Especialista em Gestão de Recursos Hídricos – SEMA (BA)



Gestão Integrada dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos

- *Visão: Um processo que promova a utilização e o gerenciamento dos recursos hídricos, maximizando o resultante bem-estar econômico, social e ambiental.*



Áreas onde a visão integrada apoia a gestão de recursos hídricos I

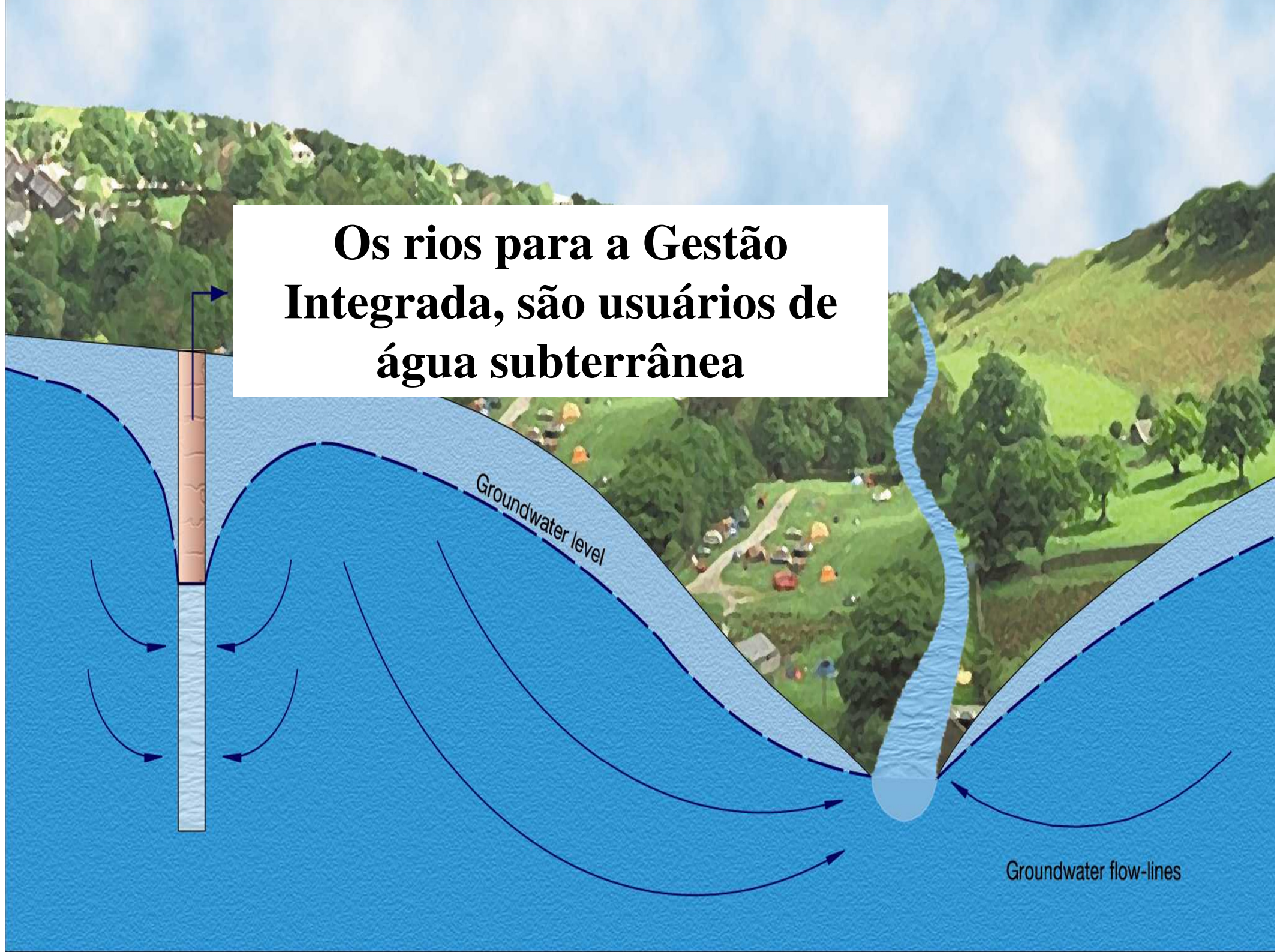
- Minimiza a tradicional **separação institucional** da água superficial e subterrânea que resulta fundamentalmente em **barreiras de comunicação e entendimento**.
- Reconhece que para haver sustentabilidade **deve-se permitir incrementos na demanda de água** para atividades econômicas e desenvolvimento humano.

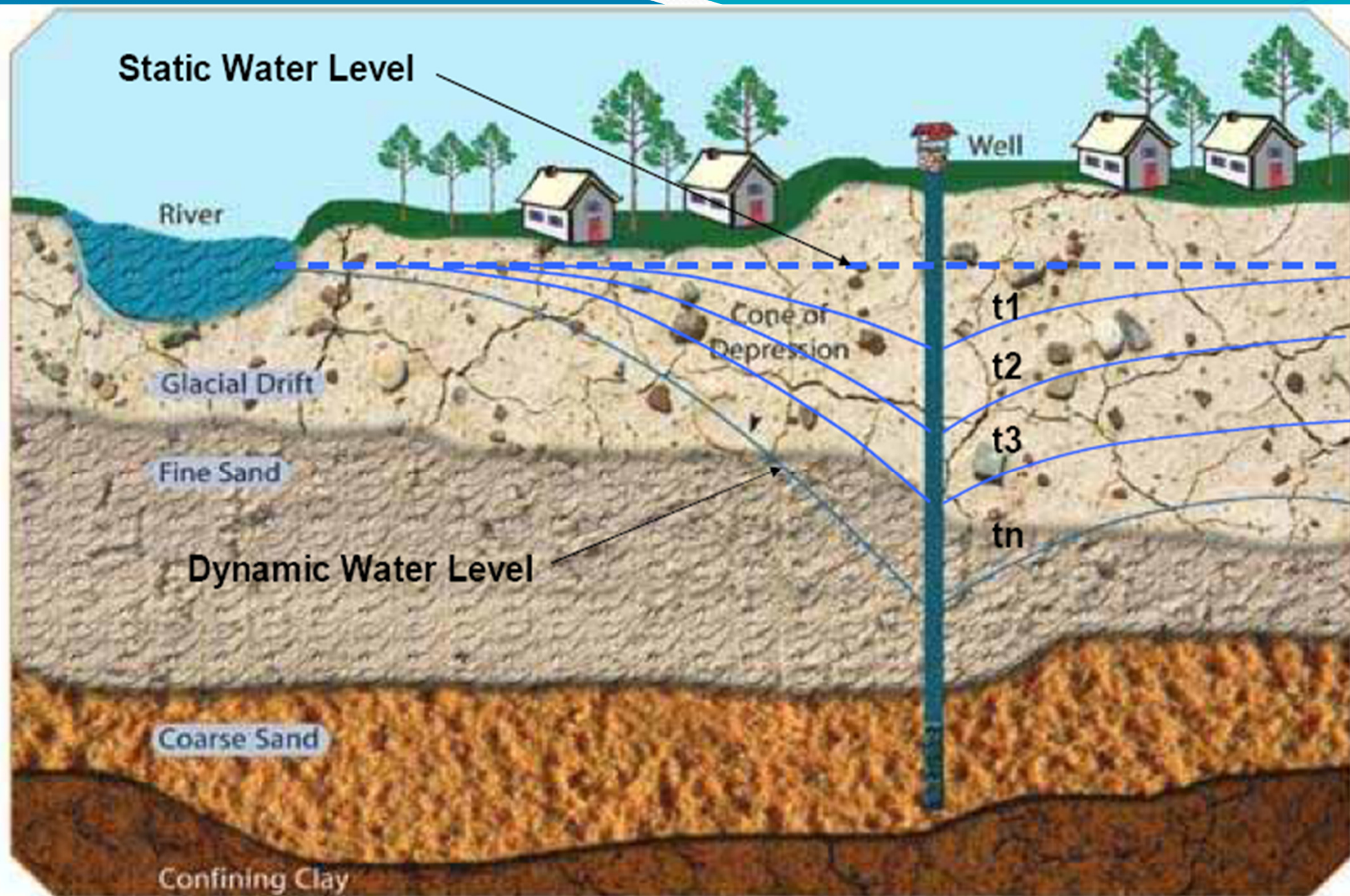


Áreas onde a visão integrada apoia a gestão de recursos hídricos II

- Reduz **riscos nas decisões de gestão** – *Qual a disponibilidade real de água na bacia? Como responder a retiradas excessivas? Como se preparar para secas prolongadas e severas???*
- Reduz **problemas institucionais**, como fundos limitados, pouco pessoal, falta de capacitação ou simplesmente, **barreiras políticas** para a gestão.

Os rios para a Gestão Integrada, são usuários de água subterrânea





Poços bombeiam água dos rios ou que iriam para os rios.



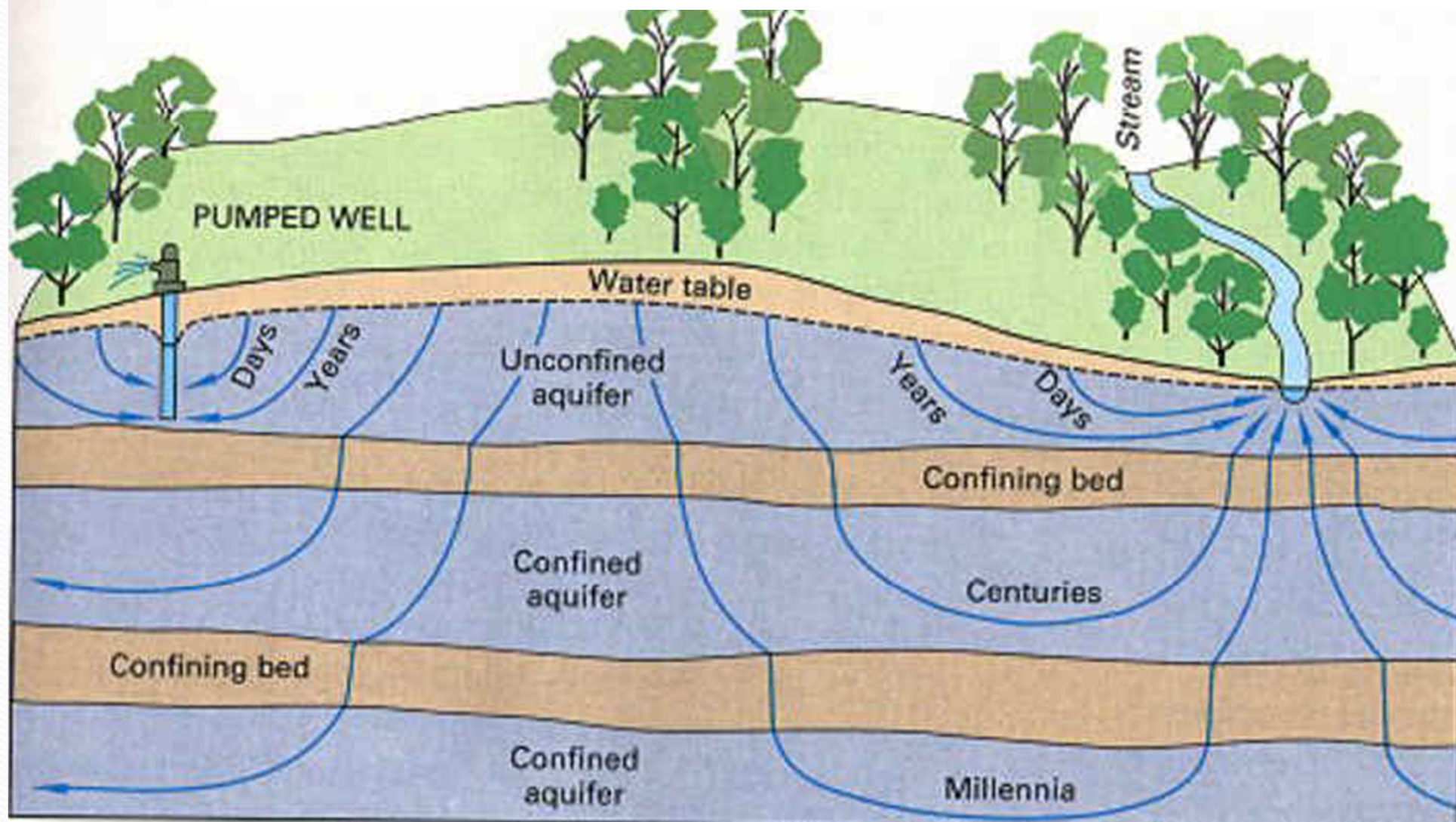
Detalhando o Problema



Na zona saturada a água subterrânea percola ao longo de caminhos curvos e emerge no rio ou fonte hidráulicamente mais próxima



As águas subterrâneas mantêm os mananciais superficiais, não importa a profundidade. É uma questão de tempo.





Princípio da Conservação da Massa

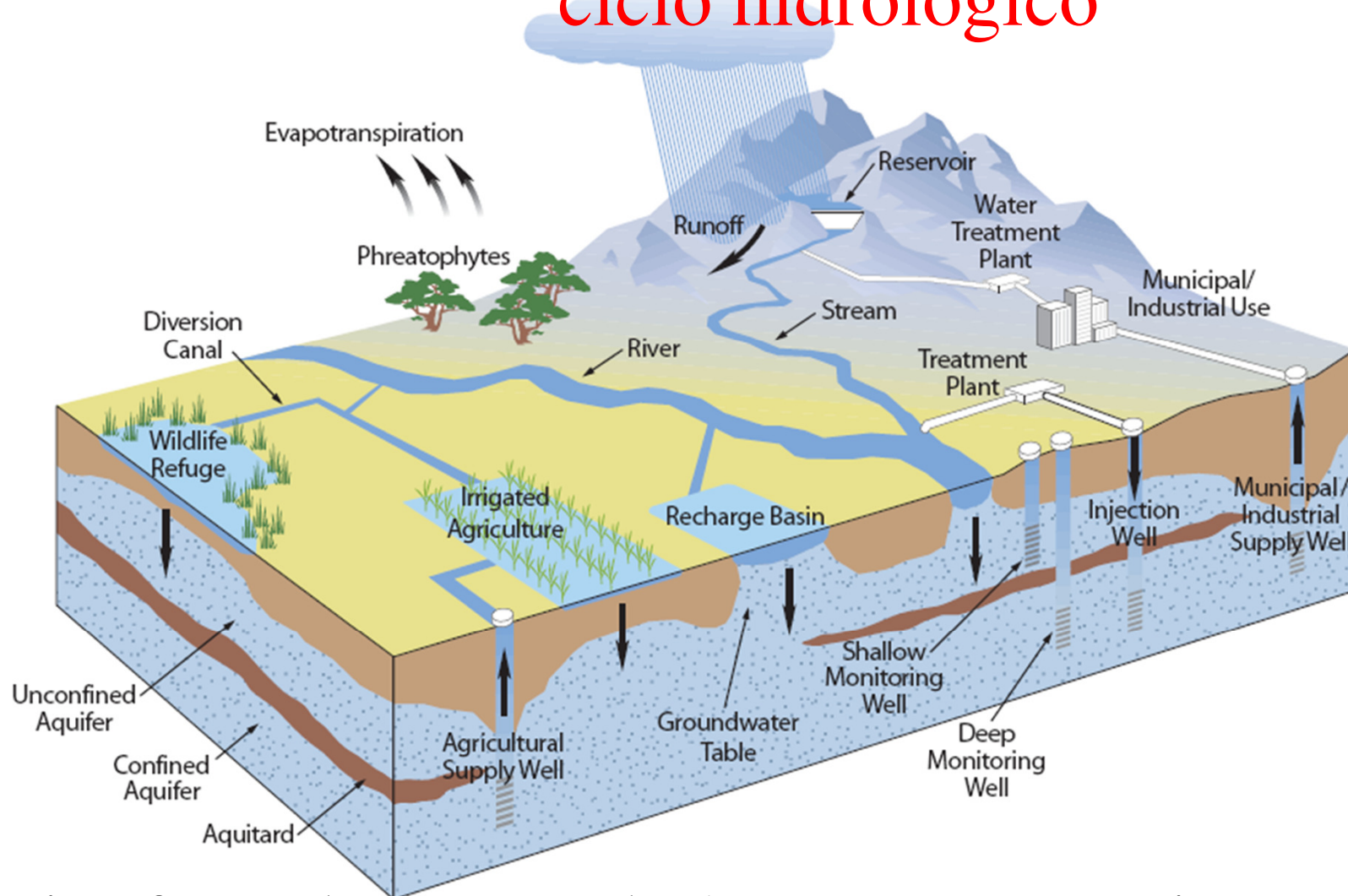
A variação e o fluxo da água em um aquífero é determinada pelo princípio da CONSERVAÇÃO DA MASSA (não se pode CRIAR nem destruir matéria).



Theis (1935) Descreveu a Retirada de Água de Um Aquífero:

*“Um novo estado de equilíbrio dinâmico se alcança somente mediante um **incremento na recarga** (recarga induzida), uma **redução da descarga**, ou uma combinação de ambos os efeitos.”*

Porque a água subterrânea é parte do ciclo hidrológico



A única fonte de recarga de água para os continentes é
a CHUVA!!!!



A este respeito,
BREDEHOEFT acrescentou:

“...a recarga é determinada pela precipitação pluvial, que não se altera com a exploração do aquífero.”



E MAIS:

“...a descarga natural é que se altera e faz possível que o aquífero alcance um novo equilíbrio.”

CICLO HIDROLÓGICO

Água Subterrânea





DE MODO QUE:

“A captura da descarga natural é o que geralmente determina a magnitude do aproveitamento sustentável.”



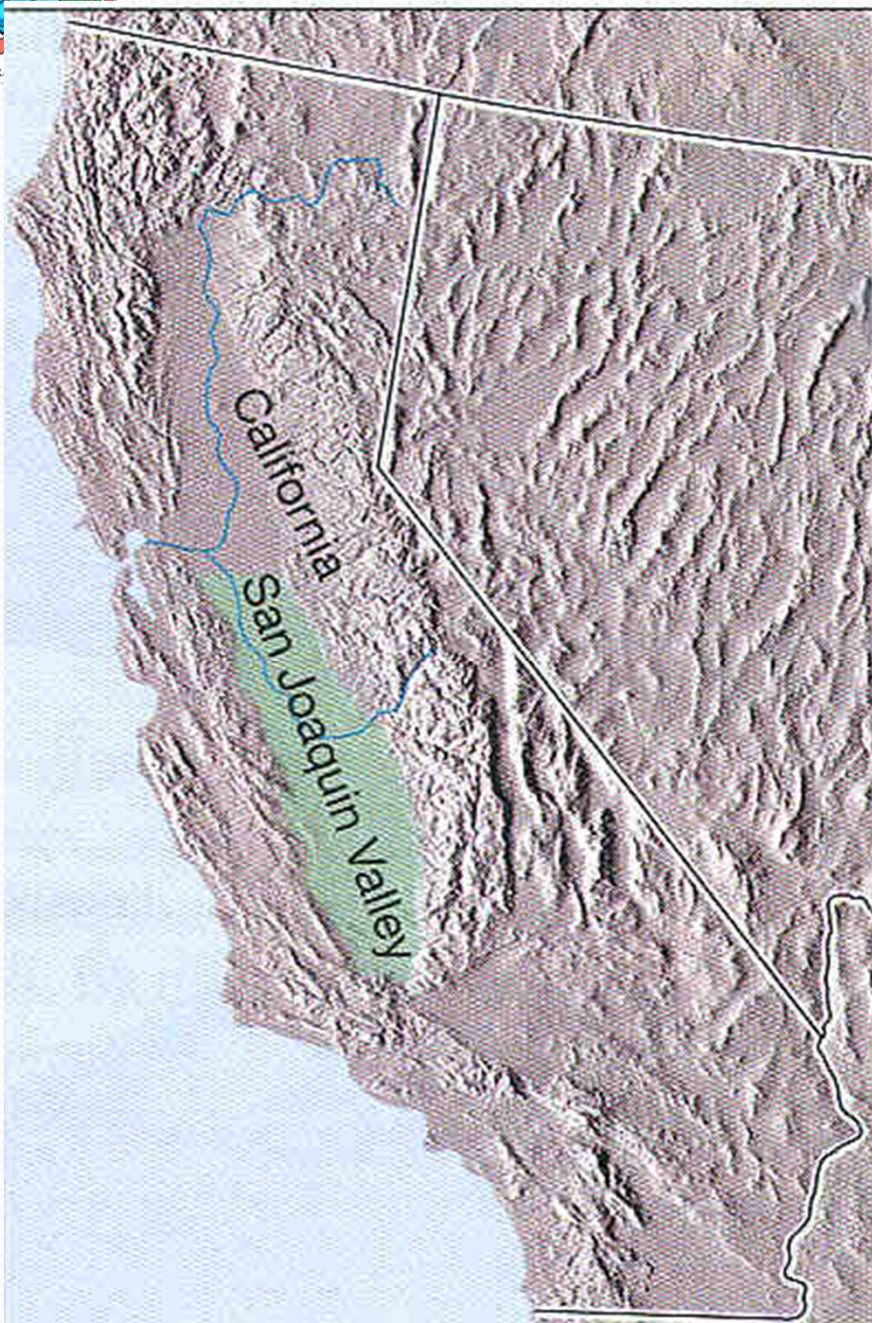
Causa Temporal da Ilusão de Separação

Quanto tempo a água leva para sair do aquífero?



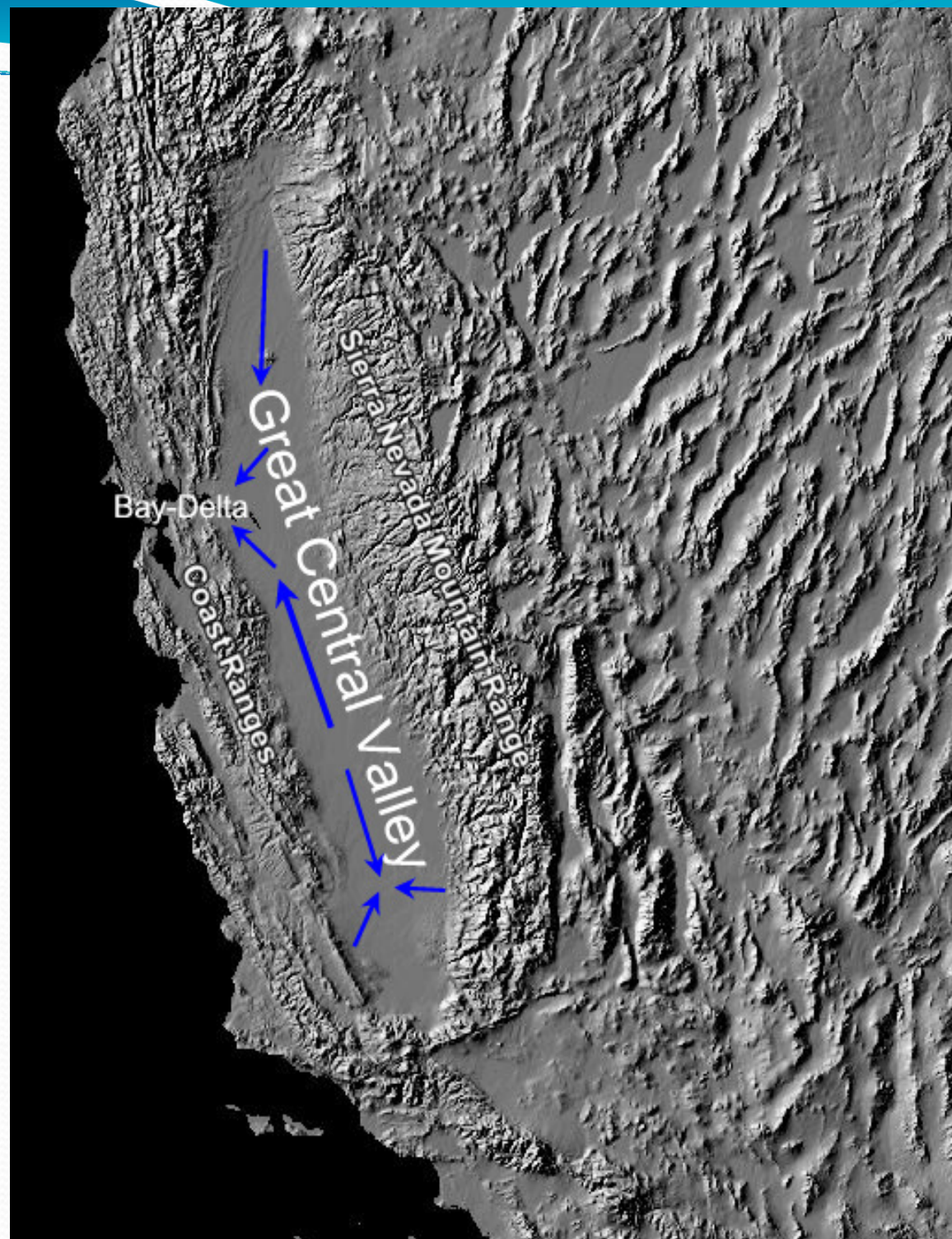


Aquífero semi- confinado profundo





Inversão das Drenagens em virtude do Bombeamento da Água Subterrânea





Problema I

- A conexão entre as águas dos mananciais superficiais e subterrâneos são conhecidas desde o trabalho original de Boussinesq em 1877 (quase 140 anos).
- Entretanto, até hoje (segunda década do século XXI), os atores envolvidos no estudo e na gestão dos recursos hídricos não conduziram este conhecimento para uma realidade prática, com raras exceções.



Problema II

- Quando uma região é abastecida por águas superficiais e subterrâneas, problemas surgem pela redução de vazão dos rios devido ao bombeamento de águas subterrâneas (outorga-se a mesma água duas vezes).
- A avaliação desta interação e sua quantificação é fundamental para a gestão de recursos hídricos.



Então no caso de um aquífero confinado/semi-confinado, profundo (topo a mais de 3.000 m de profundidade), se este for bombeado por poços, este bombeamento vai interferir nos mananciais superficiais????

Se o aquífero tiver recarga ou for passível de recarga induzida, a resposta é **SIM** (princípio da conservação da massa).



Pesquisadores que dizem isto...

Zhang (1992); Zlotnik et al. (1999); Butler et al. (2001); Chen & Yin (2001); Chen & Shu (2002); Hunt (2004); Zlotnik (2005); Hunt & Smith (2008); Hunt (2008); Butler et al. (2008); Scott (2009) Zlotnik & Tartakovsky (2009); Christensen et al. (2009); Christensen et al. (2010); Huang et al. (2010); entre outros...

Pesquisa para o Mestrado.



Conclusão de Todos os Pesquisadores Citados

Mesmo em um aquífero semi-confinado (não importando a profundidade ou espessura do aquífero), a drenagem vertical, com o tempo, se torna uma parte significativa da taxa de bombeamento. Este intervalo de tempo pode ser de algumas horas a algumas décadas.

O impacto nas drenagens superficiais sofre um retardo temporal.



LAGO

RIO

RIO



Aquitarde

Aquifero

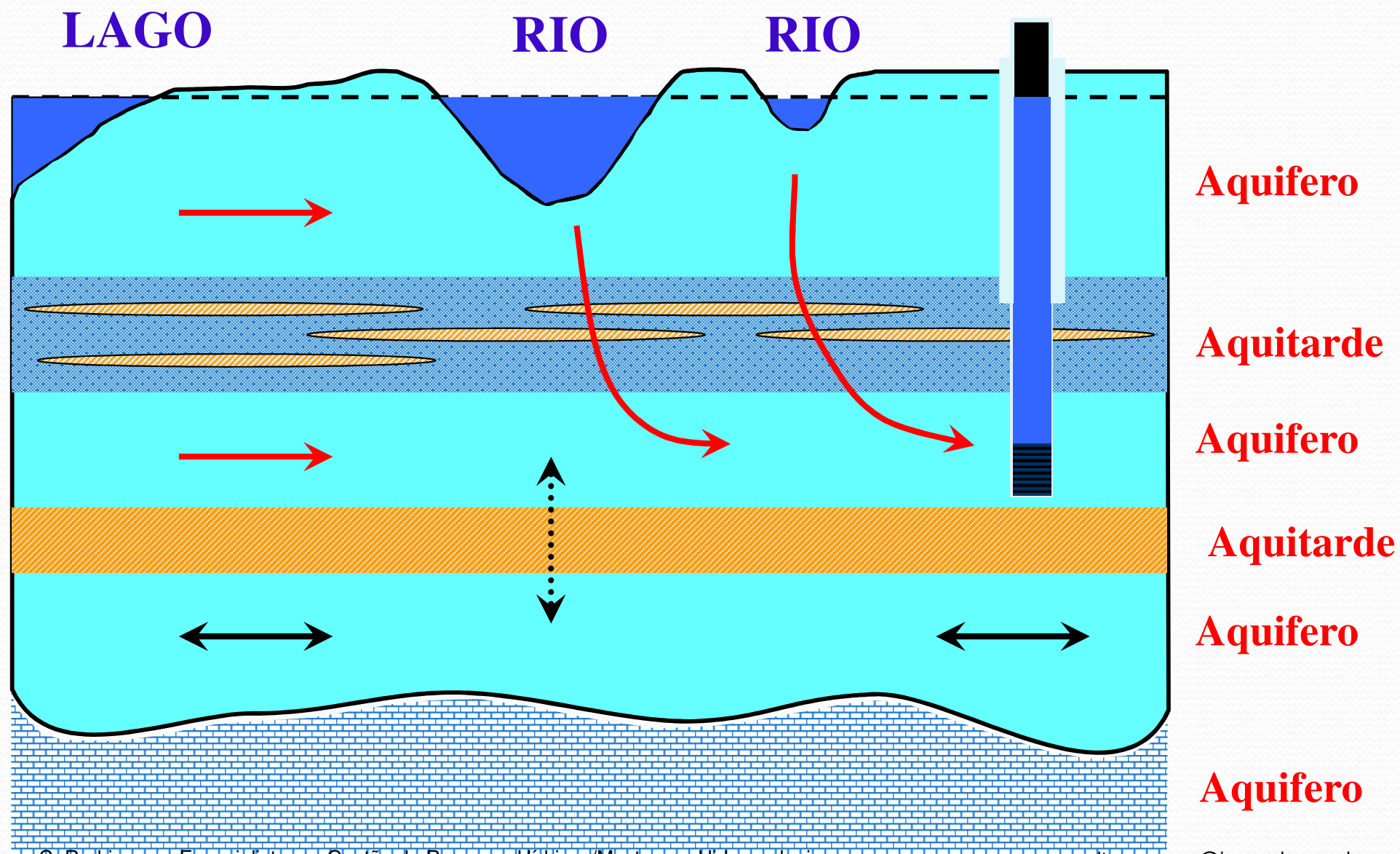
Aquitarde

Aquifero

Aquifero

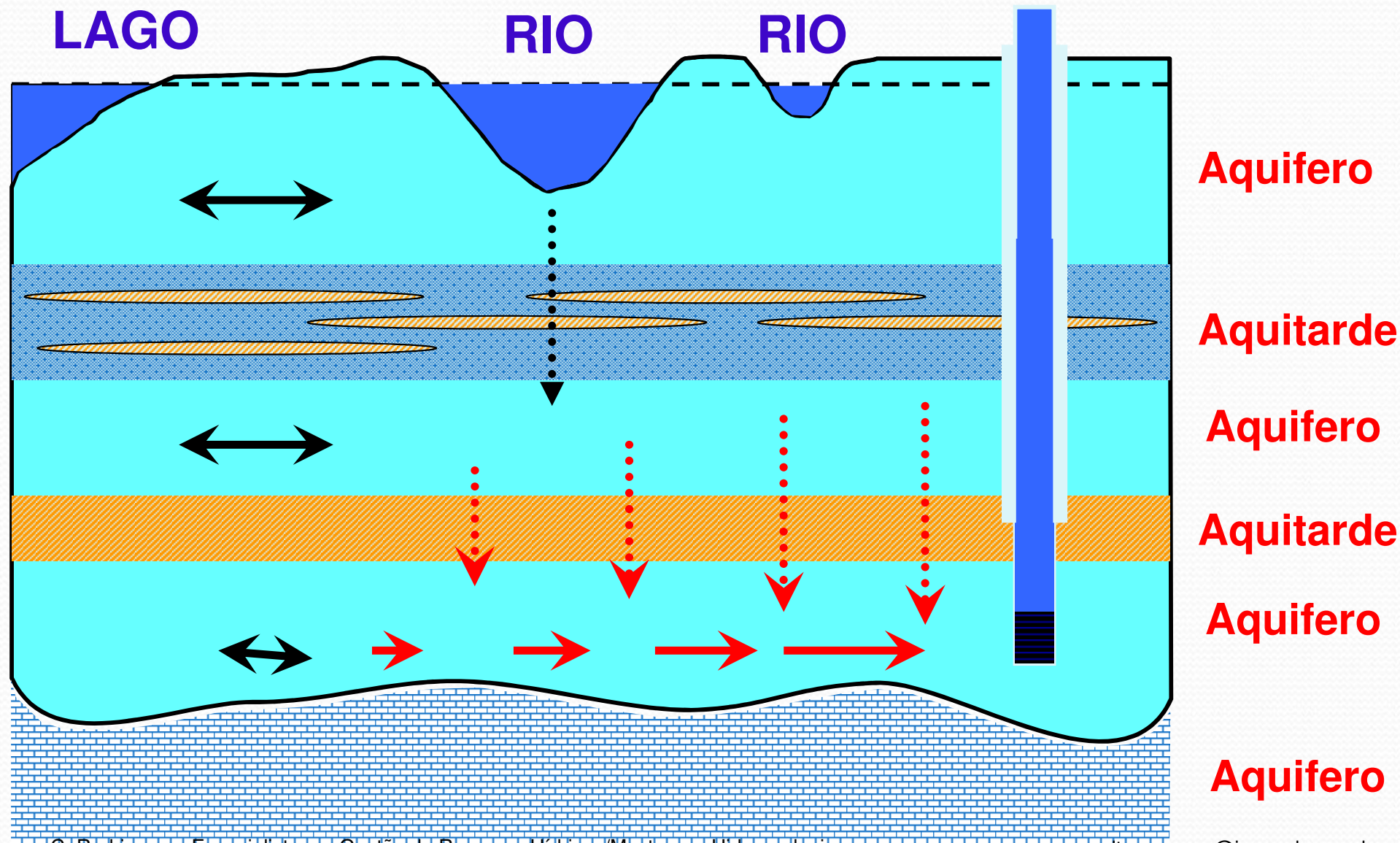


Influência nas águas superficiais (2)



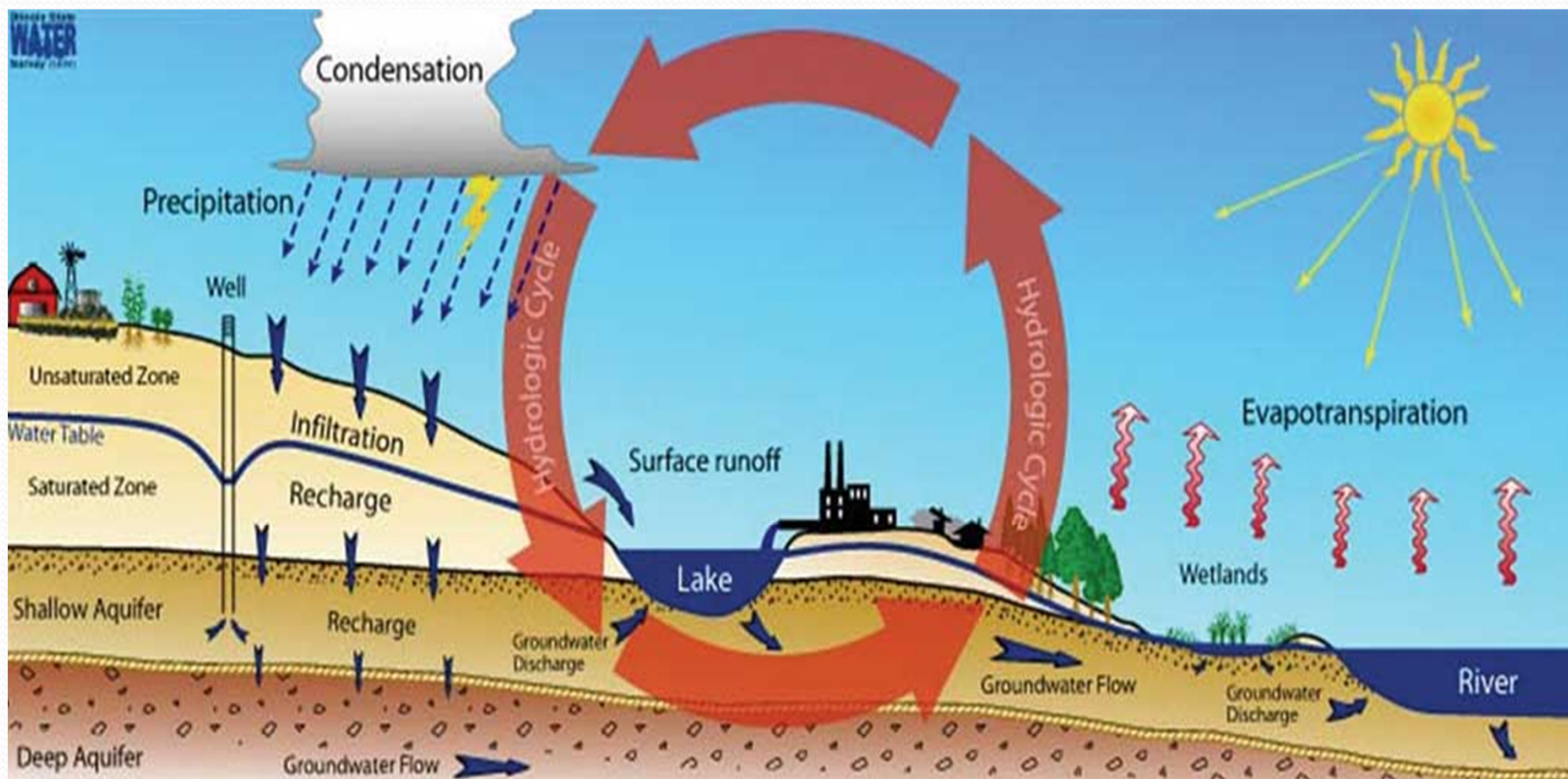


Influência nas águas superficiais (3)





Existe uma única água e sua gestão integrada é essencial



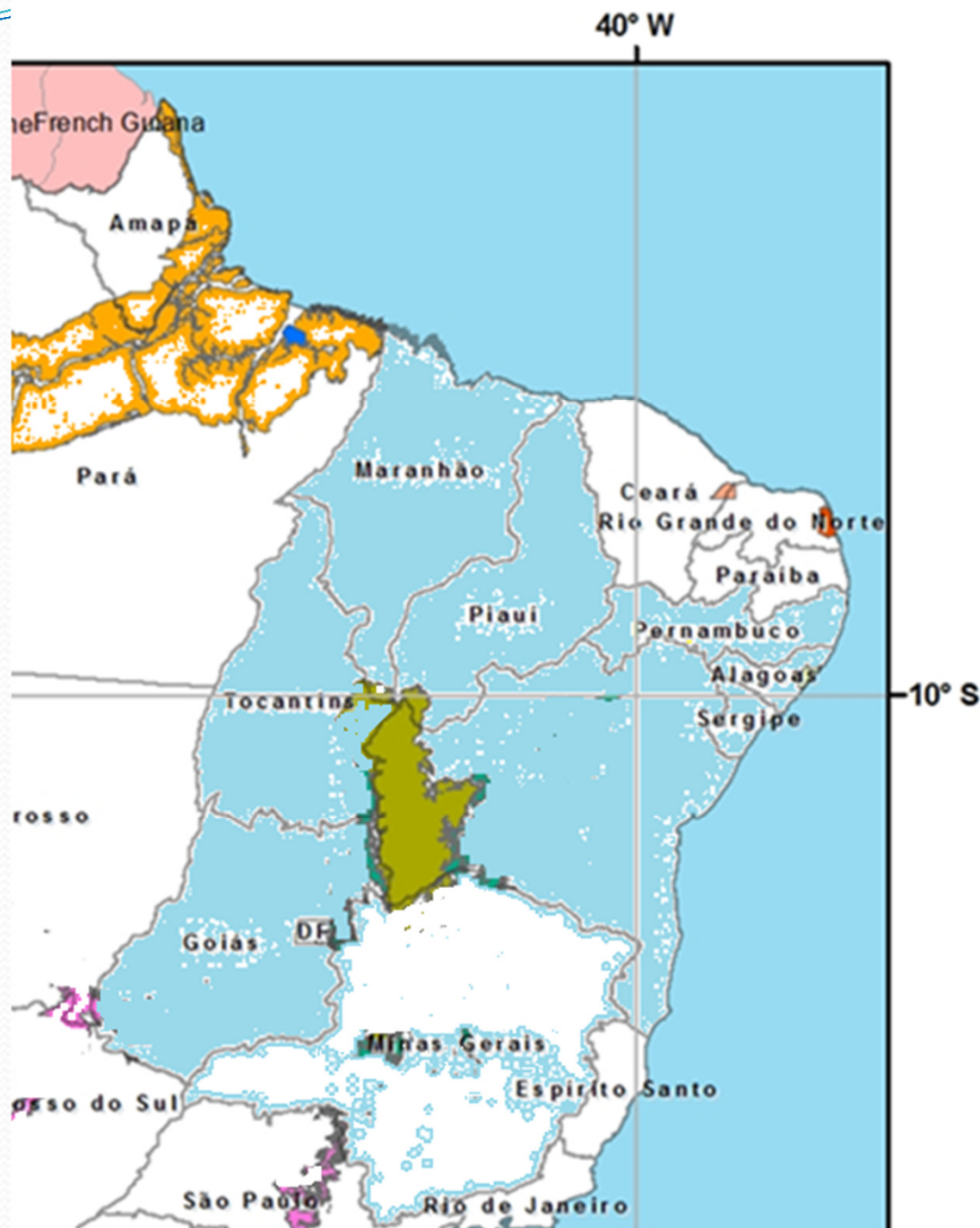
Interações entre água subterrânea e superficial.



Aquífero Urucuia



O aquífero funciona como um reservatório de regularização dos rios, garantido a preservação de suas vazões nos períodos de estiagem e reduzindo o impacto das cheias nos períodos de chuvas intensas. Seus parâmetros já foram definidos em vários trabalhos científicos.



Estados Beneficiados Pela Água do Oeste Baiano

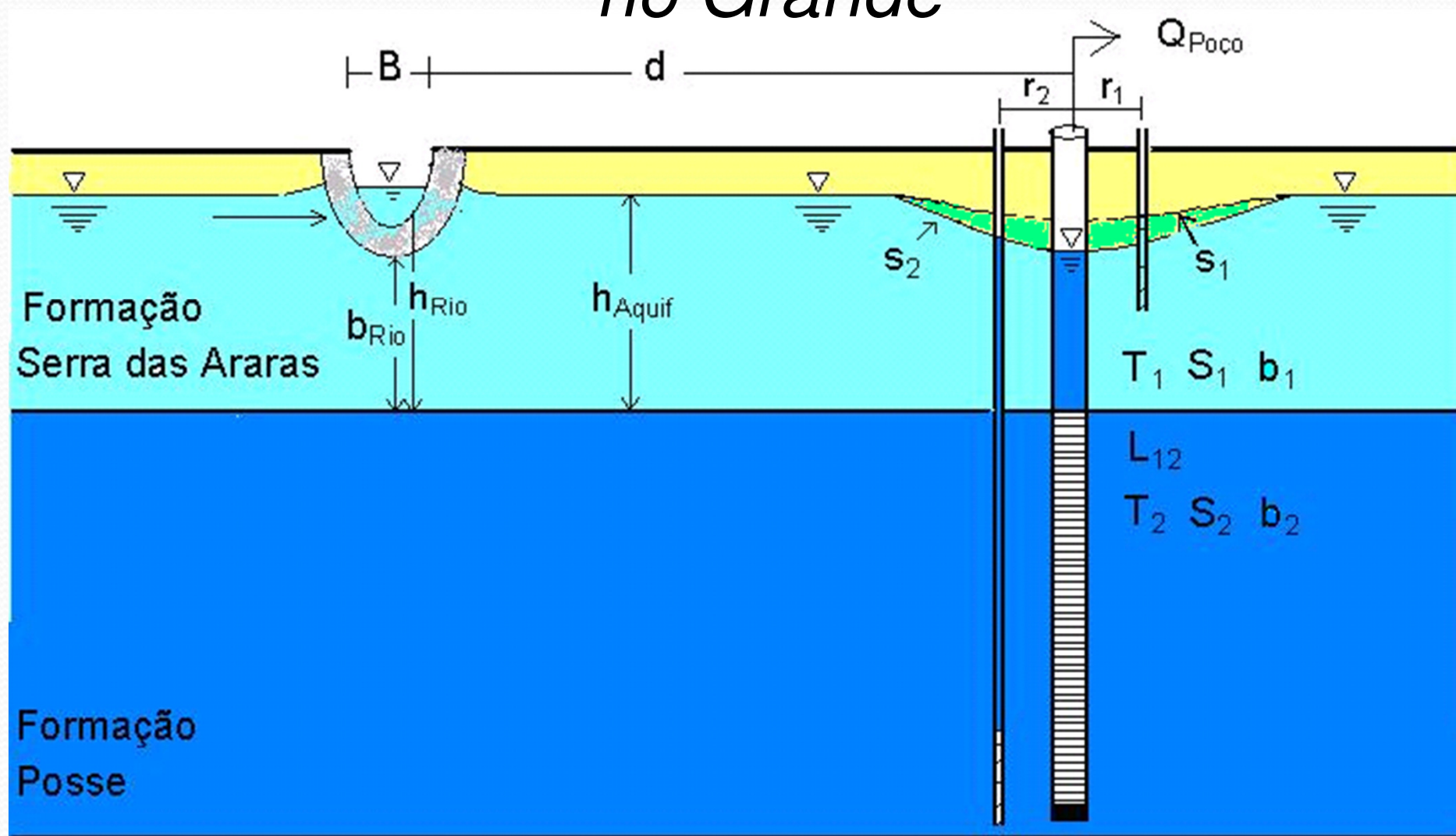


A Região Oeste do Estado da Bahia





Representação esquemática do sistema aquífero Urucuia na bacia do rio Grande





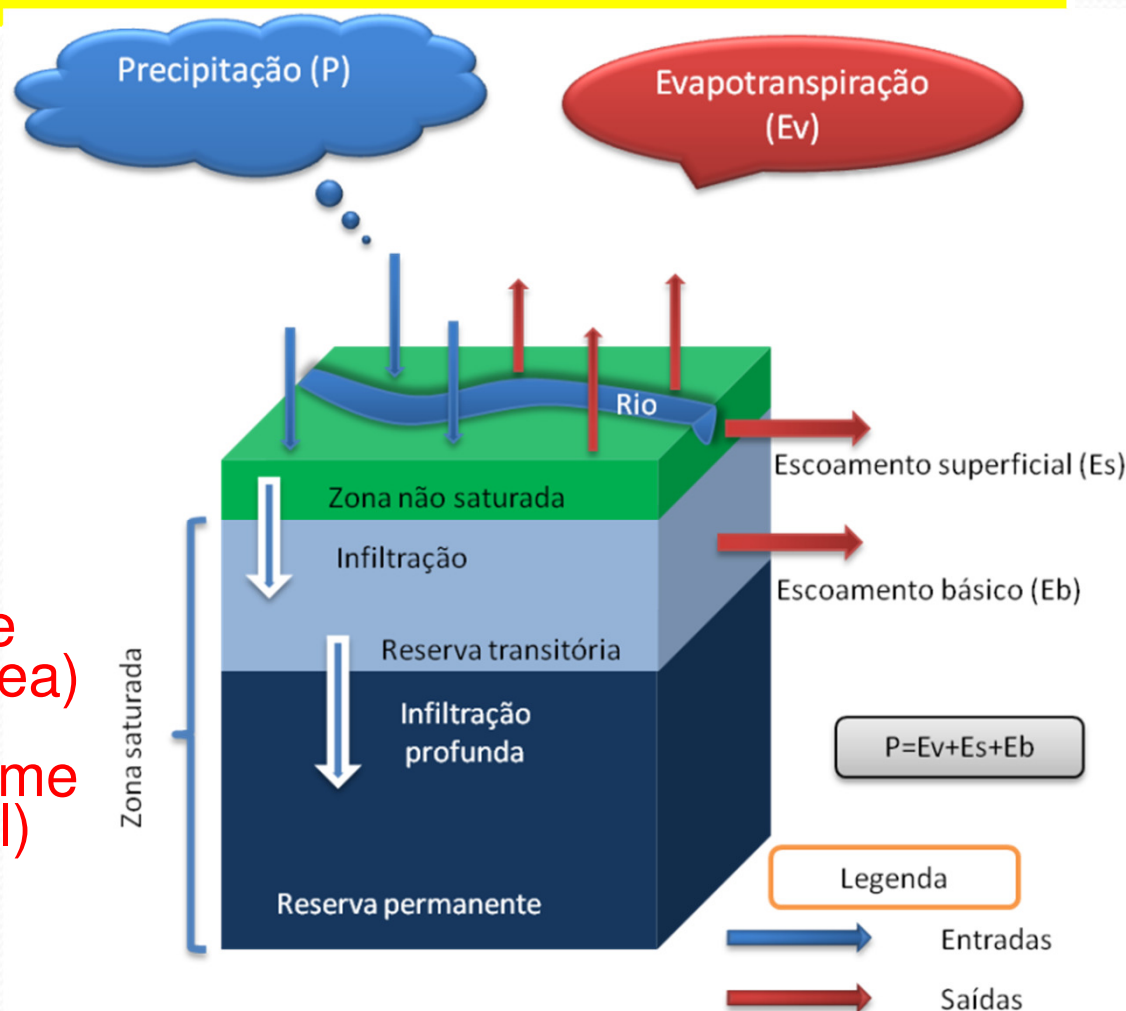
Consequências do Princípio da Conservação da Massa

O escoamento de base dos rios (superficial) é aproximadamente igual a reserva reguladora (subterrânea). A água descarregada pelo aquífero é a recarga do aquífero (equilíbrio dinâmico).

$$Rr = Eb$$

Rr = reserva reguladora (volume para retirada de água subterrânea)

Eb = escoamento de base (volume para retirada de água superficial)



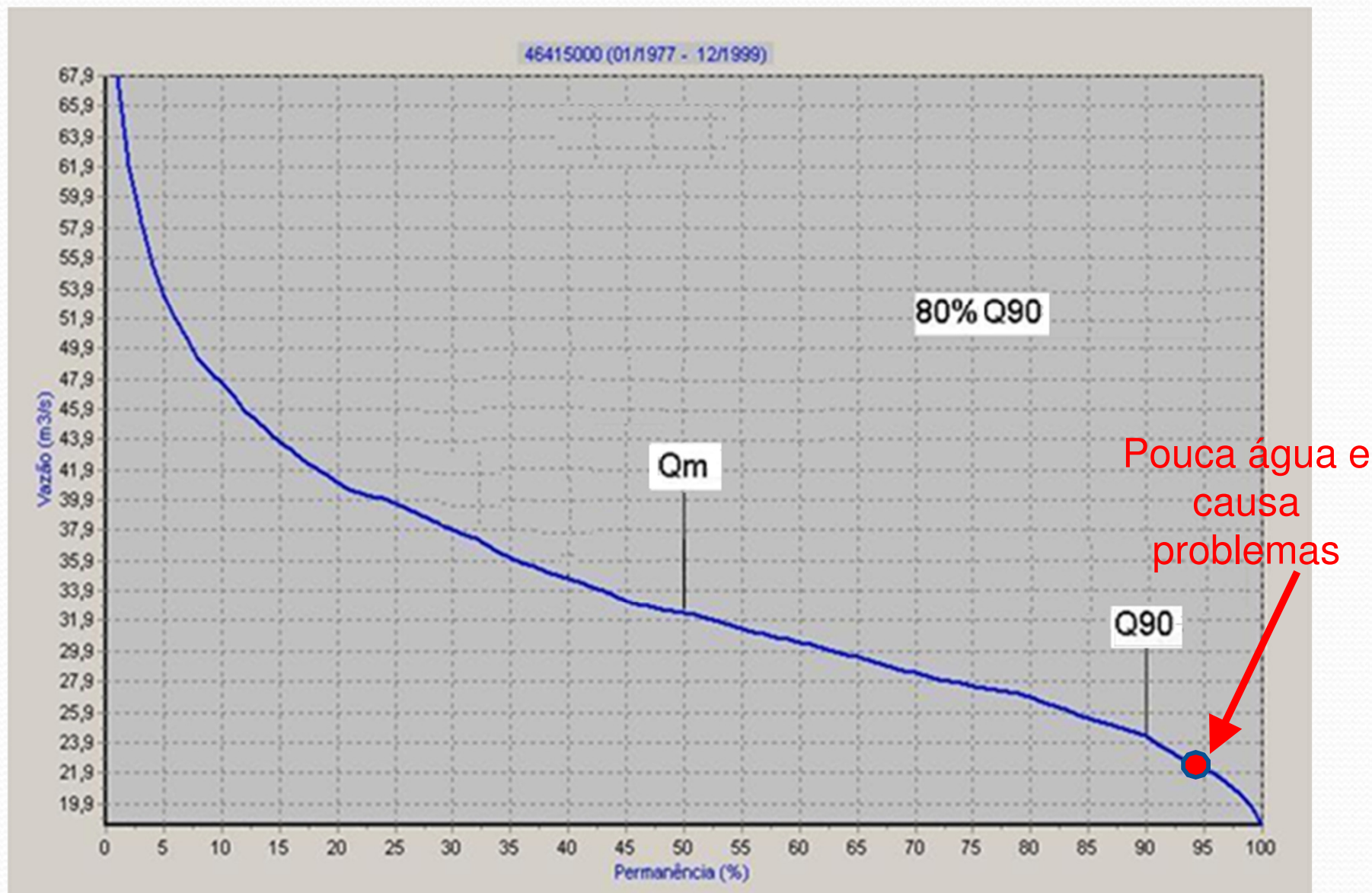


Outorga de Água Superficial - Vazão De Referência No Estado Da Bahia

- Vazão com 90% de permanência diária no tempo (Q_{90} diária).
- até 20% da Q_{90} pode ser outorgada no pleito individual.
- **Máximo, de 80% da Q_{90} pode ser comprometida com as outorgas.**



Curva de Permanência e Q90 de Vazão nos rios do Oeste da Bahia – rio Grande em São Desidério

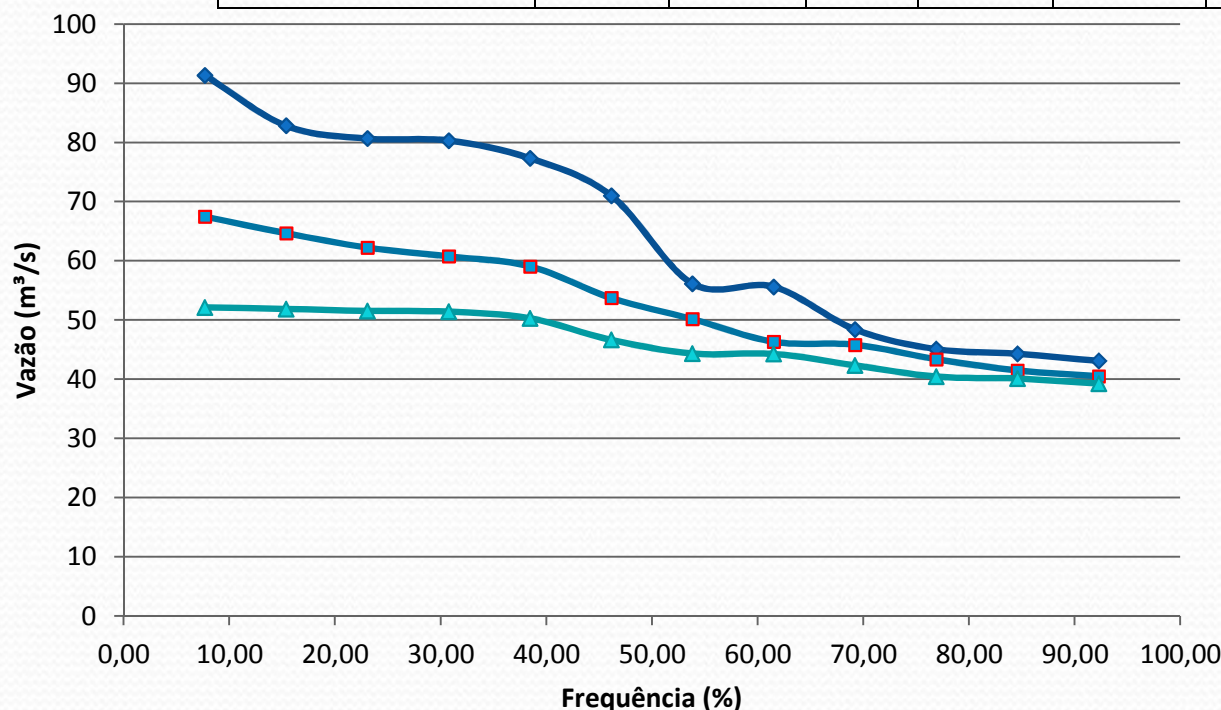




?Mudanças climáticas? - Estudo da ANA

Distribuição das vazões de permanência (Q90) e de Outorga - Exemplo do Rio de Ondas

Vazão de Permanência e de Outorga	<u>1977-1987</u>			<u>1988-1999</u>			<u>2000-2010</u>		
	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.
Q90 (m³/s)	43,43	40,79	39,5	39,06	36,74	34,89	34,61	31,82	28,13
80% da Q90 (m³/s)	34,74	32,63	31,6	31,25	29,39	27,91	27,69	25,46	22,5



Curva de permanência para o período de 1977-1987

◆ Méd. Máx.
 ■ Méd. Méd.
 ▲ Méd. Mín.

Problemas sérios à vista



Cenário de mudanças climáticas - Estudo da ANA

Com base nos resultados das simulações climatológicas para os períodos correspondentes aos anos de 2021 a 2050, e os anos de 2051 e 2080 (Amorim, 2013).

Redução de 5% na precipitação entre 2021 e 2050;

Redução de 15% entre os anos de 2051 e 2080.

Recarga diminui na mesma proporção da precipitação

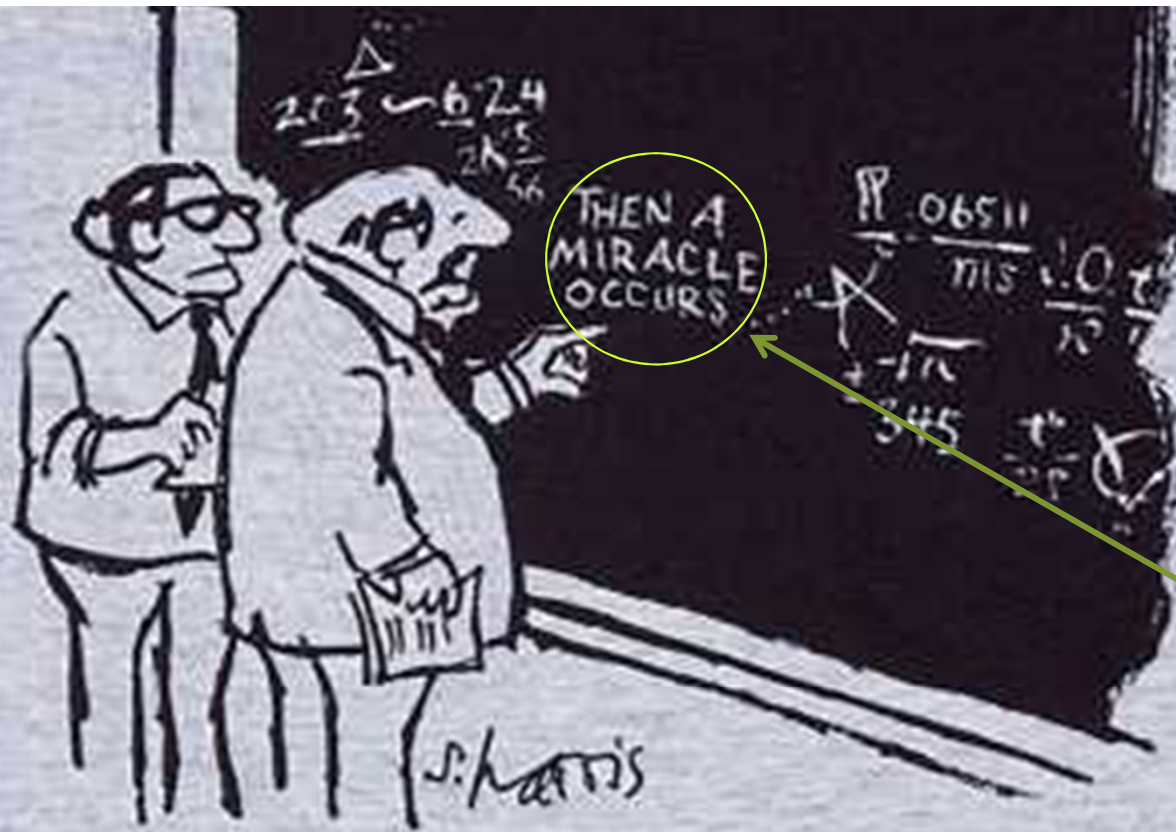
Ano	Recarga (mm/ano)					
	Rio Pandeiros	Rio Carinhanha	Rio Coxá	Rio Corrente	Rio Grande	Rio Preto
2021	160	200	130	230	190	220
2026	159	198	129	228	188	218
2031	157	197	128	226	187	216
2036	156	195	127	224	185	215
2041	155	193	126	222	184	213
2046	153	192	125	221	182	211
2051	152	190	124	219	181	209
2056	148	185	121	213	176	204
2061	145	181	118	208	172	199
2066	141	176	115	203	167	194
2071	138	172	112	198	163	189
2076	134	168	109	193	159	184
2080	131	163	106	188	155	180



PODEMOS CONTINUAR NESTE CAMINHO???

Depende....

“Eu acho que você pode ser mais explícito na etapa 2”



ENTÃO ACONTECE UM MILAGRE...

"I THINK YOU SHOULD BE MORE EXPLICIT
HERE IN STEP TWO."



OU PODEMOS APLICAR A GESTÃO INTEGRADA...



Por meio da Gestão Integrada, podemos aproveitar a água da cheia no período de seca.





Programa de Gestão Integrada - PGI

- **Primeiro Passo – substituir as outorgas superficiais por outorgas para águas subterrâneas:**
 - **Passamos a aproveitar o tempo de retardo da interferência superficial/ subterrânea em nosso benefício (o maior impacto é a retirada direta dos rios);**
 - **Dimensionamos a distância poço/rio, para que o impacto nos rios só ocorra no período de cheia.**

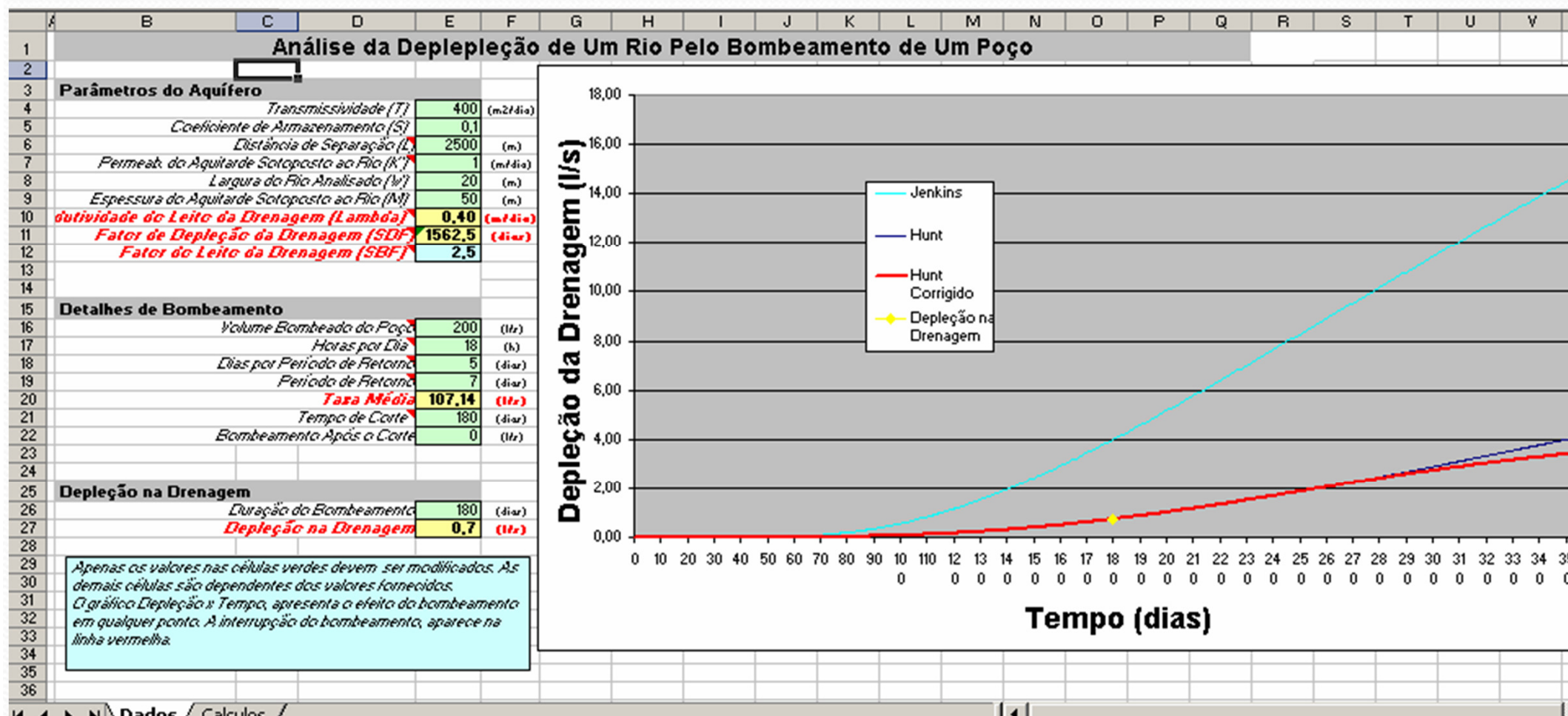


Como????



Modelos Analíticos Para Gestão

Utilizando macros, foram aproveitados os recursos do excel e de modelos analíticos para realizar os cálculos de distância poço-rio.





VANTAGENS DO PROGRAMA DE GESTÃO INTEGRADA (Mestrado)

Distância Poço/Rio (metros)	Depleção no Rio Induzida Pelo Poço(%)	
	Regime de 18h/dia e 180dias/ano (ano normal)	Regime de 18h/dia e 365 dias/ano (seca severa)
1.000	25%	33%
1.500	13%	24%
2.000	7%	8%
2.500	3%	6%
3.000	1%	5%
3.500	1%	5%
4.000	0,7%	2%

Se todas as captações ficarem a mais de 1.500 metros dos rios, e triplicando o volume outorgado, o impacto ao longo de 1 ano inteiro sem chuva, será de aproximadamente 60% do Q₉₀...



Mas não se cria água (princípio da conservação da massa), o sistema (que é apenas um) vai ter menos água.

Solução: Utilizamos a água da cheia, incrementando a recarga do aquífero nas propriedades rurais....

Isto reduz a vazão dos rios nas cheias e aumenta nos períodos de seca (retardo temporal).



Infiltração de Água no Solo e Perdas de Solo por Erosão no Urucuia

SOLO	CONDIÇÃO	INTENSIDADE DA CHUVA	Declividade	Início do Escoamento	Coeficiente de Enxurrada	Infiltração Acumulada (estimada)	Perda de solo
		mm/hora	%	minutos	%	Litros/m ²	g/0,7 m ²
LA típico	VEGETAÇÃO NATURAL	89,6	2	43	22	<u>125</u>	0,1
LA típico	SISTEMA CONVENCIONAL	95	5	20	36	<u>56</u>	99,3
LA típico	PLANTIO DIRETO DE QUALIDADE	104	5	75	0,1	<u>135</u>	0

Testes conduzidos na fazenda Seis Irmãos em latossolo amarelo com vegetação natural do cerrado, com sistema convencional (aração e gradagem) e com o sistema plantio direto de qualidade (EMBRAPA).

Dissertação de mestrado apresentada em junho de 2004 por André Luiz Coelho Matos sob a orientação do professor doutor Heraldo Peixoto da Silva Relo



Resultados Esperados do PGI - 1

- **Substituindo as outorgas superficiais por subterrâneas:**
 - **Tirar o impacto dos rios nas secas.**
- **Incrementando a recarga (reduzindo o escoamento superficial):**
 - **Incrementar a vazão dos rios nas secas.**
- **Tudo isto ao custo da vazão dos rios nos períodos de cheia.**



Resultados Esperados do PGI - 2

- ***Maiores volumes disponíveis para outorga, beneficiando a economia e a sociedade***
- ***Rios com maiores volumes nos períodos de seca, beneficiando a economia, a sociedade e o meio ambiente***
- ***Menor assoreamento e contaminação dos rios, além de menos enchentes***



Consequências do PGI na Gestão

- *Renovação do conceito de outorga, para um processo mais eficiente, do ponto de vista econômico, social e ambiental*
- *Alteração do conceito da cobrança, com o usuário podendo abater do uso sua contribuição para a recarga*
- *O usuário recebedor seria recompensado pelo incremento de água*



Ações em Desenvolvimento Para o PGI

- *Desenvolvimento de novas macros para que as planilhas possam incluir a recarga proveniente de cada usuário (**eventos com até 10 anos de recorrência**)*
- *Incluir contabilidade do volume utilizado e do impacto nos rios, muito útil na cobrança*
- *Cálculos da contribuição e da retribuição para o usuário receptor*

Muito Obrigado



Zoltan Romero C. Rodrigues

***Diretoria de Estudos Avançados em Meio
Ambiente
(SEMA/SEP/DEAMA)***

zoltan.romero@inema.ba.gov.br

zoltanr@gmail.com

071-9611-7222

