

Projeto

TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

CADERNO 2

Disponibilidade de Água nos Aquíferos



EXECUÇÃO

Amélia João Fernandes (IPA-SIMA, coordenação)
Andrea Segura Franzini (CPRM)
Fernanda Souto Barreto (IGc-USP)
José Luiz Albuquerque (IPT)
Marta Deucher (IPA-SIMA)
Mateus Delatim Simonato (CEPAS-USP)
Roberto Kirchheim (CPRM)
Veridiana Martins (IGc-USP)

Bolsistas Fapesp
Beatriz Helena Martins
Gabriel Lima Barbosa

Financiamento



PROJETO DE POLÍTICAS PÚBLICAS
Processo FAPESP 2018/16708-6

EQUIPE PARCEIRA

Ana Carolina Dias de Moraes (Prefeitura de Porto Feliz)
André Cordeiro (UFSCAR)
Caroline Túbero Bacchin (DAEE)
Jodhi Jefferson Allonso (DAEE)
Natália Zanetti (FABH-SMT)
Rosângela Aparecida César (CETESB)

ABRIL - 2024

O QUE É O PRÓ|AQUÍFEROS?

O Pró|Aquíferos é uma iniciativa que tem o objetivo de disseminar conhecimento sobre água subterrânea. Essa iniciativa reúne instituições de pesquisa do Estado de São Paulo (IPA-SEMIL, IPT, IGc-USP) e uma instituição federal (CPRM), voltando-se principalmente para os comitês de bacia com o intuito de promover uma gestão adequada e sustentável dos recursos hídricos.

O projeto “Transferência de conhecimento visando a gestão das águas subterrâneas no âmbito dos Comitês de Bacia do Estado de São Paulo”, financiado pela FAPESP, foi realizado pelo Pró|Aquíferos e consistiu na ministração de dois cursos para o Comitê de Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê. Além disso, produziu materiais educativos na forma de 4 Vídeos e 5 Cadernos, sendo este um deles. Convidamos o leitor, ao fim do caderno, a ver os títulos desses materiais.

Do que trata este caderno?

Neste caderno vamos responder algumas perguntas:

1. A água doce potável poderá acabar?
2. Por que as águas subterrâneas são fundamentais para o abastecimento público e privado?
3. Por que é necessário falar de disponibilidade de água nos aquíferos?
Quanta água pode ser extraída?
4. O que influi na DISPONIBILIDADE? O que deve ser conhecido para extrair água dos aquíferos com sabedoria?
 - 4a. Características dos aquíferos
 - 4b. Quantidade de chuva, sua distribuição ao longo do ano e temperatura
 - 4c. Características do terreno
 - 4d. Água já extraída através de poços existentes
5. Quais medidas devem ser tomadas para aumentar a disponibilidade?

Nós o convidamos a ler o caderno até o fim.

A linguagem usada é acessível a todos os que tiverem interesse no assunto, independentemente da sua formação.

1. A água doce potável poderá acabar?

Há evidências de que a água doce dos continentes tem diminuído (Wood & Cherry 2021, <https://www.estadao.com.br/opiniaio/espaco-aberto/estamos-secando-os-continentes/>). Quem já não ouviu relatos sobre rios e lagos que diminuem ou mesmo secam, e todas as notícias sobre represas que diminuem muito as suas reservas em períodos de secas (2013-2014, 2020-2021)?

Diante desses fatos, você já se perguntou se a água doce potável poderá acabar?

A água doce não acabará, mas mudanças importantes com relação ao regime de chuvas já começaram a acontecer, e poderão causar forte diminuição de disponibilidade de água em algumas regiões. Espera-se que eventos extremos, como estiagens muito longas e chuvas intensas e concentradas, se tornem comuns. Um exemplo trágico de chuvas concentradas é o do Rio Grande do Sul em maio/2024, e de secas anômalas na Amazônia no final de 2023 e no Pantanal de 2019 até o presente. Veja por exemplo o vídeo do Youtube ["a Seca no Pantanal: 2019 a 2022"](#), de Sandro Kakabadze.

Lago de sítio em Botucatu (SP) que ficou seco de 2020 a 2022

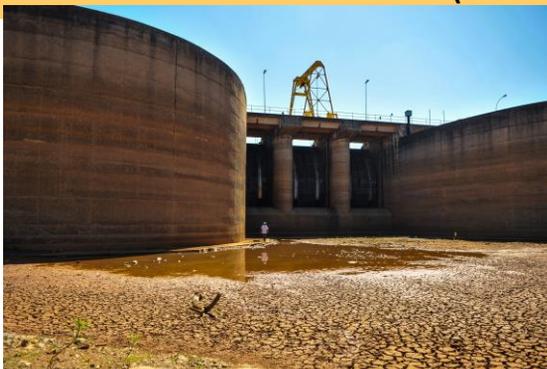


FOTO agosto de 2022



FOTO fevereiro de 2023

Rios, lagos e represas são muito afetados pelas longas estiagens. Exemplos disto são que secaram ou diminuíram muito durante as crises hídricas de 2013-2014 e 2020-2021. Veja este lago que fica num sítio em Botucatu, ou as represas que secaram nas fotos abaixo. Mudanças importantes com relação ao regime de chuvas já começaram a acontecer e poderemos chegar a situações mais dramáticas do que as que já vivenciamos. Portanto, **basear o abastecimento unicamente em corpos de água superficial é muito arriscado**; dados mostram que **idades abastecidas por poços sofrem menos nas crises hídricas (Hirata et al. 2019).**



Represas da Sabesp que secaram na crise hídrica de 2013-2014

2. Por que a água subterrânea é fundamental para o abastecimento público e privado?

Diante dos eventos climáticos adversos que já tem acontecido e que deverão perdurar, é importante conhecer melhor todos os reservatórios de água. Os lagos e rios todos podem ver, mas os aquíferos, grandes reservatórios de água subterrânea extraída por poços, são muito pouco lembrados e pouco conhecidos. Mas está na hora de mudar esta situação. Por que?

Entre várias razões, podemos citar duas.

1) A água subterrânea tem sido cada vez mais amplamente utilizada para atividades econômicas e para abastecimento público. Seu papel para a segurança hídrica e alimentar é cada vez mais importante. Entende-se segurança hídrica como uma situação em que existe água suficiente para abastecimento público, atividades econômicas, serviços ecossistêmicos e segurança alimentar. O uso da água subterrânea para a agricultura tem sido subestimado e isto já aponta para segurança alimentar a ser vivenciada no futuro (Wood & Cherry 2021).

2) Diante dos extremos climáticos que já temos sofrido, os aquíferos tem uma grande vantagem com relação a rios e represas: eles são muito menos afetados pelas secas pois após a água entrar neles, ela sai do aquífero muito lentamente. Além disso, não estão sujeitos à evaporação que, com as temperaturas mais elevadas, vai se intensificar.

AQUÍFEROS

Reservatórios gigantes de água doce que resistem às estiagens.

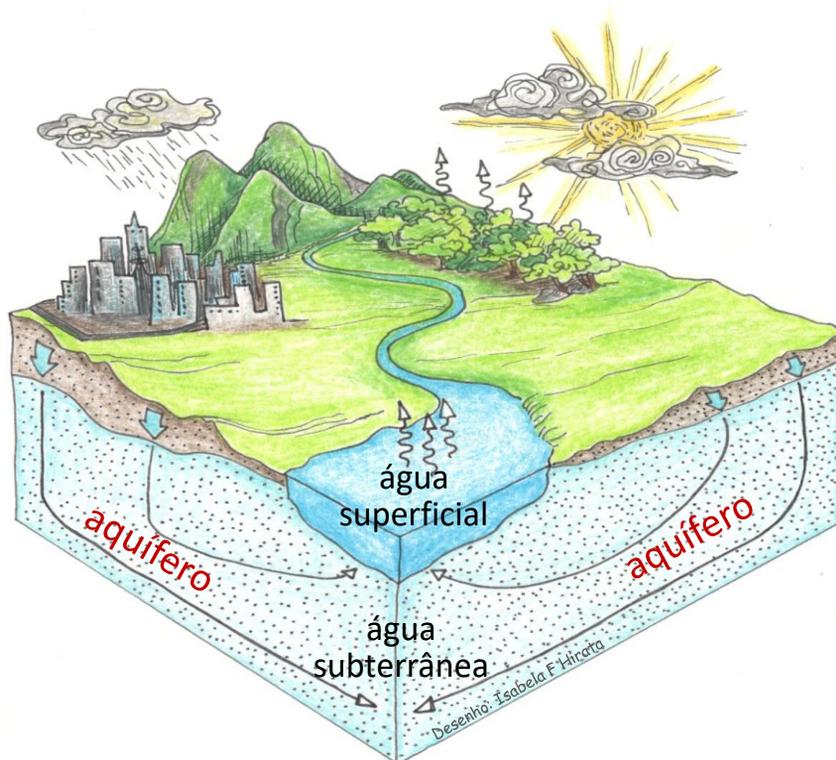
POR QUE?

Como a água subterrânea fica no subsolo, não é afetada pela evaporação.

&

Assim que a água entra no aquífero, vai sair dele (nos rios e lagos), muito lentamente.

Os rios, ao contrário, deixam a água ir rapidamente embora.



A água subterrânea tem sido cada vez mais utilizada para atividades econômicas e para abastecimento público.

3. Por que é necessário falar de disponibilidade de água subterrânea?

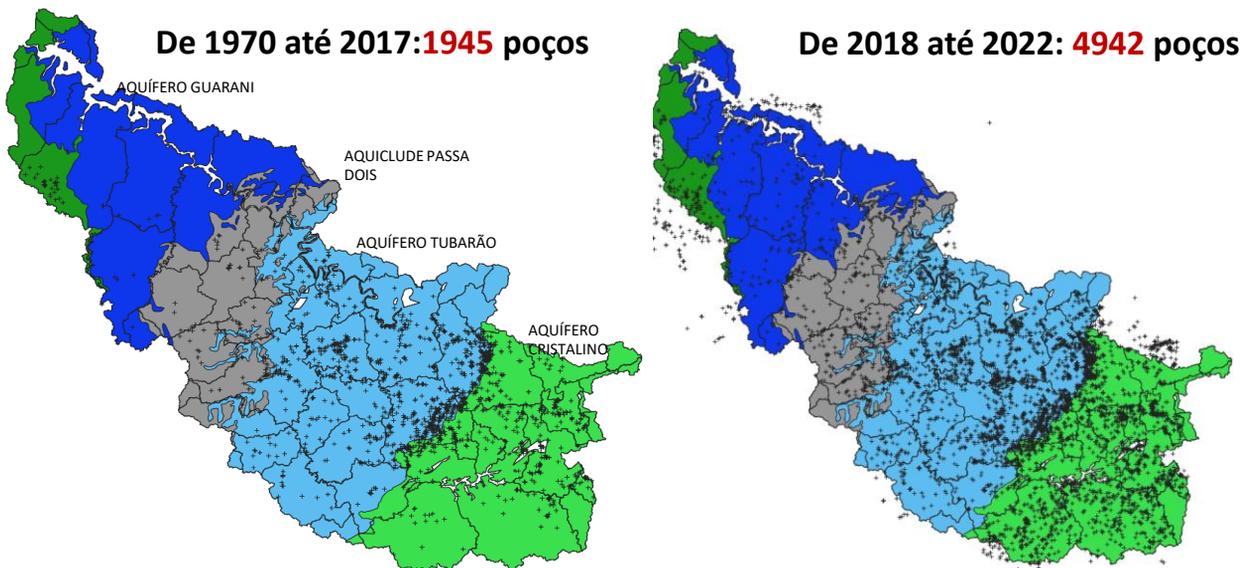
É extremamente necessário falar de disponibilidade de água subterrânea e várias razões podem ser citadas!

- ✓ Porque muita água já é retirada dos aquíferos para diversos usos. Por exemplo, pode-se dizer que no mundo 70% da água de irrigação provem dos aquíferos (Wood & Cherry 2021).
- ✓ Por causa das crises hídricas (ex, 2013-2014, 2020-2021), cada vez mais poços têm sido perfurados para atender os diversos usos, incluindo o abastecimento público, pois muitos municípios tem recorrido a poços para superar a diminuição do volume de água em rios e represas.
- ✓ Porque a extração de água de poços tem acontecido de forma descontrolada/não planejada e muitas vezes há desperdício (Hirata et al. 2015, 2021; Pinhatti & Hirata 2018).
- ✓ Porque a quantidade de água nos rios é dependente da água subterrânea; **30 a 60% da vazão dos rios provêm dos aquíferos.**
- ✓ Mesmo que o abastecimento da sua cidade venha de rios e represas, pode ter certeza que indústrias, hospitais, clubes, além de propriedades agrícolas e condomínios rurais possuem poços. **Nas últimas décadas, o número de poços privados cresceu muito por conta da escassez hídrica, na tentativa de garantir o seu abastecimento.**
- ✓ As cidades também têm perfurado cada vez mais **poços destinados ao abastecimento público** para fugir de crises hídricas! Em vista das secas mais longas e intensas, cada vez mais as cidades recorrem à água subterrânea.
- ✓ Ou seja, existem muitos poços em todos os lugares...

De acordo com as Nações Unidas **40% da irrigação global é água de poços**. Mas como aproximadamente **metade da vazão dos rios provem da água subterrânea**, então cerca de 70% da água de irrigação provem dos aquíferos. (Jornal Estado de São Paulo, 2021: <https://digital.estadao.com.br/article/281603833663353>)



MUITAS CIDADES TEM PERFURADO POÇOS POR CAUSA DAS CRISES HÍDRICAS: EXEMPLO DA BACIA HIDROGRÁFICA SOROCABA E MÉDIO-TIETÊ



CADA VEZ MAIS POÇOS TEM SIDO PERFURADOS! Cada ponto no mapa é um poço. De 2018 a 2022 (4 anos), muito mais poços foram perfurados que de 1970 a 2017 (47 anos) Veja o exemplo da Bacia do Sorocaba e Médio-Tietê. Fonte: Cadastro SIDAS e SOE do DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo



Foto: <https://www.ambientelegal.com.br/lavar-calcada-e-carro-com-agua-tratada-ou-potavel-da-muita-agora-em-sao-paulo/>

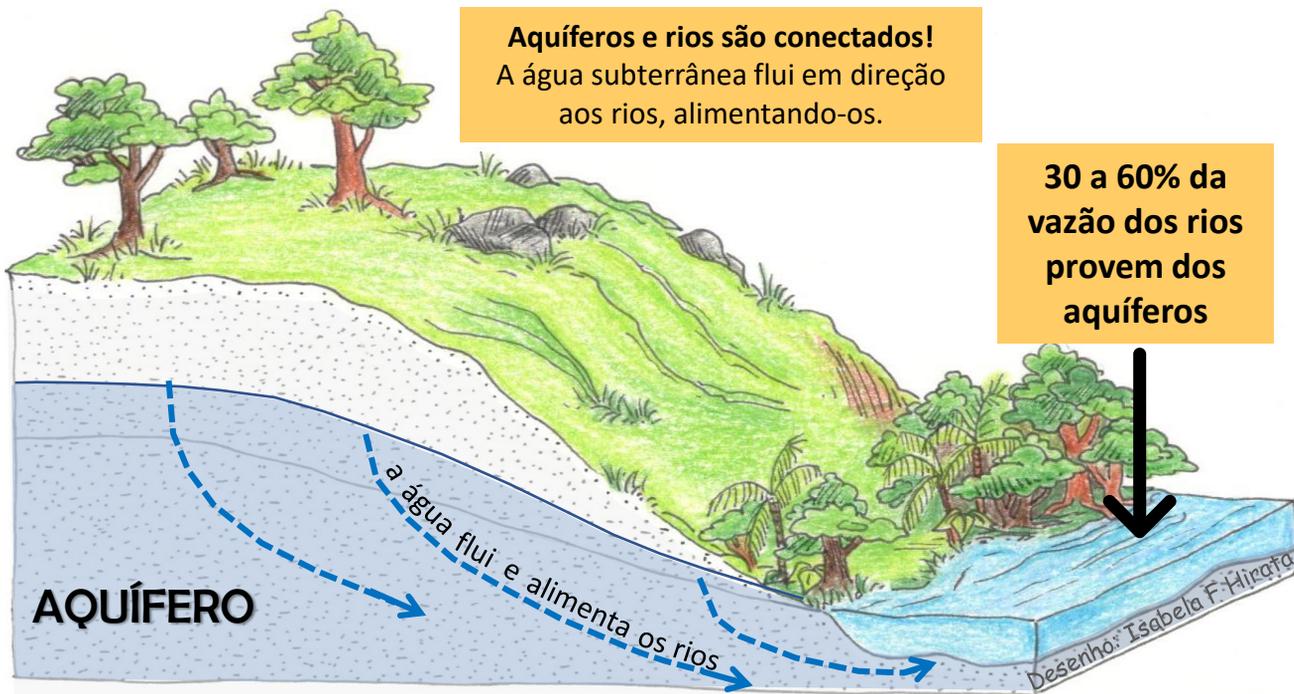
Apesar das crises hídricas ainda há
DESPERDÍDICO!



Origem da ilustração: Blog de Assis Ramalho <https://www.assisramalho.com.br/2015/01/crise-se-agrava-e-os-tres-principais.html>

Aquíferos e rios são conectados!
A água subterrânea flui em direção aos rios, alimentando-os.

30 a 60% da vazão dos rios provem dos aquíferos



Muitas atividades econômicas, mas não só, extraem água dos aquíferos.
Todas as cidades possuem muitos poços privados.



INDÚSTRIAS



POÇO



Cidades: ABASTECIMENTO PÚBLICO



HOSPITAIS



CONDOMÍNIOS RURAIS



AGRICULTURA IRRIGADA

Cidades grandes, como Ribeirão Preto, podem ter **abastecimento público 100% proveniente de aquíferos.**

Além do fato da água subterrânea ser intensamente extraída, é necessário falar sobre disponibilidade porque os níveis dos aquíferos sob as áreas urbanas estão sofrendo rebaixamento

Apesar dos aquíferos serem reservatórios gigantes, a água dos aquíferos não é infinita (sabia que algumas pessoas pensam dessa forma?), e a presença de muitos poços em alguns locais, em geral, nas cidades, pode levar à exaustão do aquífero sob as áreas urbanas. Portanto, é necessário se perguntar:

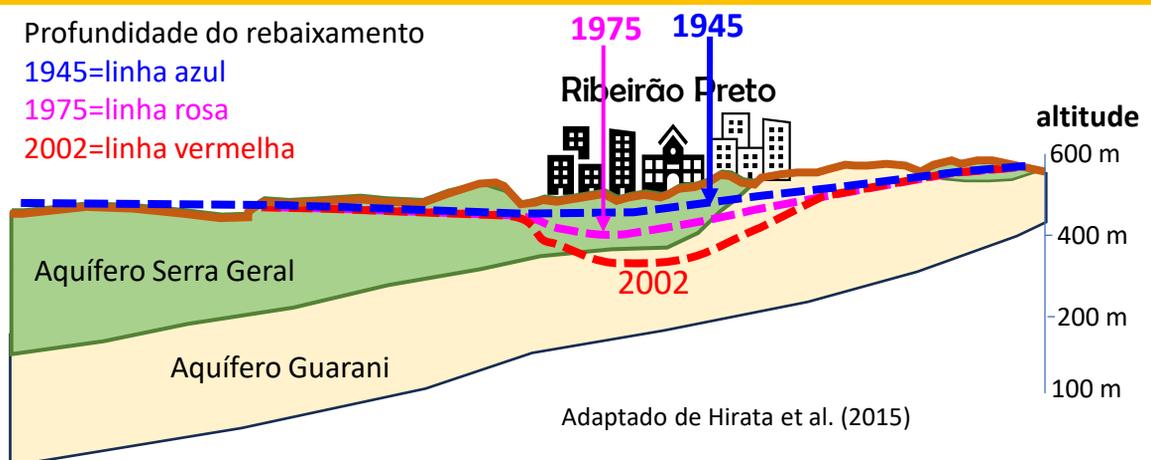
- **Quanta água já está sendo extraída dos aquíferos?**

- **Quanta água ainda poderá ser extraída?**

Ribeirão Preto é um exemplo da finitude da quantidade de água nos aquíferos nos locais onde são intensamente explorados. Essa cidade é 100% abastecida pelo Aquífero Guarani, mas apesar da pujança desse aquífero, Ribeirão Preto enfrenta um grande problema: o nível do aquífero Guarani caiu 120 metros nos últimos 71 anos em Ribeirão Preto (SP) (Fonte: <https://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2021/09/19/nivel-do-aquifero-guarani-em-ribeirao-preto-sp-cai-120-metros-nos-ultimos-71-anos-diz-estudo.ghtml>). Existem outros exemplos de rebaixamento dos níveis aquíferos, como o caso de Bauru onde o nível do Aquífero Guarani tem sofrido rebaixamento preocupante sob a área urbana. Por esse motivo, Bauru foi selecionada para um estudo de grande envergadura que visa fornecer soluções integradas (de água superficial e subterrânea) para a resiliência de cidades frente às crises hídricas (www.projetosacre.org).

Apesar dos esforços feitos pelos hidrogeólogos e pelas suas instituições de pesquisa, em conhecer os aquíferos, há ainda muito por fazer para responder o quanto os aquíferos já são explorados, especialmente nas áreas urbanas onde os maiores rebaixamentos acontecem. O planejamento sustentável do uso e ocupação do solo dos municípios exige que se façam estudos, realizados por especialistas, para saber quanta água já é extraída e quanta ainda está disponível, algo que varia de região para região. Veremos a seguir o que deve embasar os estudos sobre disponibilidade.

Rebaixamento do Aquífero Guarani de 1945 a 2002 sob a cidade de Ribeirão Preto



Em Ribeirão Preto ocorrem os aquíferos Serra Geral e Guarani. O nível do Aquífero Guarani foi sendo rebaixado ao longo do tempo sob essa cidade.

IMPORTANTE: Esse rebaixamento acontece nos locais onde há uma grande concentração de poços e NÃO SE ESPALHA POR TODO O AQUÍFERO!

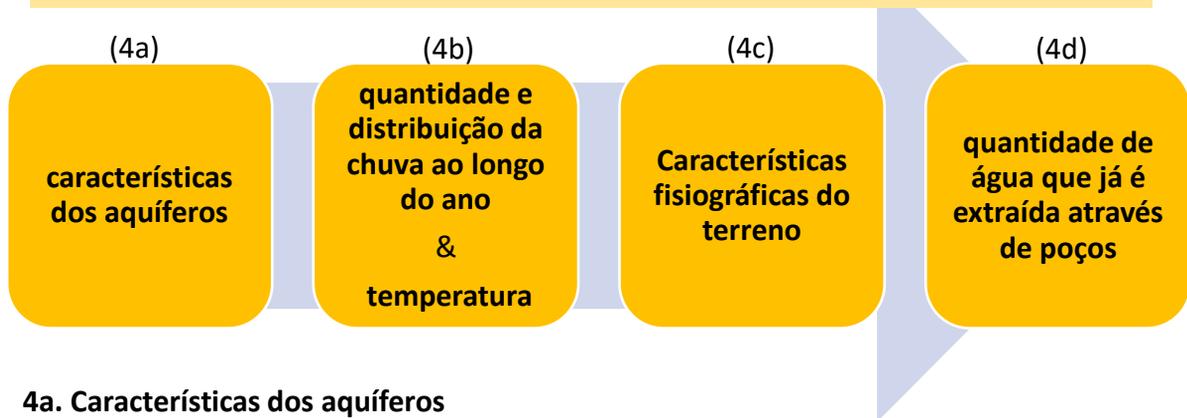
4. O QUE INFLUI NA DISPONIBILIDADE?

O que deve ser conhecido para extrair água dos aquíferos com sabedoria?

A DISPONIBILIDADE de água no aquífero, ou de quanta água pode ser extraída, depende:

- Das **características dos aquíferos**. As espessuras e materiais que os formam variam e, por isso, as vazões também variam como veremos no **item 4a**. Recomenda-se consultar o caderno 1 para relembrar conceitos básicos sobre as águas subterrâneas.
- Da **quantidade de chuva**, da sua **distribuição ao longo do ano** e da **temperatura**; **isto será tratado no item 4b**.
- Das **características fisiográficas do terreno** que recebe a chuva, como inclinação, umidade do solo e vegetação. Esses fatores exercem influência sobre a infiltração da água no solo (recarga dos aquíferos) como se verá no **item 4c**.
- Da **quantidade de água que já é extraída** através de poços existentes (**item 4d**).

A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA É DETERMINADA POR:



4a. Características dos aquíferos

Quando olhamos para a distribuição dos poços existentes no Estado de São Paulo, vemos que eles estão por toda parte e onde há poços tem que haver aquíferos, ou seja, há aquíferos por toda parte. Estamos dando o exemplo do Estado de São Paulo, mas isso acontece por todo o país.

Nesse estado, apesar de se falar apenas do Guarani, há sete aquíferos principais, que podem ser vistos no mapa abaixo, mas também é necessário ver como eles estão no subsolo. Para isso, vamos fazer de conta que o estado é um bolo, se cavarmos uma trincheira bem profunda nesse bolo vamos ver camadas (figura abaixo). Cada camada é um aquífero. A cidade de São Paulo está sobre o Aquífero São Paulo e o Aquífero Cristalino; Campinas está sobre os aquíferos Cristalino e Tubarão; Botucatu está sobre os aquíferos Guarani e Serra Geral. Sobre qual aquífero está a sua cidade?

Veja no mapa abaixo como os aquíferos tem enormes extensões laterais! As espessuras variam. Por exemplo o Tubarão pode chegar a 800 m de espessura; o Guarani varia de 200 a 400 m.

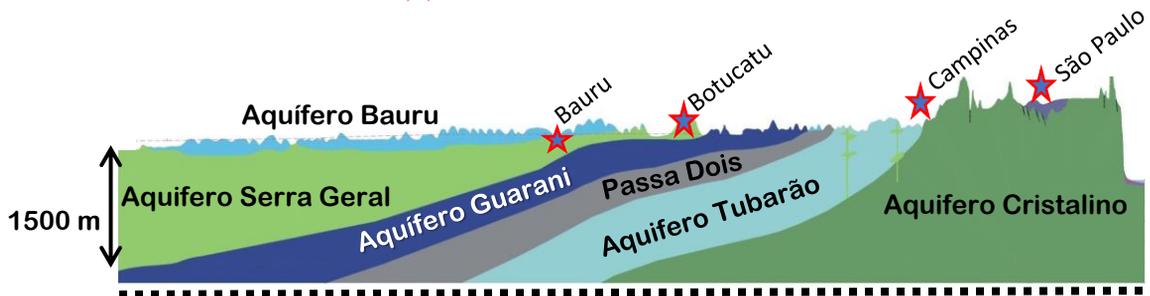
Os AQUIFEROS estão no subsolo como...

CAMADAS INCLINADAS



MAPA DOS AQUIFEROS

★ cidades



Esta trincheira passa ao longo da linha tracejada no mapa.

As espessuras dos aquíferos em geral variam de 200 a 800 m, mas o Aquífero Serra Geral no oeste do Estado tem mais de 1500 m de espessura e o Guarani fica a grandes profundidades. O mapa e a seção (trincheira) dos aquíferos foram produzidos por instituições de pesquisa e constam da publicação Governo do Estado de São Paulo (2005).

Mas afinal, já que existem vários aquíferos, por que só se fala no Aquífero Guarani, por que ele é tão famoso? É porque os poços do Guarani produzem muita água. A vazão dos poços é aqui mostrada em m^3/h , e $1 m^3$ equivale a 1000 L. Um poço no Guarani confinado produz de 80 a 360 m^3 por hora! No Guarani livre, 20 a 80 m^3/h . Por isso dá para entender por que cidades grandes como Ribeirão Preto são totalmente abastecidas por poços do Guarani! Veja que também existem muitos poços nos outros aquíferos. No aquífero Bauru os poços costumam produzir de 20 a 80 m^3/h ; no aquífero Serra Geral desde 0 a 100 m^3/h ; aquífero Tubarão de 0 a 40 m^3/h ; no Cristalino, de 0 a 30 m^3/h .

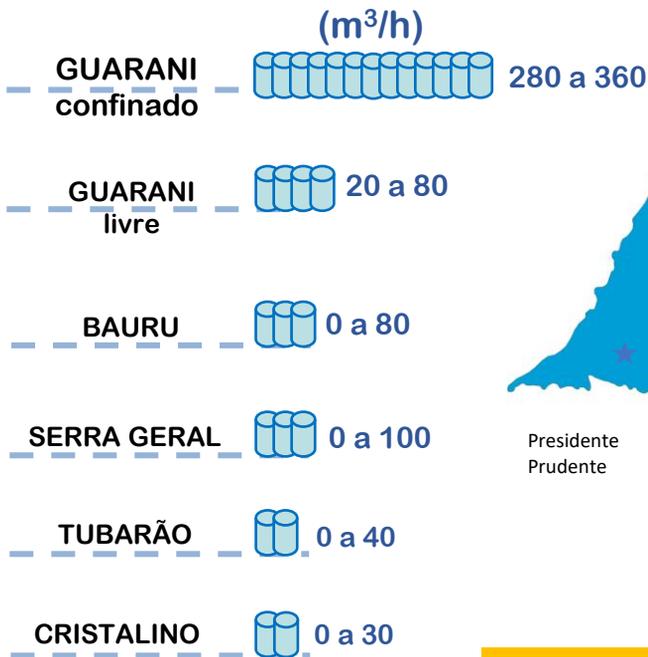
Mas porque as vazões dos poços são tão diferentes, de muitos metros cúbicos por hora a quase nada? É porque os aquíferos são formados por materiais diferentes (figura abaixo).

Por exemplo, os arenitos (rocha composta por grãos de areia) produzem muita água; os siltitos pouca e os argilitos costumam não produzir nenhuma água. Quando os materiais produzem muito pouca ou nenhuma água, eles são chamados de aquícludes.

Portanto, materiais diferentes produzem vazões diferentes!

Assim, dependendo de qual aquífero está sob uma cidade, a vazão dos poços pode ser maior ou menor. Portanto, o material que forma o aquífero influi na disponibilidade.

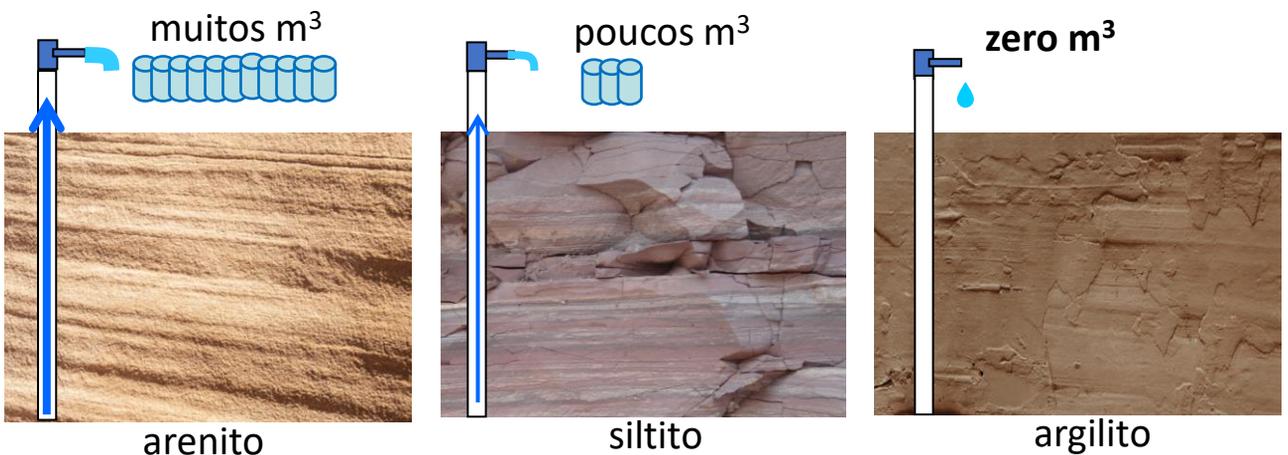
VAZÃO DOS POÇOS NOS VÁRIOS AQUÍFEROS DO ESTADO DE SÃO PAULO



1 m³ = 1.000 Litros



Os aquíferos Tubarão e Cristalino podem produzir vazões mais elevadas que 40 e 30 m³/h, respectivamente, mas essas vazões são menos frequentes



Os aquíferos são formados por materiais diferentes (ex, arenito, siltito, argilito) e materiais diferentes produzem vazões diferentes !

4b. Quantidade de chuva, sua distribuição ao longo do ano e temperatura

Toda a água doce dos continentes é derivada da chuva. Esta alimenta rios e lagos bem como os aquíferos através da infiltração no solo.

A infiltração e percolação da água no solo até chegar ao aquífero é chamada de RECARGA.

A quantidade de recarga é um fator muito relevante, pois define a disponibilidade de água nos aquíferos. **Se houver muita recarga, muita água subterrânea pode ser extraída.**

A recarga é maximizada quando a chuva é bem distribuída ao longo do ano, ou seja, **chuvas moderadas que se mantem durante longos períodos de tempo propiciam maior infiltração**. Quando, ao contrário, ocorrem chuvas muito intensas e concentradas em curtos períodos de tempo, a maior parte da chuva vai chegar rapidamente nos rios levando a enchentes e, com isso, enormes prejuízos. Um exemplo trágico dessa realidade é o **Rio Grande do Sul em maio de 2024. Nessa situação, os grandes volumes de água da chuva não são aproveitáveis para o abastecimento, pois vão embora muito rápido, chegando logo no oceano**. As mesmas regiões que são assoladas por inundações podem, depois, sofrer com períodos de intensa estiagem e com temperaturas elevadas. Esses eventos extremos já tem sido observados e se tornarão mais regra do que exceção.

Chuvas fortes e muito concentradas no tempo (extremo climático) e as temperaturas mais elevadas são uma combinação que diminui a recarga. Assim, é necessário tomar medidas adaptativas ao novo padrão climático para manter e maximizar a recarga dos aquíferos. Essas medidas adaptativas serão discutidas mais à frente (item 5).

A quantidade de recarga define a disponibilidade de água nos aquíferos



As **chuvas** podem continuar sendo abundantes em algumas regiões, mas se elas forem **concentradas em curtos períodos de tempo**, em vez de garantirem o abastecimento, acabarão sendo um mal; **toda essa água doce é rapidamente perdida para os oceanos.**



O antes e depois de regiões devastadas pelas inundações no Rio Grande do Sul
<https://www.bbc.com/portuguese/articles/ck5kp34nr1do>

Outro evento climático extremo são as **secas intensas e longas** que, junto com temperaturas mais elevadas, afetam fortemente os rios, lagos e represas. A repetição desse tipo de evento por anos e décadas também **reduz muito a recarga** dos aquíferos, e com isso **rios e lagos devem secar ainda mais rapidamente.**



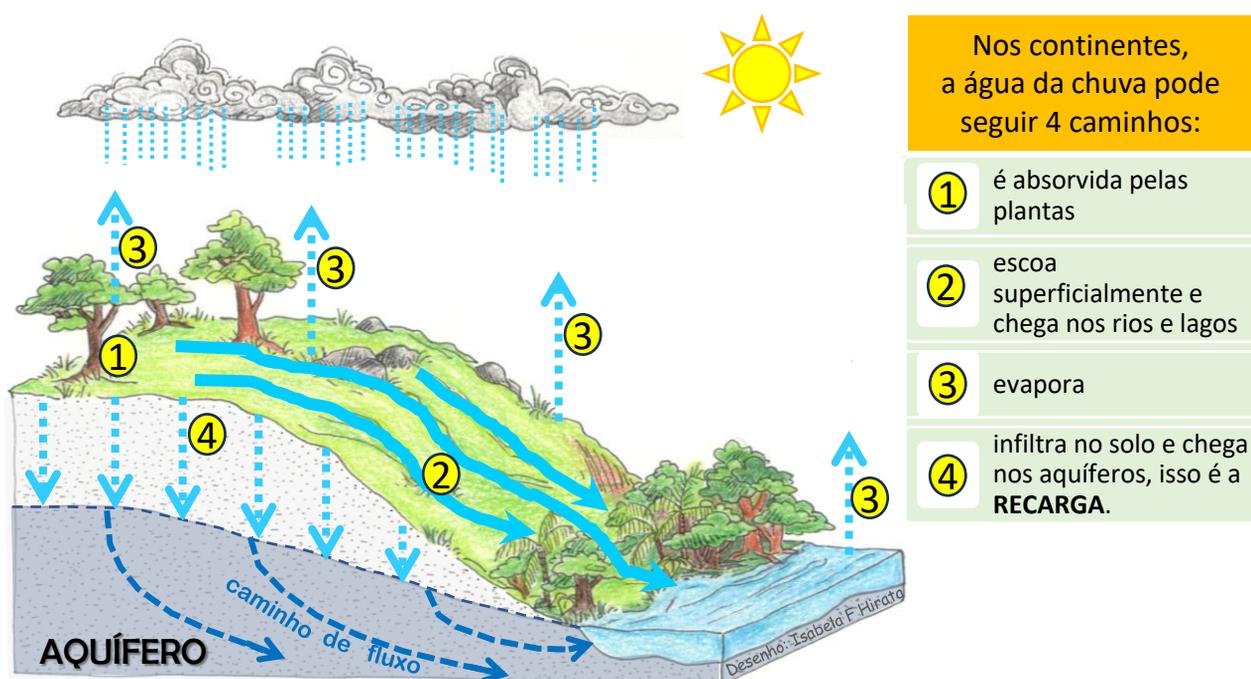
4c. Ciclo da água e recarga de aquíferos

Nos continentes, a água da chuva segue 4 caminhos: 1) é absorvida pelas plantas, 2) evapora; 3) escoam superficialmente e chega nos rios e lagos; 4) **ou infiltra e percola no solo, chegando aos aquíferos. O caminho 4 é a RECARGA** (figura abaixo).

Dependendo das características do terreno que recebe a chuva, haverá mais escoamento ou mais infiltração e isto tem consequências para o volume de recarga e disponibilidade.

Vamos, abaixo, falar das características do terreno que influem nesses processos.

Ciclo da água nos continentes



RECARGA - a água da chuva infiltra e chega nos aquíferos

Nos aquíferos ela continua fluindo muito vagarosamente, através dos poros dos materiais geológicos, por infinitos caminhos de fluxo.

DESCARGA – depois de passar muito tempo fluindo no aquífero, a água sai nos rios e lagos.

Portanto as vazões dos rios, além de dependerem das chuvas, também dependem da descarga de água dos aquíferos!

4c. Características do terreno: inclinação e umidade do solo

Inclinação (declividade). Quanto menos inclinado o terreno, mais a água da chuva tenderá a se infiltrar no solo, com isso haverá mais recarga. Em terrenos inclinados, a construção de terraços e de valetas paralelas às curvas de nível é utilizada para aumentar a infiltração e diminuir o escoamento superficial.

Umidade do solo. Quanto maior a umidade do solo, mais rapidamente a água infiltrada no solo começa a percolar para baixo, produzindo recarga. As temperaturas mais elevadas aumentam a evaporação da água e causam um forte ressecamento dos solos expostos ou cobertos apenas por vegetação rasteira. **O ressecamento do solo é muito desfavorável para a infiltração da água da chuva**, pois quando a chuva infiltra no chão, primeiro ela é absorvida pelas partículas do solo, e só quando este estiver úmido é que a água vai percolar para baixo e chegar ao aquífero. Com isso, a recarga dos aquíferos diminui. Dessa forma é benéfico procurar ocupar o terreno com vegetação que o proteja da ação do sol e das altas temperaturas, de modo a evitar o seu ressecamento.

Inclinação do terreno

Quanto menos inclinado o terreno, mais a água da chuva tenderá a infiltrar no solo e menor será o escoamento superficial, favorecendo a RECARGA.



Umidade do solo

Quanto maior a umidade do solo, mais rapidamente a água infiltrada começa a percolar para baixo, produzindo maior recarga.

Ao contrário, solos ressecados primeiro absorvem a água da chuva até ficarem úmidos e só então a água passa a percolar até atingir o aquífero.



Solos ressecados desfavorecem a recarga

4c. Características do terreno: tipo de solo e vegetação

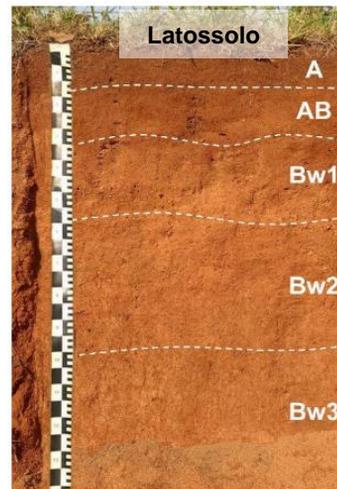
Tipo de solo. Solos mais arenosos permitem mais infiltração, pois são mais permeáveis (a água percola através desses materiais com mais rapidez), enquanto solos argilosos são menos permeáveis e favorecem o escoamento superficial. Assim, **existem regiões que naturalmente favorecem a recarga** (solos mais arenosos) e outras que desfavorecem (solos mais argilosos).

Vegetação. A vegetação arbustiva e arbórea intercepta a chuva e com isso a água chega mais vagorosamente no solo, favorecendo a infiltração. Além disso, esses tipos de vegetação também diminuem a velocidade do escoamento superficial. Esses dois efeitos propiciam maior infiltração em vez de escoamento superficial. Solos expostos, ou cobertos apenas por gramíneas, facilitam o escoamento superficial e são mais propensos à erosão, com grandes perdas de solo e com assoreamento de rios.

Os tipos de solos influem na infiltração e na percolação.

Solos mais arenosos permitem mais infiltração, pois são mais permeáveis (a água se move com mais rapidez), enquanto solos argilosos são menos permeáveis e favorecem o escoamento superficial.

O latossolo, devido à sua textura arenosa, é permeável em todo o seu perfil.



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2017). Estudo de disponibilidade de água subterrânea na Bacia do Baquirivu-Guaçu



Floresta Nacional de Ipanema (FLONA) (Foto: Amélia Fernandes 2023)

A vegetação arbustiva e arbórea cumpre vários papéis:

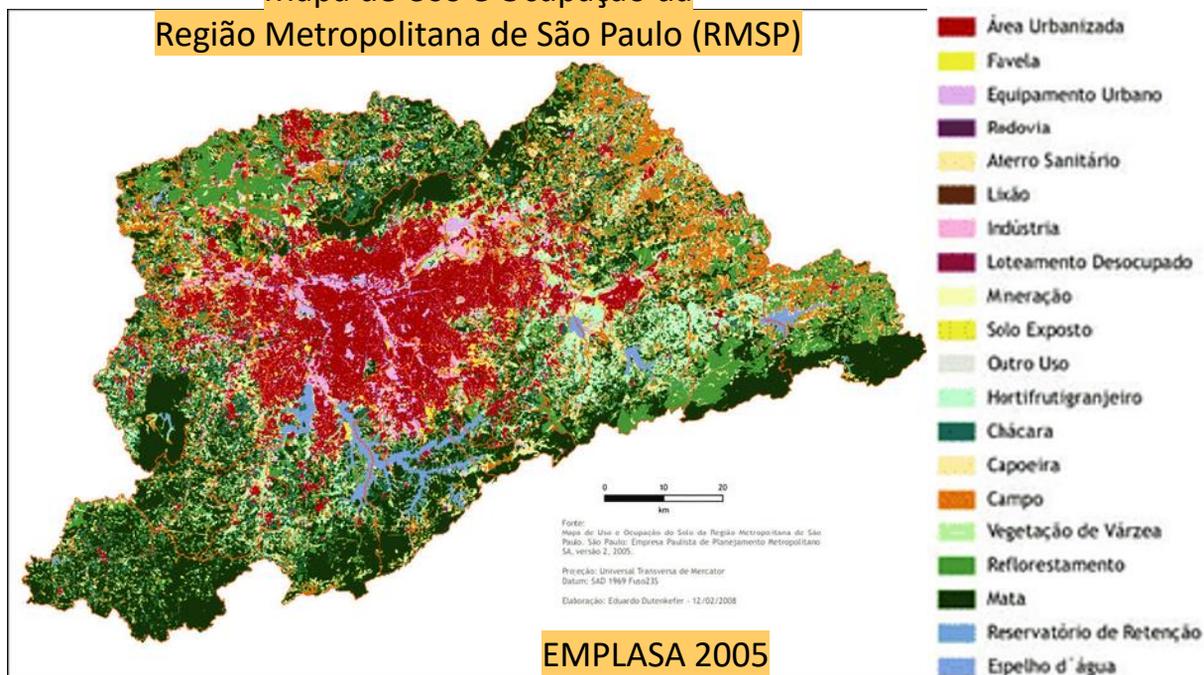
- Intercepta a chuva e com isso a água chega mais vagorosamente no solo.
- Diminui a quantidade e velocidade do escoamento superficial, diminuindo também a erosão.
- Ajuda a evitar o ressecamento do solo.

Portanto, a vegetação além de diminuir o escoamento superficial e aumentar a infiltração, também reduz a erosão e o assoreamento de corpos d'água superficial.

4c. Características do terreno: ocupação

Tipo de ocupação. A ocupação humana nas cidades produz impermeabilização do solo e a água da chuva, quase na sua totalidade, vai escoar superficialmente, comumente levando a enchentes. Por outro lado, **os vazamentos dos canos da rede de distribuição de água e da coleta de esgoto vazam e chegam ao aquífero sob a cidade, constituindo uma recarga indesejada e artificial.** O vazamento de esgoto acarreta contaminação, um mal que pode afetar porções dos aquíferos sob as cidades (assunto do caderno 3). De um modo geral existem **muitos poços nas cidades** e sua exploração deve ser monitorada para detectar tanto o **rebaixamento do nível do aquífero**, com possibilidade de exaustão (nos locais com maior densidade de poços), como **contaminação**. Uma ação importante é garantir recarga nas áreas rurais, inclusive delimitando áreas para **futuros campos de poços** (Hirata et al. 2015) como uma forma de garantir o abastecimento futuro.

Mapa de Uso e Ocupação da
Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)



As áreas urbanas da RMSP, no mapa de uso e ocupação do solo produzido pela EMPLASA em 2005, estão em vermelho, as favelas em amarelo e equipamentos urbanos em rosa. Todas juntas constituem grandes áreas impermeabilizadas.

O laranja escuro são campos que também aparecem em larga proporção, havendo também solo exposto (amarelo mais forte); nestas duas categorias é provável que domine o escoamento superficial, ou seja, há pouca recarga.

A RMSP não tem tido a capacidade de produzir a quantidade de água que necessita. A existência de grandes extensões de terrenos que desfavorecem a recarga agrava este cenário, pois nessa situação os aquíferos contribuem com pouca água para os rios.

4d. Quantidade de água já extraída dos aquíferos e disponibilidade real

Uma das formas de cálculo de recarga de um aquífero é a partir do conhecimento das características do terreno (declividade, tipo de solo, umidade e espessura da zona não saturada, vegetação que influi na evapotranspiração), descritas acima, e da quantidade de chuva e evaporação. A recarga é o volume de água que entra no aquífero a cada ano.

Conhecendo a recarga é possível saber quanta água pode ser extraída, pois ela é a disponibilidade natural do aquífero. Mas para saber a disponibilidade real é necessário subtrair a quantidade de água subterrânea que já é extraída pelos poços existentes. Para isso é necessário conhecer quantos poços há na região (cidade), como eles se distribuem e quais são as suas vazões. Portanto é fundamental manter um cadastro atualizado de todos os poços existentes e de suas respectivas vazões.

Abaixo é explicado um método de cálculo de disponibilidade que já foi aplicado, dentre outros, pelo estudo hidrogeológico do IPT (2017) e Albuquerque Filho et al. (2018).

Exemplo de cálculo de disponibilidade

Os pontos azuis são poços reais existentes em uma porção da área urbana de Itu (SP).

Vamos imaginar a seguinte hipótese: foi feito um estudo

que estimou que a **recarga nas áreas mais verdes** (porção sul) é de **200 mm por ano**. A área foi dividida em quadrados com 500 m de lado. Multiplicando a área do quadrado ($500 \times 500 = 250.000 \text{ m}^2$) pela recarga (0,2m), temos o volume de **recarga anual = 50.000 m³ em cada quadrado da área mais verde**.

Para simplificar, **vamos supor que cada poço extrai 5m³/h**, por 10 horas ao dia durante os 365 dias do ano. Por poço, a extração anual é de 18.250 m³/ano.

Vamos tomar os quadrados 1, 2 e 3 como exemplo (veja ao lado). O quadrado 1 está com algum déficit (água disponível-água extraída), o 2 tem um déficit de quase 60.000m³/ano, e o 3 tem toda a disponibilidade da recarga preservada, ou seja 50.000 m³/ano.

Quanta água ainda pode ser extraída?



Cálculo da extração de água por poços nos quadrados 1, 2 e 3

Quadrado 1 tem 3 poços, extrai $18.250 \times 3 = 54.750 \text{ m}^3/\text{ano}$

Quadrado 2 tem 6 poços, extrai $18.250 \times 6 = 109.500 \text{ m}^3/\text{ano}$

Quadrado 3 não tem poços, portanto disponibilidade = $50.000 \text{ m}^3/\text{ano}$

A utilização de quadrados é uma forma de calcular que funciona bem para aquíferos, pois a retirada de água de um lugar afeta a disponibilidade da área que se estende apenas até os limites dos cones de rebaixamento que cada poço causa.

5. Quais medidas devem ser tomadas para aumentar a disponibilidade?

As ações humanas tem causado alguns impactos que levam à diminuição da recarga dos aquíferos. Por exemplo:

- Impermeabilização quase total das áreas urbanas, inclusive ocupando as planícies de inundação (áreas naturalmente alagáveis) de rios importantes com habitações, indústrias, comércio e vias asfaltadas.
- Ocupação de áreas rurais muito extensas com pastos e com atividades agrícolas que deixam parte do solo exposto. Essas condições favorecem o ressecamento do solo e o escoamento superficial e, com ele, a erosão e o consequente assoreamento de corpos de água superficial. Essa situação que, por si só, já é ruim para a disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, fica ainda muito pior com os extremos climáticos (muita chuva em pouco tempo, e muito tempo sem chuva), que vão apenas intensificar fortemente as inundações e a diminuição de recarga dos aquíferos.
- Extração já intensa de água subterrânea (para agricultura, indústria e abastecimento público) junto com o manejo inadequado dos recursos hídricos está nos levando a um futuro sem água suficiente e, portanto, sem segurança alimentar (Wood & Cherry 2021).

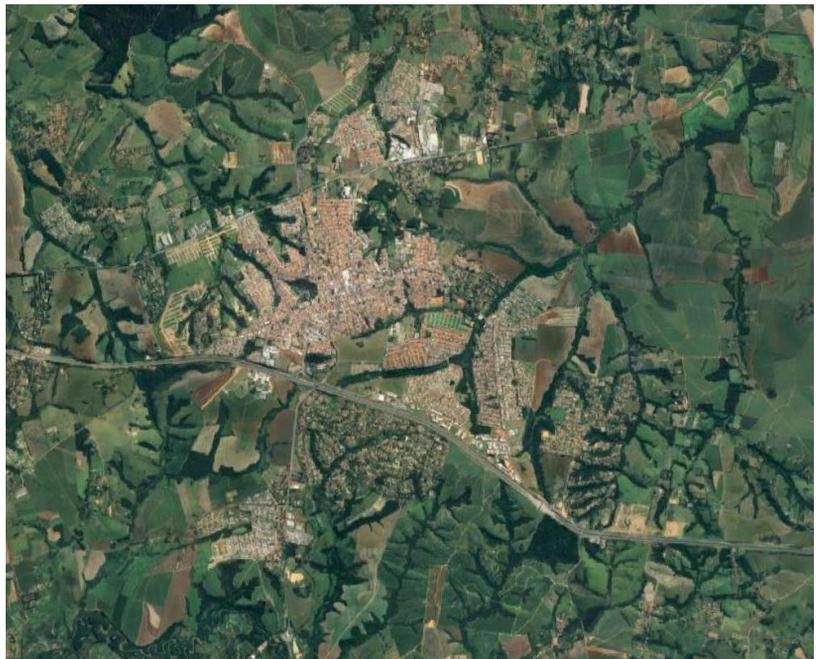
Diante disso, o que fazer?

Existem medidas que possibilitem minimizar os efeitos negativos dos eventos climáticos extremos? É possível incrementar a recarga e com isso aumentar a disponibilidade de água nos aquíferos e nos rios?

SIM! E a boa notícia é que **conhecimentos e técnicas para isso já existem**. Eles só precisam ser usados na prática! Não é possível intervir na quantidade e na distribuição das chuvas ao longo do ano, mas é possível realizar **intervenções no terreno que favoreçam a infiltração e a recarga**.

A imagem ao lado mostra áreas rurais extensas onde a vegetação é rasteira ou onde o solo está exposto (pasto e agricultura). A vegetação de grande porte restringe-se às matas ciliares.

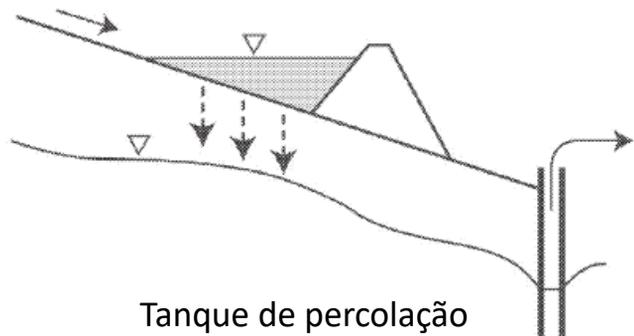
Essas condições favorecem o escoamento superficial e, com ele, a erosão e o consequente assoreamento de corpos de água superficial.



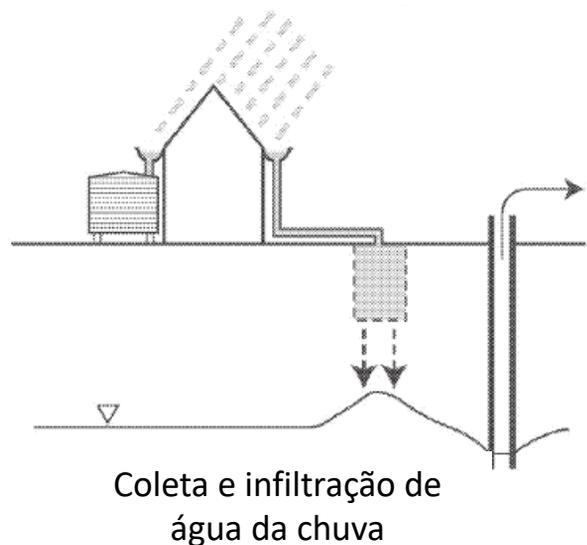
O aumento de áreas com vegetação de maior porte e de terraços nas áreas agrícolas são medidas que favorecem a recarga e, portanto, deveriam ser estudadas e implementadas com o objetivo de aumentar a disponibilidade de água nos aquíferos e também nos rios.

Exemplos de medidas para aumentar a disponibilidade de água

1. Uma ampla variedade de métodos é usada para a reposição intencional de águas subterrâneas, conhecida como **recarga gerenciada de aquíferos** (MAR) (Dillon et al., 2019). Descrições dos diferentes métodos de recarga são fornecidas em Dillon (2005). Dentre eles barragens em riachos efêmeros que são usadas para reter, e depois liberar vagarosamente, a água das enchentes para recarga. Este método consiste na coleta do escoamento superficial e melhora significativamente a recarga; ele é adequado para regiões em que os rios são influentes (cedem água para o aquífero). No caso de regiões em que predominam amplamente os rios efluentes (recebem água do aquífero), é necessário implantar outros métodos para a infiltração de água da chuva, incluindo as chuvas torrenciais dos eventos climáticos extremos. Nesse caso a recarga gerenciada pode causar enormes benefícios na medida em que aumenta a disponibilidade de água em períodos de estiagem e diminui consideravelmente as inundações. Existe um Portal, chamado IGRAC MAR, que reúne os casos de recarga gerenciada espalhados pelo mundo, permitindo assim o aprendizado a partir de casos existentes (Stefan and Ansems, 2017).



Três dos 11 métodos apresentados por Dillon (2005) para recarga gerenciada de aquíferos.



Mais exemplos de medidas para aumentar a disponibilidade de água

2. Nas áreas agriculturáveis, uma prática muito efetiva para aumentar infiltração da água da chuva no solo é a construção de terraços e valetas em nível. Veja o exemplo abaixo.

Em terrenos inclinados, a **construção de terraços paralelos às curvas de nível** são utilizados para **aumentar infiltração e diminuir escoamento superficial.**



<https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2020/06/17/terraceamento-reduz-erosao-e-efeitos-da-estiagem-no-oeste-catarinense/>

Depois de uma noite chuvosa a água se mantém onde cai. Além disso, **os nutrientes não vão embora, pois não há erosão.**



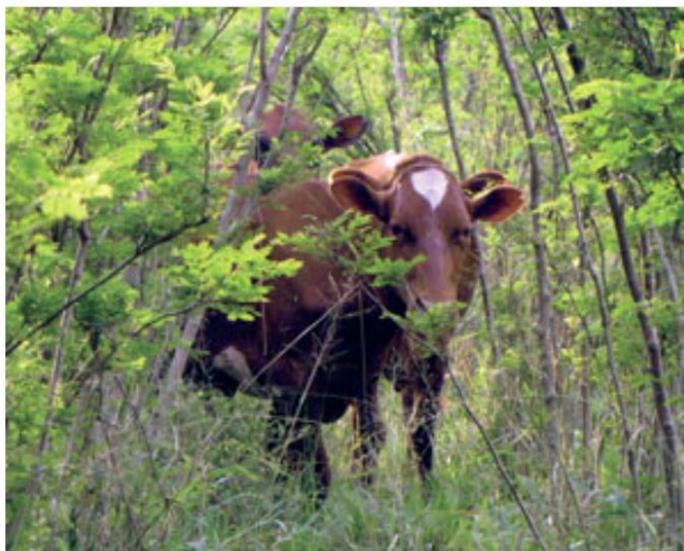
Mais exemplos de medidas para aumentar a disponibilidade de água

3. As **áreas de pasto podem ser transformadas em florestas** e ainda assim criarem gado com maior rendimento, porque **proporcionam mais alimento e conforto para os animais**. Essa foi a conclusão de estudo conduzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Pecuária Sudeste, de São Carlos.

(<https://agencia.fapesp.br/arvores-no-pasto-melhoram-ganho-de-peso-conforto-termico-e-reproducao-de-bovinos/51524>)

Áreas com vegetação de grande porte tem vantagens muito importantes: evitam o ressecamento do solo e favorecem a infiltração, em detrimento do escoamento superficial; absorvem carbono e diminuem as temperaturas locais.

Bois bem nutridos na sombra da floresta (Colombia, <https://revista.pesquisa.fapesp.br/a-carne-da-floresta/>)



<https://agencia.fapesp.br/arvores-no-pasto-melhoram-ganho-de-peso-conforto-termico-e-reproducao-de-bovinos/51524>

4. Um grupo de pesquisa do Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF) da ESALQ, coordenado pelo professor Ricardo Ribeiro Rodrigues, realiza **estudos que visam “promover a restauração florestal em grande escala nos trópicos**. O grupo já **restaurou cerca de 50.000 hectares de floresta na paisagem agrícola brasileira** por meio de um programa denominado ‘Adequação Ambiental e Agrícola de Propriedades Rurais’, que promove o **aumento da produtividade agrícola em áreas com maior aptidão agrícola e a restauração florestal em áreas com menor aptidão agrícola**. Os objetivos destas iniciativas são restaurar, com ecossistemas naturais, áreas historicamente degradadas pela agricultura que já não desempenham um papel na produção de alimentos; assegurar que estas áreas restauradas forneçam serviços de ecossistema de alta qualidade; **garantir que as pessoas possam se beneficiar economicamente das áreas restauradas**; e promover a produção de alimentos sustentáveis a nível ambiental, social e econômico na paisagem.”

O texto entre aspas foi reproduzido do link <https://www.esalq.usp.br/banco-de-noticias/pesquisador-da-esalq-receber%C3%A1-pr%C3%AAmio-frontiers-planet> que noticia que o Prof Ricardo Rodrigues recebeu o Prêmio *Frontiers Planet* pelo seu trabalho.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. Você viu que a água doce potável não acabará. No entanto, **as ações humanas e a subida das temperaturas, que levam à ocorrência de eventos climáticos extremos, interferem no ciclo da água no planeta e na disponibilidade de recursos hídricos**, sendo que em algumas regiões essa disponibilidade poderá diminuir consideravelmente.
2. As águas subterrâneas são cada vez mais fundamentais para o abastecimento público e para a economia, pois devido às estiagens mais prolongadas muitos municípios e usuários privados tem recorrido a poços. **A extração descontrolada de água subterrânea pode ter sérias consequências, como a perda de disponibilidade em determinadas porções dos aquíferos**, especialmente nas áreas urbanas.
3. A **disponibilidade de água subterrânea deve ser estudada** e conhecida para que a extração seja planejada de modo a levar ao uso sustentável e à segurança hídrica atual e futura. É necessário estudar os fatores que influem na disponibilidade, **principalmente nas regiões em que já existem muitos poços**. Os estudos devem ser realizados por especialistas, no entanto é importante que todos os que participam de alguma forma da gestão dos recursos hídricos entendam o papel de cada fator para que haja ações em consonância com as necessidades atuais.
5. Aumentar a disponibilidade de água nos aquíferos é possível e isso basicamente depende de aumentar a recarga, que tem sido diminuída em decorrência de mudanças nos regimes de chuvas e de como as atividades humanas afetam o terreno que ocupam. **A recarga faz parte do ciclo da água e várias medidas, fundamentadas em conhecimentos técnicos, podem incrementá-la**. A aplicação das medidas descritas no item 5 depende de conhecimentos técnicos para implementação de ações corretas que tragam os benefícios esperados. É bom lembrar que tudo isso depende de alocação de recursos financeiros.
6. **O planejamento do uso e ocupação do solo é fundamental**. Uma medida muito salutar nesse sentido é avaliar a disponibilidade de água subterrânea nos municípios, realizar prognósticos sobre como a exploração deve evoluir e, em função disso, **destinar porções das áreas rurais para instalação de futuros campos de poços** (Hirata et al. 2015), preservando-as de contaminações e tomando medidas para aumentar a recarga. Esta é uma das medidas possíveis que visa garantir o abastecimento público futuro. **O uso conjunto de água superficial e subterrânea também tem sido utilizado para aumentar a segurança hídrica**. Esta abordagem está sendo estudada, utilizando várias frentes de investigação, pelo projeto SACRE (Soluções Integradas de Água para Cidades Resilientes, www.projetosacre.org).
7. Os estudos de disponibilidade que fundamentam o planejamento de uso e ocupação do solo devem ser realizados por especialistas. O não especialista em hidrogeologia tem um papel fundamental na gestão das águas subterrâneas, que é **entender a influência dos fatores que controlam a recarga e então envidar esforços para que estudos e medidas sejam implementados** na sua região de atuação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque Filho et al. (2018) Situação da disponibilidade hídrica subterrânea na bacia do rio Baquirivu-Guaçu, SP. XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Campinas-SP, 4 pag. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29402/19004>
- Dillon, P. (2005). Future management of aquifer recharge. *Hydrogeology journal*, 13(1), 313-316.
- Dillon, P., Stuyfzand, P., Grischek, T., Lluria, M., Pyne, R. D. G., Jain, R. C., ... & Sapiano, M. (2019). Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. *Hydrogeology journal*, 27(1), 1-30.
- Governo do Estado de São Paulo (2005) Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo em 1:1.000.000. DAEE/IG-SMA/IPT/CPRM, São Paulo. Nota explicativa e 2 anexos (mapa e CD-ROM).
- Hirata, R., Suhogusoff, A. V., Marcellini, S. S., Villar, P. C., & Marcellini, L. (2019). As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 63pp.
- Hirata, R., Foster, S., Oliveira, F., & Cardoso, E. R. (2015). Águas subterrâneas urbanas no Brasil: avaliação para uma gestão sustentável. 112p. Instituto de Geociências USP.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2017) Delimitação de Áreas de Restrição e Controle da captação e uso das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu e porção sedimentar no entorno leste, municípios de Guarulhos e Arujá, SP. Relatório Final. IPT, São Paulo, Relatório Técnico N0 151.233-205. 226p.
- Pinhatti, A. L., & Hirata, R. (2021). Por que existem tantos poços irregulares no Brasil? *Águas Subterrâneas*. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29449>
- Stefan, C., & Ansems, N. (2017). Web-based global inventory of managed aquifer recharge applications. *Sustainable Water Resources Management*, 4(2), 153-162.

CADERNOS E VÍDEOS PRODUZIDOS PELO PRÓ|AQUÍFEROS

Vídeo 1 – 7 fatos sobre os aquíferos. Esses reservatórios gigantes fazem parte da sua vida

Vídeo 2 – Aquíferos em áreas urbanas. 5 boas práticas para a sustentabilidade

Vídeo 3 – Conheça os 6 passos para ter poços sustentáveis

Vídeo 4 - Quem cuida da água para que não falte no futuro?

Caderno 1 – O que é um aquífero? Conceitos básicos de águas subterrâneas

Caderno 2 – Disponibilidade de água nos aquíferos

Caderno 3 – Proteção e qualidade das águas subterrâneas

Caderno 4 – Gestão das águas subterrâneas para a sustentabilidade

Caderno 5 – Glossário de águas subterrâneas