

Curso de Capacitação de Agentes Gestores de Recursos Hídricos

GESTÃO DE AQÜÍFEROS

MÓDULO HIDROGEOLOGIA – DIA 3

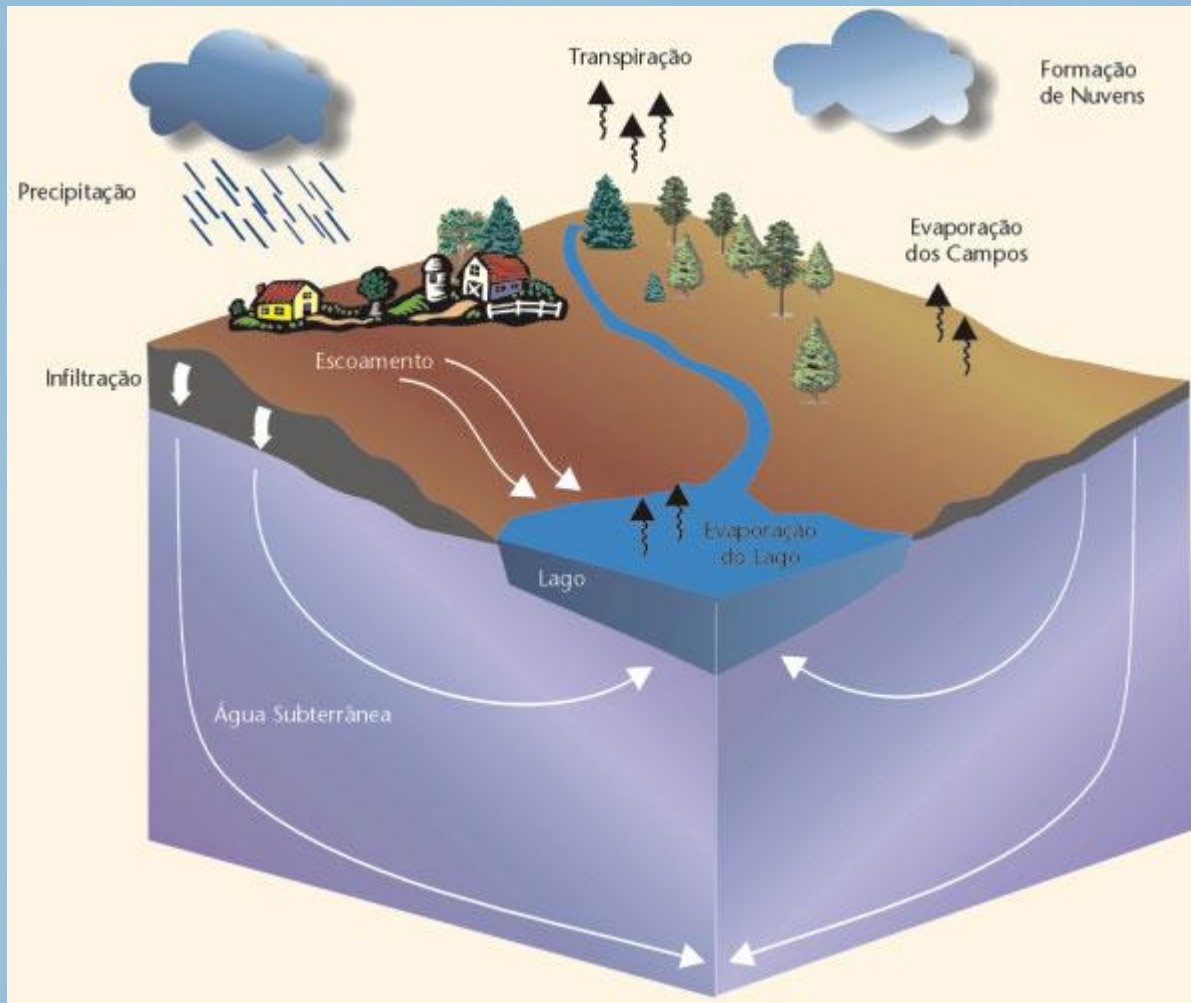
Gisele Kimura, Geóloga, Sócia da Hidrovia Hidrogeologia e Meio Ambiente

GESTÃO DOS AQÜÍFEROS

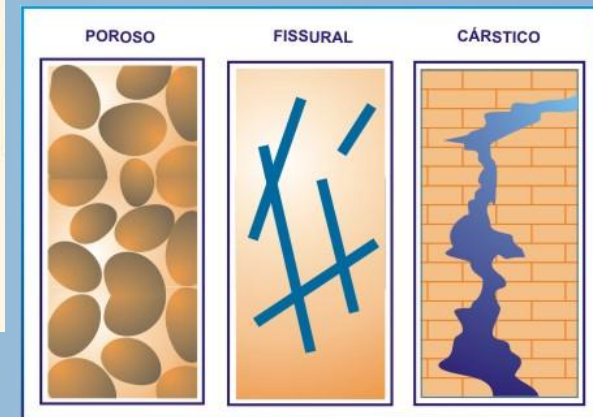
- Águas subterrâneas
- Principais usos no Brasil e no mundo
- Potencialidades Aqüíferas: conceito de reservas hídricas subterrâneas e de disponibilidades
- Quantificação das Reservas (Permanentes, Renováveis e Explotáveis)
- Vulnerabilidade natural dos aqüíferos à contaminação
- Normatização e legislação ambiental
- Critérios de outorga de uso das águas subterrâneas

Águas subterrâneas

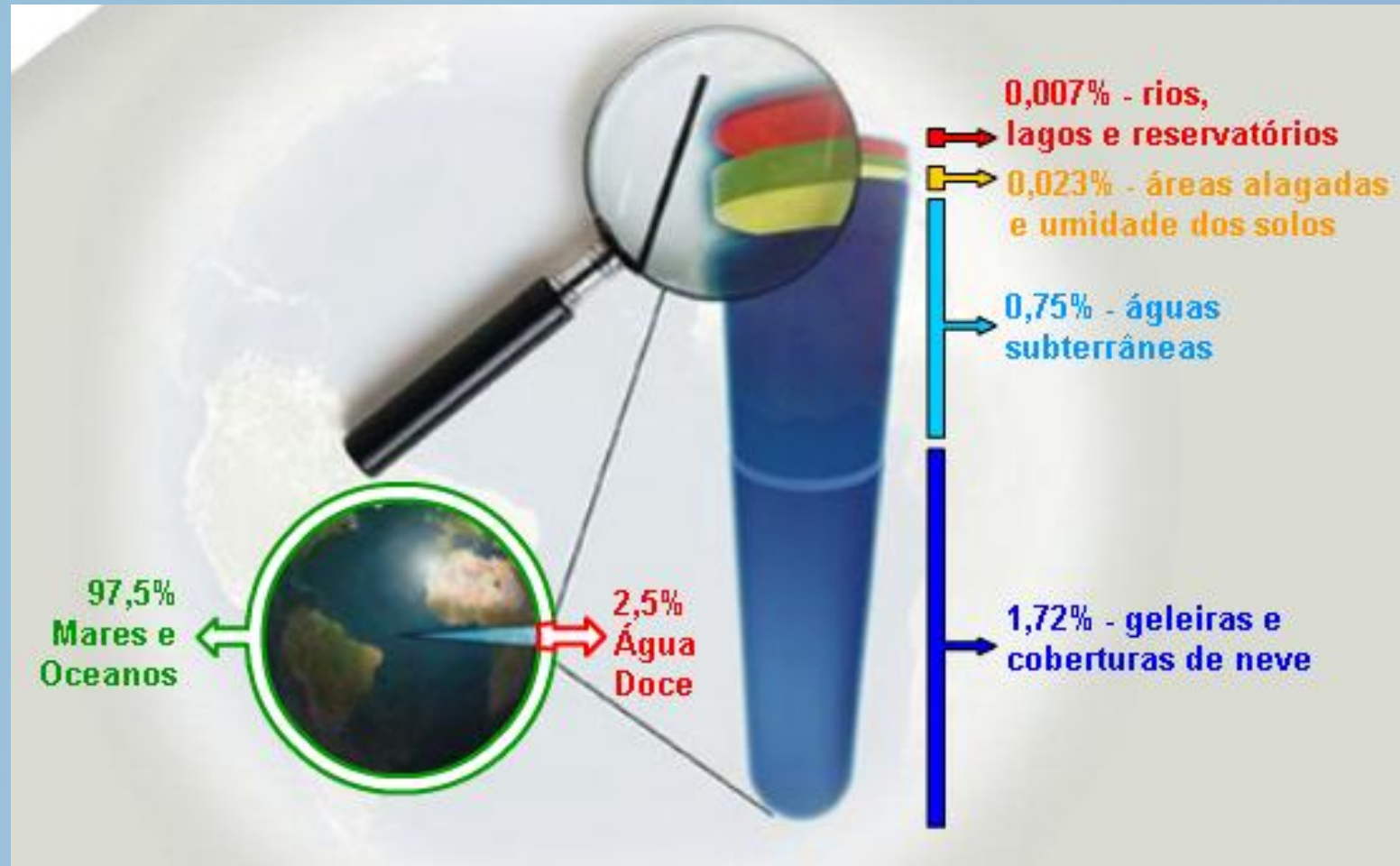
- **Águas subterrâneas**
- Principais usos no Brasil e no mundo
- Potencialidades Aqüíferas: conceito de reservas hídricas subterrâneas e de disponibilidades
- Quantificação das Reservas (Permanentes, Renováveis e Explotáveis)
- Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação
- Normatização e legislação ambiental
- Critérios de outorga de uso das águas subterrâneas



Componente do ciclo hidrológico



Distribuição no planeta



Em comparação com águas superficiais...**VANTAGENS:**

- Melhor qualidade (dispensa tratamento em ETA)
- Área de captação e proteção reduzida
- Permite distribuição setorizada
- Rede de adução de menor extensão
- Não requer inundação de áreas aproveitáveis e desapropriação de grandes áreas
- Implantação gradativa do sistema ao longo do tempo
- Vazões regulares ao longo do ciclo hidrológico
- Obras de captação rápidas e relativamente simples (se comparadas a barragens)
- Menos sujeitas à evapotranspiração
- Menos vulneráveis à contaminação

Em comparação com águas superficiais... **DESVANTAGENS:**

- Distribuição espacial dos aquíferos é heterogênea (Nordeste tem 55% de rochas cristalinas)
- Renovação das águas mais lenta do que taxas de exploração – risco de exaustão das reservas
- Superexploração pode causar subsidência de terrenos e salinização de aquíferos costeiros
- Dificuldade de detectar ocorrência de contaminação
- Quando contaminadas, mais difícil de serem recuperadas
- Manutenção periódica mais cara
- Maior consumo de energia para bombeamento

Principais usos no Brasil e no mundo

- Águas subterrâneas
- **Principais usos no Brasil e no mundo**
- Potencialidades Aqüíferas: conceito de reservas hídricas subterrâneas e de disponibilidades
- Quantificação das Reservas (Permanentes, Renováveis e Explotáveis)
- Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação
- Normatização e legislação ambiental
- Critérios de outorga de uso das águas subterrâneas

Primeiros registros:

Sítio arqueológico de Atlit Yam, em Israel : 8100–7500 aC

Outros registros do período neolítico (9500 – 3500 aC) em Chipre,
Alemanha e Áustria

Bahrain – 2000 aC



<http://pictures.traveladventures.org/images/saar11>

Irã – 200 dC

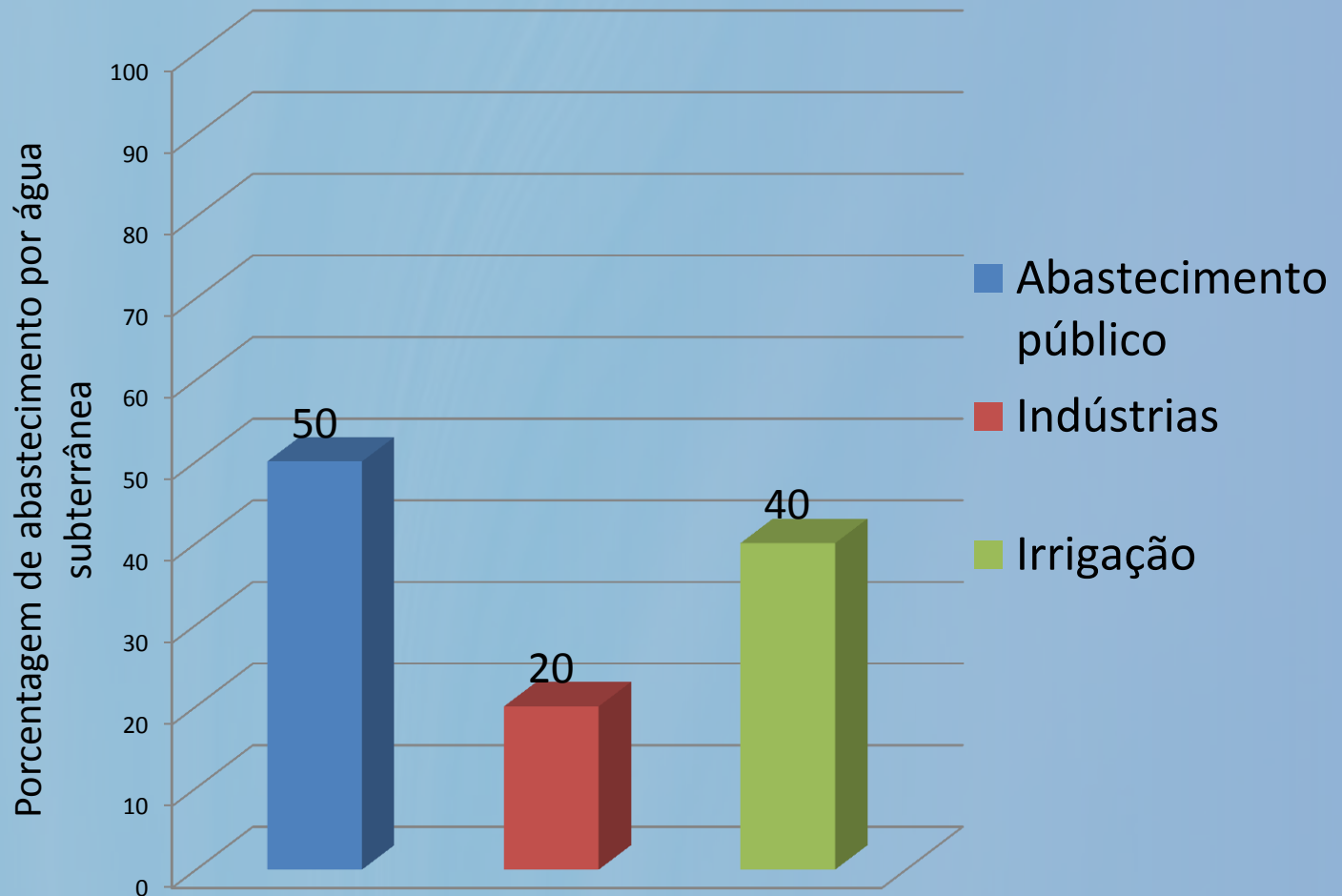


<http://www.flickr.com/photos/bijantaravels/3797687310/>

Apesar de ser a única fonte de abastecimento de alguns locais, até o final da década de 50 o percentual de uso das águas subterrâneas em relação às águas superficiais era baixo.

USOS:

MUNDO



<http://typo38.unesco.org/en/themes/integrated-watershed-and-aquifer-dynamics.html>

Praticamente todos os países do mundo utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades.

| País | % de atendimento das demandas por água subterrânea |
|--|---|
| Dinamarca, Arábia Saudita, Malta | 100 |
| Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Holanda, Hungria, Itália, Marrocos, Rússia, Suíça | 70 a 90 |

Águas subterrâneas suprem:

| | |
|---|--|
| Brasil | ✓ 61 % do abastecimento público |
| Maceió, Natal, Mossoró, Ribeirão Preto, Lagoa Santa | ✓ 100% do abastecimento público |
| São Paulo | ✓ 90 % do uso industrial |
| Maranhão | ✓ 77% dos municípios do estado: manancial exclusivamente subterrâneo; |
| Bacia do rio das Velhas | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 47% dos municípios da bacia: manancial exclusivamente subterrâneo; ✓ 19% dos municípios da bacia: manancial misto; ✓ Supre cerca de 17% da demanda hídrica. |
| Bacia do rio Paracatu | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 18% dos municípios da bacia: manancial exclusivamente subterrâneo; ✓ 31% dos municípios da bacia: manancial misto; ✓ 30% da demanda hídrica para consumo humano. |















A exploração de água subterrânea está condicionada a 3 fatores:

- a) **quantidade**, intimamente ligada às propriedades físicas/hidráulicas dos terrenos;
- b) **qualidade**, influenciada pela composição das rochas, condições climáticas e de renovação das águas e uso e ocupação do solo;
- c) **econômico**, depende da profundidade do aquífero, da qualidade e das condições de bombeamento.

O QUE É GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS?

Gestão Integrada de Águas Subterrâneas

✓ Conceito:

“Surge como uma forma de lidar com o equilíbrio entre a exploração de um recurso complexo (em termos de quantidade, qualidade e interação com as águas superficiais) e o aumento das demandas de água e dos usuários do solo (os quais podem representar uma ameaça para o potencial de quantidade e qualidade das águas subterrâneas)”

Gestão Integrada de Águas Subterrâneas

- ✓ Estratégia de gerenciamento difundida:
 - Gerenciamento das Disponibilidades:
 - Aspectos quantitativos
 - Aspectos qualitativos
 - Aspectos de interação com as águas superficiais;
 - Aspectos de interação com o uso e ocupação dos solos
 - Gerenciamento das Demandas:
 - Conhecimento sobre os principais setores usuários da água
 - Conhecimento sobre as demandas de uso
 - Conhecimento sobre o sistema de abastecimento instalado

Esquema geral de gestão do recurso hídrico subterrâneo.



Potencialidades Aqüíferas: conceito de reservas hídricas subterrâneas e de disponibilidades

- Águas subterrâneas
- Principais usos no Brasil e no mundo
- **Potencialidades Aqüíferas: conceito de reservas hídricas subterrâneas e de disponibilidades**
- Quantificação das Reservas (Permanentes, Renováveis e Explotáveis)
- Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação
- Normatização e legislação ambiental
- Critérios de outorga de uso das águas subterrâneas

Disponibilidade hídrica subterrânea

```
graph TD; A[Disponibilidade hídrica subterrânea] --> B[Propriedades hidráulicas do aquífero]; A --> C[Reservas exploráveis]; B --- D[Capacidade de produção das estruturas de captação]; C --- E[Volume anual passível de ser explorado sem causar efeitos indesejáveis]
```

Propriedades hidráulicas do aquífero

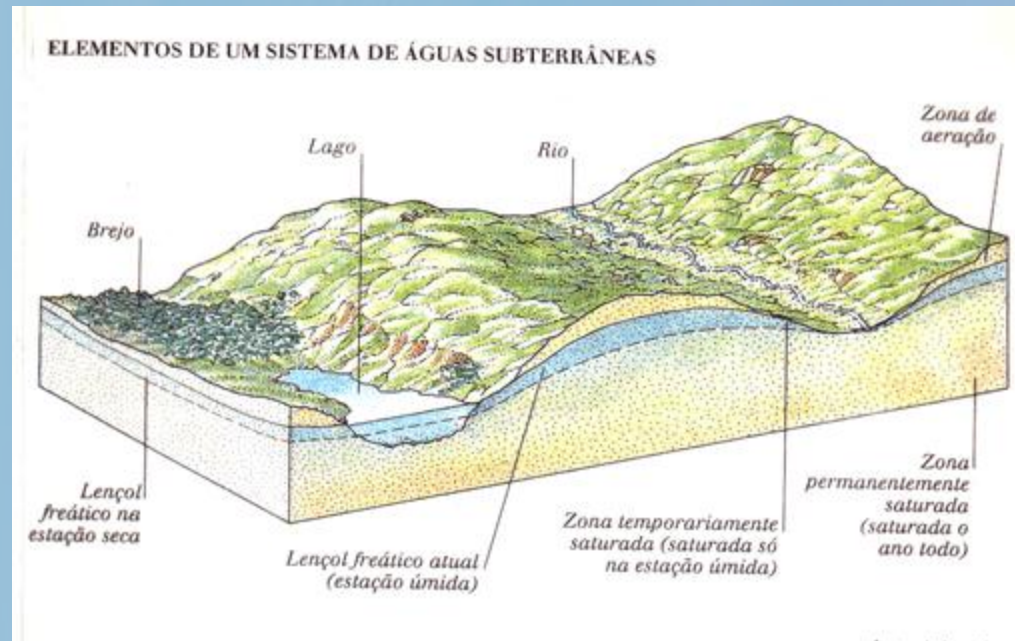
Capacidade de produção das estruturas de captação

Reservas exploráveis

Volume anual passível de ser explorado sem causar efeitos indesejáveis

Reserva Permanente ou Secular:

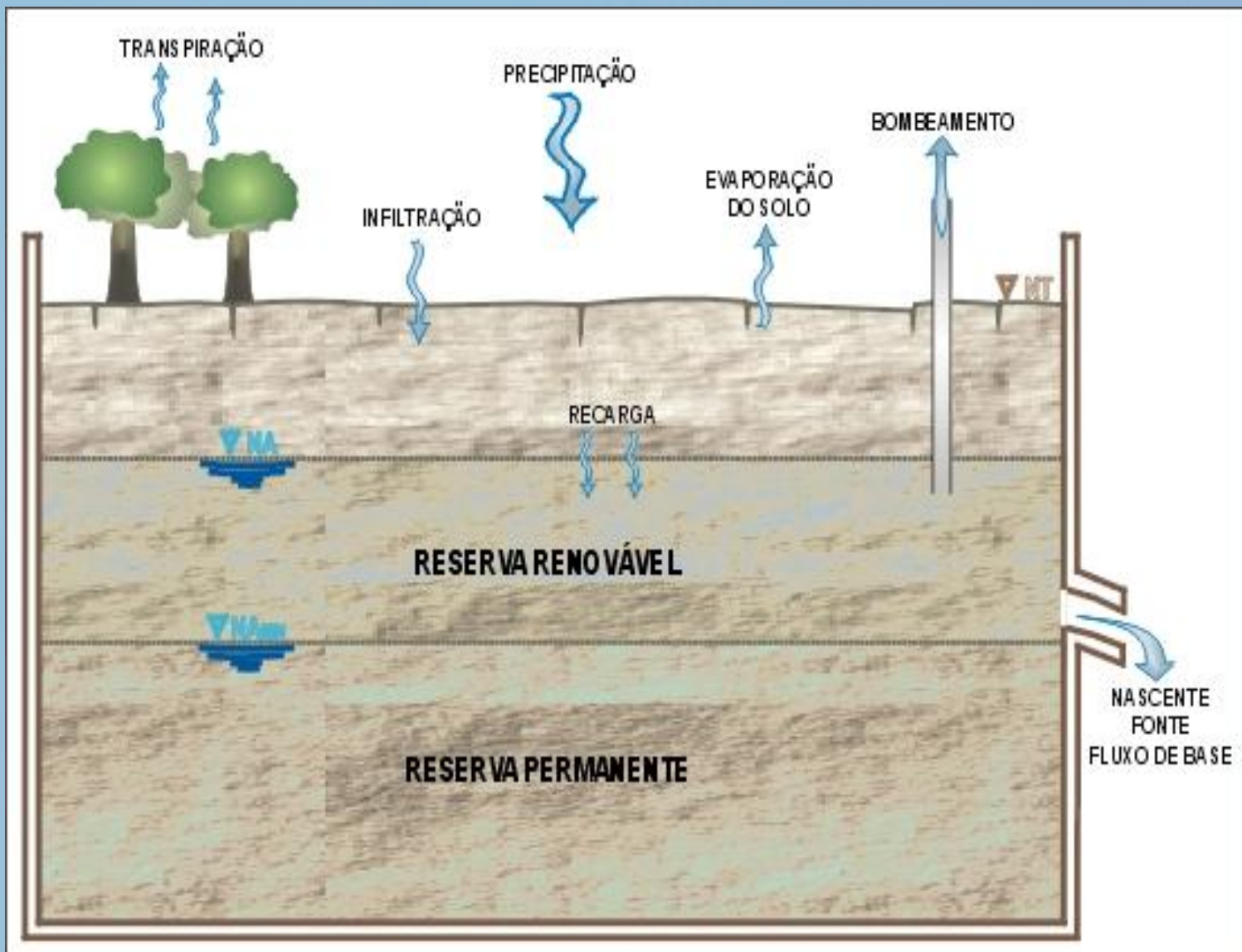
- correspondente ao volume de água acumulada no meio aquífero, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica. Estas reservas são compostas por águas mais antigas, associadas aos sistemas de fluxo intermediário a regional e, em geral, mais mineralizadas.
- Os cálculos específicos são passíveis de erros muito grosseiros, devido à necessidade do uso de variáveis que geralmente apresentam-se com elevado grau de imprecisão.



Reserva Renovável ou Reguladora:

- Representa o volume de água acumulada no aquífero, variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exutórios, correspondendo, portanto, à recarga anual do aquífero.
- Em geral, apenas uma parcela dos volumes totais contidos nos depósitos subterrâneos participa das trocas hídricas com as calhas fluviais, contribuindo para a regularização das vazões e para a perenização dos regimes.
- Desse modo, são principalmente as reservas reguladoras aquelas que precisam ser conhecidas para os efeitos práticos de dimensionamento da capacidade de exploração dos aquíferos.
- A retirada de água dos depósitos subterrâneos em quantidades superiores às existentes nas reservas reguladoras caracteriza uma super-exploração, com a conseqüente quebra do equilíbrio hidráulico do sistema (Souza, 1995).

Reserva Permanente e Reserva Renovável:



Reserva explotáveis:

- correspondem à quantidade máxima de água que poderia ser explotada de um aquífero, sem riscos de prejuízo ao manancial ou ocorrência de efeitos indesejáveis.
- Efeitos indesejáveis da “**superexploração**”:

| Ponto de vista | Efeito |
|--------------------|--|
| Hidrológico | Exceder a recarga média anual |
| Econômico | Rebaixar os níveis piezométricos abaixo da profundidade econômica de bombeamento |
| Qualidade | Permitir a entrada de águas de qualidade indesejável |
| Legal | Afetar direitos de outros usuários em decorrência do esgotamento ou redução sensível da descarga de base dos rios ou de poços pré-existentis |
| Agrícola/ecológico | Rebaixar os níveis piezométricos de modo a danificar a vegetação natural, paisagem e cultivos típicos da região |
| Geotécnico | Produzir uma subsidência do terreno com efeitos adversos |

- O conceito é relativamente controvertido, dependendo da tolerância aos efeitos indesejáveis ou prioridade a determinado uso.

Reservas exploráveis

Reservas renováveis

Reservas permanentes

- A determinação deve levar em consideração a sua realidade única, dentro de um contexto não apenas físico, mas também sócio-econômico.
- A gestão dos recursos hídricos deve satisfazer a um conjunto de objetivos associados aos diversos usos da água, envolvendo uma análise dos custos e benefícios, presentes e futuros, da sua utilização.
- Em alguns casos, pode-se admitir a exploração das reservas permanentes até mesmo à sua depleção. Em outros, pode haver necessidade de preservação total dos recursos hídricos.
- A determinação da capacidade máxima de exploração abrange um conjunto de variáveis locais, que devem ser avaliadas caso a caso.

Disponibilidade hídrica subterrânea

- Em termos médios de longo período e em condições não influenciadas, entradas de água nos sistemas = descargas ou saídas (fluxo de base dos cursos d'água).
- Se volume explorado = recarga total do sistema (reservas renováveis); interferência no regime de vazões mínimas do escoamento superficial.
- Recursos exploráveis = uma parcela das reservas reguladoras, a fim de garantir a manutenção de uma vazão mínima dos cursos d'água
- Valor médio para as reservas exploráveis entre 25% e 40% das reservas renováveis
- Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco-PBHSF (2004-2013). : 20% da reserva renovável como reserva explorável, a fim de manter cerca de 80% do escoamento de base nos corpos d'água superficiais na época de estiagem.

Quantificação das Reservas

- Águas subterrâneas
- Principais usos no Brasil e no mundo
- Potencialidades Aqüíferas: conceito de reservas hídricas subterrâneas e de disponibilidades
- **Quantificação das Reservas (Permanentes, Renováveis e Explotáveis)**
- Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação
- Normatização e legislação ambiental
- Critérios de outorga de uso das águas subterrâneas

A seguir são descritos sumariamente os métodos de cálculo de reservas renováveis, ressaltando que os valores são aplicáveis para os aquíferos superiores livres.

A) Cálculo através de método volumétrico, tomando-se por base a variação dos níveis de água nos aquíferos livres. É utilizada a expressão:

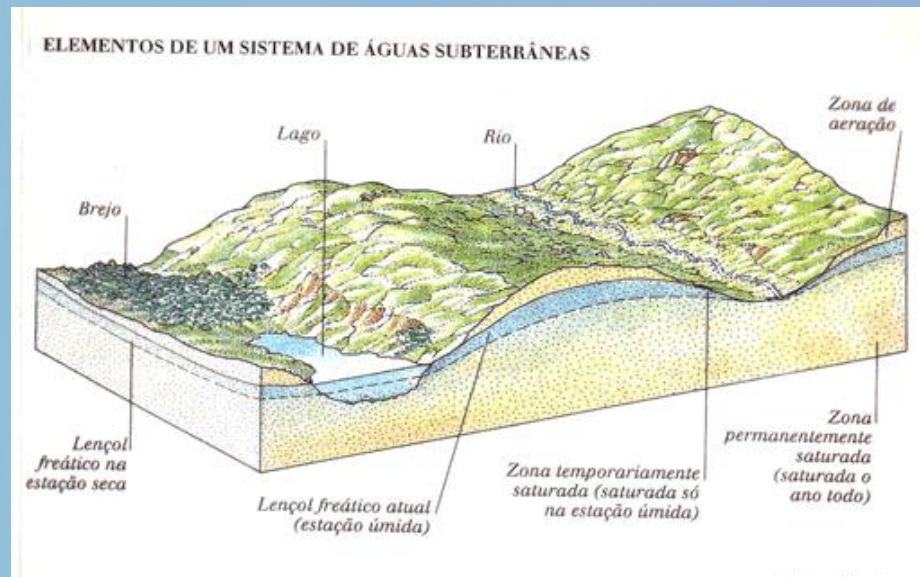
$$R_r = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e,$$

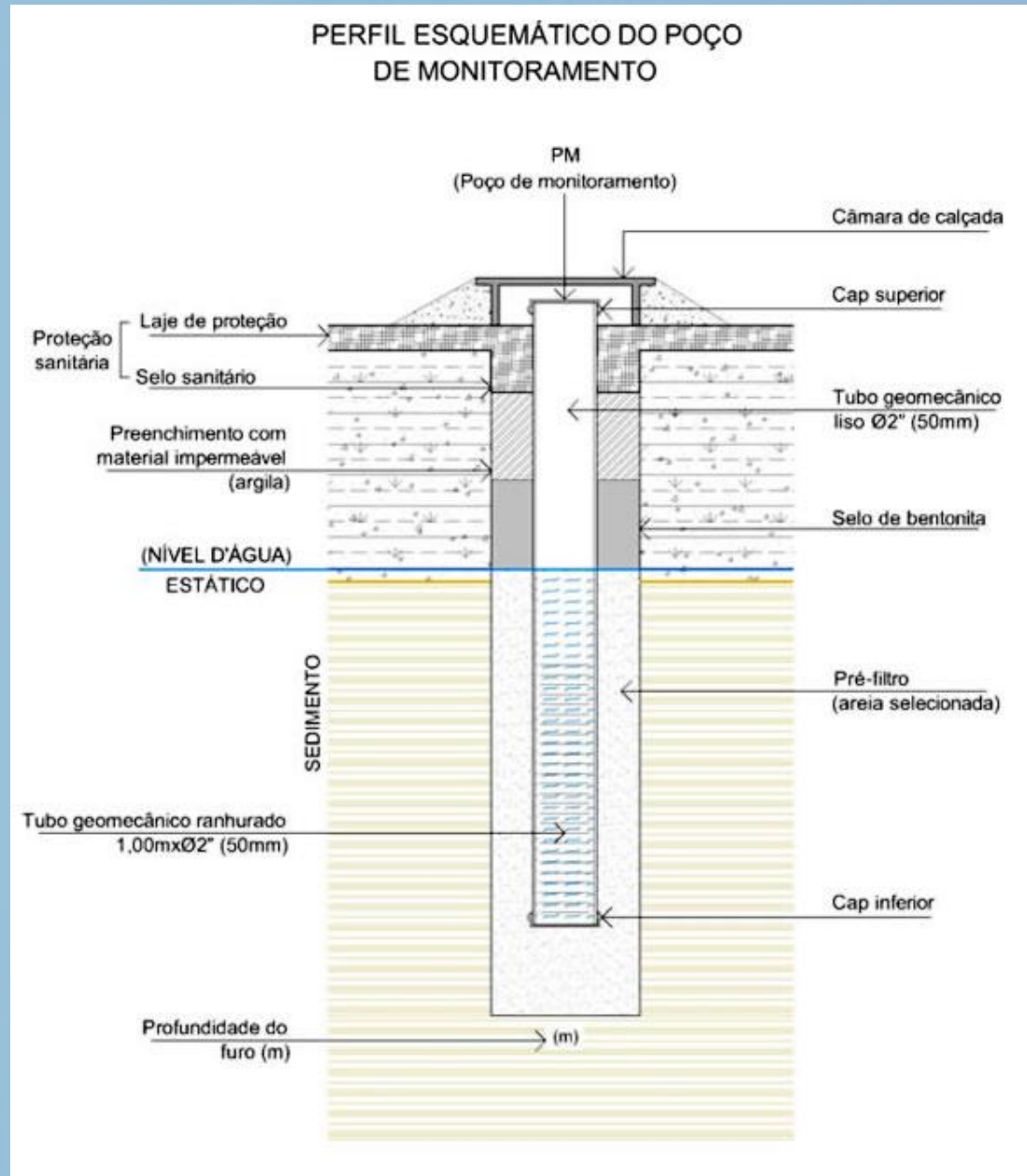
onde:

A = área de ocorrência do aquífero (L²);

Δh = variação do nível de água (L);

η_e = porosidade efetiva (adimensional).





Cálculo através de método volumétrico, tomando-se por base uma taxa de recarga estimada através de balanço hídrico. É utilizada a expressão:

$$Rr = A \cdot i,$$

onde:

A= área de ocorrência do aquífero (L²);

i = taxa de infiltração ou recarga (L/T).



Separação do escoamento de base em hidrogramas.

A curva de esgotamento segue a referida lei exponencial, segundo a equação de Maillet, Castany (1967):

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot \Delta t} \text{ onde:}$$

Q_t = vazão no instante t em m^3/s ;

Q_0 = vazão no instante inicial do esgotamento t_0 , em m^3/s ;

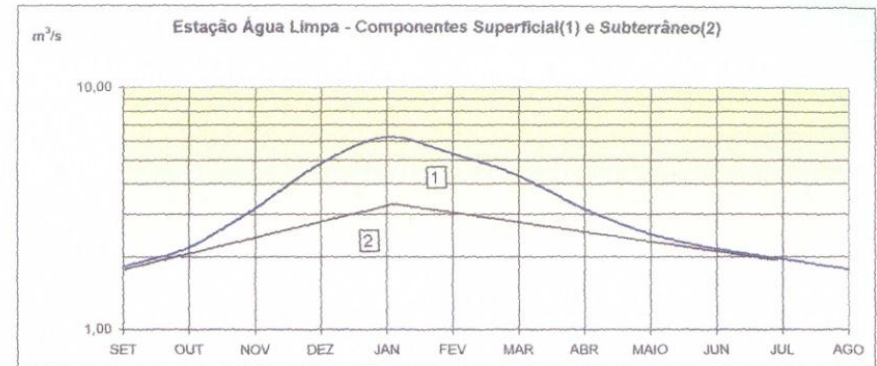
α = coeficiente de esgotamento, em dia^{-1} ;

Δt = $t - t_0$, o período desde o início do período de esgotamento, em dias;

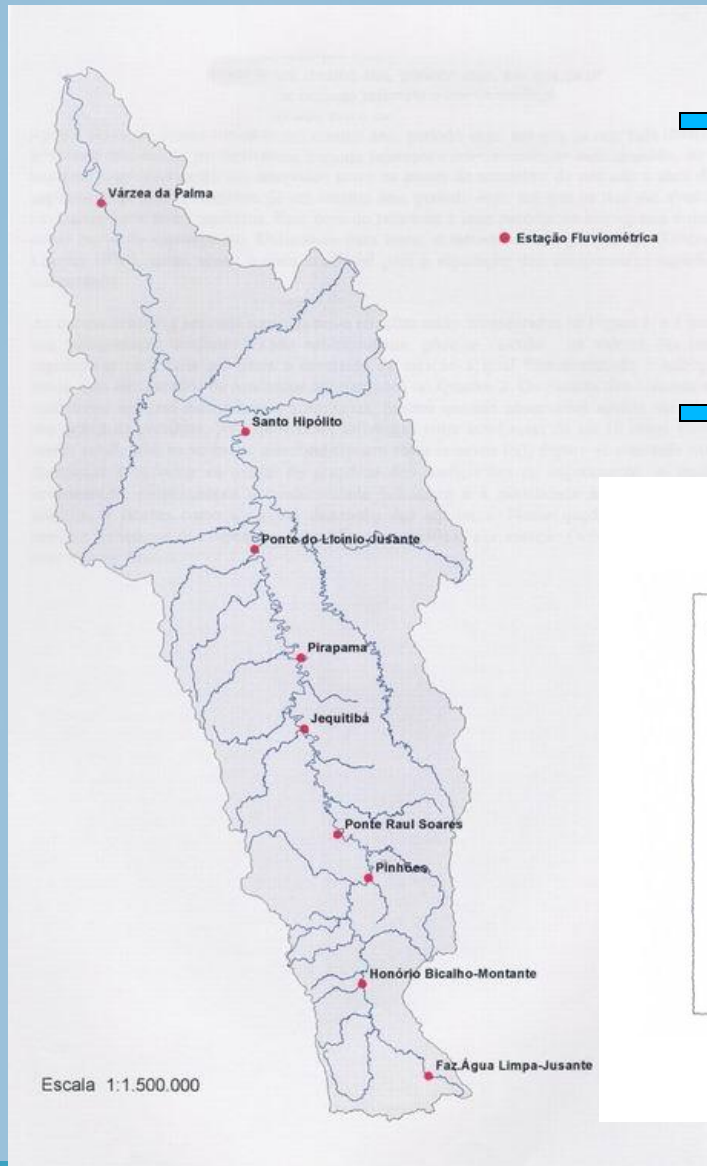
t = tempo, considerado no final do período de esgotamento, em dias;

t_0 = tempo, considerado no início do período de esgotamento, em dias;

e = base dos logaritmos neperianos (2,71828).

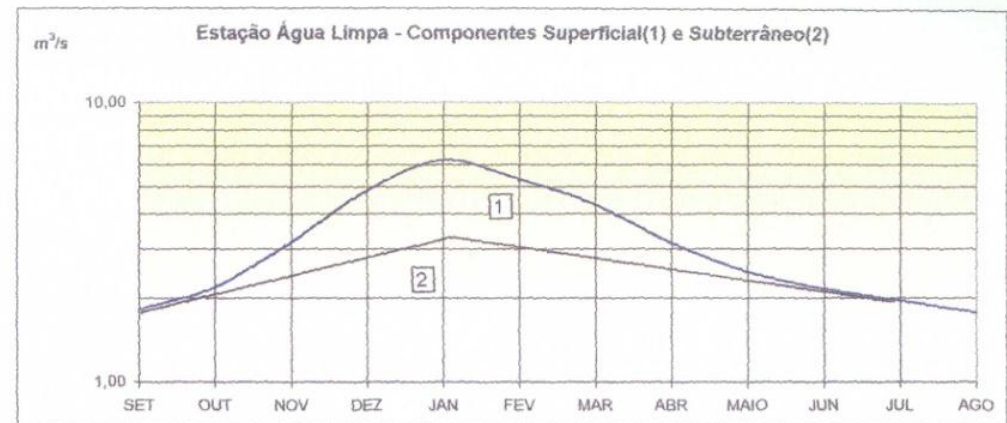


PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO DAS VELHAS



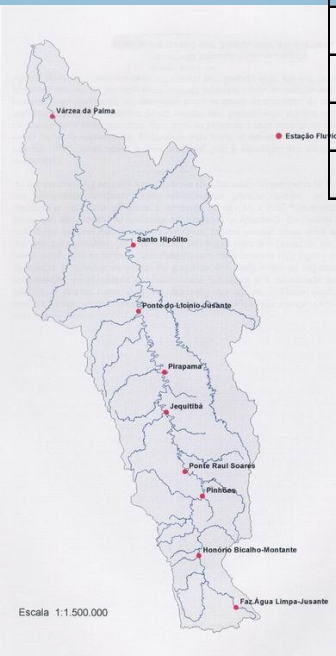
➔ Separação do escoamento superficial e subterrâneo em hidrogramas de 9 estações fluviométricas na calha do rio das Velhas.

➔ Escoamento subterrâneo = reservas renováveis



PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO DAS VELHAS

| Nome | Vol. anual renovável (m ³ /ano) | Vol. anual explorável (m ³ /ano) | Captação de águas subterrâneas em 2004 (m ³ /ano) | Captação de águas subterrâneas em 2010 (m ³ /ano) |
|----------------------|--|---|--|--|
| 1. Água Limpa | 5,78 x 10 ⁷ | 1,45 x 10 ⁷ | 1,53 x 10 ⁵ | 1,86 x 10 ⁵ |
| 2. Honório Bicalho | 5,16 x 10 ⁸ | 1,29 x 10 ⁸ | 6,63 x 10 ⁶ | 8,02 x 10 ⁶ |
| 3. Pinhões | 4,98 x 10 ⁸ | 1,25 x 10 ⁸ | 2,89 x 10 ⁷ | 3,63 x 10 ⁷ |
| 4. Ponte Raul Soares | 1,11 x 10 ⁸ | 2,78 x 10 ⁷ | 1,69 x 10 ⁶ | 2,06 x 10 ⁶ |
| 5. Jequitibá | 2,10 x 10 ⁸ | 5,25 x 10 ⁷ | 1,22 x 10 ⁷ | 1,63 x 10 ⁷ |
| 6. Pirapama | 1,53 x 10⁸ | 3,83 x 10⁷ | 3,83 x 10⁷ | 4,68 x 10⁷ |
| 7. Ponte do Licínio | 1,26 x 10 ⁸ | 3,15 x 10 ⁷ | 1,21 x 10 ⁷ | 1,48 x 10 ⁷ |
| 8. Santo Hipólito | 8,17 x 10 ⁸ | 2,04 x 10 ⁸ | 3,31 x 10 ⁶ | 4,05 x 10 ⁶ |
| 9. Várzea da Palma | 8,10 x 10 ⁸ | 2,03 x 10 ⁸ | 1,45 x 10 ⁷ | 1,79 x 10 ⁷ |
| TOTAL | 3,30 x 10⁹ | 8,25 x 10⁸ | 1,19 x 10⁸ | 1,46 x 10⁸ |



Pirapama:

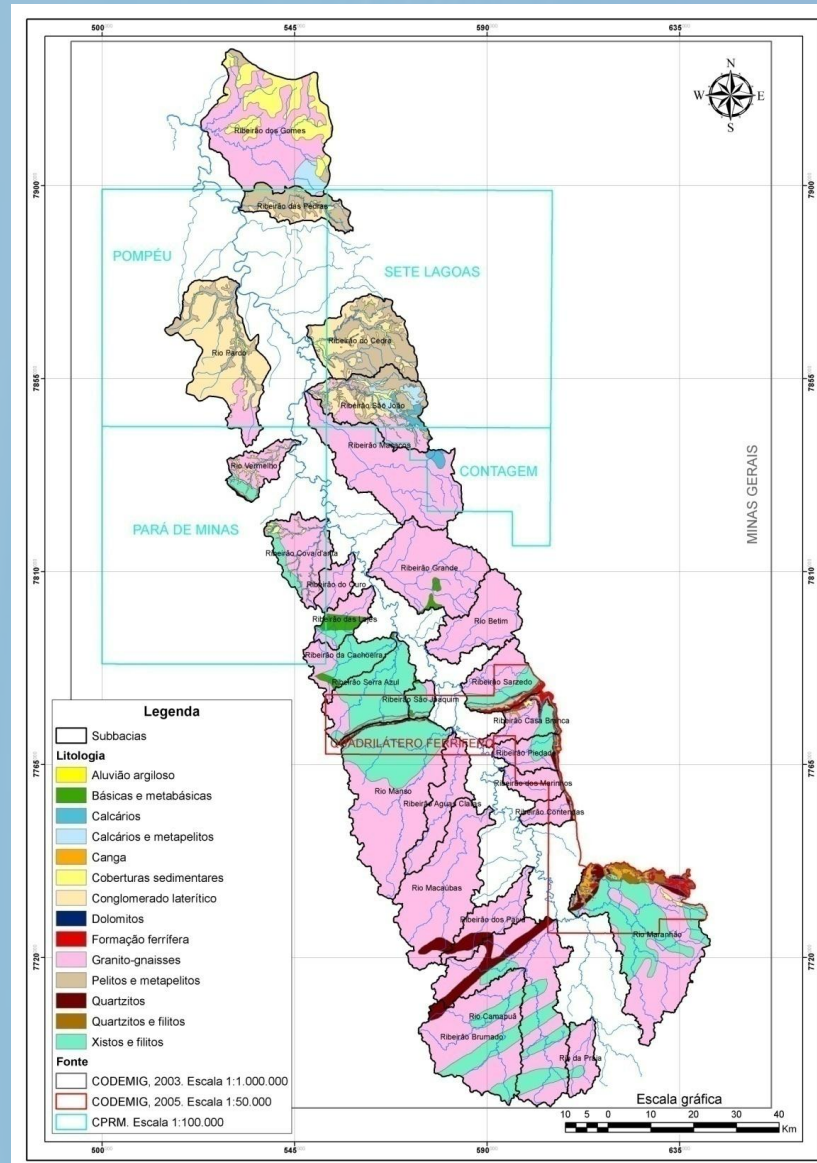
Unidades pelíticas + carbonáticas

Sete Lagoas → 2o. maior consumo da bacia

PLANO DIRETOR DAS ÁGUAS DO RIO PARAÓPEBA

➤ 28 principais bacias afluentes

➤ 15 litologias principais



PLANO DIRETOR DAS ÁGUAS DO RIO PARAÓPEBA

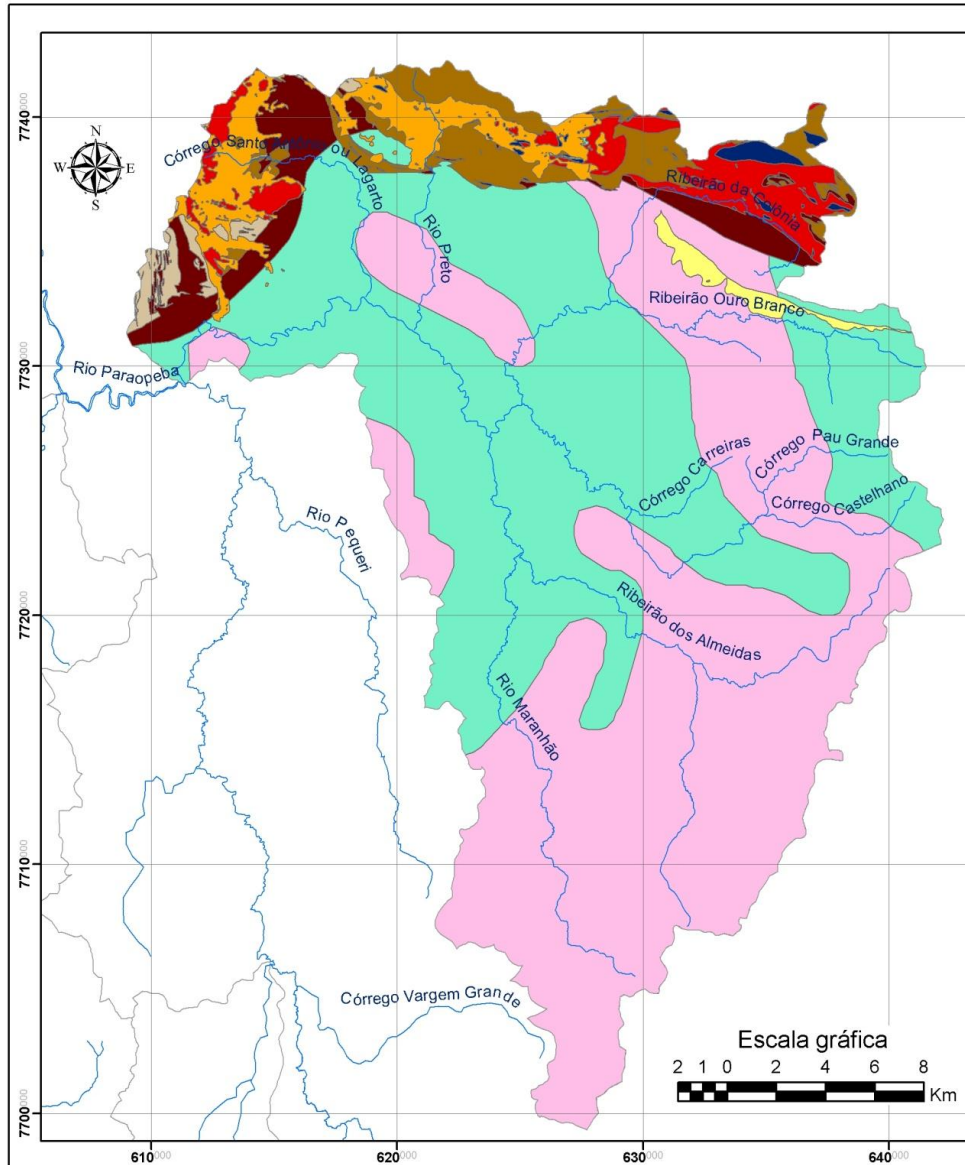
| Unidades hidrogeológicas | Unidades geológicas |
|---------------------------------|--|
| Básicas e Metabásicas | Rochas intrusivas básicas (diabásios, gabros) ou metavulcanitos máficos e ultramáficos do Supergrupo Rio das Velhas de Mateus Leme |
| Calcários | Calcários do Membro Lagoa Santa da Formação Sete Lagoas, pertencente ao Grupo Bambuí |
| Calcários e metapelitos | Calcários e siltitos da Formação Lagoa do Jacaré; calcissiltitos e micritos do Membro Pedro Leopoldo, pertencentes ao Grupo Bambuí |
| Canga | Depósitos elúvio-coluviais ou detríticos recentes constituídos por capeamento limonítico, formação ferrífera cimentada por limonita ou laterita e detritos ferruginosos não cimentados |
| Coberturas sedimentares | Coberturas sedimentares cenozóicas: depósitos de tálus, aluvião, eluvião (fragmentos de itabirito em solo ferruginoso) ou coluvião (fragmentos rolados, constituídos de matacões, calhaus e seixos de hematita compacta) |
| Conglomerado laterítico | Coberturas detrito-lateríticas terciárias, compostas por conglomerado oligomítico e laterita, presentes na porção norte da bacia |
| Dolomitos | Dolomitos das Formações Fecho do Funil, Gandarela e Cauê, do Supergrupo Minas |
| Formação ferrífera | Itabiritos e hematitas da Formação Cauê, itabiritos dolomíticos da Formação Gandarela e formações ferríferas da formação Cercadinho, pertencentes ao Supergrupo Minas |
| Granito-gnaisses | Granitos, migmatitos, granitóides e gnaisses dos Complexos Belo Horizonte e Barbacena, batólitos ou intrusões proterozóicas |
| Pelitos e metapelitos | Filitos do Supergrupo Minas (Formações Batatal, Moeda, Cercadinho e Barreiros) e pelitos da Formação Serra de Santa Helena, do Grupo Bambuí |
| Quartzitos | Quartzitos do Supergrupo Minas (Formações Moeda, Piracicaba, Cercadinho e Taboões) e do Grupo Maquiné, pertencente ao Supergrupo Rio das Velhas |
| Quartzitos e filitos | Intercalações de quartzitos e filitos do Grupo Piracicaba, Supergrupo Minas |
| Xistos e filitos | Xistos e filitos do Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas), das Formações Fecho do Funil e Itabira e do Grupo Sabará (Supergrupo Minas) |
| Pelitos e metapelitos | Diamictitos do Membro Carrancas, calcarenitos, siltitos e margas da formação Serra da Saudade, folhelhos siltitos e margas da formação Serra de Santa Helena |

PLANO DIRETOR DAS ÁGUAS DO RIO PARAÓPEBA

TAXAS DE RECARGA ATRIBUÍDAS

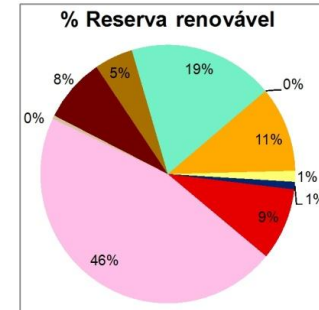
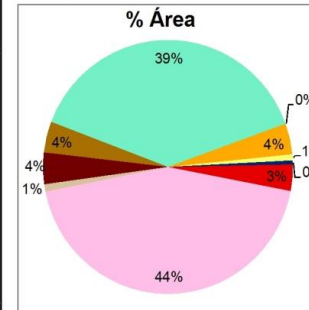
| Unidades hidrogeológicas | Recarga (mm/ano) | Fonte do dado |
|--------------------------|------------------|--|
| Básicas e metabásicas | 75 | 5% da precipitação |
| Calcários | 458 | Souza (1995) |
| Calcários e metapelitos | 385 | Souza (1995) |
| Canga | 450 | (30% da precipitação) |
| Coberturas sedimentares | 300 | (20% da precipitação) |
| Conglomerado laterítico | 130 | (10% da precipitação) |
| Dolomitos | 300 | (20% da precipitação) |
| Formação ferrífera | 450 | (30% da precipitação) |
| Granito-gnaisses | 175 | RURALMINAS (1998) |
| Pelitos e metapelitos | 79,5 | RURALMINAS (1998) |
| Quartzitos | 333 | RURALMINAS (1998) |
| Quartzitos e filitos | 206 | Média de quartzitos e filitos RURALMINAS (1998) |
| Xistos e filitos | 79,5 | RURALMINAS (1998) |

PLANO DIRETOR DAS ÁGUAS DO RIO PARAOPEBA



Rio Maranhão (723,0 Km²)

| Unidade hidrogeológica | Área da unidade hidrogeológica (km ²) | Reserva renovável (m ³ /ano) | Reserva explotável (m ³ /ano) | Reserva renovável da sub-bacia (m ³ /ano) | Reserva explotável da sub-bacia (m ³ /ano) |
|-------------------------|---|---|--|--|---|
| Básicas e metabásicas | 0,0 | 35 | 7 | 120.410.580 | 24.082.116 |
| Canga | 28,6 | 12.876.570 | 2.575.314 | | |
| Coberturas sedimentares | 5,5 | 1.654.425 | 330.885 | | |
| Dolomitos | 3,8 | 1.133.715 | 226.743 | | |
| Formação ferrífera | 24,3 | 10.935.135 | 2.187.027 | | |
| Granito-gnaisses | 317,0 | 55.471.502 | 11.094.300 | | |
| Pelitos e metapelitos | 6,7 | 532.903 | 106.581 | | |
| Quartzitos | 29,1 | 9.687.270 | 1.937.454 | | |
| Quartzitos e filitos | 28,7 | 5.902.848 | 1.180.570 | | |
| Xistos e filitos | 279,4 | 22.216.178 | 4.443.236 | | |

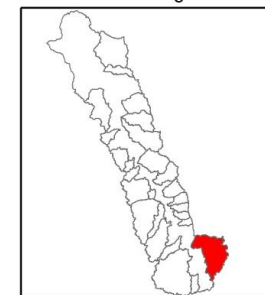


Legenda

- Hidrografia
- Litologia**
- Básicas e metabásicas
- Canga
- Coberturas sedimentares
- Dolomitos
- Formação ferrífera
- Granito-gnaisses
- Pelitos e metapelitos
- Quartzitos
- Quartzitos e filitos
- Xistos e filitos

Fonte:
 CODEMIG, 2003. Mapa geológico do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000;
 CODEMIG, 2005. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero. Escala 1:50.000.

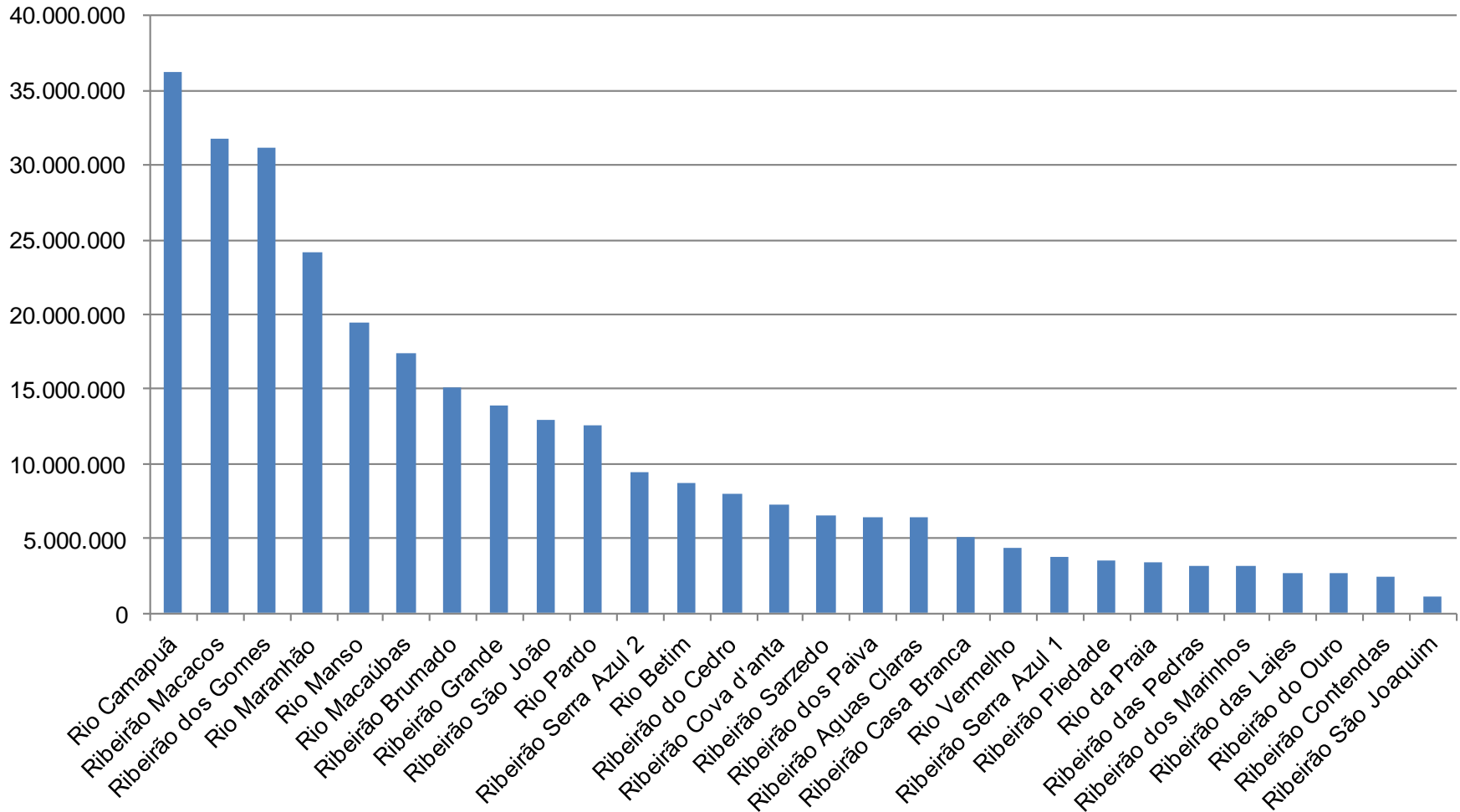
Situação da bacia no contexto regional



PLANO DIRETOR DAS ÁGUAS DO RIO PARAPEBA

Resultados

Reserva explotável subterrânea por sub-bacia (m³/ano)



Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação

- Águas subterrâneas
- Principais usos no Brasil e no mundo
- Potencialidades Aquíferas: conceito de reservas hídricas subterrâneas e de disponibilidades
- Quantificação das Reservas (Permanentes, Renováveis e Explotáveis)
- **Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação**
- Normatização e legislação ambiental
- Critérios de outorga de uso das águas subterrâneas

Fatores que influenciam na qualidade natural das águas subterrâneas:

ENDÓGENOS

- ✓ Tipo de rocha
- ✓ Forma de circulação da água nas rochas
- ✓ Manto de intemperismo

EXÓGENOS

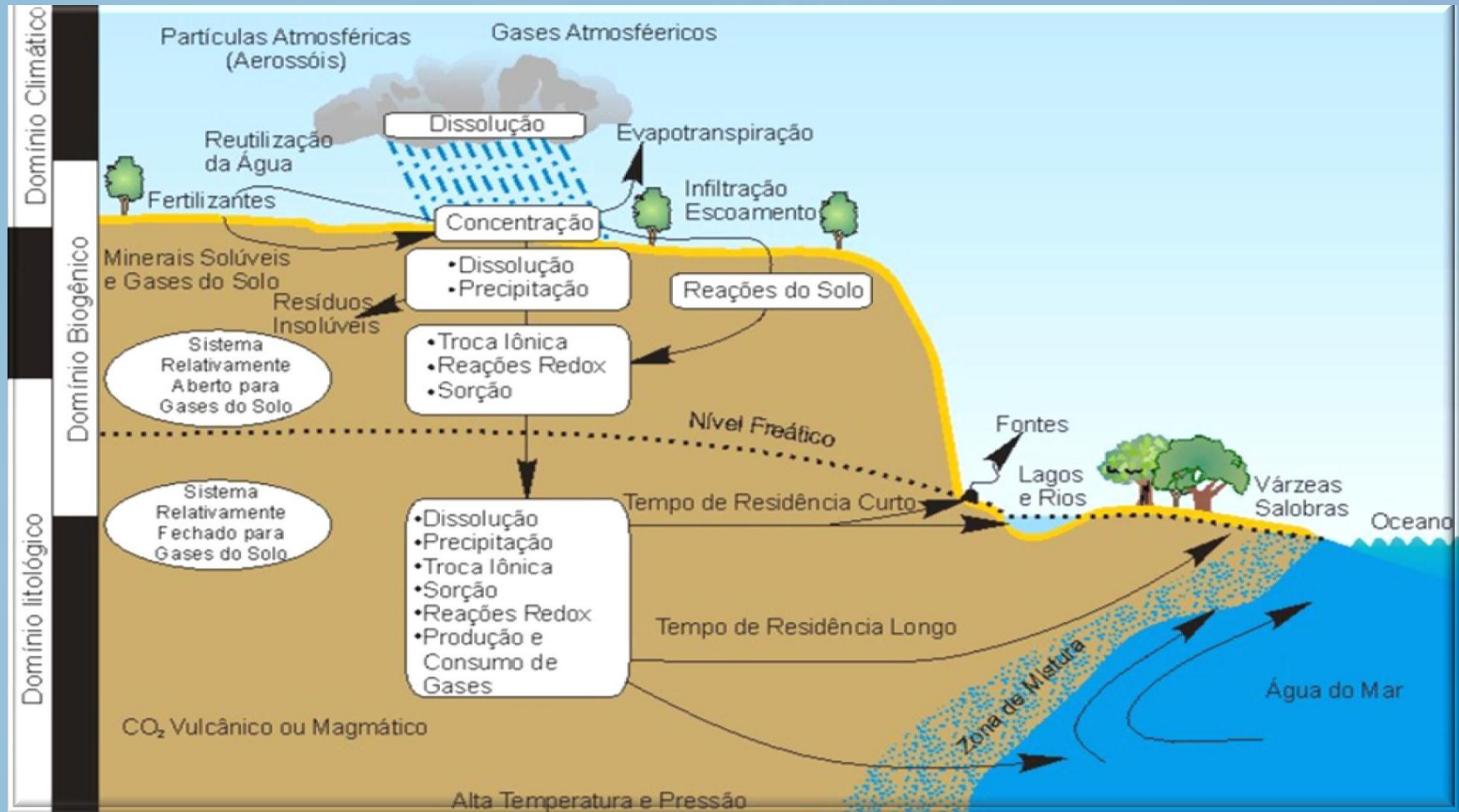
- ✓ Clima
- ✓ Relevo e hidrografia

TEORES MÉDIOS DE METAIS PESADOS (ppm- $\mu\text{g/L}$) NOS PRINCIPAIS TIPOS DE ROCHAS

(Adaptado de Alloway, 1990)

| Elemento | Crosta | Rochas cristalinas | | | Rochas sedimentares | | |
|----------|--------|--------------------|--------|---------|---------------------|---------|----------|
| | | Ultramáfica | Máfica | Granito | Argilito | Arenito | Folhelho |
| Cd | 0,1 | 0,12 | 0,13 | 0,09 | 0,028 | 0,05 | 0,22 |
| Cr | 100 | 2980 | 200 | 4 | 11 | 25 | 90 |
| Cu | 50 | 42 | 90 | 13 | 5,5 | 30 | 39 |
| Mn | 950 | 1040 | 1500 | 400 | 620 | 460 | 850 |
| Pb | 14 | 14 | 3 | 24 | 5,7 | 10 | 23 |
| Zn | 75 | 58 | 100 | 52 | 20 | 30 | 120 |

PROCESSOS E REAÇÕES NO AMBIENTE SUBTERRÂNEO



A exploração de água subterrânea no Brasil se intensificou nas últimas décadas, devido a:

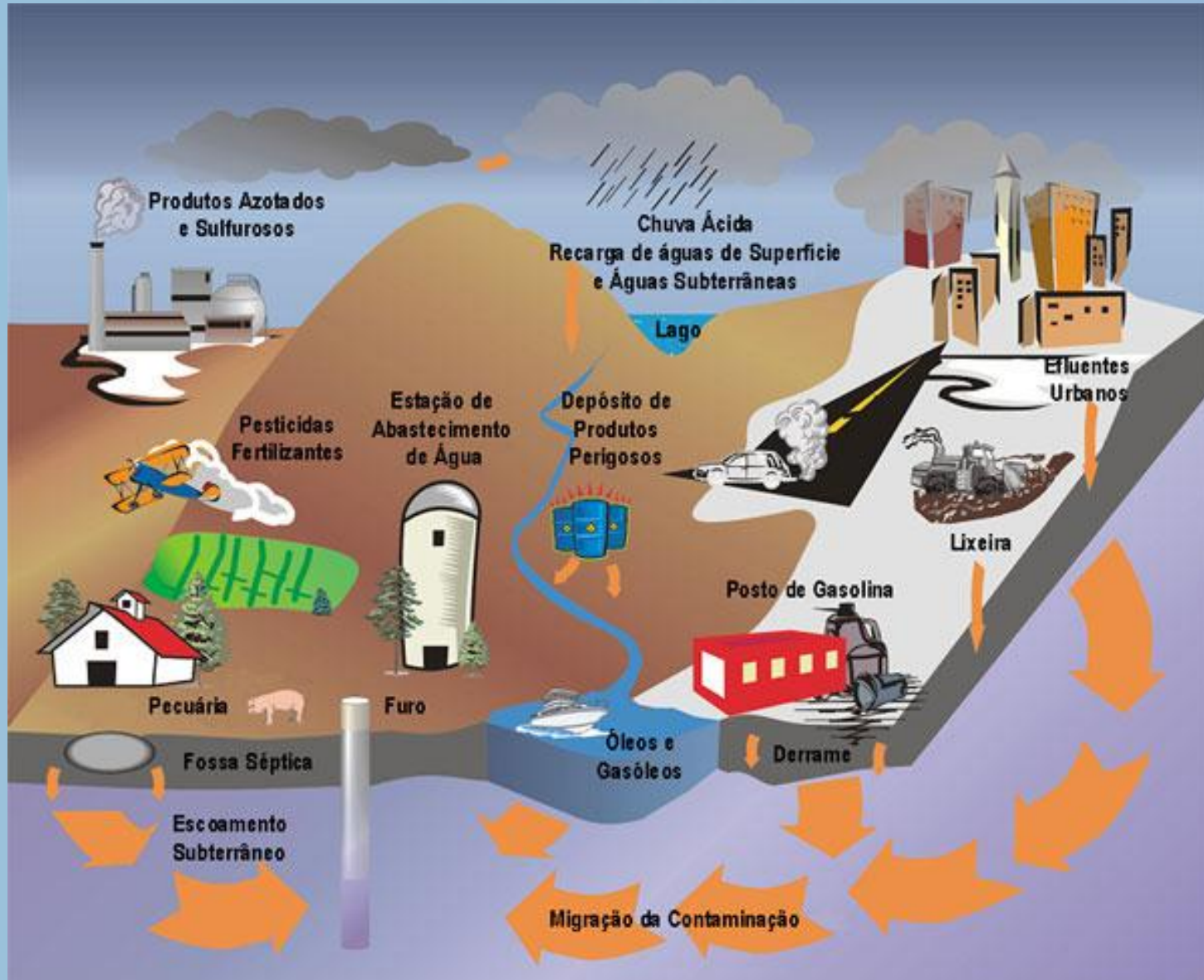
- aumento da demanda por água de boa qualidade;
- urbanização crescente;
- aumento de áreas irrigadas;
- implantação de parques industriais;
- avanço tecnológico na área de perfuração de poços.

A água subterrânea = recurso natural vital

- ✓ Abastecimento econômico e seguro de água potável no meio urbano e rural
- ✓ Equilíbrio de ecossistemas aquáticos.

Ameaça crescente de contaminação causada pela urbanização.

Fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas



O transporte de contaminantes aos aquíferos pode ser muito lento (anos ou décadas):

-Permite a decomposição de contaminantes degradáveis



- Pode favorecer uma atitude complacente diante da probabilidade de infiltração de contaminantes persistentes



Contaminação da qualidade das águas subterrâneas:

- ✓ É comum o comprometimento de grandes volumes do aquífero.
- ✓ Remediação alto custo econômico x viabilidade técnica

Exploração das águas subterrâneas em bases sustentáveis requer:

- Conhecimento do meio físico,
- Conhecimento das fontes de contaminação,
- Aplicação das técnicas de proteção dos aqüíferos
- Aprimoramento das formas de gestão dos recursos hídricos

Ponto importante para a prática da boa gestão:

vulnerabilidade natural dos aqüíferos.

Vulnerabilidade à contaminação do aquífero:

Sensibilidade de um aquífero a ser afetado em forma adversa por uma carga contaminante imposta (Foster, 1987).

É o inverso da “capacidade de assimilação de contaminação de um corpo de água receptor” no jargão utilizado na gestão de qualidade de águas superficiais.

- ✓ Restrição das práticas atuais e futuras do uso e ocupação do solo, descarga de efluentes e derrame de resíduos
- ✓ Definição do nível de controle necessário para proteger a qualidade da água subterrânea segundo a capacidade natural do subsolo para atenuar os contaminantes.
- ✓ Estabelecimento de zonas que indiquem que atividades são possíveis e aonde, com um risco aceitável para a água subterrânea.

Na Europa, por exemplo, há alguns casos isolados de empresas de saneamento que são proprietárias de toda a área de recarga de suas fontes, principalmente para evitar a contaminação microbiológica das mesmas.

JURUBATUBA

Áreas de restrição e controle de uso de água subterrânea










LEGENDA

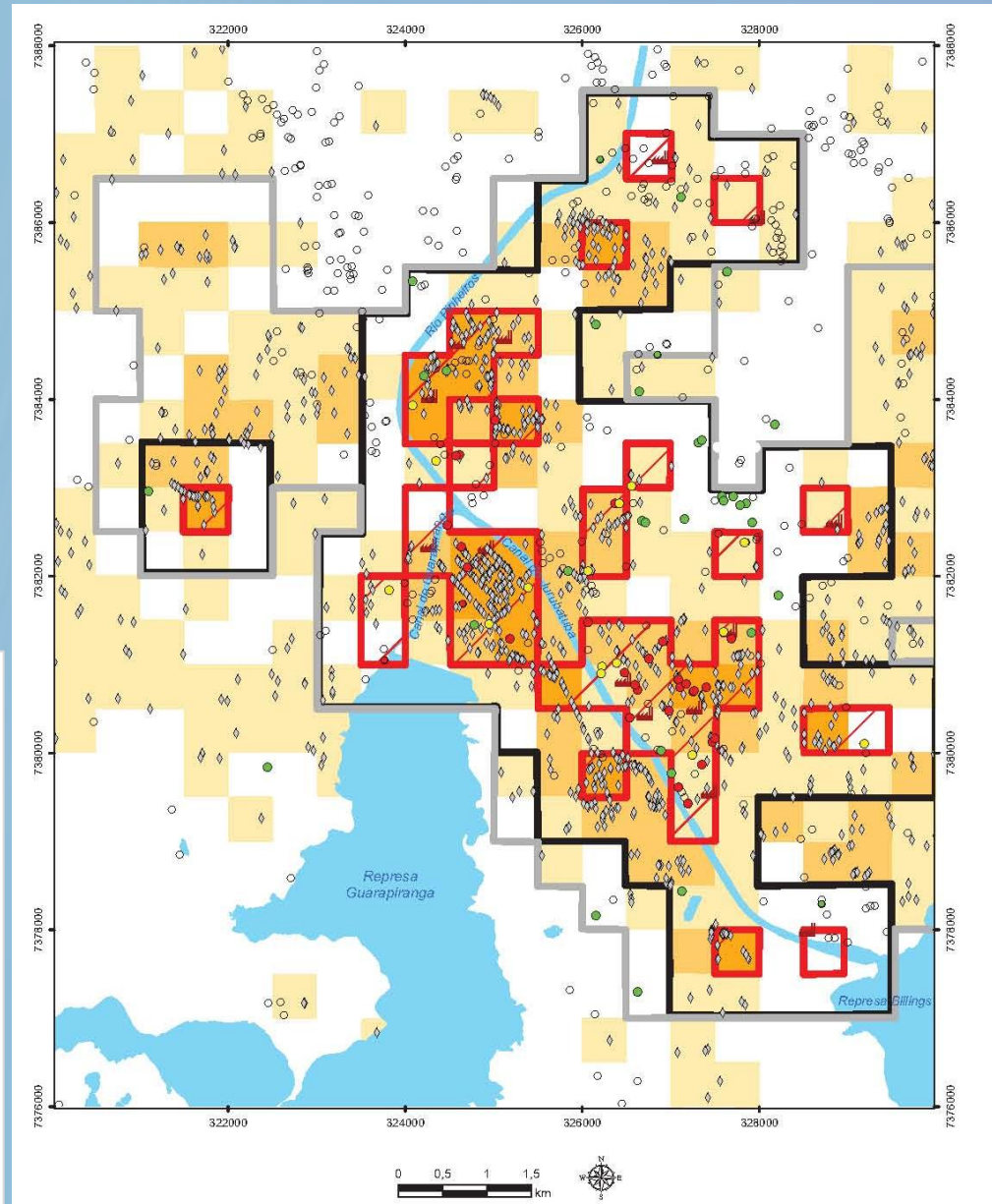
-  Curso D'água
-  Reservatório
-  Indústria

Densidade de atividades com índice elevado

-  Menor
-  Intermediária
-  Maior

Área de restrição

-  Alta
-  Média
-  Baixa
-  Todos os poços
-  Atividades com elevado potencial de contaminação
-  Poços sem etenos ou etanos clorados
-  Poços com etenos ou etanos clorados abaixo dos valores orientadores de intervenção
-  Poços com etenos ou etanos clorados acima dos valores orientadores de intervenção
-  Indústria declarada contaminada por solventes halogenados



| Método | Avalia | Fatores |
|-------------------------------|--|---|
| Landfill Site Ranking | Aterros Sanitários | <ul style="list-style-type: none"> Distancia aterro e poços produtores Profundidade do nível d'água Gradiente do aquífero Permeabilidade e capacidade de atenuação |
| Poluição dos aquíferos | Vulnerabilidade geral | <ul style="list-style-type: none"> Geologia Litologia Estrutural |
| Waste-Soil Interaction Matrix | Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias | <ul style="list-style-type: none"> Efeitos na saúde Característica do prod. Químico Comportamento do produto Capacidade do solo/atenuação Hidrogeologia Característica do local |
| TPE | Áreas de risco de contaminação | <ul style="list-style-type: none"> Velocidade da água subterrânea Porcentagem de argila Atividade potencialmente contaminante Exploração dos aquíferos |
| Hazard Ranking System | Áreas prioritárias para limpeza do aquífero | <ul style="list-style-type: none"> Migração; característica do meio e resíduo; quantidade de produto População próxima Explosão e fogo; contato direto |
| Mapa de Vulnerabilidade | Vulnerabilidade geral | <ul style="list-style-type: none"> Características litológicas Área de descarga e recarga |

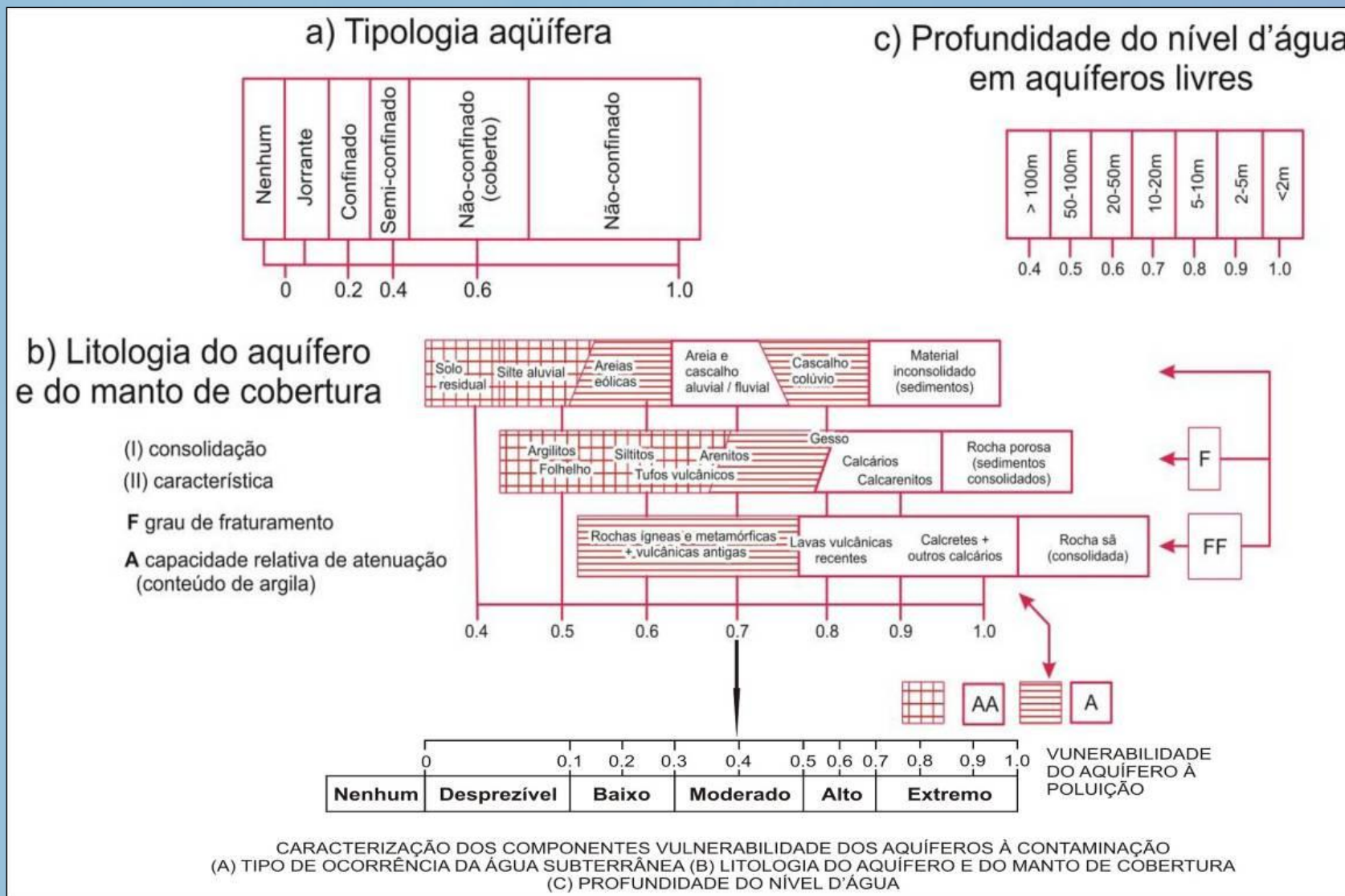
| Método | Avalia | Fatores |
|---|------------------------------------|---|
| Pesticide Index | O uso de pesticidas | <ul style="list-style-type: none"> Característica físico-química do pesticida Clima Perfil do solo Cultura |
| <i>Drastic</i> | <i>Vulnerabilidade geral</i> | <ul style="list-style-type: none"> <i>D= profundidade do NA</i> <i>R= Recarga</i> <i>A= meio aquífero</i> <i>S= solo</i> <i>T= topografia</i> <i>I= impacto no aquífero</i> <i>C= condutividade hidráulica</i> |
| <i>GOD</i> | <i>Vulnerabilidade geral</i> | <ul style="list-style-type: none"> <i>G= tipo de aquífero</i> <i>O= litologia zona vadosa</i> <i>D= profundidade da água subterrânea</i> |
| Groundwater Vulnerability Map For Nitrate | Potencial de lixiviação do nitrato | <ul style="list-style-type: none"> Tipo de solo Característica hidráulica aquífero Litologia aquífero |
| Potential Waste Disposal Sites | Disposição de resíduos sólidos | <ul style="list-style-type: none"> Vulnerabilidade Confinamento do aquífero Proximidade de fontes Tipo e quantidade de contaminante Velocidade zona saturada Percolação |
| Sintacs | Vulnerabilidade geral | <ul style="list-style-type: none"> Igual ao Drastic, com pesos diferentes |

Fonte: Apostila do curso Planejamento, Construção de Poços Tubulares e Testes de Bombeamento (Geól. João Carlos Simanke de Souza)

Metodologia GOD para avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos aqüíferos (FOSTER & HIRATA, 1993)

- Tipo de ocorrência das águas subterrâneas com relação ao seu grau de confinamento (*Groundwater occurrence*);
- Litologia predominante (*Overall lithology*);
- Profundidade do nível d'água (*Depth to groundwater table*).

Metodologia GOD para avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos



Heterogeneidade no grau de vulnerabilidade ou de riscos de contaminação das águas.



Necessidade de um adequado conhecimento do modelo hidrogeológico local e regional



Plano de controle e proteção que assegure um uso sustentável da água subterrânea.

- Neste aspecto as Resoluções 15, 22, 91 e 92 do CNRH abordam os aspectos gerais que devem ser obedecidos para atingir um resultado eficiente.

Normatização e legislação ambiental

- Águas subterrâneas
- Principais usos no Brasil e no mundo
- Potencialidades Aqüíferas: conceito de reservas hídricas subterrâneas e de disponibilidades
- Quantificação das Reservas (Permanentes, Renováveis e Explotáveis)
- Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação
- **Normatização e legislação ambiental**
- Critérios de outorga de uso das águas subterrâneas

- CONSTITUIÇÃO DE 1988:

➤ ART 26, INCISO I:

➤ **Incluem-se entre os bens dos Estados: as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União;**

- CONSTITUIÇÃO DE 1988: ART 176

- **As jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra.**

- CONSTITUIÇÃO DE 1988:

- Entende-se que **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS** são de dominialidade dos **ESTADOS E DO DISTRITO FEDERAL**;
- Distinção clara entre as **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS** e **RECURSOS MINERAIS** do sub-solo, que são competência da União;
 - Águas subterrâneas para consumo são diferentes de **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA APROVEITAMENTO MINERAL** (água mineral, água potável de mesa, águas termais).

- Pesquisa e a lavra das águas minerais, termais, gasosas, de mesa ou destinadas a fins balneários são reguladas pela Lei nº 227, de 1967 (**Código de Mineração**).
- Fiscalização da qualidade do produto na fonte, classificação das águas e sua comercialização, instalação ou funcionamento de estâncias hidrominerais obedecem ao disposto na Lei nº 7.841, de 1945 (**Código de Águas Minerais**);

Entendimento quanto às águas minerais, potáveis de mesa, termais, etc.

- Aplicação do Código de Águas e do Código de Mineração cabe ao Departamento Nacional de Produção Mineral - **DNPM**.
- A qualidade das águas minerais engarrafadas é fiscalizada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - **ANVISA** e pelas Secretarias de Saúde dos Estados.
- Danos ao meio ambiente causados pela exploração dessas águas, seriam problemas da alçada dos **órgãos ambientais**.

- **LEI 9.433 (1997):**

- **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;**

- **Determina a Bacia Hidrográfica como unidade de aplicação da Política de Recursos Hídricos.**

-LEI 9.433 (1997):

-Estabelece os INSTRUMENTOS DE GESTÃO:

- Planos de Recursos Hídricos;**
- Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso;**
- Outorga de direito de uso;**
- Cobrança pelo uso;**
- Compensação a municípios;**
- Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.**

- **LEI 9.433 (1997):**
 - **Incorporou dominialidade** das águas subterrâneas entendida pela Constituição de 1988.

 - **Reconhece que captações** de águas subterrâneas são obras de engenharia e necessitam de **autorização** para sua instalação e operação;

- LEI 9.984 (2000):

-Cria a Agência Nacional de Águas, com a finalidade de **implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;**

-Em articulação com os integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

RESOLUÇÕES CNHR

[Resolução nº15, de 11 de janeiro de 2001](#)

Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas

[Resolução nº 17, de 29 de maio de 2001](#)

Estabelece diretrizes para elaboração dos Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas

[Resolução nº 22, de 24 de maio de 2002](#)

Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos

[Resolução nº 91, de 05 de novembro de 2008](#)

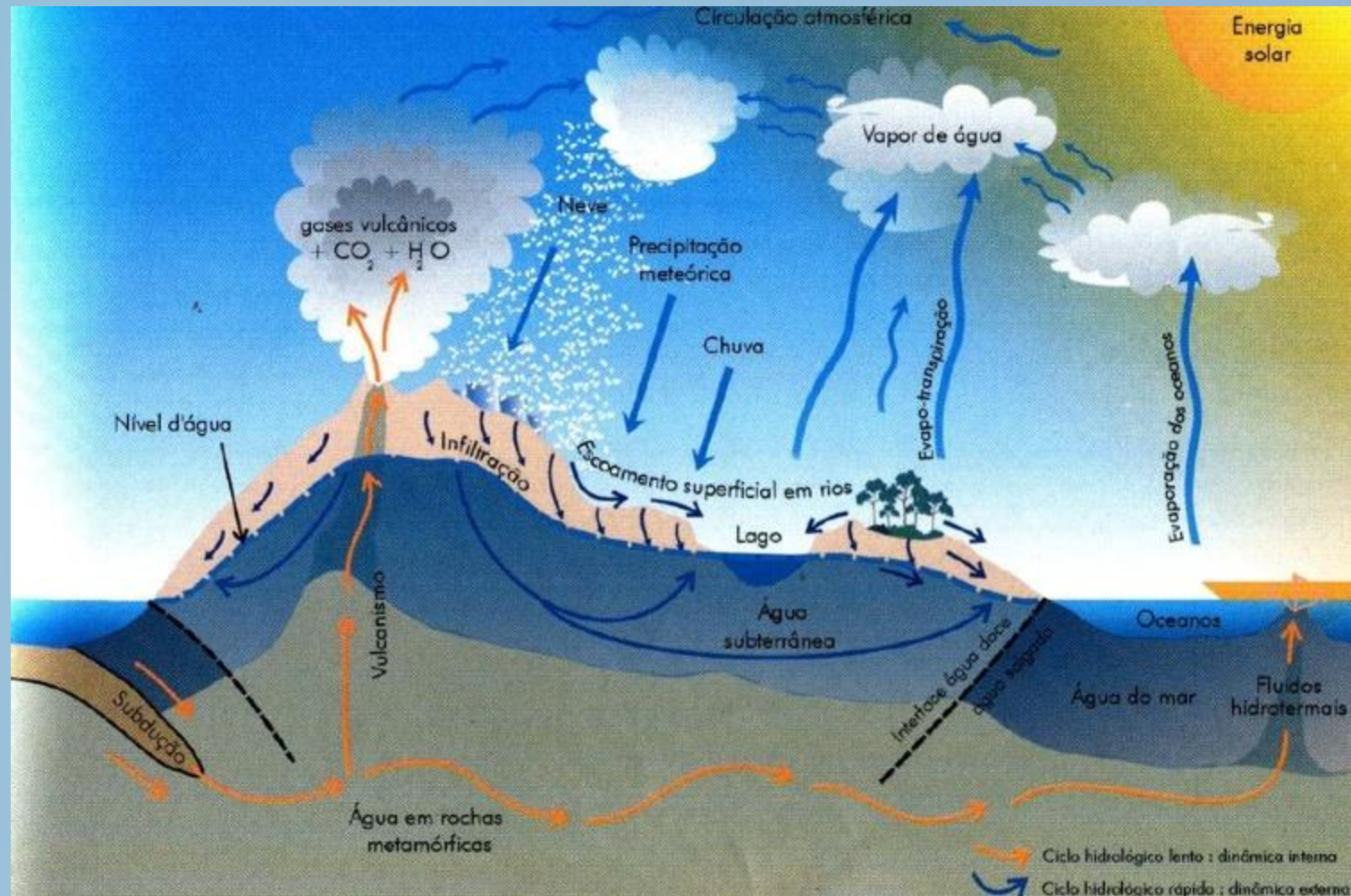
Dispõe sobre procedimentos gerais para enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos

[Resolução nº 92, de 05 de novembro de 2008](#)

Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro

- RESOLUÇÃO Nº 15 - 2001 CNRH:

- Reconhece a **interação entre água superficial e subterrânea** e a **indissociabilidade da gestão destes dois tipos;**
- Reconhece que os limites de um **aqüífero** não necessariamente coincidem com os de **bacias hidrográficas;**



Fonte: Curso Águas Subterrâneas na Legislação Brasileira de Recursos Hídricos, por Ana Luiza Sabóia de Freitas, Geóloga da Superintendência de Cobrança e Conservação da ANA.

-RESOLUÇÃO Nº15 DO CNRH:

- **A implementação** da Política Nacional de Recursos Hídricos deve **reconhecer a interdependência** entre as várias formas de ocorrência de água;
- Dispõe sobre as diretrizes a serem **observadas** na aplicação de **instrumentos de gestão** no gerenciamento das águas subterrâneas.

RESOLUÇÃO CNRH Nº 17 – 2001

Art. 8º Os **Planos de Recursos Hídricos**, no seu conteúdo **mínimo**, deverão ser constituídos por diagnósticos e prognósticos, alternativas de compatibilização, metas, estratégias, programas e projetos, contemplando os **recursos hídricos superficiais e subterrâneos**, de acordo com o art. 7º da Lei 9.433, de 1997.

RESOLUÇÃO CNRH Nº 22 – 2002

Artigo 6º Os Planos de Recursos Hídricos devem **explicitar as medidas de prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos com vistas a garantir os múltiplos usos e a manutenção de suas funções ambientais.** No § 2º explicita que a criação de áreas de uso restritivo poderá ser adotada como medida de alcance dos objetivos propostos;

RESOLUÇÃO CNRH Nº 91 – 2008

Artigo 2º - O enquadramento dos corpos de água se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade conforme disposto nas Resoluções **CONAMA** nos 357, de 2005 e **396, de 2008**.

Artigo 2º ,§ 1 - A elaboração da proposta de enquadramento **deve considerar, de forma integrada e associada, as águas superficiais e subterrâneas**, com vistas a alcançar a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade compatíveis com os usos preponderantes identificados.

RESOLUÇÃO CNRH Nº 92 – 2008

Art. 2º **Os órgãos gestores deverão promover estudos hidrogeológicos**, a serem executados por entidades públicas ou privadas, com abrangência e escalas adequadas

Art. 3º Os planos de recursos hídricos devem **delimitar as áreas de recarga de aquíferos e definir suas zonas de proteção.**

Art. 4º O órgão gestor de recursos hídricos competente, em articulação com os órgãos de meio ambiente, poderá instituir...**áreas de restrição e controle de uso de águas subterrâneas**, desde que tecnicamente justificadas,

Art. 5º No processo de análise e deferimento de **outorga** de direitos de uso das águas subterrâneas, **devem ser considerados os estudos hidrogeológicos** descritos no art. 2º desta.

RESOLUÇÕES CONAMA

RESOLUÇÃO No 396, DE 3 DE ABRIL DE 2008

Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

RESOLUÇÃO No 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009

Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

ESTADOS E AS LEIS A RESPEITO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS:

- São Paulo e Pernambuco → pioneiros;
- Pará, Minas Gerais, Paraná e Distrito Federal;
- Demais citam proteção de águas subterrâneas, seja nas suas leis específicas de recursos hídricos ou de meio ambiente → RS e MA.

Proposta de DN COPAM/CNRH

Estabelece diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas e dá outras providências.

Recife

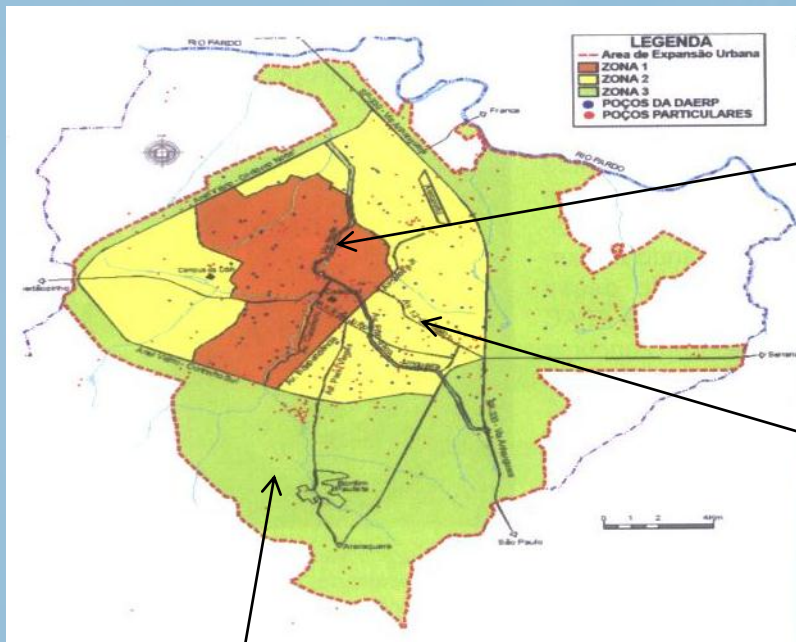
– Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos Beberibe, Cabo e Barreiras (2002) – instrumento para disciplinar a perfuração de poços, a conservação e proteção das águas subterrâneas.

– Em algumas regiões não é mais permitido perfurar novos poços (Boa Viagem, Setubal, Pina).

(Resolução CRH no. 4 / 2003)

Ribeirão Preto

- 100% do abastecimento público através de poços tubulares no Aquífero Guarani
- Superexploração do aquífero (captação de 13 vezes mais água do que a capacidade de reposição)
- Câmara Técnica de Saneamento e Águas Subterrâneas (CBH Pardo) propôs um zoneamento na zona urbana do município.



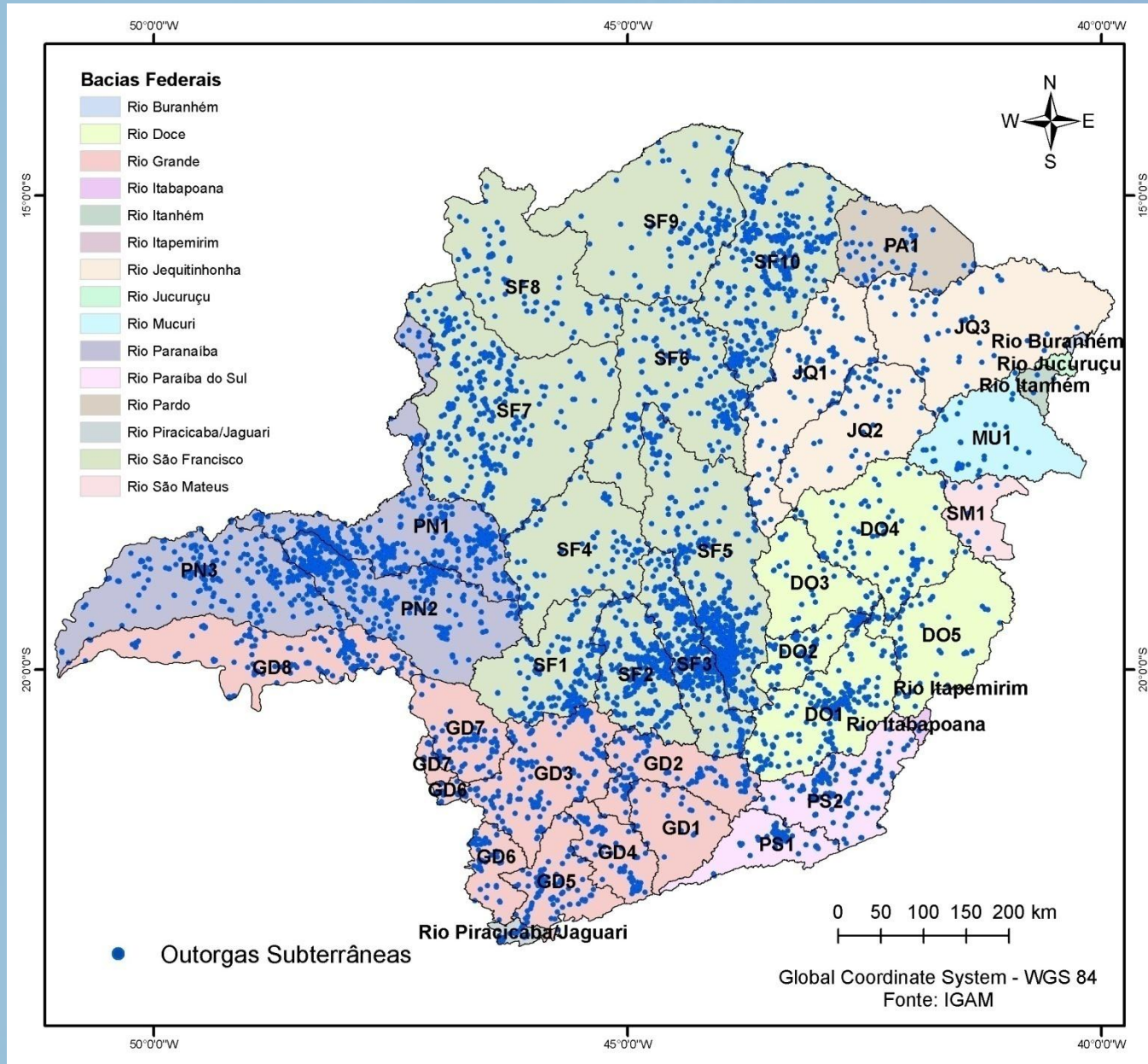
Zona 1 – rebaixamento do lençol freático > 60 m – perfuração de novos poços apenas para abastecimento público, e desativação de um poço existente

Zona 2 – perfuração de novos poços apenas para abastecimento público

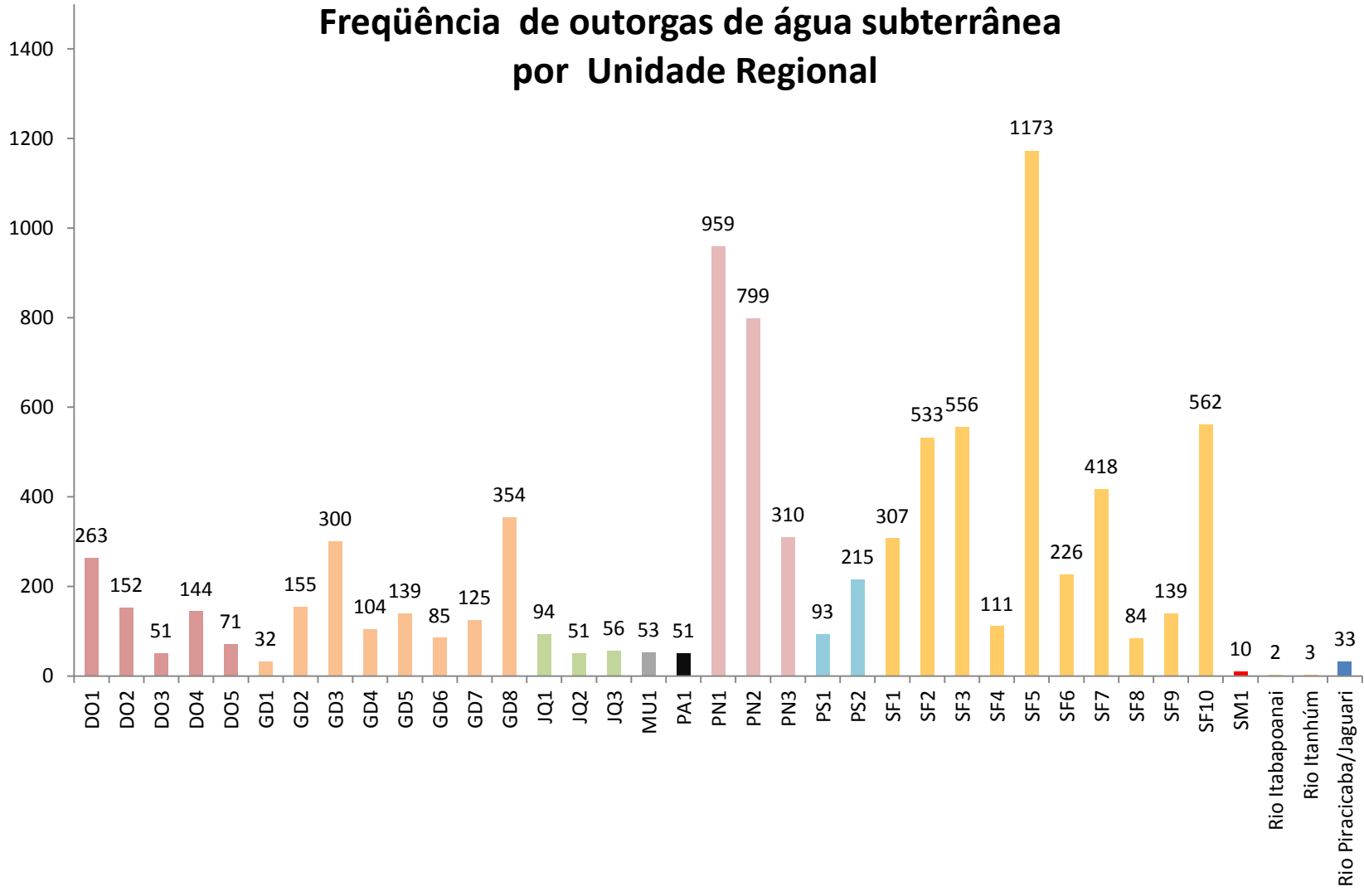
Zona 3 – permite perfurações, desde que a distância entre poços existentes seja no mínimo 1200 m distantes de corpos d'água, áreas contaminadas ou com suspeita de contaminação.

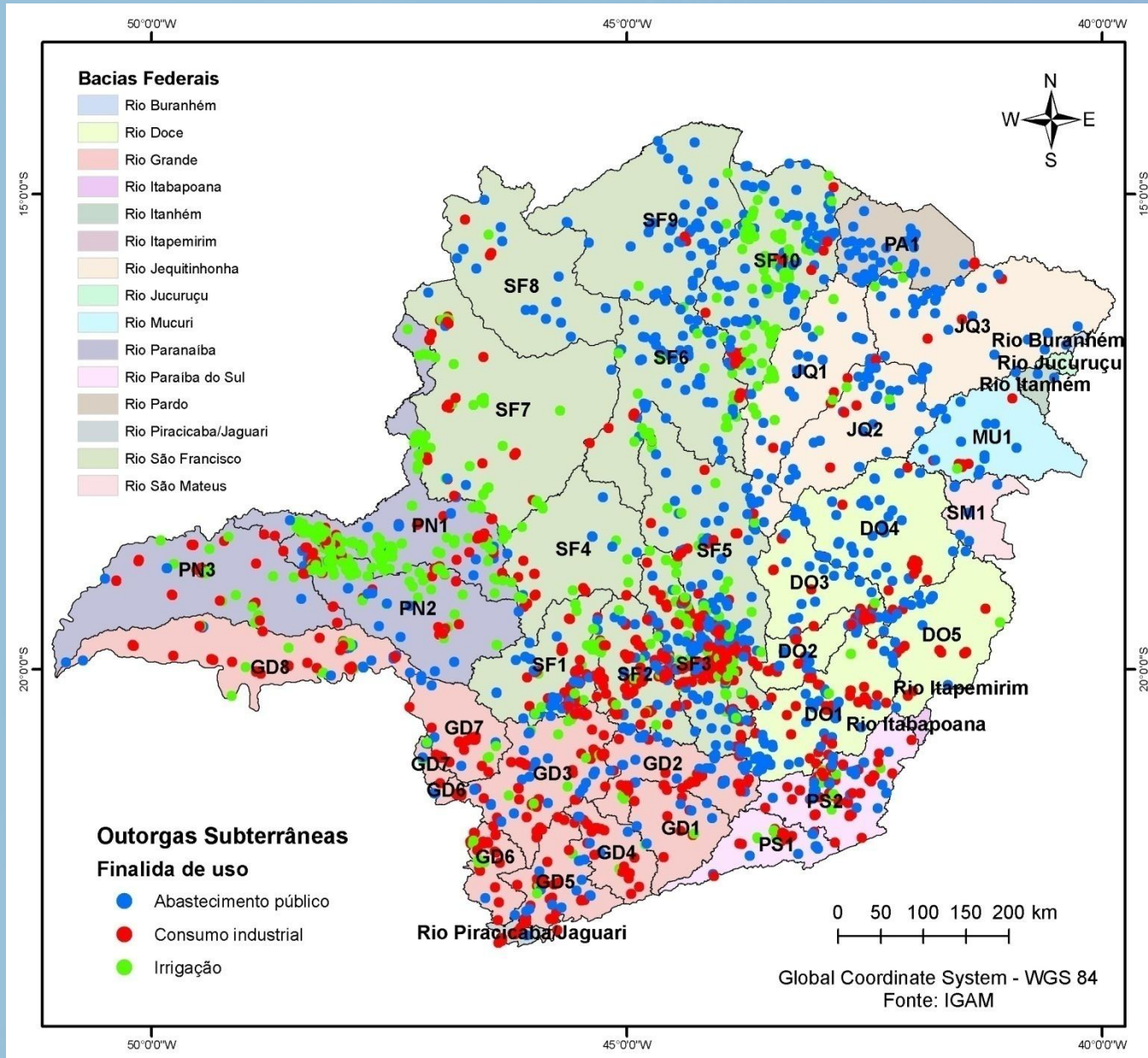
■ Critérios de outorga de uso das águas subterrâneas

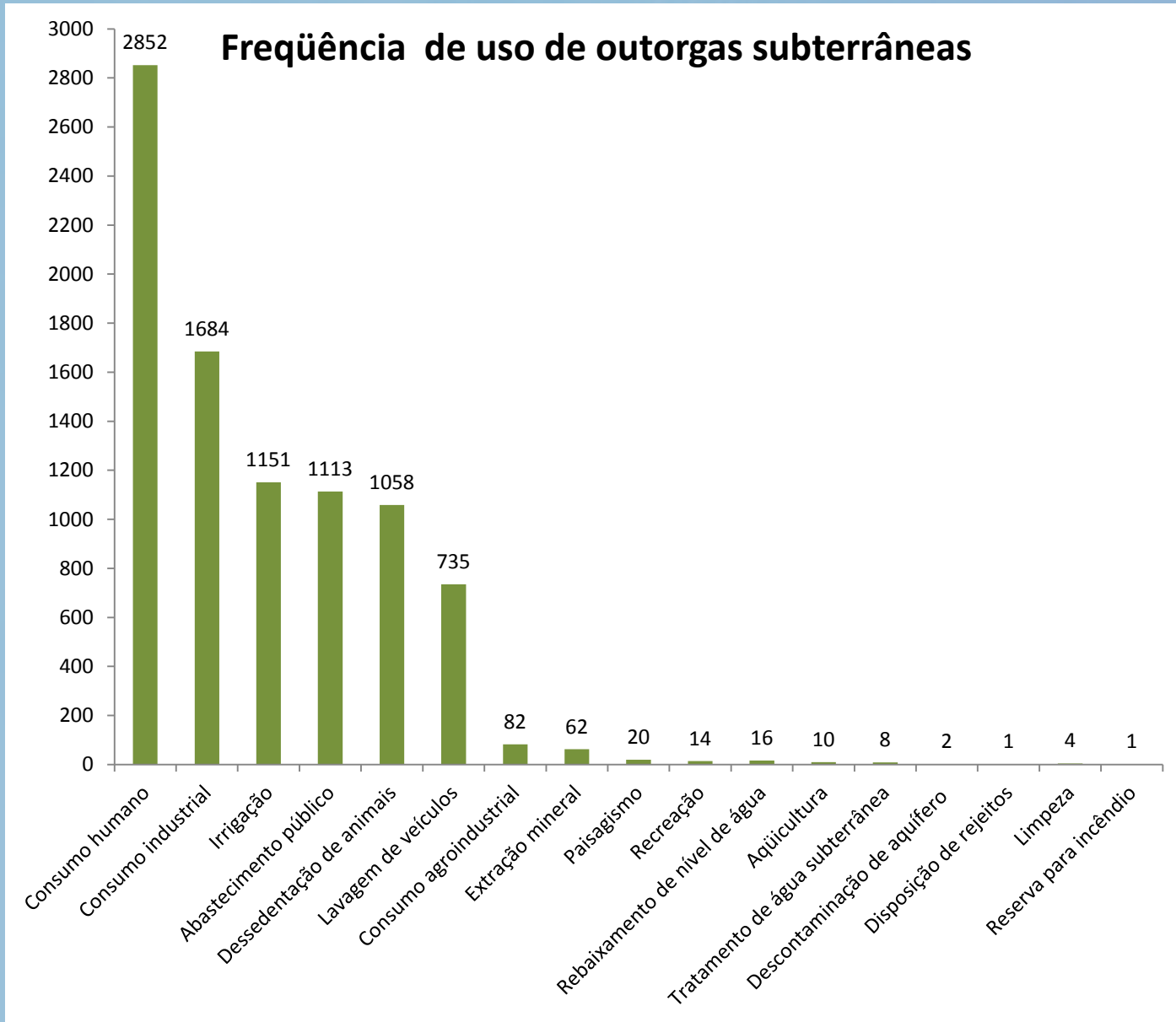
- Águas subterrâneas
- Principais usos no Brasil e no mundo
- Potencialidades Aqüíferas: conceito de reservas hídricas subterrâneas e de disponibilidades
- Quantificação das Reservas (Permanentes, Renováveis e Explotáveis)
- Vulnerabilidade natural dos aqüíferos à contaminação
- Normatização e legislação ambiental
- **Critérios de outorga de uso das águas subterrâneas**

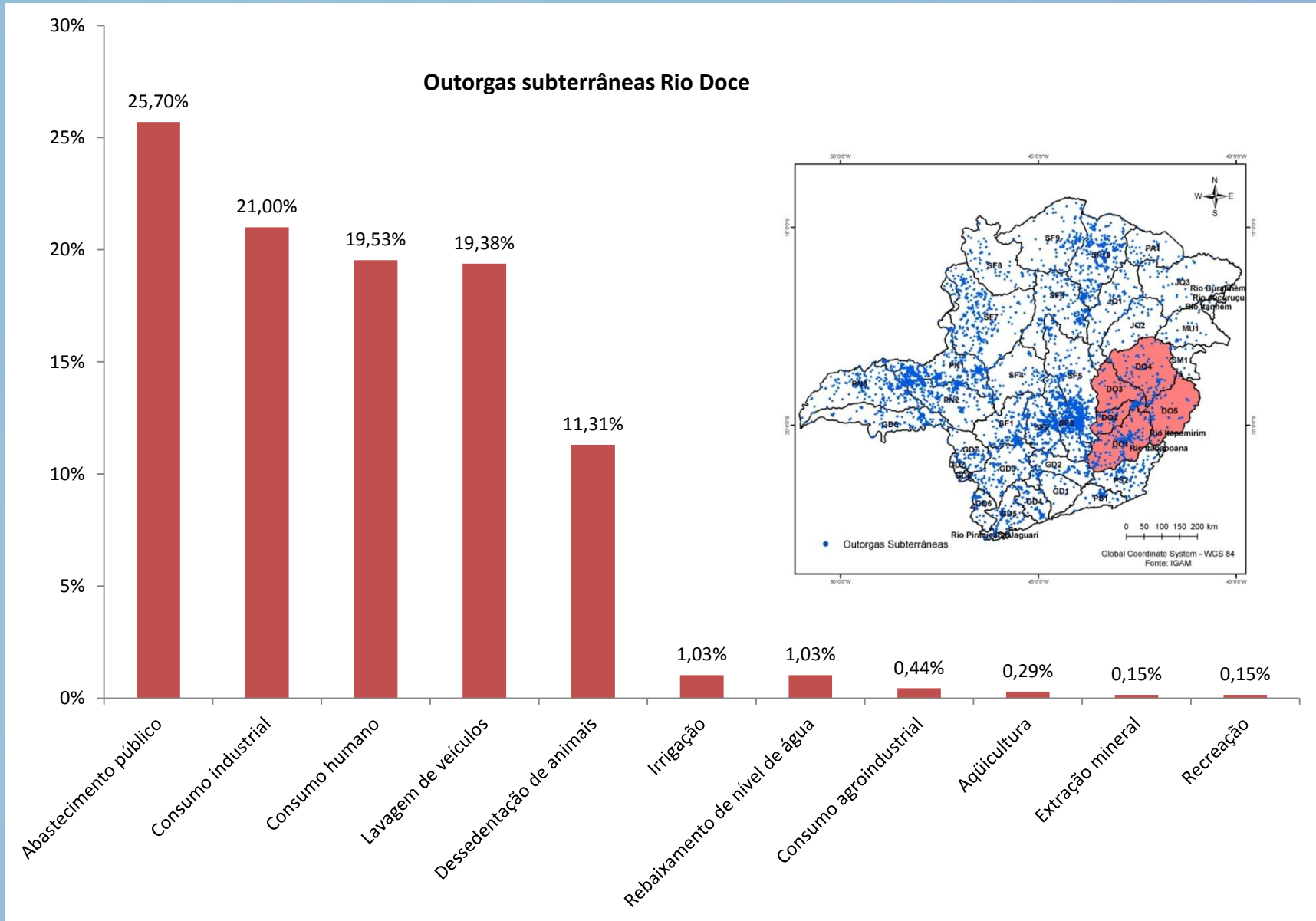


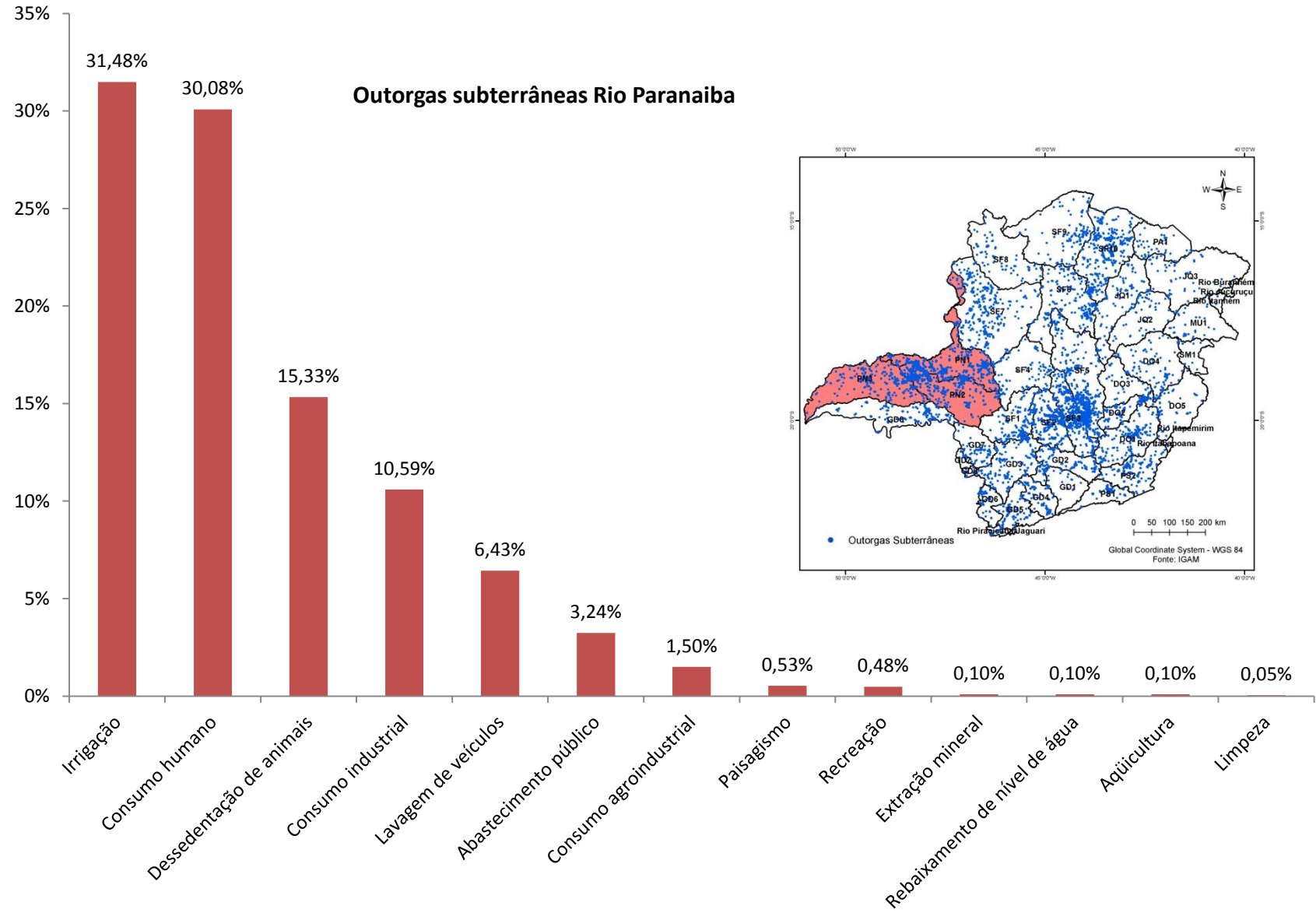
Frequência de outorgas de água subterrânea por Unidade Regional

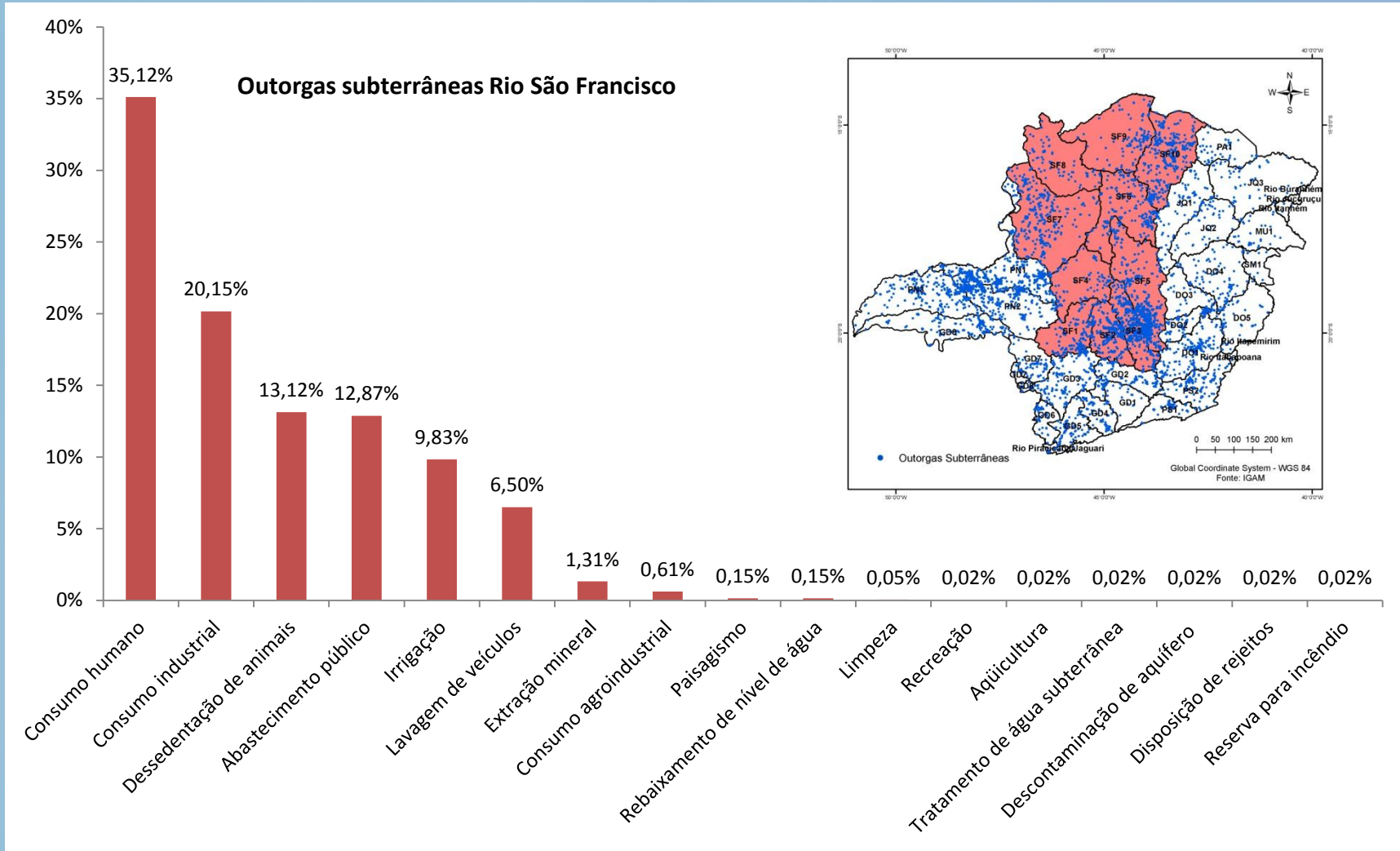












MINAS GERAIS

- **SITE IGAM**
- **Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais - 2010**
- Limite da vazão outorgada com base nas informações do processo de outorga.
- Proposta de DN COPAM/CERH

MINAS GERAIS

- Em caso de suspeita de superexploração do aquífero, as outorgas ficam condicionadas ao monitoramento dos níveis de água.
- Ações de maior disciplinamento poderão ser adotadas em caso de comprometimento do aquífero.
- Propostas de restrição de outorgas subterrâneas entre 25% e 20% das reservas renováveis (Planos Diretores das bacias do rio das Velhas e Paracatu, respectivamente).
- Estudos sobre disponibilidade hídrica em andamento (Projeto Águas do Norte de Minas e Sete Lagoas, onde estão suspensas novas perfurações na área urbana até a conclusão destes estudos).