

Hidrogeologia

1 Noções e Definições em Hidrogeologia

O Decreto Estadual nº 32.955/1991, que regulamenta a Lei, nº 6132/1991, define “Aqüífero ou depósito natural de águas subterrâneas” como “solo, a rocha ou sedimento permeáveis que fornecem água subterrânea, natural ou artificialmente captada”.

Compreender as características litológicas, estratigráficas e estruturais dos solos, sedimentos e rocha permite entender o processo de infiltração da água no subsolo, a forma como as unidades geológicas armazenam e transmitem a água subterrânea e as influências nos seus aspectos relativos à quantidade e qualidade.

A infiltração é favorecida nos materiais porosos e permeáveis. A porosidade, que é a relação entre o volume de poros ou vazios e o volume total de um certo material (Teixeira et al., 2000), pode ter a sua origem relacionada a formação de rochas ou sedimentos, sendo caracterizada nas rochas sedimentar e pelos espaços entre os grãos ou planos de estratificação, sendo nesse caso, denominada de porosidade primária. Pode estar relacionada também aos eventos tectônicos que deformam as rochas, criando fraturas e fissuras e nesse caso é denominada de porosidade secundária, ocorrendo principalmente nas rochas cristalinas (ígneas ou metamórficas). Há ainda um outro tipo de porosidade secundária que é constituída de uma rede de vazios milimétricos a métricos originados da dissolução de rochas carbonáticas.

Quanto maior a homogeneidade do tamanho e da distribuição dos poros e maior a interconexão entre esses poros, melhor capacidade terá o aqüífero em conduzir a água. Essa propriedade é denominada de permeabilidade e assim como a porosidade pode ser primária ou secundária.

Entre outras propriedades físicas dos aqüíferos, destacam-se a condutividade hidráulica, a transmissividade e o coeficiente de armazenamento, importantes para caracterizar os aqüíferos quanto aos seus aspectos hidráulicos.

A condutividade hidráulica (K), expressa em cm/s, refere-se à facilidade da formação aqüífera de exercer a função de um condutor hidráulico e depende tanto das características do meio (porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas), quanto da viscosidade do fluido (Feitosa e Manuel Filho, 2000). Essa propriedade é utilizada também para estimar a velocidade de deslocamento da água e das plumas de contaminação, pela seguinte fórmula $V = K \times i$, onde i é o gradiente hidráulico, ou seja, a diferença de carga hidráulica entre dois pontos distantes horizontalmente. Em comparação com a topografia de um terreno, “ i ” seria a declividade.

A transmissividade (T), dada em m^2/s , corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aqüífero. Pode conceituá-la como a taxa de escoamento da água através de uma faixa vertical do aqüífero com largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário. Para

aqüíferos confinados a transmissividade é calculada pela expressão $T = K \times b$, onde b é a espessura saturada do aqüífero.

Dessa diversificação de características que constitui as unidades geológicas fornecedoras de água subterrânea, podemos classificar os aqüíferos como Aqüíferos Porosos e Aqüíferos fraturados ou fissurados.

Os Aqüíferos Porosos, ocorrem em rochas sedimentares, sedimentos inconsolidados e solos. São bons produtores de água e ocorrem em grandes áreas. No Estado de São Paulo podem ser citados, entre outros, o Aqüíferos Bauru (Figura 1a) e o Guarani (Figura 1b), que ocorrem no Estado de São Paulo.

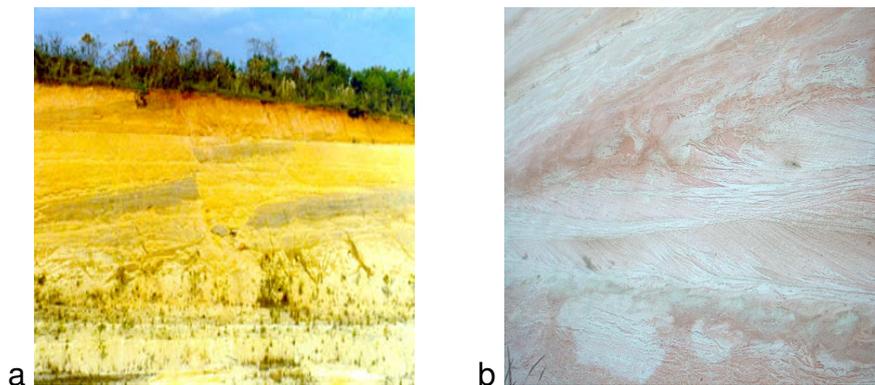


Figura 1 - Aqüíferos sedimentares:
(a) Bauru e (b) Guarani

Aqüíferos fraturados ou fissurados ocorrem em rochas ígneas e metamórficas, onde a porosidade primária não é significativa do ponto de vista de armazenamento e transmissão de água. A sua produtividade, que geralmente não é grande, depende da densidade de fraturas ativas e sua intercomunicação. Em São Paulo os exemplos são os Aqüíferos Serra Geral (Figura 2a) e pré-Cambriano (Cristalino) (Figura 2b), que ocorrem no Estado de São Paulo.

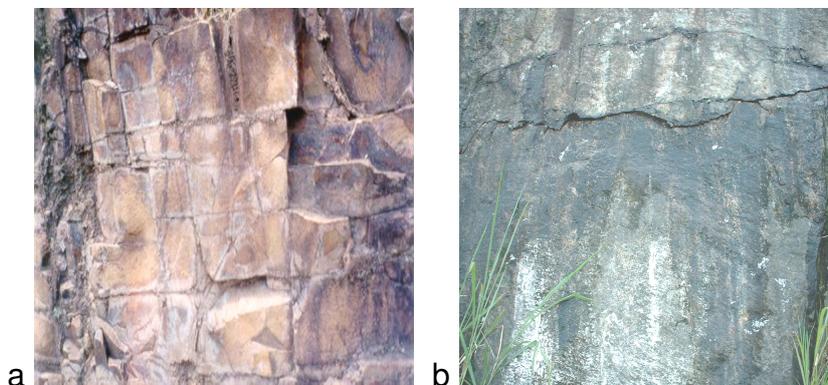


Figura 2 - Aqüíferos Fraturados:
(a) Serra Geral (b) pré-Cambriano

Os sistemas cársticos são formados em rochas carbonáticas e constituem aquíferos com grandes volumes de água, como mostra a Figura 3. No Estado de São Paulo este tipo de aquífero ocorre na UGHRI 11, região com grutas calcárias.

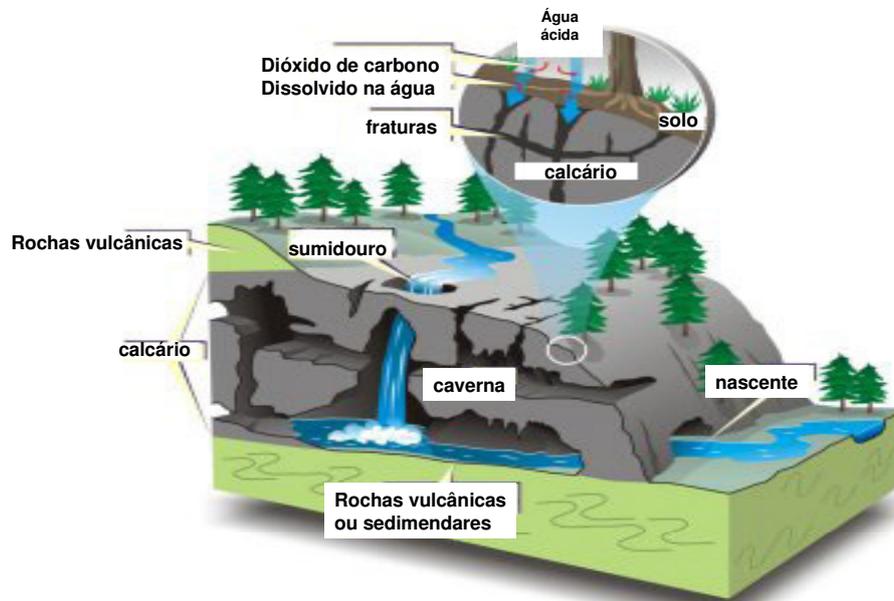


Figura 3 – Esquema de Aquífero Cárstico.

Fonte: modificado de Natural Resources Canadá (2007)

Há situações onde as unidades geológicas podem conter quantidades significativas de água mas serem incapazes de transmiti-las em condições naturais, por serem rochas relativamente impermeáveis, são denominados de aquíclude.

Como exemplo tem-se a formação geológica Passa Dois que não é considerada um aquífero propriamente, mas um aquíclude, devido à suas rochas constituídas por argilitos e siltitos (folhelhos) com condutividade hidráulica $K < 10^{-5}$ cm/s.

Nessas rochas a porosidade total pode ser grande mas os poros são muito pequenos e sem interconexão e, geralmente, não se consegue extrair água em quantidade passível de utilização para abastecimento, a não ser para abastecimento unifamiliar que necessita de pequenas vazões.

Há também as unidades geológicas impermeáveis, que não armazenam nem transmitem água, são os denominados aquífugos. Outro termo, o “aquítarde”, tem sido utilizado para definir unidades menos produtivas de água que o aquífero. Corresponde à camada ou unidade geológica relativamente menos permeável numa determinada seqüência estratigráfica (Feitosa e Manuel Filho, 2000).

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com a pressão das águas nas suas superfícies limitrófes na base e no topo e também em função da capacidade de transmissão de água das camadas (base e topo) entre as quais está situado.

Em um aquífero livre, o seu topo não é limitado por camada impermeável, está em contato com a superfície e a pressão da água é a mesma que a pressão atmosférica, sendo que o nível d'água varia em função da recarga, normalmente exercida pela infiltração da água da chuva. Ocorre a profundidades que variam de alguns metros até poucas dezenas de metros da superfície, associado ao regolito, sedimentos de cobertura ou rochas.

O Aquífero Livre suspenso é uma camada saturada de solo ou sedimento que se forma sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada e situada acima do nível d'água do aquífero livre (Feitosa e Manuel Filho, 2000).

Aquífero Confinado é aquele onde um estrato permeável está confinado entre duas unidades impermeáveis ou pouco permeáveis. Ocorrem em profundidades que variam de dezenas a milhares de metros. A água encontra-se com pressão maior do que a pressão atmosférica, o que faz seu nível piezométrico subir acima da camada confinante superior.

Captação das Águas Subterrâneas.

As nascentes representam a surgência de água subterrânea e podem assim ser naturalmente captadas. Poços são perfurações artificiais através da qual pode-se captar água subterrânea.

Os poços também podem ser classificados de acordo com sua finalidade, diâmetro e pressão da água no aquífero interceptado. **Os poços rasos** tem normalmente até 30 metros de profundidade, são construídos manualmente ou com ferramentas simples e portanto, aplicáveis ao aquífero freático. Seu diâmetro é grande, de 0,8 a 1,5m e a captação da água pode ser feita por bombas ou baldes. Ex : cacimbas, poço a trado etc.

Poço tubular é um poço de diâmetro reduzido, como por exemplo, 0,3 m, mais profundos, perfurado com máquinas especiais e de acordo com normas técnicas (ABNT/NBR n° 12212/2006 - projeto e ABNT/NBR n°12244/2006 - construção). Pode ser total ou parcialmente revestido, dependendo da geologia local. A água adentra no poço por aberturas denominadas filtros, ou no caso de poços não revestidos, pelas fraturas das rochas. Devido à sua profundidade geralmente maior do que 50 m, é também conhecido como poço tubular profundo. Existem poços tubulares no Estado de São Paulo com profundidades maiores do que 1.600 m utilizados para abastecimento público. A Figura 4 apresenta um poço tubular esquemático em um aquífero sedimentar.

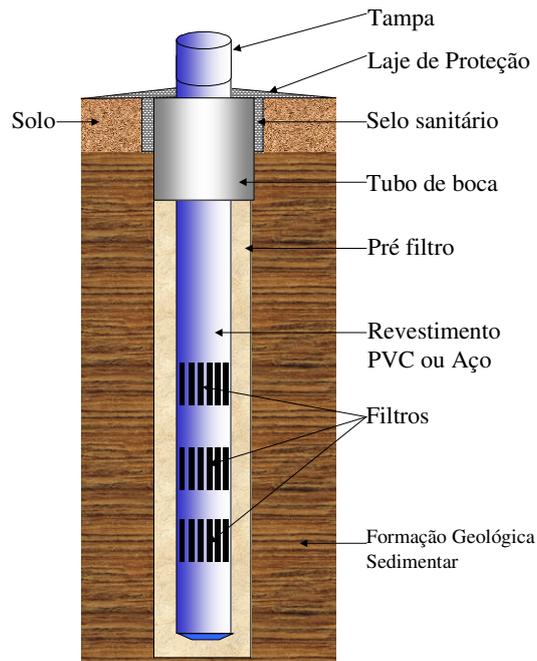


Figura 4 – Perfil construtivo esquemático de poço tubular

Quando um poço tubular é perfurado em aquífero confinado, cujo nível potencial da água eleva-se acima da superfície do solo, não necessitando de bombas para a extração da água ele é denominado de **poço artesiano ou jorrante**.

É importante que os poços tubulares sejam construídos adequadamente e sejam instalados dispositivos de segurança como laje de proteção e tubo de boca, de forma a evitar que o poço se torne um caminho preferencial para poluentes e organismos patogênicos atingirem a água subterrânea.

Há ainda **poços de monitoramento**, que são aqueles instalados com a finalidade de avaliação da qualidade da água sob influência de uma fonte potencial de contaminação ou para medição do nível d'água. São poços de diâmetro reduzido 0,05 a 0,10 m e relativamente rasos. Neste caso, a sua construção também segue norma específica da ABNT NBR nº13895/97.

Qualidade das águas subterrâneas

Do ponto de vista hidrogeológico a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo. A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente da qualidade físico-química, biológica e radiológica (Feitosa e Manuel Filho, 2000).

O estudo hidrogeoquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico.

A qualidade da água é definida como o resultado do conjunto de características físicas, químicas, biológicas e organolépticas, cujo padrão deve estar relacionado com o seu uso para um fim específico (ABNT/NBR 9896/1993).

Os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. A princípio, a água subterrânea tende a aumentar concentrações de substâncias dissolvidas à medida que percola os diferentes aquíferos. No entanto muitos outros fatores interferem, tais como clima, composição da água de recarga, tempo de contato entre a água e o meio físico e outros, além da contaminação causada pelo homem.

A água destituída de constituintes químicos só é possível em condições laboratoriais avançadas, sendo assim na natureza ela se apresenta sempre incorporada de outras substâncias. As substâncias nela dissolvidas, orgânicas ou inorgânicas, naturais ou antrópicas, lhe conferem o seu caráter químico, sua cor, temperatura, e a radioatividade lhe conferem o caráter físico.

A água é conhecida como solvente universal dada sua característica polarizada e tem muita facilidade de reagir com substâncias, sejam elas orgânicas ou inorgânicas. Pelo fato do maior contato com o solo ou rocha, menor velocidade de escoamento, maiores pressões e temperaturas a que estão submetidas e maior facilidade de dissolver gás carbônico ao percolar no solo, as águas subterrâneas têm concentrações de sais maiores que as águas superficiais. A forma iônica é predominante nas águas subterrâneas e as substâncias variam conforme a litologia (cristalina, sedimentar clástico ou sedimentar químico).

Em geral, os constituintes principais como bicarbonato, cálcio, cloreto e magnésio apresentam-se em concentrações maiores que 5mg/L, os constituintes menores ou secundários como carbonato, fluoreto e ferro, apresentam-se em concentrações entre 5 e 0,01 mg/L e os elementos traços (metais) apresentam concentrações menores que 0,01mg/L.

As propriedades físicas, químicas e microbiológicas da água são traduzidas em termos de parâmetros que permitem classificá-la quanto à sua qualidade e apontar a presença e a concentração de substâncias tóxicas, sendo possível sua comparação com padrões e valores orientadores estabelecidos conforme o uso.

Quando a contaminação acontece, a remoção é muito mais difícil de se fazer do que no caso das águas de superfície, podendo em alguns casos tornar-se irreversível. Isto ocorre em consequência do lento movimento da água subterrânea sobretudo em camadas de materiais finos, como argilas e siltes (Feitosa e Manuel Filho, 2000).