

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

GABRIEL LIMA BARBOSA

**TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO NO USO DE SISTEMAS DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) APLICADO À GESTÃO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Ilha Solteira

2023

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM REDE NACIONAL EM
GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

GABRIEL LIMA BARBOSA

**TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO NO USO DE SISTEMAS DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) APLICADO À GESTÃO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA por meio da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP Campus Ilha Solteira) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione

Coorientadora: Dra. Amélia João Fernandes

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof^água, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Agradeço a todos que participaram dessa etapa da minha vida, onde muitos me auxiliaram no meu ingresso (Isabella), e outros na minha permanência (Amanda e Wendel, William) e agora na conclusão do curso (Amigos do Mestrado), quanto àqueles que fizeram deste caminho, um processo harmonioso e feliz (Jéssica).

Ao meu orientador Rodrigo e minha coorientadora Amélia, que me auxiliaram desde o início para ingressar e compreenderam a relevância desse Mestrado como forma de investimento e contribuição para a sociedade, além do suporte no projeto e auxílio nas demandas da conclusão dessa dissertação.

A minha família, que deram suporte suficiente para que eu atendesse todas as demandas do mestrado.

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B238t Barbosa, Gabriel Lima.
Transferência de conhecimento no uso de sistemas de informações geográficas (SIG) aplicado à gestão de águas subterrâneas em bacias hidrográficas / Gabriel Lima Barbosa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
84 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Instrumentos de Política de Recursos Hídricos, 2023

Orientador: Rodrigo Lilla Manzione
Co-orientador: Amélia João Fernandes
Inclui bibliografia

1. Manual técnico. 2. Gestão. 3. Políticas públicas.


Amanda Sertori dos Santos

Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

“No fim tudo dá certo, e se não deu é porque ainda não chegou ao fim.”

Fernando Sabino

RESUMO

O ensino em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem se mostrado cada vez mais presente nos currículos do ensino superior nas últimas décadas. Contudo, o ritmo de aprendizado geralmente lento e sua aplicação em questões específicas ainda representam um desafio para a sua difusão, especialmente quando o público-alvo é constituído por adultos que se distanciaram das universidades há algum tempo. Esta dissertação está relacionada com um projeto voltado para políticas públicas, cujo objetivo foi a transferência de conhecimento em água subterrânea, por meio de treinamento destinado a técnicos de órgãos públicos e do terceiro setor, que estão inseridos na Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê (BH-SMT). O foco principal foi a aprendizagem centrada em problemas reais, para os quais o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) se configura como uma ferramenta potente e, em muitos casos, é indispensável. Com esta dissertação, busca-se apresentar métodos e procedimentos de transferência de conhecimento em águas subterrâneas e no uso do SIG, por meio de operações básicas. Além disso, este trabalho teve como produto final um roteiro técnico contendo informações que possibilitem consultas e operações simples de como realizar o curso e aplicar junto com técnicas de SIG, necessárias à gestão das águas subterrâneas. Esse roteiro pode ser utilizado fora do âmbito do comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê, expandindo a aplicação do conhecimento para outras bacias.

Palavras-chave: manual técnico; gestão; políticas públicas.

ABSTRACT

The teaching of Geographic Information Systems (GIS) has become increasingly prevalent in higher education curriculums over recent decades. However, the generally slow learning pace and its application to specific issues remain challenges for its dissemination, particularly when the target audience consists of adults who have been removed from universities for some time. This dissertation is related to a public policy project, which aimed at transferring knowledge in groundwater through training for public and third-sector technicians who are part of the Sorocaba and Middle Tietê River Basin (BH-SMT). The primary focus was on problem-centred learning, for which the use of Geographic Information Systems (GIS) serves as a powerful tool and, in many cases, is indispensable. This dissertation seeks to present methods and procedures for transferring knowledge in groundwater and the use of GIS through basic operations. Additionally, this work resulted in a technical guide containing information that enables consultations and simple operations on how to carry out the course and apply it alongside GIS techniques, necessary for the management of groundwater. This guide can be used beyond the scope of the Sorocaba and Médio Tietê River Basin Committee, expanding the application of knowledge to other basins.

Keywords: technical manual; management; public policies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aquíferos Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio Tiete.	17
Figura 2 – Mapa de Aquíferos com relação aos poços cadastrados no SIDAS.	19
Figura 3 – Mapa de aquíferos com relação aos poços cadastrados no SOE.	19
Figura 4 – Uso da água com base nas vazões outorgadas na BH-SMT.	20
Figura 5 – Significado dos termos que compõem a denominação “Sistema de Informações Geográficas relacionado com suas principais características.	22
Figura 6 – Vetores e rasters para representar o mundo real.	23
Figura 7 – Consolidação dos dados em indicadores e metas.	25
Figura 8 – Proporção de países que apresentam relatórios sobre a ODS 6.	26
Figura 9 – Alunos do curso observando os afloramentos a margem da Rodovia Castelo Branco.	30
Figura 10 – Roda de conversa, realizada na FATEC de Tatuí, com os alunos participantes do projeto.	30
Figura 11 – Alunos reunidos no Parque das Monções, Porto Feliz.	31
Figura 12 – Parque das Monções, em Porto Feliz, com seu paredão Salitroso constituído por arenito pertencente ao Aquífero Tubarão.	31
Figura 13 – Afloramento no Parque do Varvito, Itu.	32
Figura 14 – Roda de conversa na FATEC de Itu.	33
Figura 15 – Alunos e professores do curso na visita à Flona.	34
Figura 16 – Principais fontes de abastecimento público de água na região do SMT.	35
Figura 17 – Número de poços cadastrados pelo SIDAS e SOE na BH-SMT.	35
Figura 18 – Mapa topográfico com escala de 1:50.000.	36
Figura 19 – Mapa topográfico com escala de 1:10.000.	37
Figura 20 – Exemplos de plataformas de vídeo conferência.	45
Figura 21 – Nuvem de palavras.	46
Figura 22 – Visita ao local para verificar a segurança e acessibilidade.	47
Figura 23 – Roda de conversa para disseminar o conhecimento aprendido no decorrer do curso.	48
Figura 24 – Interface do software SIG QGIS.	49
Figura 25 – Interface para elaboração dos tutoriais.	50
Figura 26 – Elaboração de mapas para localização dos Aquíferos.	51
Figura 27 – Formulário de Avaliação do Curso.	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL E JUSTIFICATIVA	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1	PAPEL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA O ABASTECIMENTO E DEFICIÊNCIAS NA SUA GESTÃO	15
3.2	AQUÍFEROS E SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO NA BH-SMT	17
3.3	CONCEITOS RELACIONADOS A SIG	22
3.4	EDUCAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E O OBJETIVO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 6	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	AULAS ONLINE.....	27
4.2	ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS	28
4.3	ATIVIDADES PRESENCIAIS	29
4.3.1	Visita a afloramentos e roda de conversa em Tatuí.....	29
4.3.2	Visita a afloramentos em Porto Feliz e Itu, seguida de oficina sobre identificação e mapeamento de áreas de recarga	30
4.3.3	Visita à FLONA e levantamento sobre públicos-alvo e assuntos prioritários para ações de educação e conscientização	33
4.4	ELABORAÇÃO DE MAPAS PARA AS AULAS ONLINE E ATIVIDADES PRESENCIAIS.....	34
4.5	MINISTRAÇÃO DE CURSO DE REALIZAÇÃO DE OPERAÇÕES EM SIG	37
4.6	ELABORAÇÃO DE PROJETO SIG COM CAMADAS DE INFORMAÇÃO RELATIVAS À BH-SMT	38
4.7	REALIZAÇÃO DE ATENDIMENTOS TÉCNICOS	40
4.8	ELABORAÇÃO DE ROTEIRO TÉCNICO.....	40
5	RESULTADOS	42
5.1	ROTEIRO TÉCNICO SOBRE TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS UTILIZANDO SIG	42
5.1.1	Tópico 1: Estruturação do curso.....	42
5.1.2	Tópico 2: Preparação de materiais.....	44
5.1.3	Tópico 3: Realização das aulas online.....	45
5.1.4	Tópico 4: Realização das atividades presenciais	47

5.1.5	Tópico 5: Elaboração de tutoriais	49
5.1.6	Tópico 6: Avaliação	52
5.2	PRINCIPAIS DIFICULDADES OBSERVADAS	53
6	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXO – CURSO DE TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	59

1 INTRODUÇÃO

A crescente importância da água subterrânea para abastecimento público e privado é demonstrada pela perfuração de poços que vem se acelerando nos últimos 10 anos. Apesar dessa importância, a legislação e os instrumentos de gestão de recursos hídricos não têm sido colocados em prática quando se trata de águas subterrâneas, e esse cenário tem ameaçado a disponibilidade e a qualidade desse recurso.

Um dos fatores que leva a essa situação é a falta de conhecimento e de treinamento para os envolvidos e interessados na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Visando enfrentar esse desafio, foi desenvolvido um projeto de políticas públicas focado em educação e financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - processo 2016/16708-6). Esse projeto foi realizado por uma equipe de hidrogeólogos de quatro instituições de ensino e pesquisa: Instituto de Pesquisas Ambientais Estado de São Paulo (IPA-SEMIL), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Serviço Geológico do Brasil (SBG) e Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP).

O projeto, intitulado “Transferência de conhecimento em águas subterrâneas visando a gestão de recursos hídricos”, consistiu em um curso de longa duração para profissionais que atuam na UGRHI-10 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 10), também chamada na Bacia Hidrográfica do Sorocaba e Médio Tietê (BH-SMT) e são provenientes de prefeituras, instituições de governo e sociedade civil e engajados de alguma forma na temática de recursos hídricos. Os membros do comitê da bacia formaram uma equipe parceira que auxiliou em relação a aspectos operacionais e na montagem do escopo das aulas, visando um treinamento essencialmente prático e baseado em problemas reais do local de aplicação (SOUZA, 2015).

Este mestrando participou do projeto de políticas públicas como bolsista TT3 da FAPESP (Processo 2021/01470-7) durante um período de 1 ano e 4 meses. As atividades realizadas incluíram a montagem de um projeto SIG no QGis com informações sobre a BH-SMT, além de auxiliar em todas as atividades do projeto, como aulas online e presenciais, preparação de mapas e atendimentos técnicos no local de trabalho dos alunos.

Esta dissertação está inserida no Programa de Pós-graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) dentro da linha

de pesquisa em Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos. A produção de materiais de ensino em águas subterrâneas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) pode alavancar a efetividade de planos de bacia e planos diretores municipais, ambos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

O objetivo deste trabalho é a inserção do ensino do uso do SIG em cursos de capacitação em águas subterrâneas, de modo que possa ser aplicado à solução de problemas reais relativos à gestão dos recursos hídricos subterrâneos, especialmente para um público adulto que pode ter dificuldades para lidar com novas tecnologias. A experiência adquirida ao colaborar no projeto de políticas públicas mencionado contribuiu para o desenvolvimento desta dissertação e o aprimoramento das habilidades do mestrando na área de uso de SIG voltado à gestão de recursos hídricos subterrâneos.

Uma elaboração mais adequada de planos de bacia e de planos diretores municipais e, conseqüentemente, o cumprimento dos objetivos das suas políticas públicas, exige que seja feita a organização dos dados existentes, além de identificação e realização de estudos prioritários (CHAKRABORTI, 1993). Isto é fundamental, pois os recursos financeiros e humanos dos órgãos públicos gestores dos recursos hídricos são limitados.

A identificação de prioridades de estudo em águas subterrâneas exige que algumas camadas de informação sejam reunidas, tais como cadastro completo e distribuição geográfica de poços; mapas geológicos, de uso e ocupação do solo, hidrogeológicos; localização de áreas contaminadas e de fontes potenciais de contaminação. Atualmente, a forma mais efetiva de relacionar essas várias camadas de informação, potencializando a identificação das prioridades, é através do uso de SIG (RUGGIERO, 2015).

Sendo assim, aqueles que, direta ou indiretamente, participam da gestão de recursos hídricos necessitam ter um conhecimento mínimo dessa ferramenta, bem como também devem conhecer os seus usos potenciais para realizar a contratação adequada de serviços, de modo a otimizar os recursos públicos. O presente trabalho busca contribuir para o atendimento dessa demanda, fornecendo um roteiro de ensino adaptado às necessidades do público-alvo, facilitando a compreensão dos conceitos, e de aplicação prática da tecnologia de SIG.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL E JUSTIFICATIVA

O objetivo geral desta dissertação foi elaborar roteiro técnico sobre transferência de conhecimento em águas subterrâneas utilizando SIG, de modo a colaborar com a educação em águas subterrâneas voltada à capacitação de profissionais de diferentes instâncias (estado, municípios, sociedade civil organizada), partícipes do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH). Essa capacitação é fundamental para a efetiva gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Esse SIG, voltado à gestão das águas subterrâneas, deve conter informações que permitam que os atores possam fazer consultas, análises, atualização e alimentação do SIG de modo a identificarem problemas e a tomarem decisões com relação às ações de gestão dos recursos hídricos subterrâneos. É consenso que a integração dos planejamentos locais com a gestão da água nas UGRHs depende de uma participação mais forte dos municípios, pois é nos planos diretores que se determina o uso e ocupação da terra (HIRATA,2015). No entanto, as prefeituras de um modo geral têm um baixo nível de participação nos comitês, fazendo com que os planos de bacia não representem adequadamente a situação e demandas das águas subterrâneas da Bacia. Assim, visando fortalecer a participação municipal, pretende-se que os materiais produzidos sejam um início para a construção de manual de boas práticas municipais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Durante a participação deste Mestrando no projeto de políticas públicas acima mencionado, alguns objetivos específicos foram contemplados e permitiram que o roteiro sobre transferência de conhecimento fosse construído. Esses objetivos específicos foram:

- Montagem de projeto SIG com camadas de informação relativas à BH-SMT, bem como fornecimento do mesmo aos alunos de vários municípios;
- Apresentação do projeto SIG, durante atendimentos técnicos realizados nos municípios e locais de trabalho dos alunos, visando demonstra as relações espaciais entre os elementos da superfície, bem como as possíveis aplicações do SIG no auxílio da solução de problemas reais relacionados à utilização e gestão das águas subterrâneas nos seus municípios;

- Elaboração de um roteiro técnico que serve como guia de ensino de técnicas para a elaboração de um curso de águas subterrâneas com a utilização de tecnologia SIG.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este item desenvolve os seguintes aspectos: conceitos básicos relacionados às águas subterrâneas; papel da água subterrânea para o abastecimento e deficiências na sua gestão; caracterização dos aquíferos e a situação do abastecimento das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio Tietê; conceitos de SIG e aplicações relacionadas ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6.

3.1 PAPEL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA O ABASTECIMENTO E DEFICIÊNCIAS NA SUA GESTÃO

Hirata (2015) examina a relevância das águas subterrâneas nas metrópoles brasileiras, destacando o uso desses recursos tanto por concessionárias públicas quanto por usuários privados para contornar desafios de abastecimento. O autor também enfatiza que a gestão desse recurso hídrico está intrinsecamente ligada às políticas de planejamento de uso do solo, que são definidas nos planos diretores municipais. Sem a participação ativa dos municípios, a gestão adequada dos recursos hídricos torna-se inviável. É citado que 84% da população reside em áreas urbanas, das quais 81% usufruem de abastecimento público, mas somente 44% têm acesso a saneamento básico.

No ciclo hidrológico, os aquíferos desempenham um papel fundamental devido à sua grande capacidade de reserva e à baixa velocidade de fluxo da água subterrânea, o que lhes permite não serem imediatamente afetados por períodos de seca e, quando afetados, suas reservas apresentam flutuações menores em comparação aos rios. Porém, apesar dessa importância crucial, a gestão desses recursos é muitas vezes negligenciada devido à falta de conhecimento por parte dos órgãos governamentais e concessionárias.

A precificação adequada do recurso hídrico é um aspecto crucial. É imprescindível conscientizar a população de que uma atitude de negligência, como agir como se "a água subterrânea não acabasse", terá consequências diretas nos aquíferos e nas águas superficiais, podendo levar a uma escassez hídrica.

Hirata et al. (2019) realçam a significância do recurso hídrico subterrâneo para o abastecimento público e privado no Brasil, seu valor econômico, o seu papel ecológico e as consequências da falta de saneamento na qualidade dos aquíferos no país. Foram considerados os poços tubulares, que são os maiores responsáveis pela

retirada de água para atender as demandas econômicas locais, sendo frequentemente utilizados por pequenos e médios usuários devido ao seu baixo custo e facilidade de acesso.

No entanto, no Brasil, estima-se que até 88% dos poços tubulares não estejam devidamente registrados, tornando-os invisíveis às instituições de outorga responsáveis pelo controle de uso e acesso a esse recurso. A exploração imprópria dos recursos hídricos subterrâneos pode acarretar danos não apenas ao meio ambiente, mas também à sociedade como um todo, possivelmente resultando em escassez de abastecimento (HIRATA, 2019).

Estrategicamente, tem-se que analisar o recurso hídrico subterrâneo sob duas perspectivas. A primeira envolve a grande capacidade de armazenamento dos aquíferos, o que permite garantir e regularizar o abastecimento de cidades e a irrigação, mesmo em longos períodos de estiagem, fenômeno que tende a se agravar diante das mudanças climáticas globais. A segunda é que as águas subterrâneas já são imprescindíveis no contexto hídrico atual. Elas fazem parte do abastecimento urbano de 52% das cidades brasileiras e os seus 2,5 milhões de poços, a maioria privados, extraem mais de 17.580 Mm³/ano (557 m³/s), ou o suficiente para abastecer toda a população do país (HIRATA et al., 2019).

Estimativas destacam que o abastecimento público que se aproveita das águas subterrâneas é vital para o avanço econômico e social do Brasil, tornando a gestão desse recurso um componente crucial para a segurança hídrica. As entidades encarregadas da administração dos recursos subterrâneos precisam contar com equipes técnicas que tenham pleno conhecimento das legislações e ferramentas aplicáveis à gestão das águas subterrâneas. Isso abrange a regularização dos poços, a cobrança pelo uso desse recurso e o monitoramento da qualidade da água extraída dos aquíferos (HIRATA et al., 2019).

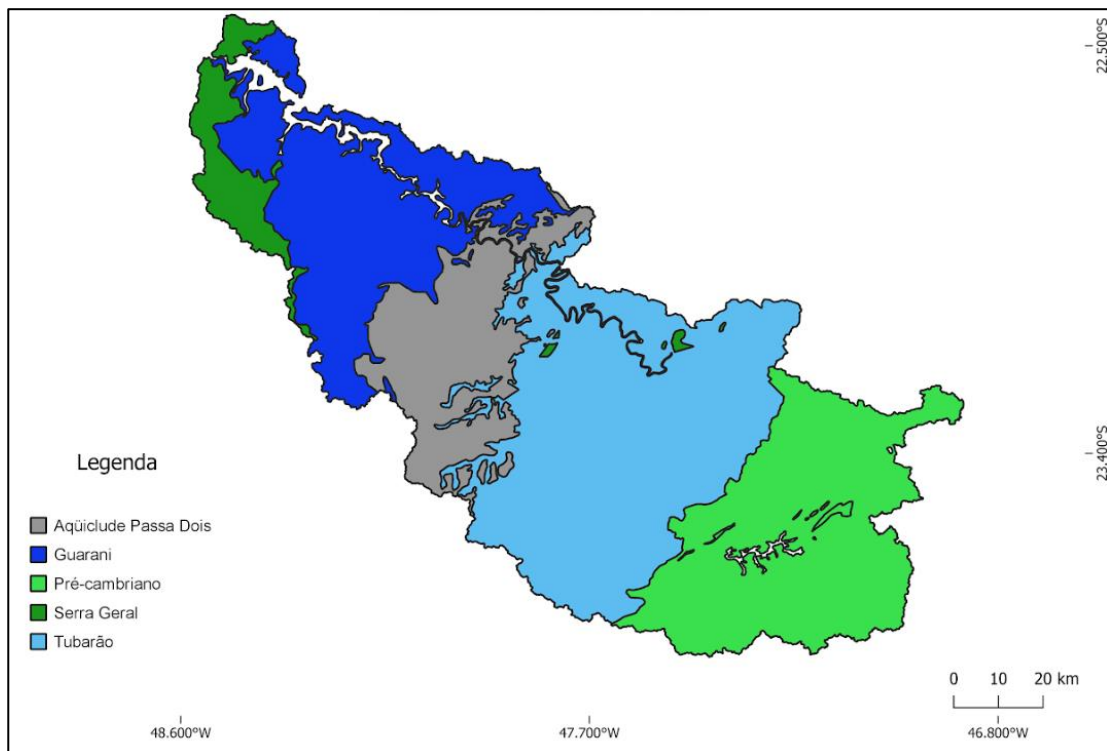
Uma circunstância que aciona a necessidade de uma gestão efetiva dos recursos subterrâneos é a ocorrência de períodos de estiagem, durante os quais a demanda por águas superficiais diminui, enquanto a necessidade de água subterrânea aumenta. Nos últimos anos, a seca tem atingido nosso país de maneira severa, em consequência das alterações climáticas provocadas por ações antrópicas. As regiões Sudeste e Centro-Oeste, particularmente atingidas por essas condições, abrigam bacias sedimentares com elevado potencial de produção, tornando-se essenciais para o abastecimento público devido à facilidade de acesso e boa qualidade da água (DINIZ et al, 2021).

A capacitação dos técnicos das entidades responsáveis é fundamental para garantir a utilização adequada e sustentável da água subterrânea. Este recurso apresenta vantagens significativas, como a resistência a sazonalidades, inundações e evaporação, configurando-se como reservatórios eficientes para suprir as demandas populacionais em momentos de crise (DINIZ et al, 2021).

3.2 AQUÍFEROS E SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO NA BH-SMT

A Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê abrange cinco unidades hidrogeológicas, que são os Aquíferos Cristalino, Tubarão, Guarani e Serra Geral e o Aqüicludo Passa Dois (Figura 1).

Figura 1 – Aquíferos Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio Tiete



Fonte: Adaptado de São Paulo, 2005.

Mais da metade da bacia é composta pelos aquíferos tubarão e Cristalino, e a grande maioria dos poços está neles localizada, o que os torna muito importantes para o abastecimento. O Aquífero Cristalino é constituído por rochas ígneas (granitos) e metamórficas, onde se destacam os gnaisses, filitos, xistos e quartzitos. A permeabilidade primária dessas rochas é praticamente nula, assim a água subterrânea nessas rochas ocorre apenas nas suas fraturas, formadas ao longo do

tempo por eventos de deformação dútil. As fraturas favorecem não só a circulação e armazenamento de água nessas rochas, mas também a infiltração e intemperismo das suas porções mais superficiais, levando à formação de solo, onde existe porosidade intergranular (Fernandes et al. 2005).

O Aquífero Tubarão é constituído por uma grande diversidade de camadas de rochas sedimentares depositadas sob influência de geleiras. Isso faz com que o aquífero seja muito heterogêneo. A permeabilidade predominante é primária e intergranular. Poços em camadas arenosas são mais produtivos e nas camadas mais silto-argilosas, a produção tende a ser mais baixa e vinculada a fraturas (Oda et al. 2005). Devido a essa heterogeneidade, a identificação de zonas mais e menos produtivas depende da realização de mapeamentos geológicos de maior detalhe e também da construção de seções geológicas, com base em poços.

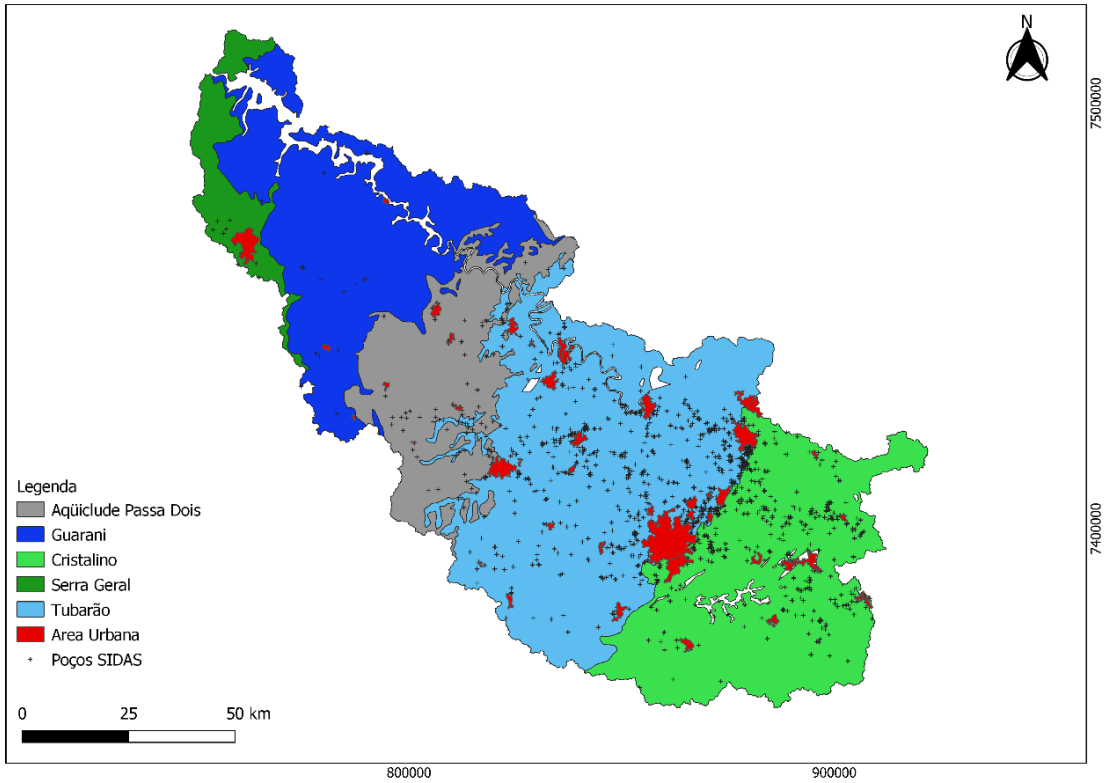
O Aquicludo Passa Dois é composto por camadas de rochas sedimentares, como folhelhos, siltitos, argilitos, calcários e dolomitos. Devido a se constituir de rochas de baixa permeabilidade, este aquicludo funciona como camada confinante sobreposta ao Aquífero Tubarão e se sotoposta ao Guarani (IRITANI, 2012).

O Aquífero Guarani é composto pelas formações sedimentares Pirambóia, na base, e Botucatu, no topo, ambas compostas por arenitos responsáveis pela grande produtividade e capacidade de armazenamento do mesmo (Takahashi et al. 2005).

O Aquífero Serra Geral por sua vez é composto por rochas basálticas, de baixa permeabilidade primária, e a circulação e armazenamento de água se dá quase somente em fraturas. Sendo assim a produtividade é bastante variável, mas maior que a do Aquífero Cristalino (Fernandes et al. 2005).

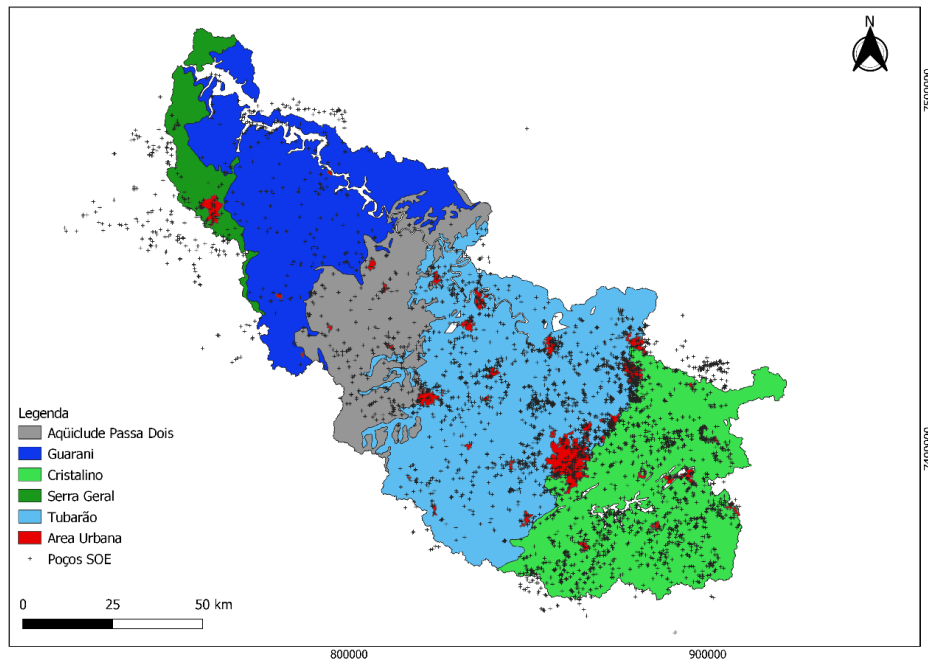
Assim como no Estado de São Paulo, o Aquífero Guarani é o mais produtivo na BH-SMT, mas devido às maiores cidades estarem sobre os aquíferos Tubarão e Cristalino (Figuras 2 e 3), estes são os mais importantes na bacia.

Figura 2 – Mapa de Aquíferos com relação aos poços cadastrados no SIDAS



Fonte: Modificado São Paulo, 2005.

Figura 3 – Mapa de aquíferos com relação aos poços cadastrados no

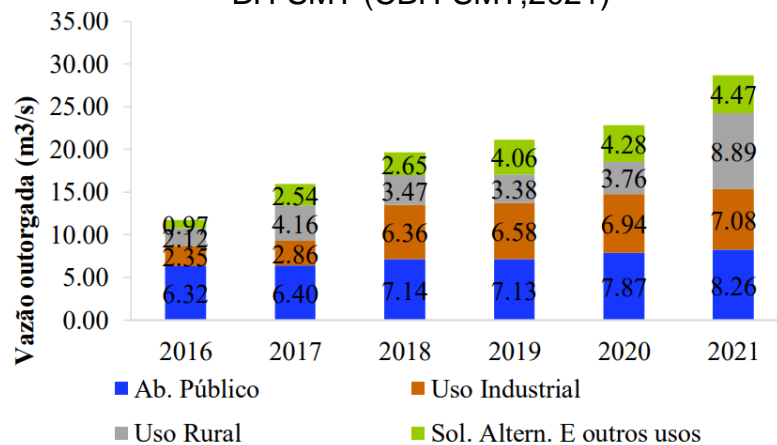


Fonte: Modificado São Paulo, 2005.

As Figuras 2 e 3 mostram a distribuição dos poços outorgados que constam nas bases de dados do DAEE. O cadastro SIDAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas) apresenta os poços cadastrados até 2017 e o SOE (Sistemas de Outorga Eletrônica), todos aqueles cadastrados posteriormente.

A observação visual dos mapas das Figuras 2 e 3 já demonstra, que a quantidade de poços aumentou muito substancialmente nos últimos 4 anos, pois o SIDAS contém 1946 poços e o SOE, 4942. Isso demonstra claramente o avanço da importância das águas subterrâneas tanto para abastecimento público como para agricultura, indústria e demais usos (Figura 4).

Figura 4 – Uso da água com base nas vazões outorgadas na BH-SMT (CBH-SMT, 2021)



Fonte: Modificado CBH-SMT, 2021.

Esse expressivo aumento é justificado pela diminuição dos volumes dos reservatórios superficiais, como consequência dos períodos de estiagem mais longos e severos. O Quadro 1 mostra a porcentagem de água fornecida conforme o tipo de manancial para todos os municípios da BH-SMT. O Quadro 1 está organizado pela coluna “MANANCIAL SUBTERRÂNEO 2021” em ordem decrescente.

Nota-se que em alguns municípios a participação do manancial subterrâneo no abastecimento aumentou mais substancialmente. Por exemplo, em Itu, apesar do menor potencial de produção do aquífero Tubarão nessa região, a utilização dos aquíferos passou de 0% em 2011 para 14% em 2021; em Anhembi passou de 9% para 37%.

Isso mostra a necessidade de se utilizar cada vez mais de conhecimento detalhado e de dados primários sobre os aquíferos da BH-SMT, para que a gestão da

água subterrânea seja cada vez mais eficiente de modo a evitar super-exploração e contaminação desse recurso e a garantir a segurança hídrica para a região.

Quadro 1 – Participação dos mananciais superficial e subterrâneo (%) no abastecimento público para os anos de 2011 e 2021

MUNICÍPIO	MANANCIAL	MANANCIAL	MANANCIAL	MANANCIAL
	SUBTERRÂNEO 2011	SUPERFICIAL 2011	SUBTERRÂNEO 2021	SUPERFICIAL 2021
	% de uso	% de uso	% de uso	% de uso
ALAMBARI	100	0	100%	0%
CAPELA DO ALTO	100,0	0,0	100%	0%
CESÁRIO LANGE	100	0	100%	0%
IPERÓ	100	0	100%	0%
JUMIRIM	100	0	100%	0%
QUADRA	100	0	100%	0%
SARAPUÍ	100	0	100%	0%
TIETÊ	100	0	100%	0%
MAIRINQUE	48,2	51,8	47%	53%
PORTO FELIZ	27,8	72,2	40%	60%
ANHEMBI	9,0	91,0	37%	63%
PEREIRAS	9,1	90,9	24%	76%
PORANGABA	0	100	18%	82%
TATUI	4,5	95,5	18%	82%
ALUMINIO	8,9	91,1	15%	85%
ITU	0	100	14%	86%
ARAÇOIABA DA SERRA	7,7	92,3	11%	89%
LARANJAL PAULISTA	0	100	11%	89%
PIEDADE	6,3	93,7	10%	90%
CABREÚVA	1,4	98,6	7%	93%
BOFETE	9,9	90,1	5%	95%
BOITUVA	1,3	98,7	4%	96%
SOROCABA	4,6	95,4	3%	97%
ARAÇARIGUAMA	0,0	100,0	2%	98%
BOTUCATU	1,3	98,7	1%	99%
CERQUILHO	0	100	1%	99%
SALTO	0	100	1%	99%
SALTO DE PIRAPORA	0,1*	99,9*	1%	99%
CONCHAS	3,5	96,5	0%	100%
IBIÚNA	0	100	0%	100%
SÃO ROQUE	0	100	0%	100%

TORRE DE PEDRA	0	100	0%	100%
VARGEM GRANDE PAULISTA	0	100	0%	100%
VOTORANTIM	0,3	97,7	0%	100%

Fonte: PROAQUIFEROS (2022)

3.3 CONCEITOS RELACIONADOS A SIG

O território é um grande espaço amostral quando organizado em um Sistema de Informações Geográficas (SIG); muitos dados e informações são coletados por de forma remota através de satélites, GPS, drones e computadores e outros de forma direta, através de trabalhos de campo. Esses dados podem ser processados, analisados e interpretados de forma correta, e isso pode ser feito de forma muito eficiente através de softwares específicos em SIG.

Figura 5 – Significado dos termos que compõem a denominação “Sistema de Informações Geográficas relacionado com suas principais características.



Fonte: Autor, 2022.

Para a utilização correta desses equipamentos e softwares, é de extrema importância que o usuário desse sistema tenha um conhecimento adequado, conforme demonstrado na figura 5. Com isso, temos que entender desde o que significa cada camada de informação (tipos de solo, relevo e rochas, uso e ocupação etc.), como a parte de software (construção de banco de dados, utilização de análise estatística etc.). Mesmo do ponto de vista do usuário, o SIG é um instrumento poderoso, preciso e eficiente para as tarefas de planejamento urbano e regional, incluindo a gestão dos recursos hídricos (USMANI, 2020), pois possibilita a integração de informações e de banco de dados cartográficos dos mais diversos tipos (PINHEIRO et al., 2009).

Algumas das utilizações de SIG incluem combinações e interpretação de

mapas, simulação de cenários e modelagens, suporte a decisões de utilização de solos, distribuição territorial, monitoramento ambiental, e gerenciamento de recursos hídricos.

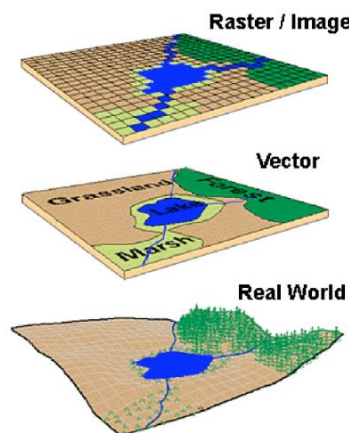
A grande utilização desses sistemas tecnológicos levou ao surgimento de diversos softwares livres voltados a gestão de recursos hídricos, como por exemplo HEC-RAS, que é um software que modela o fluxo de água através de rios e outros córregos, a partir de conceitos e emprego de Geoprocessamento e Cartografia (SCHMITT&MOREIRA, 2015).

Um dos softwares de SIG mais utilizados é o QGIS, que apresenta Código Aberto e é licenciado segundo a Licença Pública Geral (GNU). O QGIS (2022) é a principal ferramenta utilizada neste projeto.

Como todo aprendizado, existem diversas formas de entrar no conteúdo, sendo de uma forma mais avançada, como em uma forma mais simples. No SIG a relação é a mesma, sendo um deles a própria produção do SIG, e a outra é a utilização. Nesta última, pode-se utilizá-los apenas para consultas e operações muito simples, enquanto a produção é a parte de desenvolvimento de materiais, criação de mapas e relatórios entre outros conceitos. E no caso deste trabalho, o foco é levar o conhecimento de SIG para pessoas que precisam realizar consultas e operações simples. Dessa forma, não é necessário um conhecimento vasto, mas sim adequado a essa finalidade.

No SIG, o território pode ser expresso através de dois formatos: vetorial e raster (Figura 6)

Figura 6 – Vetores e rasters para representar o mundo real



Fonte: SAAB, 2003.

Os elementos dos mapas vetoriais são de três tipos: pontos, linhas e polígonos, que podem ser editados de forma independente. Esse formato também permite associar atributos, organizados na forma de tabelas, aos elementos, ou seja, bancos de dados. Tais tabelas permitem que características numéricas e qualitativas sejam manipuladas de várias formas, como produção de seleções, divisão em classes e elaboração de gráficos.

Já as imagens do tipo raster são formadas por pixels (a imagem é uma matriz de pixels). A classificação de tais pixels permite mapear determinada característica do terreno, como por exemplo, o seu uso e ocupação.

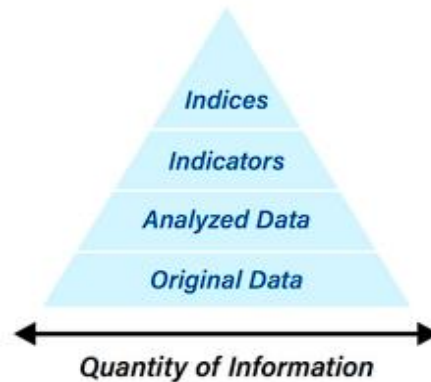
3.4 EDUCAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E O OBJETIVO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 6

Um dos principais objetivos de gerir os Recursos Hídricos de forma sustentável é seguir a diretriz da Agenda de Desenvolvimento Sustentável, onde o enfoque principal é o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6, que visa a gestão sustentável da água e saneamento para todos. Ortigara (2018) ressalta que a abordagem imposta por essa ODS, engloba o ciclo completo da água, desde a sua captação até a chegada nas residências dos usuários. Esse processo é muito complexo, e necessita de atenção e cuidado em todas as suas fases.

O desenvolvimento da ODS 6 tem sido muito lento, inviabilizando a conclusão das metas até o ano de 2030, data final da conclusão das ODS. Os enfoques principais, referentes aos recursos hídricos, são a disponibilidade de água e saneamento. A abordagem desses assuntos mostra como a água vem se destacando cada vez mais, principalmente quanto à sua preservação (ORTIGARA, 2018).

Esse tema foi iniciado em 1977 na Argentina, mas as questões políticas relacionadas a esse tema só iniciaram em meados de 1990. A discussão política sobre a gestão dos recursos hídricos caracteriza um sinal de avanço da sociedade, pois preservando a água, as questões sanitárias e de saúde são melhoradas, levando a uma redução dos casos de mortalidade infantil e de disseminação de doenças.

Figura 7 – Consolidação dos dados em indicadores e metas



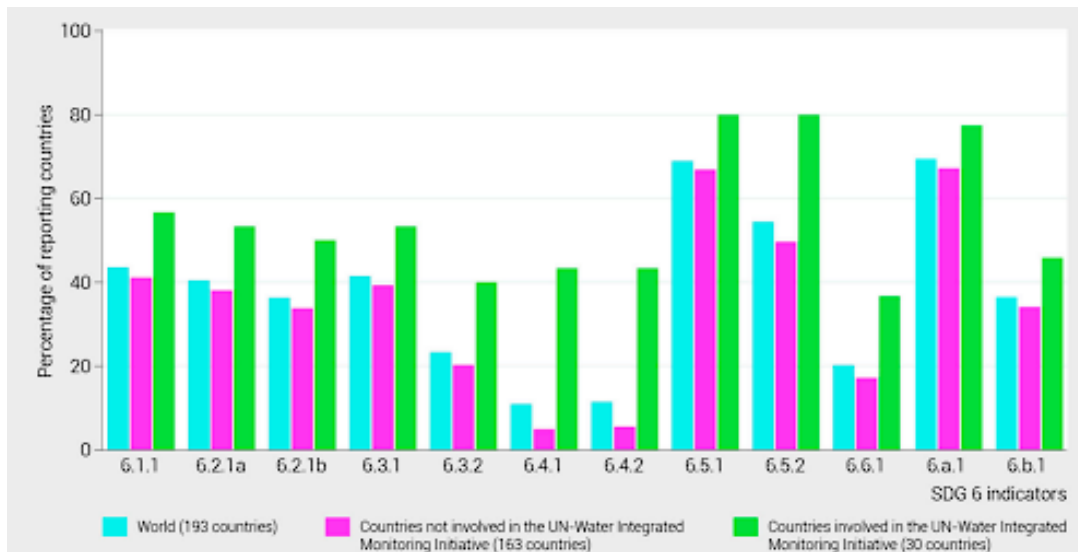
Fonte: ORTIGARA et al., 2018.

A Figura 7 mostra que uma grande quantidade de dados brutos chega até as instituições responsáveis. Estas devem tratar os dados e realizar análises, sendo que existem filtragens de dados conforme é feita uma análise mais profunda, de modo que ao final indicadores e índices referentes aos recursos hídricos são extraídos.

Esse processo exige capacitação dos técnicos das instituições responsáveis pelos recursos hídricos no nosso país, para que a análise dos dados seja feita de forma correta para uma gestão dos recursos hídricos de maior qualidade. Os comitês de bacias são os responsáveis pela orquestração da gestão dos recursos hídricos da sua região. Dessa forma, as diretorias dos comitês e seus participantes, bem como os técnicos envolvidos nas prefeituras, são os principais alvos de capacitação.

Menos de 50% dos países possuem indicadores positivos da ODS 6 (Figura 8) (ORTIGARA, 2018). Os principais desafios a serem vencidos são a qualidade, a disponibilidade e a frequência de coleta de dados.

Figura 8 – Proporção de países que apresentam relatórios sobre a ODS 6



Fonte: ORTIGARA et al., 2018.

Além dos desafios relacionados aos dados necessários à gestão, Ortigara (2018) aponta que uma gestão adequada só é possível com a implantação de Sistemas de Informações Geográficas e capacitação dos técnicos e órgãos responsáveis, tema desta dissertação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O roteiro de curso de águas subterrâneas proposto no item 5 (resultados) baseia-se na experiência deste Mestrando em projeto de políticas públicas já mencionado bem como em curso ministrado para profissionais do meio acadêmico e técnicos do setor público. Os métodos de transferência de conhecimento empregados no projeto podem ser subdivididos em dois tipos: aqueles em que este Mestrando prestou auxílio e aqueles em que ele foi o executor principal.

Fazem parte do primeiro tipo: preparação e ministração de aulas online, elaboração e aplicação de questionários, preparação e ministração de atividades presenciais e atendimentos técnicos aos alunos nos seus municípios.

O segundo tipo constitui-se de produção de mapas utilizando SIG para as aulas online e atividades presenciais e montagem de projeto SIG com dados e informações da BH-SMT que foi fornecido aos alunos para que fosse utilizado na gestão de águas subterrâneas nos seus municípios e naquela bacia.

4.1 AULAS ONLINE

As aulas online aconteceram em 3 módulos e foram ministradas em geral com intervalos de 15 dias às sextas de manhã, das 9:30 às 12hs. As datas, assuntos e número médio de alunos encontram-se sintetizados no Quadro 2.

As atividades com relação às aulas online foram:

- Transmissão das aulas via Google Meet, com apoio aos palestrantes, na coleta de dúvidas dos alunos e organização da sala de aula.

- Utilização de nuvens de palavras para permitir a participação mais ativa dos alunos e tornar a aula mais. Uma questão era lançada e os alunos a respondiam em tempo real, utilizando um link. As respostas apareciam na tela da aula à medida em que os alunos entravam com suas respostas no link. Este foi um recurso muito apreciado pelos alunos.

- Produção de mapas e figuras, para exibição na apresentação powerpoint das aulas. Os mapas foram elaborados em SIG, utilizando mapas e dados pré-existentes, além de imagens do terreno, no estilo Google Earth.

Quadro 2 – Informações sobre as aulas online

MÓDULO 1

	Data	Alunos	Conteúdo
Aula 1	10/09/2021	35	Introdução e Ciclo e Aquíferos - Amélia João Fernandes
Aula 2 - A	17/10/2021	41	Tipos de Aquíferos - Amélia João Fernandes
Aula 2 - B	01/10/2021	70	Tipos de Aquíferos Livres X Confinados – Amélia João Fernandes, Ricardo Hirata (Rebaixamento de níveis d'água de aquíferos e a super-exploração: mitos e realidades)
Aula 3 - A	15/10/2021	35	Aquíferos e Vazões – Amélia João Fernandes, Roberto Kirchheim (Afinal, para que servem os dados de poços? Do empírico prático ao planejamento)
Aula 3 - B	29/10/2021	30	Confinamento, Recarga E Vulnerabilidade – Amélia João Fernandes, José Luiz Albuquerque Filho (Proteção do Aquífero Guarani: Mapa de Áreas de Intervenção)

MÓDULO 2

Aula 1	18/02/2022	28	Revisão do Módulo 1
Aula 2	04/03/2022	35	Disponibilidade e Recarga – Veridiana Martins (Recarga de Aquíferos: Conceitos e métodos) Roberto Kirchheim (Disponibilidade e Recarga)
Aula 3	18/03/2022	35	Disponibilidade e Cálculo de Recarga – José Luiz Albuquerque Filho, Amélia João Fernandes
Aula 4	01/04/2022	27	Proteção da Qualidade da Água Subterrânea – Ricardo Hirata
Aula 5	27/05/2022	24	Disponibilidade, Recarga e Proteção - Amélia João Fernandes, Gabriel Lima Barbosa (Apresentação do SIG)

MÓDULO 3

Aula 1	30/09/2022	22	SIGRH e Gestão de Recursos Hídricos – José Luiz Albuquerque Filho, Amélia João Fernandes
Aula 2	07/09/2022	31	Gestão de Recursos Hídricos Experiências dos comitês PCJ – Sibebe Ezaki
Aula 3	14/10/2022	27	Instrumentos Técnicos para a Gestão de Recursos Hídricos – Mateus Delatim Simonato

Fonte: PROAQUIFEROS (2022)

4.2 ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS

Após as aulas online do módulo 1, foi enviado questionário, através do Google Forms, sobre todos os assuntos ensinados. Este revelou como a percepção dos alunos mudou com relação a vários conceitos básicos. Junto com o questionário foi enviado um caderno de conceitos básicos de hidrogeologia (Anexo 1), baseado em ilustrações e seus textos explicativos, para auxiliá-los a responderem as perguntas.

4.3 ATIVIDADES PRESENCIAIS

Ao final de cada módulo de aulas online foram realizadas as seguintes atividades presenciais: trabalhos de campo para visitas a afloramentos das rochas que compõem os aquíferos da BH-SMT, rodas de conversas sobre as principais demandas identificadas pelos alunos e sobre educação ambiental, além de oficina de identificação de prioridades para iniciar a implementação da gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Com isso os alunos conseguiram visualizar de forma prática, os conceitos aprendidos durante as aulas remotas, além de compartilhar experiências com os demais colegas, possibilitando criar uma rede de contatos que potencializa a viabilização de ações a serem tomadas na bacia.

A interação entre os alunos, os materiais criados para guiar a atividade presencial e a escolha de um local de fácil acesso para todos os participantes são primordiais para o sucesso dessa atividade.

As atividades presenciais são descritas a seguir.

4.3.1 Visita a afloramentos e roda de conversa em Tatuí

Foram visitados afloramentos de rochas que constituem o Aquiclude Passa Dois e os aquíferos Guarani e Serra Geral ao longo da rodovia Castelo Branco (Figura 9). Na visita aos afloramentos foram utilizados mapas geológicos e questionários que conduzissem os alunos a observarem as principais características das rochas. Isso aconteceu na parte da manhã no dia 26/11/2021. À tarde foi realizada uma roda de conversa (Figura 10), na FATEC de Tatuí, para levantamento dos assuntos relativos às águas subterrâneas que os alunos tivessem maior interesse.

Os mapas utilizados auxiliaram os alunos a adquirirem noção espacial. A observação das rochas em afloramentos (Figura 14), com utilização de martelos, lupas, e questionários e manuais de campo mostrou-se muito efetiva para o aprendizado da constituição dos aquíferos e entendimento de características como permeabilidade, potencial de produção e vulnerabilidade natural.

Figura 9 – Alunos do curso observando os afloramentos a margem da Rodovia Castelo Branco



Fonte: Próprio autor

Figura 10 – Roda de conversa, realizada na FATEC de Tatuí, com os alunos participantes do projeto



Fonte: Próprio autor

4.3.2 Visita a afloramentos em Porto Feliz e Itu, seguida de oficina sobre identificação e mapeamento de áreas de recarga

No período da manhã do dia 13/05/2022 a visita foi no Parque das Monções (Figura 11), situado em Porto Feliz, onde tem destaque um paredão rochoso chamada de Paredão Salitroso (Figura 12), às margens do Rio Tietê, que pertence ao Aquífero

Tubarão. Nessa visita o arenito que constitui o paredão foi observado, e as suas características de permeabilidade, potencial produtivo de água e vulnerabilidade natural foram discutidos.

Figura 11 – Alunos reunidos no Parque das Monções, Porto Feliz



Fonte: Próprio autor

Figura 12 – Parque das Monções, em Porto Feliz, com seu paredão Salitroso constituído por arenito pertencente ao Aquífero Tubarão



Fonte: Próprio autor

Após a visita ao Parque das Monções, nos deslocamos até o Parque do Varvito localizado em Itu, onde foi realizado o mesmo procedimento de observação dos paredões de rocha. O varvito pertence ao aquífero Tubarão e trata-se de um ritmito com lâminas de arenito muito fino siltoso e lâminas de argilito. A permeabilidade do material é baixa e tem implicações para a vulnerabilidade natural e potencial de produção de poços (baixas vazões) (Figura 13).

Figura 13 – Afloramento no Parque do Varvito, Itu



Fonte: Próprio autor

No período da tarde, na FATEC de Itu, foi feita uma oficina (Figura 14) onde os conceitos vistos durante a visita foram abordados, discutindo-se as consequências para a recarga do Aquífero Tubarão. Também foi apresentado o conjunto de dados em SIG, organizado por este Mestrando, é que são fundamentais para ações de gestão das águas subterrâneas.

Figura 14 – Roda de conversa na FATEC de



Fonte: Próprio autor

4.3.3 Visita à FLONA e levantamento sobre públicos-alvo e assuntos prioritários para ações de educação e conscientização

A visita à Flona (Floresta Nacional de Ipanema), localizada no município de Araçoiaba da Serra, no dia 02/09/2022, teve o intuito de realizar uma colheita dos pontos de vista dos alunos sobre públicos alvo e conteúdo mais importantes de transmitir em ações de educação.

Nessa visita tivemos a presença do Professor Ricardo Hirata que falou sobre sua percepção a respeito da conscientização sobre regularização de poços, tendo como base sua vasta experiência no assunto.

Figura 15 – Alunos e professores do curso na visita à Flona (Município de Araçoiaba da Serra)



Fonte: Próprio autor

4.4 ELABORAÇÃO DE MAPAS PARA AS AULAS ONLINE E ATIVIDADES PRESENCIAIS

Para que as aulas possuíssem um material didático eficiente para os alunos, foram elaborados mapas locais que mostrassem a realidade que os alunos vivem, possibilitando dessa forma uma absorção do conteúdo de forma mais natural, pois todo o material criado era relacionado a exemplos cotidianos dos alunos, locais, cidades, pontos turísticos, entre outros. Foram elaborados mapas necessários em que os alunos pudessem perceber a localização dos seus locais de trabalho.

Uma informação importante é o quanto os municípios dos alunos já utilizam a água subterrânea como fonte relevante ou principal de abastecimento. Para isso, foram elaborados mapas de municípios e suas principais fontes de abastecimento público, servindo de motivação para a o conhecimento desse recurso hídrico.

Além disso mapas de poços da região, são importantes para visualizar os locais com maior densidade de poços e os impactos que eles podem trazer para o local que estão instalados. Unindo o mapa de poços com o mapa hidrogeológico do local, é possível verificar a capacidade de produção dos poços com base nos aquíferos em que a bacia hidrográfica está localizada.

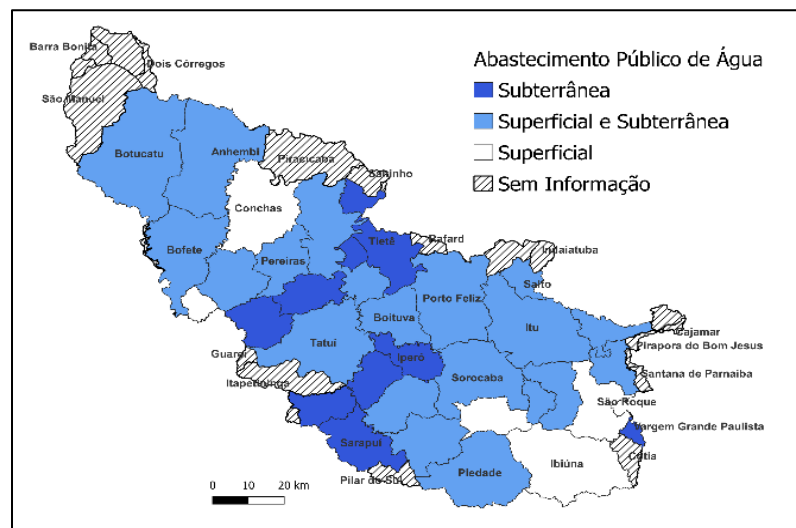
Com esses mapas, já é possível deduzir quais são os principais desafios que as instituições e técnicos enfrentarão para disponibilizar esse recurso para a população,

além de compreender a importância de preservá-lo, sendo para isso necessário conhecer o funcionamento dos aquíferos de cada município.

Foram disponibilizados mapas com escalas diferentes para explicar a importância de executar estudos detalhados, dependendo das aplicações pretendidas, como vemos no Anexo 1.

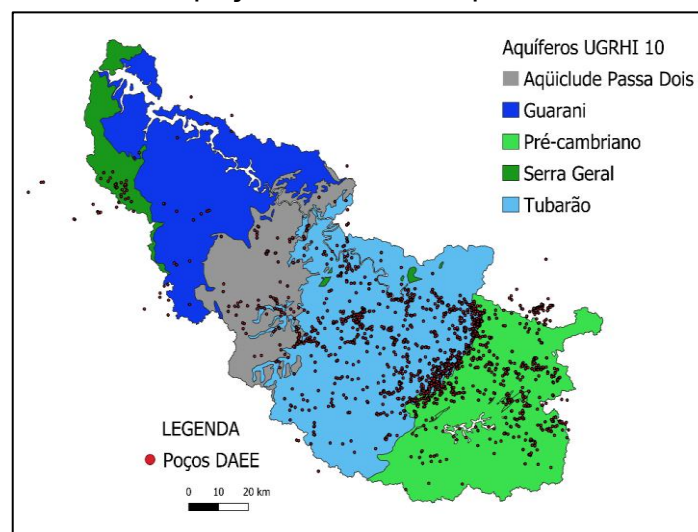
Os principais mapas elaborados em SIG foram porcentagem de uso da água subterrânea no abastecimento público, distribuição e quantidade de poços na bacia hidrográfica, e áreas de ocorrência dos vários aquíferos presentes na bacia (Figuras 16 e 17).

Figura 16 – Principais fontes de abastecimento público de água na região do SMT



Fonte: DAEE,2021.

Figura 17 – Número de poços cadastrados pelo SIDAS e SOE na BH-SMT



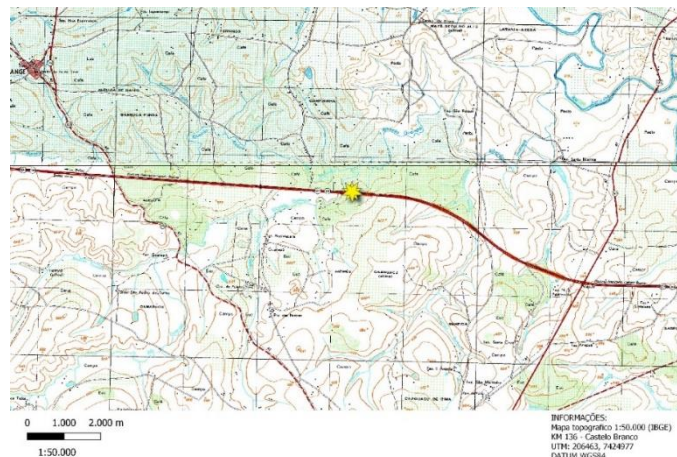
Fontes: São Paulo, 2005.

Muitos municípios utilizam água subterrânea para abastecimento público (Figura 16), mostrando a relevância do recurso e a necessidade dos técnicos e responsáveis pelo comitê de bacia conhecerem melhor esse recurso.

A Figura 17 mostra a localização dos poços SIDAS e SOE, bem como os aquíferos. Nota-se que a grande maioria dos poços está localizada nos Aquíferos Pré-Cambriano e Tubarão, tratando-se, portanto, de uma região prioritária para obtenção de mais conhecimentos.

Os mapas e figuras ajudam a visualizar as informações de forma macrorregional e a identificar prováveis áreas prioritárias para a gestão. Os mapas topográficos do IBGE e IGC, escalas 1:50.000 (IBGE, 1970) e 1:10.000 (IGC,1970), respectivamente, foram utilizados para ilustrar escalas de detalhe (Figuras 19 e 20).

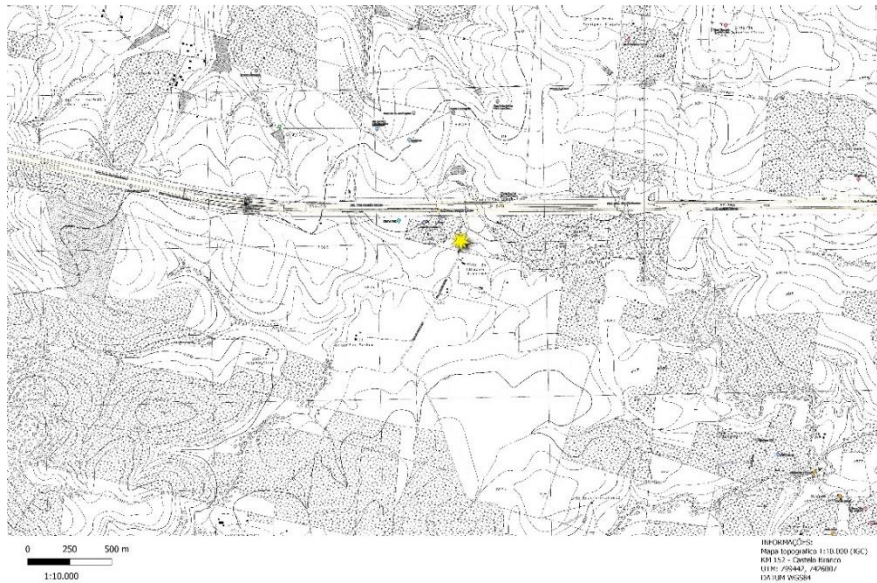
Figura 18 – Mapa topográfico com escala de 1:50.000



Fontes: IBGE,1970.

Esses mapas auxiliaram na explicação da importância de utilizar e elaborar mapas geológicos e hidrogeológico de escala de semidetalhe, compatível com o mapa topográfico na escala 1:50.000 (Figura 18), e de detalhe, compatível com o de escala 1:10.000 (Figura 19). Isto auxilia na visualização de outros mapas mais complexos com uma gama de informações maior.

Figura 19 – Mapa topográfico com escala de 1:10.000 (IGC, 1970)



Fontes: IGC, 1970.

4.5 MINISTRAÇÃO DE CURSO DE REALIZAÇÃO DE OPERAÇÕES EM SIG

Este Mestrando ministrou curso sobre SIG para o corpo técnico, em que as operações em SIG elencadas a seguir foram ensinadas:

- Abrir camada e projeto
- Tipos de zoom
- Explicação do que é um projeto
- Montagem de projeto
- Formatar (exemplo, cor) e não perder formatação

- Recorte de uma camada usando outra

- Buffer

- Várias formas de seleção de objetos

- Criar uma camada (recorte) a partir de outra

- Juntar elementos (2 áreas; pontos)

- Criar tabela de atributos

- Editar tabela de atributos (apagar coluna, adicionar coluna etc.)

As operações acima permitem cruzar e analisar informações que podem levar, por exemplo, à identificação de áreas prioritárias de estudo, à solução de problemas, e à tomada de decisões de gestão.

4.6 ELABORAÇÃO DE PROJETO SIG COM CAMADAS DE INFORMAÇÃO RELATIVAS À BH-SMT

Foi realizada uma montagem de SIG com camadas de informação oriundas de mapas e dados já existentes. Essas camadas são importantes tanto para o gerenciamento dos recursos hídricos na BH-SMT como nos municípios que nela se situam. Alguns mapas estavam em formato shape, do ArcGIS, e a passagem para o QGIS implicou em um trabalho minucioso para, entre outros, haver preservação de cores e vetores dos arquivos. As camadas de informação foram reunidas em grupos (Quadro 3), de modo a facilitar a localização e manuseio dos arquivos.

Quadro 3 – Camadas de informações realizadas no SIG, disponibilizadas para os técnicos

Grupos	Produtos Gerados
Mapas Diversos	<ul style="list-style-type: none"> - Atlas UNESP/DAEE - Índice de Potencial Poluidor e Áreas Contaminadas - DATAGEO - Unidades de conservação do Estado - Atlas UNESP/DAEE - Áreas com Restrição <ul style="list-style-type: none"> - Google Earth - Imagem de Satélite - IBGE - Contorno Municipal - Google Earth - Estradas e Ruas - Área Urbana - Sub-bacia - Sorocaba Médio Tietê
Poços Cadastrados	<ul style="list-style-type: none"> - Poços - SOE-DAEE-Sorocaba Médio Tietê - Poços – SIDAS – DAEE- Sorocaba Médio Tietê <ul style="list-style-type: none"> - Poços Petri
Mapas Geológicos	<ul style="list-style-type: none"> - CPRM - Serviço Geológico Nacional - Mapa Geológico de São Paulo - Instituto de Pesquisas Ambientais - Mapa Geológico da Bacia do Rio Sorocaba - Instituto de Pesquisa Tecnológica - Mapa Geológico da Bacia Sorocaba Médio Tietê - Instituto de Pesquisas Ambientais - Mapa Geológico de Itu - Instituto de Pesquisas Ambientais - Mapa Geológico de Sorocaba
Mapas Topografia e Drenagens	<ul style="list-style-type: none"> - DATAGEO - Hidrografia do Estado de São Paulo - UGRHI 10 - Instituto de Pesquisas Ambientais - Drenagem – SMT <ul style="list-style-type: none"> - IBGE - Cartas Topográficas 1:50.000 - IGC - Cartas Topográficas 1:10.000
Rede de Monitoramento	<ul style="list-style-type: none"> - Atlas UNESP/DAEE - Postos Fluviométricos - Atlas UNESP/DAEE- Postos Piezométricos - Atlas UNESP/DAEE - Postos Pluviométricos - Atlas UNESP/DAEE - Postos de Qualidade
Mapas Aquíferos	<ul style="list-style-type: none"> - CPRM - Mapa de águas subterrâneas do estado de São Paulo

Fonte: PROAQUIFEROS (2022)

Esse SIG foi fornecido aos alunos durante os atendimentos técnicos em seus municípios. As camadas de informação podem servir a várias finalidades na sua rotina de trabalho. Várias camadas possuem tabelas de atributos e podem servir para seleções, consultas e filtragens, dependendo do objetivo da análise.

4.7 REALIZAÇÃO DE ATENDIMENTOS TÉCNICOS

Durante os meses de julho e agosto de 2022, foram realizadas visitas a grupos de alunos de vários municípios. Essa atividade foi chamada de atendimento técnico e teve o objetivo de auxiliar os alunos em demandas específicas que eles tivessem mais interesse e relacionadas às suas atividades profissionais. Foram 8 atendimentos no total, com visitas aos municípios de Porto Feliz, Boituva, Sorocaba e Botucatu.

Além de uma riquíssima experiência com os alunos, este Mestrando teve como sua responsabilidade expor o SIG e suas camadas de informação. Procurou-se transmitir que um sistema de informações georreferenciadas é fundamental para armazenar dados, pois permite a visualização de várias camadas de informação e uma avaliação preliminar da situação do município. Os alunos aprenderam quais dados são necessários para realizar, entre outros, estudos de disponibilidade e avaliar riscos de contaminação.

Notamos no decorrer do projeto, que há pessoas dispostas e com vontade de se engajar em ações que façam diferença para a gestão das águas subterrâneas. Isto facilita e potencializa o processo de aprendizagem.

4.8 ELABORAÇÃO DE ROTEIRO TÉCNICO

Os resultados desta dissertação foram materializados no produto intitulado “Roteiro Técnico sobre Transferência de Conhecimento em Águas Subterrâneas utilizando SIG”, que foi elaborado com base no projeto Fapesp de políticas públicas voltando à educação em águas subterrâneas, do qual este Mestrando participou. A partir desse roteiro, podem ser planejados futuros cursos de capacitação que utilizem mapas e outros dados georreferenciados disponíveis para as bacias hidrográficas de determinados comitês e seus municípios. A ideia é que a aplicação do roteiro resulte em uma ampliação significativa da aplicação de conhecimentos hidrogeológicos e de sistemas de informações geográficas nas atividades profissionais de técnicos de prefeituras, dos participantes dos comitês de Bacia e da sociedade civil organizada,

de modo a promover a inclusão das águas subterrâneas na gestão integrada dos recursos hídricos.

Este tipo de material sobre a utilização de produtos em SIG pode ser de grande utilidade em outras bacias, do estado ou da federação, pois uma vez padronizando o ensino em ambiente SIG isso vai padronizar os produtos gerados pelos técnicos que trabalham em diferentes instituições. Isso incluiu a elaboração de relatórios de situação, planos de bacia, mapas de áreas de risco, entre outros materiais.

5 RESULTADOS

5.1 ROTEIRO TÉCNICO SOBRE TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS UTILIZANDO SIG

Este roteiro foi criado para orientar a estruturação e implementação de um curso de águas subterrâneas com o auxílio da tecnologia SIG (Sistema de Informação Geográfica). Através de uma abordagem passo a passo, fornece diretrizes detalhadas sobre cada aspecto do processo, desde a estruturação inicial até a avaliação final.

O objetivo é fornecer uma estrutura clara e compreensível para a criação de um curso eficaz, projetado para o uso de profissionais técnicos, hidrogeólogos e geólogos envolvidos na estruturação e implementação do curso.

Cada seção fornece orientações detalhadas e práticas para garantir que todos os aspectos sejam abordados de forma eficaz, abordando-os todos especificamente ao longo do processo de criação, incluindo a estruturação, a preparação de materiais, a realização de aulas online e atividades presenciais, a elaboração de tutoriais e a avaliação do curso.

Ao seguir as orientações e procedimentos descritos, você estará bem-preparado para criar um curso que seja informativo para seus alunos. Este manual é um recurso para qualquer pessoa envolvida na criação de materiais sobre águas subterrâneas com a utilização de SIG e pode ser usado como uma referência ao longo de todo o processo.

5.1.1 Tópico 1: Estruturação do curso

Objetivo: O objetivo deste tópico é fornecer uma orientação detalhada sobre como estruturar o curso, destacando a importância da participação de profissionais técnicos, hidrogeólogos e geólogos.

Passo 1: Definição dos Módulos

O curso deve ser dividido em módulos para facilitar o aprendizado, podendo, por exemplo, ser dividido em três partes: a primeira voltada aos conceitos básicos de águas subterrâneas, a segunda com conceitos visando disponibilidade e qualidade e a terceira trazendo com mais ênfase a parte da gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Passo 2: Identificação dos profissionais necessários

Identifique os profissionais técnicos, hidrogeólogos e geólogos necessários para a estruturação e execução do curso que serão responsáveis por ministrar as aulas, fornece apoio técnico, elaborar e aplicar questionários, e produzir mapas e outros materiais didáticos.

Passo 3: Planejamento das aulas online

As aulas online devem ser planejadas com cuidado para garantir que os alunos aprendam efetivamente. Suas atividades podem incluir:

- Transmissão via Google Meet ou outra plataforma de videoconferência
- Coleta de dúvidas dos alunos e organização da sala de aula
- Utilização de nuvens de palavras para dinâmicas e aproximação dos alunos
- Produção de mapas e figuras para ilustrar as aulas, utilizando a Tecnologia SIG

Passo 4: Planejamento das atividades presenciais

As atividades presenciais são uma parte importante e devem ser planejadas de acordo, podendo incluir visitas a afloramentos de rochas e rodas de conversa sobre assuntos relacionados às águas subterrâneas e gestão de águas nos municípios.

Passo 5: Preparação dos materiais

Prepare todos os conteúdos necessários para o curso, incluindo mapas, figuras, questionários e manuais. Os mapas e figuras podem ser produzidos usando a tecnologia SIG.

Passo 6: Avaliação

Finalmente, avalie o curso para identificar áreas de melhoria, o que pode ser feito através de questionários ou feedback dos alunos.

A estruturação de um curso é um processo complexo que requer planejamento cuidadoso e consideração das necessidades dos alunos. A participação de profissionais técnicos, hidrogeólogos e geólogos é crucial para garantir que este seja tecnicamente preciso e relevante.

5.1.2 Tópico 2: Preparação de materiais

Objetivo: Este tópico fornece orientações detalhadas sobre como preparar os materiais necessários com o uso de tecnologia SIG (Sistema de Informação Geográfica) para auxiliar nas aulas sobre águas subterrâneas.

Passo 1: Identificação dos materiais necessários

Identifique todos os materiais que serão necessários para o curso, como mapas, figuras, questionários, manuais e tutoriais.

Passo 2: Produção de mapas e figuras

Os mapas e figuras são essenciais para ilustrar as aulas e facilitar o entendimento dos alunos. Eles devem ser produzidos usando a tecnologia SIG e necessitam ser baseados em dados e informações pré-existentes da região de estudo, além de imagens de satélite.

Devem ser criados mapas municipais representando a área urbana, imagens de satélite, poços cadastrados, mapas geológicos, mapas topográficos e drenagem, rede de monitoramento e o mapa dos aquíferos da região.

Passo 3: Elaboração de questionários

Os questionários são uma ferramenta importante para avaliar a compreensão e o progresso dos alunos, podendo ser usados durante as aulas online e as atividades presenciais.

Passo 4: Preparação de tutoriais

Os tutoriais são essenciais para capacitar os alunos a realizar operações específicas em SIG. Eles devem abordar tópicos como abrir uma camada e um projeto, realizar diferentes tipos de zoom, montar um projeto, recortar uma camada usando outra, criar uma tabela de atributos, entre outros.

Passo 5: Disponibilização dos materiais

Todos os materiais devem ser disponibilizados para os alunos em um formato acessível e fácil de entender, ou seja, que possam ser facilmente acessados de qualquer lugar e plataforma (Google Drive, OneDrive etc.)

Passo 6: Avaliação dos materiais

Finalmente, avalie a eficácia dos materiais, o que pode ser feito através de feedback dos alunos ou da observação de seu progresso ao longo da jornada.

Lembre-se de que a preparação de conteúdo é uma parte crucial da estruturação de um curso. Os materiais devem ser tecnicamente precisos, relevantes para o curso e fáceis de entender para os alunos.

5.1.3 Tópico 3: Realização das aulas online

Objetivo: Este tópico fornece orientações detalhadas sobre como realizar as aulas online.

Passo 1: Planejamento das aulas

As aulas online devem ser planejadas com cuidado para garantir que os alunos aprendam efetivamente, e tenham disponibilidade para participar.

Passo 2: Preparação para a transmissão

Figura 20 – Exemplos de plataformas de vídeo conferência.



Fonte: Próprio autor

Prepare-se para o início das aulas via Google Meet ou outra plataforma de videoconferência. Isso inclui garantir que todos os materiais de aula estejam prontos e que a transmissão esteja funcionando corretamente.

Passo 3: Coleta de Dúvidas dos Alunos


Durante a aula, colete as dúvidas dos alunos e organize a sala de aula., o que pode ser feito através de um chat ao vivo ou de uma seção de perguntas e respostas.

Passo 4: Utilização de nuvens de palavras

Utilize nuvens de palavras para dinâmicas e aproximação dos alunos, o que é útil para manter os alunos engajados e a facilitar a compreensão dos conceitos abordados.

Passo 5: Produção de Mapas e Figuras

Figura 21 – Nuvem de palavras (Mentimeter).

De onde vem a água que alimenta os aquíferos, rios e lagos? 



Fonte: Próprio autor

Durante a aula, use os mapas e figuras anteriormente preparados, cuja elaboração pode utilizar mapas e dados pré-existentes, além de imagens de satélite.

Passo 6: Avaliação da aula

Após a aula, avalie sua eficácia. Isso pode ser feito através de feedback dos alunos ou através da observação do progresso dos alunos durante o processo de aprendizagem.

Lembre-se de que as aulas online são uma parte crucial da estruturação de um curso, e devem ser bem planejadas e executadas para garantir que os alunos aprendam efetivamente. Além disso, a tecnologia deve ser usada de forma eficaz para facilitar o aprendizado e a interação dos alunos.

5.1.4 Tópico 4: Realização das atividades presenciais

Objetivo: Este tópico fornece orientações detalhadas sobre como realizar as atividades presenciais desde o planejamento até a avaliação dos alunos.

Passo 1: Planejamento das Atividades Presenciais

As atividades presenciais devem ser planejadas com cuidado para garantir que os estudantes aprendam efetivamente, podendo incluir trabalhos de campo, rodas de conversas, oficinas de educação ambiental e identificação participativa de feições hidrogeológicas.

Passo 2: Preparação para as atividades presenciais

Figura 22 – Visita ao local para verificar a segurança e acessibilidade (Porto Feliz - SP)



Fonte: Próprio autor

Prepare-se para as atividades presenciais, garantindo que todos os materiais estejam prontos e que os locais das atividades sejam acessíveis para todos os participantes.

Passo 3: Realização das atividades presenciais

Durante as atividades presenciais, os alunos devem ser capazes de visualizar de forma prática os conceitos aprendidos durante as aulas remotas. Isso pode ser feito através de visitas a afloramentos de rochas, onde os alunos podem observar as principais características das rochas com a ajuda de mapas geológicos, questionários e manuais de campo.

Passo 4: Rodas de conversa

Figura 23 – Roda de conversa para disseminar o conhecimento aprendido no decorrer do curso. (Araçoiaba da Serra-SP)



Fonte: Próprio autor

Realize rodas de conversa para discutir assuntos relativos às águas subterrâneas que os alunos tenham maior interesse. Para tanto, sugere-se um local de ensino ou qualquer outro espaço que seja adequado.

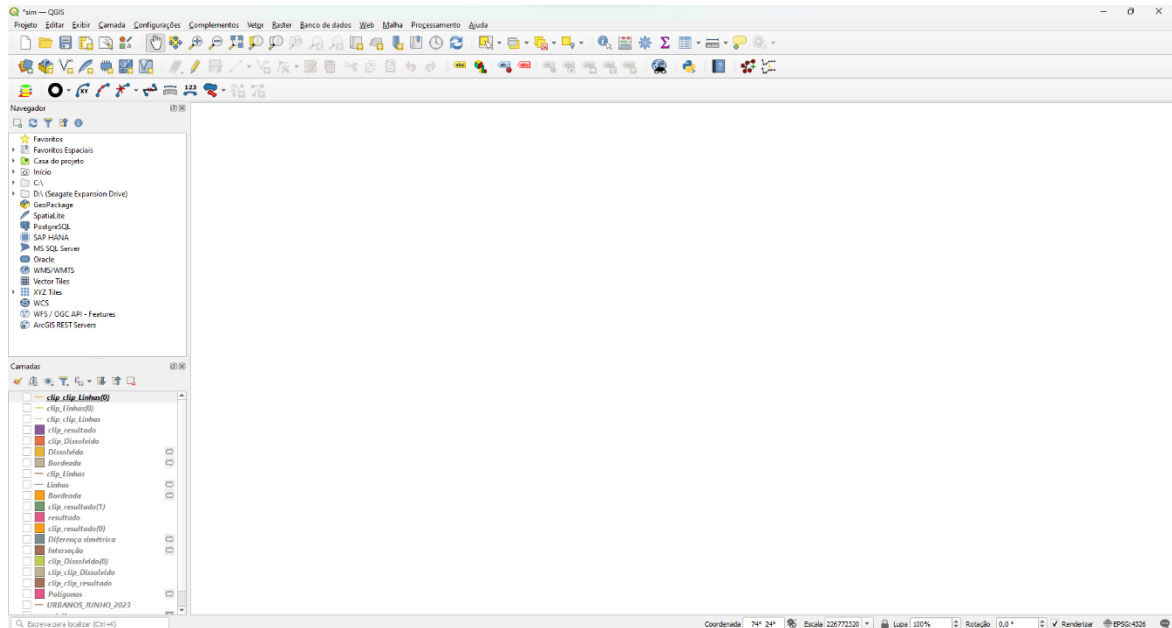
Passo 5: Avaliação das atividades presenciais

As atividades presenciais são uma parte crucial da estruturação de um curso, e devem ser bem planejadas e executadas para garantir que os alunos aprendam efetivamente. Além disso, a interação entre os estudantes e os materiais criados para guiar a atividade presencial são primordiais para seu desempenho favorável.

5.1.5 Tópico 5: Elaboração de tutoriais

Objetivo: Este tópico fornece orientações detalhadas sobre como elaborar tutoriais em SIG (Sistema de Informação Geográfica) para que os alunos e técnicos utilizem no seu dia a dia.

Figura 24 – Interface do software SIG QGIS



Fonte: Próprio autor

Passo 1: Identificação das operações em SIG

Identifique as operações em SIG que serão abordadas nos tutoriais, que devem ser relevantes para o conteúdo do curso e úteis para os alunos, podendo incluir:

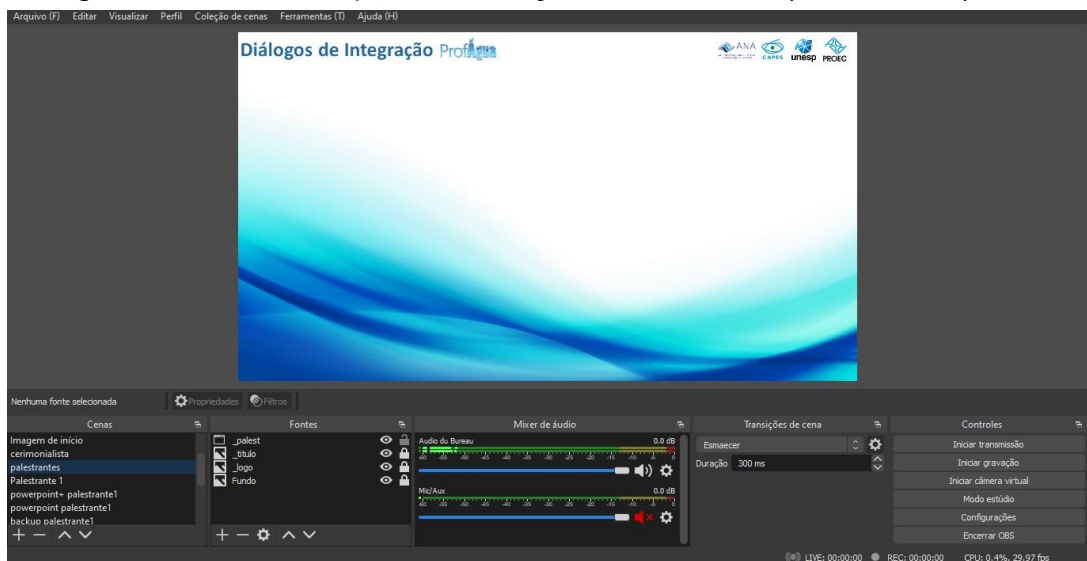
- Abrir camada e projeto
- Tipos de zoom
- Explicação do que é um projeto
- Montagem de projeto
- Formatação (por exemplo, cor) e como não perder a formatação

- Recorte de uma camada usando outra
- Buffer
- Várias formas de seleção de objetos
- Criação de uma camada (recorte) a partir de outra
- Junção de elementos (2 áreas; pontos)
- Criação de tabela de atributos
- Edição de tabela de atributos (apagar coluna, adicionar coluna etc.).

Passo 2: Elaboração dos tutoriais

Elabore os tutoriais com base nas operações identificadas, que devem ser claros, concisos e fáceis de seguir, podendo ser escritos em formato de manual ou ser criados como vídeos para facilitar a compreensão.

Figura 25 – Interface para elaboração dos tutoriais. (OBS Studio)



Fonte: Próprio autor

Passo 3: Teste dos tutoriais

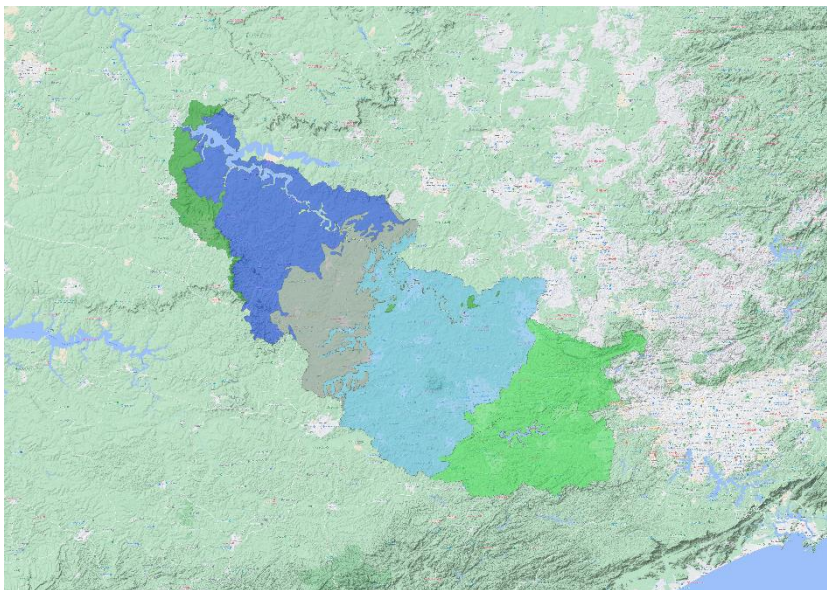
Teste os tutoriais para garantir que sejam eficazes e fáceis de seguir, realizando operações conforme descrito nos tutoriais.

Passo 4: Revisão e melhoria dos tutoriais

Com base no feedback e nos resultados dos testes, revise e melhore os tutoriais conforme necessário.

Passo 5: Disponibilização dos tutoriais

Figura 26 – Elaboração de mapas para localização dos Aquíferos



Fonte: Próprio autor

Finalmente, disponibilize os tutoriais para os alunos em um formato acessível e fácil de encontrar, de preferência de forma online para que os cursantes possam acessá-los de qualquer lugar e plataforma.

Lembre-se de que a elaboração de tutoriais é uma parte crucial da estruturação de um curso, os quais devem ser bem planejados e executados para garantir que os alunos possam aprender efetivamente as operações em SIG.

5.1.6 Tópico 6: Avaliação

Objetivo: Este tópico fornece orientações detalhadas sobre como realizar a avaliação para obter um retorno dos alunos para possíveis melhorias para os próximos cursos que forem feitos.

Passo 1: Identificação das dificuldades

Identifique as principais dificuldades enfrentadas pelos alunos durante o curso. Isso pode incluir a complexidade do conteúdo, a alta carga horária, dificuldades com aulas online de longa duração, a necessidade de familiaridade com novas tecnologias e a necessidade de deslocamento para o local de estudo.

Figura 27 – Formulário de Avaliação do Curso. (Google Forms)

Avaliação da aplicação do Curso de Águas subterrâneas aliado com o SIG

Este questionário faz parte dos resultados propostos, na dissertação de mestrado de Gabriel Lima Barbosa, onde desenvolveu atividades aplicadas no curso voltadas para o uso de SIG e montagem dos materiais para apresentação para os alunos.

Desta forma o intuito é mostrar se é fácil a implementação do curso, e quais pontos foram observados como desafio.

1) Como você classificaria a facilidade de aplicação da metodologia de ensino do curso aliado com o uso de SIG?

Ex: Utilização de mapas para os alunos se identificarem dentro da região de estudo.

Muito fácil

Fácil

Neutra

Difícil

Muito difícil

Outros...

Em sua opinião, a estrutura desenvolvida para a criação dos materiais facilitou o entendimento dos alunos durante as aulas sobre águas subterrâneas aliadas com os mapas

Fonte: Próprio autor

Passo 2: Avaliação do Perfil do Aluno

Avalie o perfil do aluno: alunos mais velhos podem ter mais dificuldade para aprender novas tecnologias ou podem ter menos interesse em estudar novos conteúdos, o que pode ser particularmente desafiador se eles estiverem fora do ambiente acadêmico há algum tempo.

Passo 3: Avaliação da desistência devido à alta carga horária

A alta carga horária pode ser uma barreira para alguns cursantes, especialmente aqueles que têm outras responsabilidades, como trabalho ou família. A duração das aulas, especialmente as online, que chegaram a 3 horas, pode ser

desgastante e alguns alunos acabam não tendo retenção de foco para acompanhar o conteúdo.

Passo 4: Avaliação da Complexidade do Conteúdo

O ensino de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a gestão de águas subterrâneas podem ser complexos e desafiadores, fator casos alunos tenham pouco conhecimento prévio nessas áreas.

Passo 5: Avaliação da necessidade de deslocamento

Cursantes que não têm fácil acesso ao local de estudo podem enfrentar dificuldades logísticas que com potencial de levá-los à desistência. A disponibilidade para ir até o local de trabalho do aluno foi um ponto forte do curso, pois é oferecido uma solução personalizada e conforme a necessidade da região do aluno.

Passo 6: Avaliação dos pontos fortes

Os pontos fortes do curso incluem a capacidade de transmitir conhecimento técnico e prático em SIG e gestão de águas subterrâneas, a possibilidade de personalizar o ensino para as necessidades dos alunos e a oportunidade para os egressos aplicarem o que aprenderam em seus próprios locais de trabalho.

Lembre-se de que a avaliação é uma parte crucial da estruturação de um curso., e ser realizada de forma contínua e abrangente para garantir a eficácia em atender às necessidades dos alunos.

5.2 PRINCIPAIS DIFICULDADES OBSERVADAS

No decorrer da realização do projeto de políticas públicas e na ministração do curso de SIG, foram identificadas algumas dificuldades que são descritas a seguir.

- Perfil do aluno: Alunos mais velhos podem ter mais dificuldade para aprender novas tecnologias ou podem ter menos interesse em estudar novos conteúdos. Isso pode ser particularmente desafiador se eles estiverem fora do ambiente acadêmico há algum tempo.

- Desistência devido à alta carga horária: A alta carga horária pode ser uma barreira para alguns alunos, especialmente aqueles que têm outras responsabilidades, como trabalho ou família. A duração das aulas, especialmente as online, que chegaram a 3 horas, pode ser desgastante e alguns alunos acabam não tendo retenção de foco para acompanhar o conteúdo.

- Complexidade do conteúdo: O ensino de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a gestão de águas subterrâneas podem ser complexos e desafiadores. Isso pode ser agravado se os alunos tiverem pouco conhecimento prévio nessas áreas.

- Necessidade de deslocamento: Alunos que não têm fácil acesso ao local de estudo podem enfrentar dificuldades logísticas que podem levar à desistência. A disponibilidade para ir até o local de trabalho do aluno foi um ponto forte do curso, pois oferecemos uma solução personalizada e conforme a necessidade da região do aluno.

Os pontos fortes do curso incluem a capacidade de transmitir conhecimento técnico e prático em SIG e gestão de águas subterrâneas, a possibilidade de personalizar o ensino para as necessidades dos alunos, e a oportunidade para os alunos aplicarem o que aprenderam em seus próprios locais de trabalho.

Os pontos fracos podem incluir a alta complexidade do material, a necessidade de familiaridade com novas tecnologias, a alta carga horária, dificuldades com aulas online de longa duração, e a necessidade de deslocamento para o local de estudo.

Em geral, os alunos que permaneceram no curso se beneficiaram muito dele, ganhando habilidades técnicas valiosas e compartilhando conhecimentos com os professores e entre si. No entanto, os desafios mencionados precisam ser considerados para melhorar a retenção e garantir que o curso seja acessível e útil para o maior número possível de alunos e municípios.

6 CONCLUSÕES

A criação de um curso com foco em águas subterrâneas utilizando a tecnologia SIG como base é uma tarefa complexa que requer planejamento cuidadoso e execução meticulosa. Cada um dos tópicos abordados neste manual desempenha um papel crucial na estruturação e implementação eficaz do curso.

A estruturação é o primeiro passo e estabelece a base para todo o curso. É aqui que se define seu conteúdo, os objetivos de aprendizagem e os recursos necessários.

A preparação de materiais de alta qualidade é fundamental para o sucesso do curso cujos materiais devem ser relevantes, informativos e fáceis de entender, servindo como a principal fonte de informação para os alunos e ferramenta vital para a aprendizagem.

As aulas online e as atividades presenciais são os principais métodos de entrega do conteúdo devendo ser bem planejados e executados para garantir que os alunos estejam engajados e aprendendo efetivamente.

Os tutoriais também são uma parte essencial, pois permitem que os alunos aprendam e pratiquem as operações em SIG. Eles devem ser claros, concisos e fáceis de seguir.

A avaliação é uma parte fundamental do processo de ensino e aprendizagem, a qual permite avaliar a eficácia do curso, identificar áreas que podem precisar de melhorias e fornecer feedback para os alunos sobre seu progresso e desempenho.

Dentro deste contexto, é essencial ressaltar a decisão de optar pela criação de um roteiro técnico em detrimento de um manual tecnológico. As tecnologias evoluem de forma tão rápida que qualquer manual pode se tornar obsoleto em pouco tempo. O roteiro técnico, por outro lado, permite a flexibilidade necessária para acompanhar essas mudanças, fornecendo diretrizes que podem ser adaptadas conforme as tecnologias avançam. Além disso, é fundamental que o tutor do curso tenha total domínio do conteúdo e conheça as particularidades da região onde o curso será aplicado, para que ele possa personalizar o conteúdo de acordo com as necessidades e realidades locais. Desta forma, o curso torna-se mais relevante, mais aplicável e, conseqüentemente, mais eficaz para os alunos. Isso contribui para um curso mais direcionado e personalizado, aumentando assim a chance de um aprendizado significativo e duradouro.

REFERÊNCIAS

- BARBADO, N.; LEAL, A. C. Cooperação global sobre mudanças climáticas e a implementação do ODS 6 no Brasil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e29110313290-e29110313290, 2021.
- BASKARAN, V. A systematic review on the role of geographical information systems in monitoring and achieving sustainable development goal 6: Clean water and sanitation. **Sustainable Development**, Oxford, v. 30, n. 5, p.1417–1425, 2022.
- BOSCARDIN BORGHETTI, Nadia R. B. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos ambientais, 2004.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA E MÉDIO TIETÊ - CBH-SMT. **Relatório de Situação**. São Paulo: CBH-SMT, 2022.
- CHAKRABORTI, A.K. Strategies for Watershed Management planning using remote sensing technique. **J Indian Soc Remote Sens**, New Delhi, v. 21, n. 87, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02996346>
- CHANG, Kang-Tsung. **Introduction to geographic information systems**. 9. ed. Boston: McGraw-Hill, 2018.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **SIDAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas**. São Paulo: DAE, 2017.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **SOE – Sistema de Outorga Eletrônica**. São Paulo: DAE, 2017.
- SÃO PAULO (2005) Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000. Coordenação geral Gerônimo Rocha. DAEE–Departamento de Águas e Energia Elétrica. IG–Instituto Geológico. IPT–Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. CRPM Serviço Geológico do Brasil.
- HILL, L. Mentimeter: A tool for actively engaging large lecture cohorts. **Academy of Management Learning & Education**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 256-258, 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa topográfico**. Escala 1:50.000. São Paulo: IBGE, 1970.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC. **Mapa topográfico**. Escala 1:10.000. São Paulo: Editora, 1970.
- IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do estado de São Paulo**. São Paulo: SMA, 2012. 104 p.
- KUMAR, Abhishek; NCTEVA-DE, Reg No-. Designing the teaching learning process in teacher education using open broadcaster software. **International Res Jour Managt Socio Human**, [S. l.], v. 13, n. 1, 2021.

MANZIONE, R. L. **Águas subterrâneas**: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. Jundiaí: Paco editorial, 2015. 388 p.

NASUTION, Atika Rahmah; NANDIYANTO, Asep Bayu Dani. Utilization of the google meet and quiziz applications in the assistance and strengthening process of online learning during the COVID-19 pandemic. **Indonesian Journal of Educational Research and Technology**, Bandung v. 1, n. 1, p. 31-34, 2021.

ORTIGARA, A. R. C.; KAY, M.; UHLENBROOK, S. A Review of the SDG 6 Synthesis Report 2018 from an Education, Training, and Research Perspective. **Water**, [S. l.], v. 10, n. 10, 1353, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10101353>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/10/1353>. Acesso em: 21 mar. 2022.

PINHEIRO *et al.*, Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal: INPE, 2009, p. 4247-4254.

QGIS Geographic Information System. [S. l.]: QGIS Association, 2022. Disponível em: <http://www.qgis.org>. Acesso em: 21 mar. 2022.

RUGGIERO, M. H., FERREIRA, M. D., & OLIVEIRA, E. Z. A utilização de banco de dados em pesquisas sobre águas subterrâneas. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ÁGUAS, 1., 2015, Uberaba. **Anais [...]**. Uberaba: SASGEO, 2015.

SAAB, David. **Conceptualizing Space**: mapping schemas as meaningful representations. 2003. Thesis (Master of Arts in Intercultural Relations) – Lesley University, Cambridge, 2003. DOI: 10.13140/2.1.3030.1767.

SADOFF, C.W.; HALL, J.W.; GREY, D.; AERTS, J.C.; AIT-KADI, M.; BROWN, C.; COX, A.; DADSON, S.; GARRICK, D.; KELMAN, J.; *et al.* **Securing Water, Sustaining Growth**: report of the Global Water Partnership, Organization for Economic Co-Operation and Development Task Force on Water Security and Sustainable Growth. Oxford: University of Oxford, 2015.

SCHMITT, A; MOREIRA, C. R. Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o software gratuito Quantum-GIS. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, Edição Especial, p. 125 – 137, 2015.

SOUZA, S.C. & DOURADO, L. Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. **HOLOS**, Natal, v. 5, p. 182-200, 2015.

STERN, C.; SCHAAB, G. Training students in Python programming skills and WPS wrapping for geoprocessing tasks by using examples of less commonly Applied thematic mapping methods. **AGILE**: GIScience Series, v. 2, p. 1-10, 2021.

TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. [S.l: s.n.], 2009.

THAKUR P.K. *et al.* Role of geospatial technology in hydrological and hydrodynamic modeling-with focus on floods studies. *In*: PANDEY A., CHOWDARY V.M., BEHERA M.D., SINGH V.P. (eds). **Geospatial technologies for land and water resources management**. [S. l.]: Springer Cham, 2022. *E-book*. (Water Science and Technology Library, v. 103). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-90479-1_26.

USMANI, Raja Sher Afgun *et al.* Geographic information system and big spatial data: a review and challenges. **International Journal of Enterprise Information Systems - IJEIS**, Hershey, v. 16, n. 4, p. 101-145, 2020.

ANEXO – CURSO DE TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO SOBRE ÁGUAS

Curso de TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO sobre águas subterrâneas

GLOSSÁRIO DE TERMOS HIDROGEOLÓGICOS E GEOLOGICOS



EXECUÇÃO

Amélia João Fernandes (IPA-SIMA, coordenação)
 Andrea Segura Franzini (CPRM)
 Beatriz Helena Martins (Bolsista Fapesp)
 Gabriel Lima Barbosa (Bolsista Fapesp)
 José Luiz Albuquerque (IPT)
 Marta Deucher (IPA-SIMA)
 Roberto Kirchheim (CPRM)
 Veridiana Martins (IGc-USP)

Financiamento



PROJETO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

EQUIPE PARCEIRA

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

DEZEMBRO
2021

**Transferência de Conhecimento visando a Gestão de Águas Subterrâneas na Bacia
Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê**

As definições e explicações associadas aos termos apresentados aqui têm como objetivo fornecer ao leitor conhecimento a respeito de termos que se aplicam às águas subterrâneas, e à gestão de recursos hídricos no Estado de São Paulo.

Ressaltamos que o material se encontra em processo de elaboração e deve ter termos adicionados conforme as atividades avançam, e conseqüentemente o vocabulário a respeito do assunto se expande.

A

Água Subterrânea – Água existente abaixo da superfície do terreno, circulando nos espaços (poros) entre os grãos que formam os solos e as rochas sedimentares (Figura 1, 3). A água também pode circular através de fraturas em rochas muito compactas. As fraturas são o resultado de ruptura das rochas, devido à movimentação da crosta terrestre. Assim como a água superficial dos rios, a água subterrânea também flui continuamente, mas com velocidades muito mais baixas que a água de rio. Velocidades comuns da água subterrânea são da ordem de mm a cm por dia.

Aquiclude – Camadas geológicas saturadas (ou seja, seus poros estão totalmente preenchidos por água), de muito baixa permeabilidade e, por isso são incapazes de transmitir volumes de água com velocidade suficiente para serem extraídas através de poços ou nascentes praticamente impermeáveis. Os aquitardes também são camadas geológicas saturadas de baixa permeabilidade, mas não tão baixa quanto a dos aquicludes. Por exemplo, um aquiclude seria formado por argila e um aquitarde, por argila arenosa (Figura 12). Ambos funcionam como camadas confinantes (Figura 21), devido à baixa ou muito baixa capacidade de transmitir água às rochas adjacentes. *(Ver também permeabilidade)*

Aquífero – Formações geológicas capazes de armazenar e transmitir água através de seus poros intergranulares, fraturas, ou espaços resultantes de dissolução (ex.: cavernas em calcários), em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos (Figuras 3,4).

Aquífero confinado – Refere-se à formação geológica permeável (aquífero) delimitada acima e abaixo por formações pouco permeáveis (aquitarde) ou impermeáveis. Estas são chamadas de camadas confinantes, pois impedem o fluxo vertical da água do aquífero (Figura 21). Portanto, o aquífero confinado não possui zona não-saturada e o aquífero está submetido a uma pressão maior que a atmosférica.

Aquífero cristalino – *(Ver Aquífero fraturado)*

Aquífero fraturado – Reservatório de água subterrânea, onde a água está armazenada em fraturas ou fissuras de rochas ígneas, metamórficas e algumas sedimentares. Quanto maior for a quantidade de fraturas na rocha, interligadas e preenchidas com água, maior será a permeabilidade e potencialidade do aquífero em fornecer água. Rochas ígneas e metamórficas não fraturadas não armazenam e não transmitem água, sendo denominadas de aquífugos. Na BH-SMT, o Serra Geral (basaltos) e o Cristalino (rochas ígneas e metamórficas) são aquíferos fraturados (Figura 11,16)

Aquífero granular - Aquíferos em que a água está armazenada nos vazios entre os grãos entre os grãos que constituem as rochas. São constituídos por rochas sedimentares, e como a porosidade está intimamente ligada ao tipo de rocha, muitas vezes é denominado de

aquífero sedimentar. Na BH-SMT, o Guarani e o Tubarão são aquíferos granulares (Figura 10,16).

Aquífero heterogêneo – O termo heterogêneo em geral se refere à variação de porosidade e permeabilidade (propriedades hidráulicas) dos materiais que constituem o aquífero. Quando um único aquífero é constituído por camadas ou porções de diferentes propriedades hidráulicas, diz-se que ele é heterogêneo. Aquíferos fraturados são intrinsecamente heterogêneos, porque o grau de fraturamento de uma rocha, e consequentemente o potencial de produção, varia muito em curtas distâncias. Dessa forma é muito difícil prever qual será a vazão de um poço nesses aquíferos. Na BH-SMT, o Cristalino é um exemplo de aquífero heterogêneo, assim como o Tubarão (Figura 16).

Aquífero homogêneo – Diz-se do aquífero cuja porosidade e permeabilidade são relativamente homogêneas, ou uniformes, em toda sua extensão. Uma consequência disso é que é possível prever, com boa chance de acerto, a vazão que será obtida com um poço. Na BH-SMT, o Guarani é um exemplo de aquífero homogêneo (Figura 16).

Aquífero livre – Reservatório de água subterrânea no qual o limite superior é o lençol freático (Figuras 20,21), também chamado de superfície freática. Esse aquífero encontra-se submetido à pressão atmosférica. Geralmente, também é designado como *aquífero freático*.

Aquífero semi-confinado – Quando ao menos uma das camadas limítrofes do aquífero é semipermeável (aquitarde), permitindo a entrada ou a saída de água, apesar desse fluxo ser muito lento.

Aquífero suspenso – Caso especial de aquífero livre de ocorrência local, formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável, de formato lenticular e pequena extensão lateral e que está contida na zona não-saturada regional (Figuras 22, 23). Após a água da chuva se infiltrar no solo, ela percola a zona-não saturada. Ao encontrar uma barreira, de dimensão restrita, como uma lente argilosa, a água pode se acumular e ficar armazenada temporariamente, formando o que chamamos de *aquífero suspenso*.

Aquífero – (*Ver aquífero fraturado*).

Aquitarde – (*Ver Aquiclude*).

C

Capacidade específica – Relação entre a vazão (m^3/h), praticada em um teste de bombeamento, e o rebaixamento (m) do nível d'água no poço durante o teste (Figura 18). É expressa em $m^3/h/m$ e também é chamada de *Vazão Específica*. (*Ver também cone de rebaixamento*)

Ciclo Hidrológico – Movimento contínuo da água entre a hidrosfera, biosfera e a atmosfera de maneira cíclica (Figura 2). O movimento da água ocorre de um reservatório para outro por meio de processos físicos como evaporação, condensação, precipitação, infiltração e escoamento superficial.

Cone de rebaixamento – Ao bombearmos a água de um poço tubular, o nível da água subterrânea ajusta-se a este bombeamento formando um *cone de rebaixamento* ao redor do poço (Figura 18). Esta é a resposta natural a qualquer bombeamento de um poço.

Cuestas – As *cuestas* são definidas como uma forma de relevo assimétrico, composta por uma vertente em declive íngreme de um lado e uma rampa em declive suave do outro lado; esta rampa é chamada de reverso da *cuesta*. Elas são decorrentes de processos específicos de erosão diferencial das rochas. Um exemplo clássico deste tipo de relevo são as *cuestas* de basalto da porção central do Estado de São Paulo; na BH-SMT a *cuesta* de basalto está na região de Botucatu (Figura 16).

E

Escoamento subsuperficial – Escoamento ou fluxo lateral de água subterrânea, que ocorre em pequena profundidade (menor que 1 m até poucos metros) e dentro da zona não-saturada (Figura 2b), devido à saturação temporária de um dado horizonte do solo. Essa saturação acontece durante ou logo após um evento chuvoso, devido a contrastes de permeabilidade entre as camadas do solo.

Escoamento superficial – Processo pelo qual a água de chuva, ao se precipitar na superfície terrestre, flui, por ação da gravidade, sobre a superfície do solo na forma de filetes de água ou sob a forma de cursos d'água (Figura 2).

Evapotranspiração – A evapotranspiração refere-se à transferência de vapor à atmosfera por meio da transpiração das plantas combinada com a evaporação (Figura 2b). O processo envolve a evaporação da água de superfícies de água livre (rios, lagos, represas, oceano etc.), dos solos e da vegetação úmida (que interceptou água da chuva), além da transpiração das plantas.

F

Fissura – (*Ver Fratura*)

Fluxo de base – Porção da vazão ou fluxo de um curso d'água proveniente da água subterrânea, ou seja, corresponde à descarga de água subterrânea para o sistema de água superficial.

Fratura – Quebra planar ou subplanar da rocha (Figuras 11,15). Esses planos são muito grandes (desde metros até dezenas de metros, podendo chegar a centenas de metros, nas duas dimensões), mas o espaço entre as superfícies das fraturas é muito estreito, em geral é uma pequena fração de mm. No entanto, uma abertura de 1 mm já faz com que a fratura seja muito permeável. As fraturas são resultado de uma tensão, devido geralmente ao movimento das placas tectônicas, mas também a outros fatores, como o esfriamento da rocha.

Formação geológica - Unidade mapeável constituída por rochas que apresentam características geológicas comuns, que a distingue de outras ao seu redor, incluindo composição, ambiente de formação etc.

H

Hidrograma – O *hidrograma* de um rio é um gráfico que relaciona a vazão (na ordenada) e o tempo (na abscissa), representando a variação da vazão ao longo de um determinado período.

I

Infiltração – Entrada de água no subsolo; após essa entrada o fluxo de água na zona não saturada é vertical e quando chega no lençol freático, recarrega o aquífero (Figura 5, 20). Constitui um processo importante para recarga de água no subsolo e depende de fatores como tipo de materiais, seja solo, sedimento ou rocha, expostos na superfície, cobertura vegetal, topografia, quantidade de precipitação e ocupação do solo.

L

Lençol freático – Limite entre a zona não saturada e a zona saturada, tecnicamente definido como a superfície sobre a qual a pressão da água é igual à pressão atmosférica (Figura 3,5). O termo *superfície freática* é sinônimo de *lençol freático*.

Litologia – Termo utilizado com frequência como sinônimo de tipo de rocha, por exemplo "as litologias presentes no Aquífero Tubarão são lamitos, arenitos, siltitos e ritmitos". Existem três tipos básicos de litologias, ou rochas: sedimentares, ígneas e metamórficas. (*Ver também Rocha*)

M

Mapa de vulnerabilidade de aquíferos – A vulnerabilidade de um aquífero é a sua suscetibilidade à contaminação. Os mapas de uma determinada região fornecem uma avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas a um poluente com base nas propriedades hidrogeológicas (principalmente permeabilidade) dos materiais que constituem o aquífero e das suas camadas confinantes, caso estas existam. O *mapa de vulnerabilidade de aquíferos*, junto com ferramentas de planeamento de uso e ocupação do solo, auxilia na identificação de estratégias visando a preservação dos recursos hídricos.

Mapa geológico – Encontram-se representados em *mapas geológicos* a distribuição, na superfície do terreno, das rochas existentes em uma dada região. Essas rochas resultam da evolução geológica, que se desenrolou em um longo período (milhões a bilhões de anos), e que permitiu a formação das rochas e das estruturas geológicas (ex.: fraturas) nelas presentes.

Monitoramento – Conjunto de práticas que acompanham determinadas características de um sistema com um objetivo específico. No monitoramento de qualidade da água, por exemplo, são acompanhadas alterações em parâmetros físicos, químicos e biológicos. De acordo com o objetivo a ser atendido, tem-se a definição da localização de pontos de monitoramento, periodicidade e tipo de parâmetros monitorados.

N

Nascente – Local onde se inicia um curso de água, caracterizado pelo lugar de maior altitude desse curso onde seu trecho de drenagem mais a montante (primeiro trecho) surge no terreno com ou sem escoamento superficial de água. Pode ser definida também como o afloramento da água subterrânea ou onde o nível freático intercepta a superfície do terreno (Figura 23).

Nível dinâmico (ND) – É a maior profundidade do nível da água, dentro de um poço, atingido durante um teste de bombeamento de duração adequada (em geral maior que 20 hs) (Figura 18). O nível d'água no poço, antes do teste ser iniciado, é chamado de nível estático. Assim que o bombeamento começa, o nível d'água no poço é rebaixado progressivamente até chegar numa profundidade que se estabiliza, ou seja, o bombeamento continua, mas não há mais rebaixamento. É medido em metros a partir do solo e está sempre associado a uma determinada vazão, de modo que vazões maiores produzem níveis dinâmicos mais profundos. Rochas permeáveis produzem NDs mais rasos, e as menos permeáveis, NDs mais profundos.

Nível estático – É a profundidade da água dentro do poço medida logo após sua perfuração e em repouso (sem bombeamento), sendo medida em metros, a partir do solo (Figura 18). (*Ver também nível dinâmico*).

P

Perfil construtivo de um poço – É a representação gráfica dos aspectos construtivos do poço, envolvendo os diâmetros e profundidades perfuradas, o revestimento, filtros, espaço anular cimentado e encascalhado, acompanhado da respectiva descrição.

Perfil litológico de um poço – É a representação gráfica das litologias atravessadas durante a perfuração de um poço, acompanhado das descrições litológicas e estratigráficas (nome das formações geológicas), usualmente apresentado junto com o perfil construtivo.

Perímetro de proteção de poços – O *perímetro de proteção do poço* é a área ao redor do poço definida com a finalidade de impedir que o manancial de abastecimento de água subterrânea seja contaminado por atividades antrópicas. A sua dimensão e forma irá variar de acordo com as características hidrogeológicas locais.

Permeabilidade – Capacidade de um meio poroso de permitir a passagem de fluidos. Trata-se de uma medida indicativa da velocidade do fluxo dos fluidos contidos nos poros de um material geológico. Quando os poros são abundantes, grandes e conectados a permeabilidade é grande (Figuras 12,13). A condutividade hidráulica é a permeabilidade do material com relação ao fluxo de água. (*Ver porosidade efetiva*)

Planície aluvial – Porção plana do vale do rio que é coberta pela água durante os períodos de inundação, correspondendo, ao chamado leito maior. Muitas planícies são lugares de deposição atual de sedimentos e o seu subsolo é constituído de sedimentos aluviais (Figura 27). Planícies aluviais em geral são zonas de descarga local a regional.

Poço artesian – O *poço artesian* ou *jorrante* refere-se à condição em que o nível potenciométrico da água encontra-se acima do terreno, e o poço ou perfuração de sondagem atinge um aquífero onde a água tem pressão suficiente para jorrar na superfície.

Poço cacimba – Poço raso, com profundidades geralmente inferiores a 30 m, e de grande diâmetro, entre 1 e 1,5 m. É utilizado para extrair água de aquíferos livres cujo lençol freático é raso. Normalmente são revestidos com tijolos ou anéis de concreto. É utilizado frequentemente em pequenas propriedades rurais, sendo conhecido como *poço escavado*, *caipira* ou *amazonas*.

Poço tubular – O poço tubular profundo é uma obra de engenharia e é perfurado com equipamento motorizado. Possui revestimento pelo menos até atingir a rocha, para proteção sanitária, e, dependendo da rocha, também é necessário instalar filtros.

Apresentam pequenos diâmetros, entre 10 e 50 cm, enquanto as profundidades variam de dezenas a centenas de metros, com capacidade de produção de água muito superior a um poço cacimba. Quanto maior a profundidade e a produtividade do aquífero, maior deve ser o diâmetro do poço tubular.

Porosidade – Propriedade física definida pela relação entre o volume de poros e o volume total de um certo material (Tabela 1).

Porosidade efetiva – Relação entre o volume total de espaços vazios interconectados e o volume total do meio (rocha ou sedimento). Também é conhecida como *porosidade conectada*.

Porosidade intergranular – Refere-se aos poros entre os grãos que formam um sedimento ou rocha sedimentar. É na porosidade que se dá o armazenamento de água (Figuras 3,5,6,10). Também é conhecida como *porosidade primária*.

Porosidade de fraturas – É a porosidade dada pela presença de fraturas nas rochas. Nesta condição, a água ocupa os espaços/aberturas de fraturas interconectadas (Figuras 11,15). Também é conhecida como *porosidade secundária*.

Potabilidade – A potabilidade relaciona-se à adequação da água a condições apropriadas para o consumo humano. Portanto, para a água ser considerada potável deve atender um conjunto de parâmetros e respectivos limites definidos em legislação para que esteja adequada ao consumo humano.

R

Recarga – Processo por meio do qual um aquífero recebe água. A recarga pode ocorrer naturalmente por meio de infiltração da precipitação ou da água de superfície (figura 7), ou ainda artificialmente. (*Ver infiltração*)

Rio efêmero – Possui água somente durante e após as chuvas, permanecendo secos a maior parte do ano (Figura 26).

Rio intermitente – Curso d'água que fica seco durante parte do ano, em geral durante e um período após a estação seca do ano. Isto acontece devido à oscilação da profundidade do lençol freático durante o ano (Figura 26).

Rio perene - Drenam água ao longo de todo o ano e a vazão aumenta para jusante. A vazão se mantém durante e depois da estação seca porque os rios perenes são alimentados pela água subterrânea durante o ano inteiro (Figura 26).

Rocha – Agregado coeso e natural de substância minerais, resultantes de um processo geológico determinado. As rochas são de três tipos principais: ígneas (ex.: granito,

basalto), sedimentares (ex.: arenito, siltito) e metamórficas (ex.: gnaisse, xisto) (Figuras 12, 13, 15).

S

Seção geológica – Representação gráfica de um corte vertical no terreno que mostra a distribuição das camadas geológicas que constituem o subsolo (Figuras 16,19). A seção é elaborada a partir de dados coletados em exposições de rochas, com eventual integração com dados de sondagens, poços, galerias, geofísica e outros. Também é conhecido como *perfil geológico*.

Sedimento – Material sem coesão constituído por partículas (Figura 14) originadas por intemperismo e erosão de rochas e solos. As partículas podem ser transportadas e por vários agentes geológicos (água, vento, gelo, gravidade etc.) e se acumulam em depressões geográficas. Por processos químicos e de compactação, que ocorrem em profundidade, os sedimentos tornam-se coesos, ou seja, tomam-se rochas sedimentares (figuras 12 e 13).

Segurança hídrica – Capacidade de uma população de assegurar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água com qualidade aceitável para a subsistência, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, garantindo a proteção contra a poluição e desastres relacionados com a água, visando a preservação dos ecossistemas.

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasileiro (CPRM).

SIDAS – Sistema de Informação de Águas Subterrânea, do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE).

SIPOL – Sistema de Informações de Fontes de Poluição, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Solo – Camada mais superficial do subsolo, que suporta e mantém as plantas. É considerado um sistema trifásico pois divide-se na fração sólida (material parental local ou transportado, e matéria orgânica), fração líquida (água) e fração gasosa (ar).

Super-exploração – Situação em que as extrações de água subterrâneas são superiores ou próximas aos volumes da recarga. Um aquífero é considerado superexplorado quando um efeito negativo persistente é percebido, como o rebaixamento contínuo dos níveis de água, deterioração progressiva da qualidade da água, aumento no custo da extração ou danos ecológicos.

Superfície potenciométrica – A altura do nível da água no poço corresponde ao nível potenciométrico da água. Em três dimensões, o conjunto de vários níveis potenciométricos define a superfície potenciométrica da água.

T

Teste de vazão – Consiste em bombear o poço durante um determinado tempo para determinação de uma vazão de extração adequada para o poço e do nível dinâmico correspondente (Figura 18). Também é conhecido como *teste de bombeamento* e *teste de produção*.

V

Vazão do poço – Volume de água extraída em uma unidade de tempo, geralmente em m³/hora, 1 m³ = 1000 litros. A vazão de extração adequada varia em função da permeabilidade do material. Por exemplo, poços que exploram materiais permeáveis, como arenitos (rochas que constituem o Guarani), serão mais produtivos e vazões de 10 a 80 m³/h são comuns. Já poços explorando rochas menos permeáveis (arenitos silto-argilosos, lamitos, siltitos, argilitos) terão vazões menores (< 10m³/h) ou podem mesmo ser secos.

Z

Zona saturada – A *zona saturada* encontra-se abaixo do lençol freático (superfície freática) (Figura 5). Os poros dos materiais geológicos que constituem essa zona, encontram-se totalmente preenchidos por água.

Zona não-saturada – A zona não-saturada é aquela situada acima do lençol freático (superfície freática) (Figura 5), e os poros dos materiais dessa zona estão preenchidos por ar e por água. Também é conhecida como *zona vadosa*, *zona de aeração* ou *zona insaturada*.

Zona de recarga – Área em que ocorre infiltração de água capaz de alimentar o aquífero (Figuras 20,21).

Zona de descarga – Área em que as águas subterrâneas emergem naturalmente do aquífero, formando nascentes ou alimentando rios (Figuras 6,20). Os poços são pontos de descarga artificial.



Figura 1. A água subterrânea é armazenada em aquíferos, que são grandes reservatórios situados no subsolo. A água subterrânea está em constante fluxo, de áreas mais elevadas para mais baixas. Nas regiões com chuvas mais abundantes (ex.: clima tropical) alimentam os cursos de água superficial (ex, rios) e constituem o seu fluxo de base.

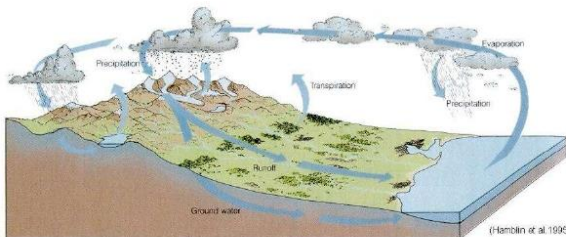


Figura 2a. A água no planeta está em constante movimento, passando de um reservatório para outro, na forma de água, vapor e até mesmo gelo. O seu movimento segue um ciclo: a água do mar evapora e sobe na atmosfera, a seguir são formadas nuvens que se deslocam para o continente. Das nuvens vem a chuva que cai sobre o continente e sobre o mar. A chuva quando cai sobre o solo e vegetação pode escoar pela superfície, alimentando diretamente os rios e lagos. Mas uma parte da chuva infiltra no solo e recarrega os aquíferos. A água dos aquíferos flui, no subsolo, e chega aos rios e lagos. A água dos rios chega ao oceano e tudo começa de novo.

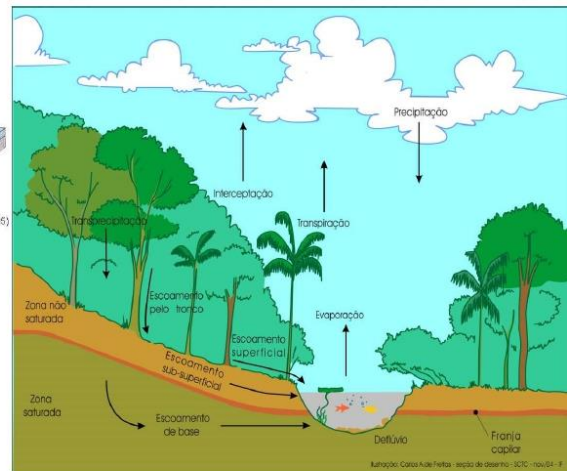


Figura 2b. No continente, a água percorre vários caminhos e isso envolve os processos de evaporação, evapotranspiração da vegetação, escoamento superficial e subsuperficial, além de fluxo no aquífero (zona saturada).

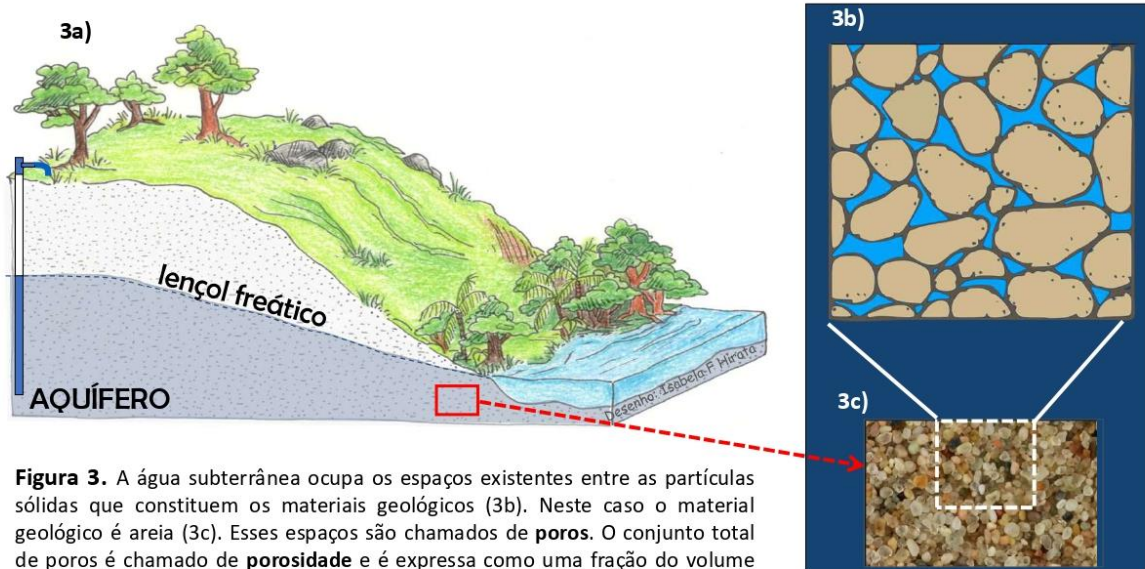


Figura 3. A água subterrânea ocupa os espaços existentes entre as partículas sólidas que constituem os materiais geológicos (3b). Neste caso o material geológico é areia (3c). Esses espaços são chamados de **poros**. O conjunto total de poros é chamado de **porosidade** e é expressa como uma fração do volume total (volume de poros/volume total) (Tabela 1). O **lençol freático** (3a) é a superfície que constitui o limite superior do aquífero livre.



Figura 4. Aquíferos são formações geológicas capazes de armazenar e transmitir água através de seus poros (ver figuras 3, 10, 11) em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos. Portanto os poços perfurados em aquíferos, ao contrário dos aquitardes e aquicludes, são capazes de fornecer água em quantidade significativa (4a). No cartum ao lado (parte 4c), vemos as gotas de água serem puxadas para o poço; isto acontece quando o poço está sendo bombeado (4b). A representação em 4c, as partículas sólidas parecem boiar na água, mas na verdade essas partículas encostam umas nas outras.

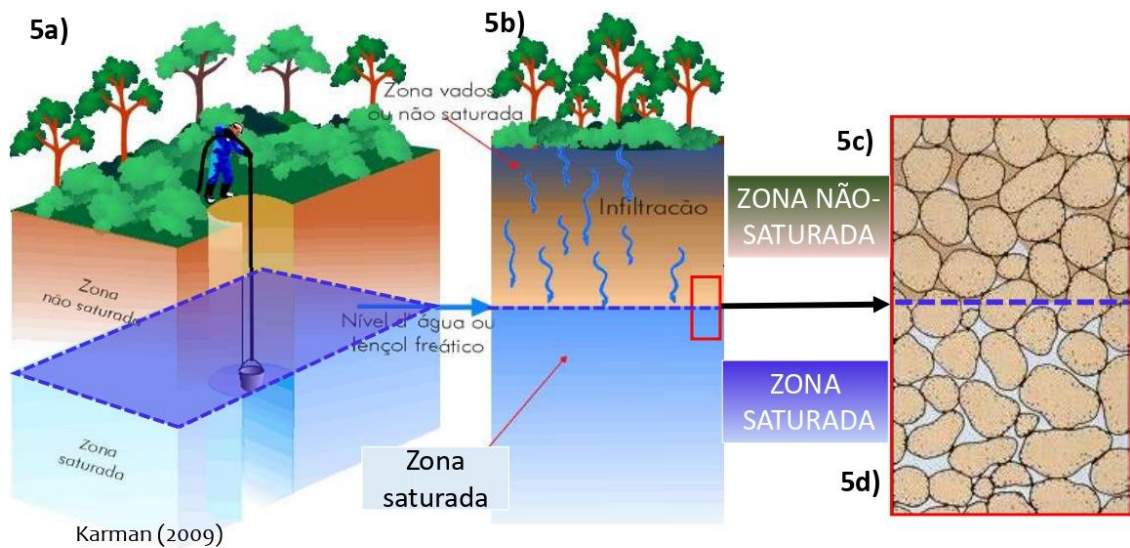


Figura 5. Um poço encontra água assim que atravessa o lençol freático (5a), que é o limite superior do aquífero. Acima do lençol freático está a zona não-saturada (5b), ou seja, a parte em que os poros dos materiais do subsolo estão preenchidos por ar e por água (5c). Abaixo do lençol freático, está a zona saturada (5b), ou seja, a parte em que todos os poros, dos materiais do subsolo, estão preenchidos por água (5d). A água da chuva, ao sofrer infiltração no solo, percorre toda a zona não-saturada antes de chegar no lençol freático. Quando isso acontece, diz-se que o aquífero sofreu recarga.

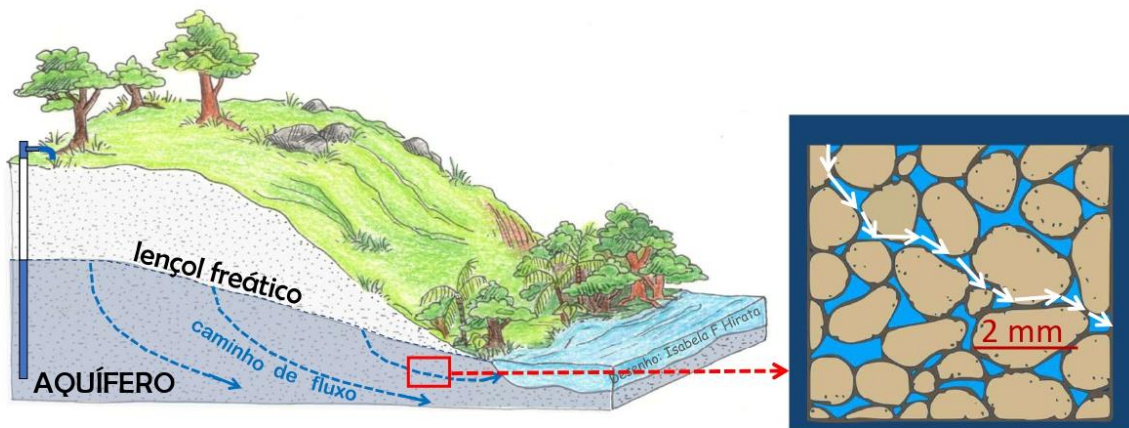


Figura 6. A água subterrânea em aquíferos está em constante fluxo de áreas mais altas para as mais baixas. Esse fluxo acontece por causa da gravidade e é possível devido ao fato de existirem poros conectados nos materiais que constituem os aquíferos. A água subterrânea flui ao longo de caminhos de fluxo que podem ser desde curtos até muito longos. Esses caminhos ligam áreas de recarga a locais de descarga. Os locais de descarga, para o aquífero livre, são os corpos de água superficial, como mostrado na figura à esquerda. A figura à direita mostra um detalhe muito ampliado de um caminho de fluxo. A água superficial dos rios flui rapidamente, mas a velocidade da água subterrânea é muito menor, e valores de mm a cm/dia são comuns. É por esse motivo que as oscilações de profundidade do lençol freático, mesmo passando por períodos de seca, são relativamente pequenas.



Figura 7. A profundidade do lençol freático oscila ao longo do ano em vista da variação da quantidade de chuva. A linha tracejada representa a profundidade média do lençol; essa é a profundidade representada no poço. A linha 1 é a que acontece depois de haver muita infiltração da água da chuva no solo, durante a estação chuvosa, causando a **recarga**. Ao final dessa estação, o lençol freático estará mais raso. A linha 2 é a que acontece depois da estação seca; o lençol freático rebaixa porque na estação seca as chuvas são escassas e não há infiltração.

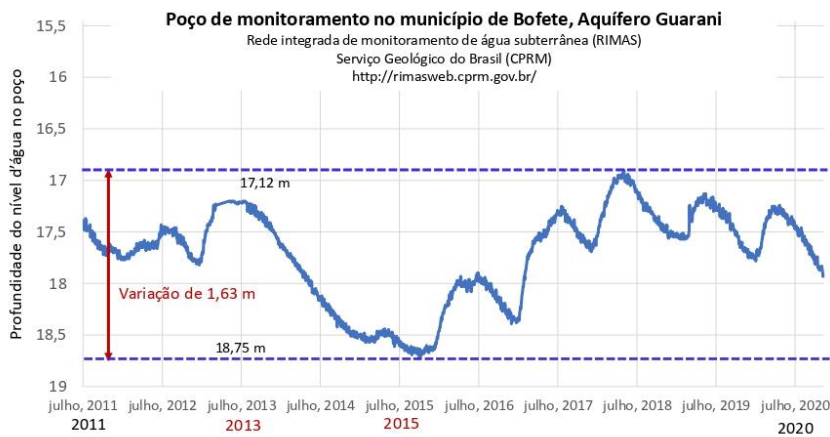


Figura 8. Para saber o valor dessas oscilações de profundidade é necessário fazer monitoramento, ou seja, medir a profundidade do nível d'água dentro de poços. É isso que o Serviço Geológico do Brasil faz através da RIMAS. O gráfico acima mostra a variação da profundidade do nível d'água (NA) no poço. Esse NA mostra a profundidade do lençol freático no local do poço. Notar que a variação do NA, em período de 10 anos, foi apenas 1,63m apesar de ter passado por um forte período de seca de 2013 a 2015.

Figura 9. Da mesma forma que no gráfico acima, este mostra a variação do NA no Poço de monitoramento no município de Bastos. Trata-se de poços da Rede integrada de monitoramento de água subterrânea (RIMAS), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (<http://rimasweb.cprm.gov.br>)

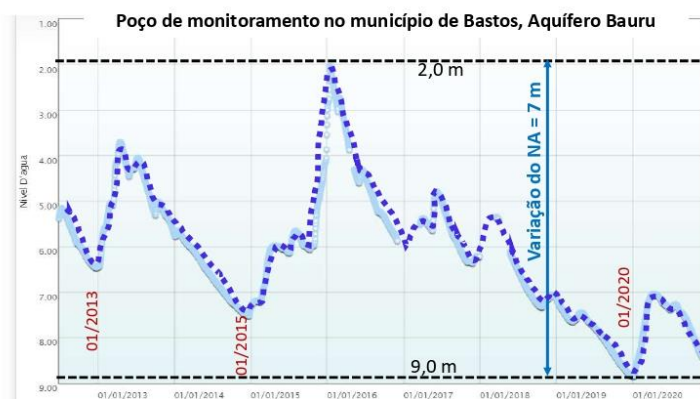


Figura 10.

- a) A areia da foto é formada por partículas cujo tamanho varia de 0,02 a 2,0 mm. Assim, existem desde areias finas até grossas. O espaços entre os grãos são chamados de poros e, no seu conjunto, são chamadas de porosidade. No caso da areia e de outros materiais sedimentares (ver nas figuras 12 e 13), a porosidade formada pelos espaços entre os grãos, sendo denominada de **porosidade intergranular**. Os poros da porosidade intergranular estão presentes em todo o material que forma o sedimento ou a rocha.
- b) Representação ampliada de uma porção da areia acima, mostrando os grãos e poros com mais detalhe. Neste caso, todos os poros estão preenchidos por água (azul).

Os aquíferos formados por sedimentos ou rochas sedimentares possuem porosidade intergranular e tem um comportamento mais homogêneo do que os aquíferos fraturados (ver abaixo). Assim, quando perfuramos poços em aquíferos de porosidade intergranular temos uma boa ideia da vazão que esse poço pode dar.

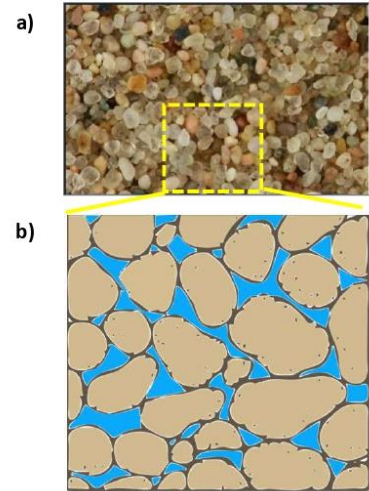
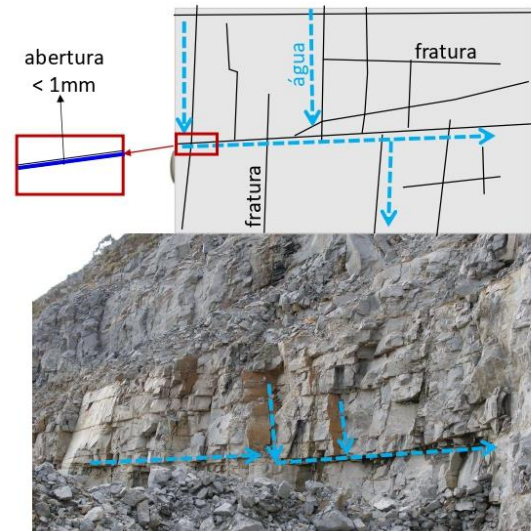
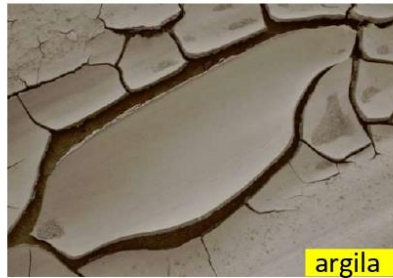


Figura 11. A foto mostra uma parede de granito em uma pedreira. Essa rocha é dura e muito compacta e não possui porosidade intergranular, pois os minerais que a formam estão todos muito juntos. Por isso, a **porosidade é dada por fraturas e os aquíferos são denominados de fraturados**. As fraturas, também chamadas de fissuras, são quebras na rocha que ocorrem na forma de planos e que na foto são vistas principalmente como linhas. Quando as fraturas tem alguma abertura, a água subterrânea ocupa esses espaços e está sempre em movimento devido à ação da gravidade. Na foto as flechas tracejadas azuis representam esse fluxo ao longo de algumas fraturas. A distribuição dessas fraturas é muito heterogênea. Veja que na parte de baixo da foto a rocha está muito fraturada, mas na parte de cima não. A abertura das fraturas quase sempre é menor que 1 mm, mas uma pequena abertura já é suficiente para haver água e fluxo. No entanto, a maioria das fraturas são completamente fechadas e secas.



SEDIMENTOS



argila

MATERIAIS IMPERMEÁVEIS
AQUICLUDE PASSA DOIS



silte

ROCHAS



argilito



folhelho

calcário



siltito

Figura 12. A argila e o silte são sedimentos formados por partículas muito finas e quando esses materiais são muito compactados, a argila se transforma em uma rocha chamada argilito ou em folhelho, e o silte passa a ser siltito; essas são rochas sedimentares. Esses materiais possuem porosidade intergranular, mas os **poros também são muito pequenos e pouco conectados**, e isso faz com que a água se movimente extremamente devagar, ou seja a **permeabilidade é baixa**. A **argila e os argilitos** são materiais de **muito baixa permeabilidade**, pois a água neles contida praticamente não flui. Os **siltitos** são materiais de **baixa permeabilidade**. Assim, camadas de **argilitos e siltitos** constituem **aquicludes e aquitardes**, ou seja, são camadas **confinantes**. Poços perfurados nesses materiais não darão água, portanto **argilitos e siltitos não formam aquíferos**. Tais poços produzem água apenas quando houver fraturas permeáveis. Calcários, como da foto acima também possuem muito baixa permeabilidade e formam camadas confinantes. Na Bacia Sorocaba e Médio Tietê, o Aquiclude Passa Dois é formado por essas rochas: folhelhos, calcários, siltitos.



Figura 13. A areia e o cascalho são sedimentos formados por partículas finas até grossas e quando esses materiais se tornam rochas (ganham coesão) por processos que ocorrem em profundidades de alguns quilômetros, a areia se transforma em arenito e o cascalho em conglomerado; essas são rochas sedimentares e possuem **porosidade intergranular**. De um modo geral, os seus **poros são abundantes, relativamente grandes e conectados**, e por isso a água se movimenta mais rapidamente, ou seja a **permeabilidade da areia, cascalho, arenito e conglomerado é elevada**. Por isso camadas formadas por esses materiais são **aquíferos** e os **poços** que as atravessam darão **boas vazões**. Na Bacia Sorocaba e Médio Tietê, o Aquífero Guarani é formado basicamente por arenitos. O Aquífero Tubarão contém arenitos e conglomerados, mas contém também siltitos e argilitos, por isso seu comportamento é muito heterogêneo e as vazões não são tão elevadas quanto as do Guarani. O Tubarão também contém camadas de lamitos (mistura de areia, argila e silte) que são de permeabilidade intermediária.

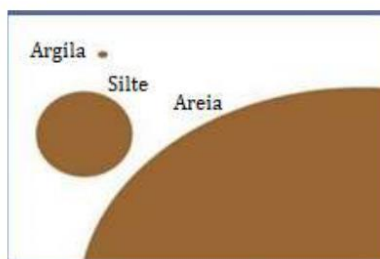


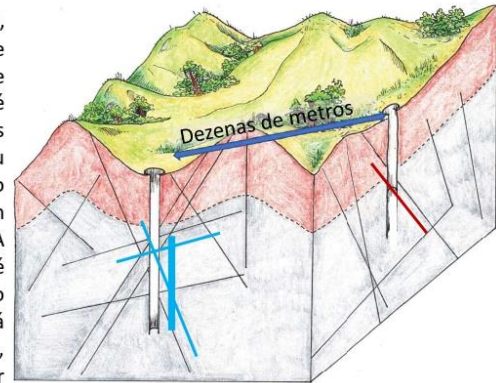
Figura 14. Tamanhos relativos do grão

Tabela 1. Diâmetro das partículas e porosidade total nos sedimentos e rochas sedimentares

Sedimentos (*)	Diâmetro da partícula (mm)	Porosidade total dos sedimentos (%)	Rochas Sedimentares (**)	Porosidade total das rochas (%)
Cascalho	> 2,0	24 - 38	Arenito	5 - 30
Areia grossa	0,2 - 2,0	31 - 46	Siltito	21 - 41
Areia fina	0,02 - 0,2	26 - 53	Calcário/Dolomito	0 - 40
Silte	0,002 - 0,02	34 - 61	Calcário cárstico	0 - 40
Argila	< 0,002	34 - 60	Folhelho	0 - 10

Fontes: Iritani & Ezaki (2014)
 (*) Domenico & Schwartz (1998); (**) Fetter (1994)

Figura 15. Poços que atravessam aquíferos fraturados, podem ter desde boas vazões (variando principalmente entre 5 e 30 m³/h) até vazões muito baixas (menos que 1m³/h), podendo haver poços secos). O poço da direita é produtivo, pois atravessou 2 fraturas permeáveis (traços azuis), mas o poço da esquerda é seco, pois atravessou apenas uma fratura muito fechada e seca (traço vermelho). Veja que essa variação pode acontecer em distâncias de apenas algumas dezenas de metros. A perfuração em aquíferos fraturados é arriscada e é necessário utilizar técnicas que aumentem a chance do poço ser produtivo. Na Bacia Sorocaba e Médio Tietê, há 2 aquíferos fraturados: o Cristalino, formado por granitos, gnaisses, xistos etc., e o Serra Geral, formado por basaltos.



Fraturas verticais muito longas em granito. Ubatuba, SP

Fraturas horizontais, permeáveis e muito longas em basalto. Ribeirão Preto, SP. Projeto FRATASG, IG



Fotos: Projetos FRATASG I e II (IG) Região de Ribeirão Preto a Avaré



Figura 16. Na parte de cima da figura, você vê o mapa da bacia Sorocaba e Médio Tietê, e se você viajar ao longo da linha preta, saindo de sudeste e chegando no extremo noroeste, você vai passar por todos os aquíferos e aquíclude dessa bacia. Você começa sua viagem passando pelo Aquífero Cristalino (Ibiúna-Ib até Sorocaba), depois pelo Aquífero Tubarão (Sorocaba-So até Tatuí), em seguida o Aquíclude Passa Dois (onde fica Pereiras-Pe), e então pelo Aquífero Guarani (Conchas-Co) e Serra Geral (Botucatu-Bo). Mas quando pensamos em aquíferos, precisamos também olhar em profundidade, e isso se faz olhando um corte, no desenho de baixo. Esse corte (ou seção) mostra que os aquíferos são como camadas inclinadas e, dependendo de onde está um poço, ele pode cortar mais de um aquífero. Por exemplo, em algumas regiões de Sorocaba os poços podem atravessar o Tubarão e o Cristalino.

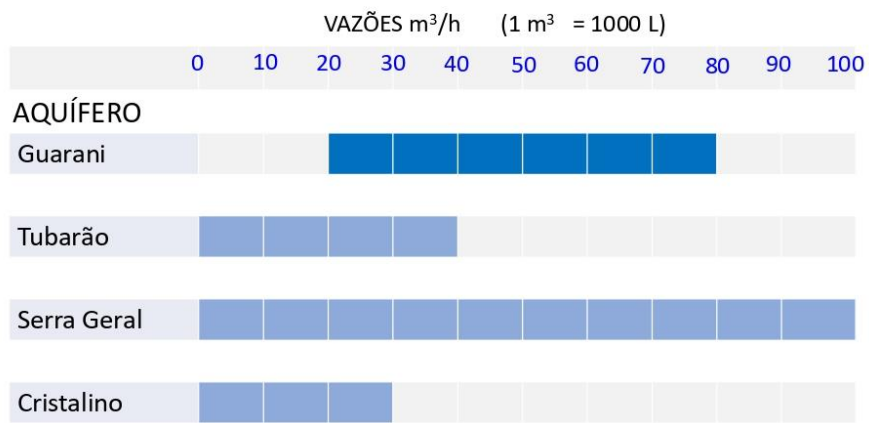


Figura 17. Vazões indicadas pelo Mapa de Águas Subterrâneas (Governo do Estado de São Paulo, 2005) para os quatro aquíferos que ocorrem na Bacia Sorocaba e Médio Tietê.

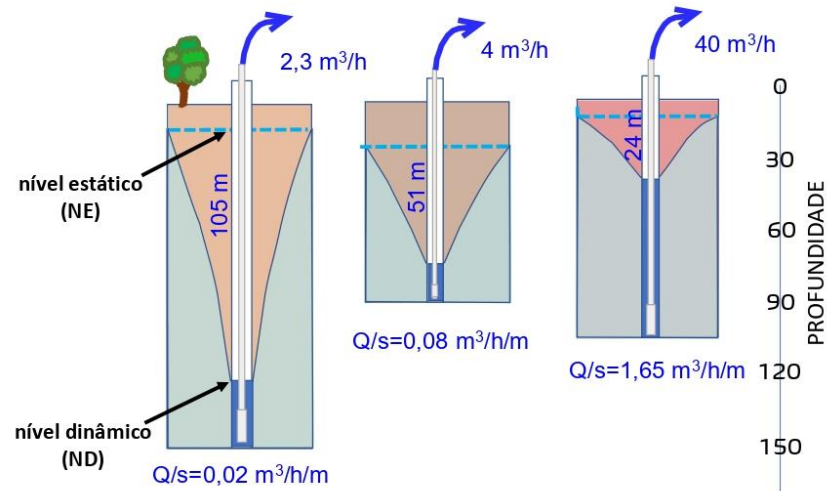


Figura 18. Os três cones de rebaixamento representados acima foram desenhados com base em dados de poços reais que exploram o Aquífero Tubarão, do cadastro SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil. Trata-se de poços que exploram o Aquífero Tubarão. Nota-se que os cones de rebaixamento formados nos testes de vazão podem ter profundidade muito variada (desde 20 até 100m). A capacidade específica (Q/s , $m^3/h/m$), de cada poço é a vazão praticada no teste de bombeamento sobre o rebaixamento do nível d'água no poço. Esse rebaixamento é o nível estático (NE- profundidade do nível d'água encontrado assim que a perfuração do poço é terminada) menos o nível dinâmico (ND- profundidade do nível d'água no final do teste, quando não ocorre mais rebaixamento). Quanto mais permeáveis são os materiais, menor será o rebaixamento. Como o Aquífero Tubarão é formado por rochas permeáveis e rochas impermeáveis (ver abaixo), a vazão será variada; da mesma forma os rebaixamentos também são variados.

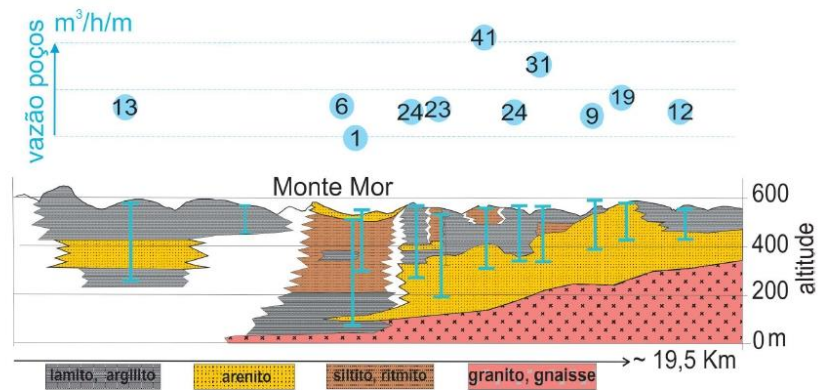


Figura 19. Esta é uma seção geológica em que se vê a altitude do terreno (linha de cima) e as camadas de diferentes materiais geológicos, como se fosse um bolo de várias camadas descontínuas. Esta seção é no Aquífero Tubarão, que está sobre a camada do Aquífero Cristalino (granito, gnaisse). A permeabilidade é variada, pois há arenitos, silitos e argilitos. Assim a vazão dos poços (bolazuis) é variada, desde $1 m^3/h/m$ até $41 m^3/h/m$. A profundidade dos poços (barras azuis) também é variada.

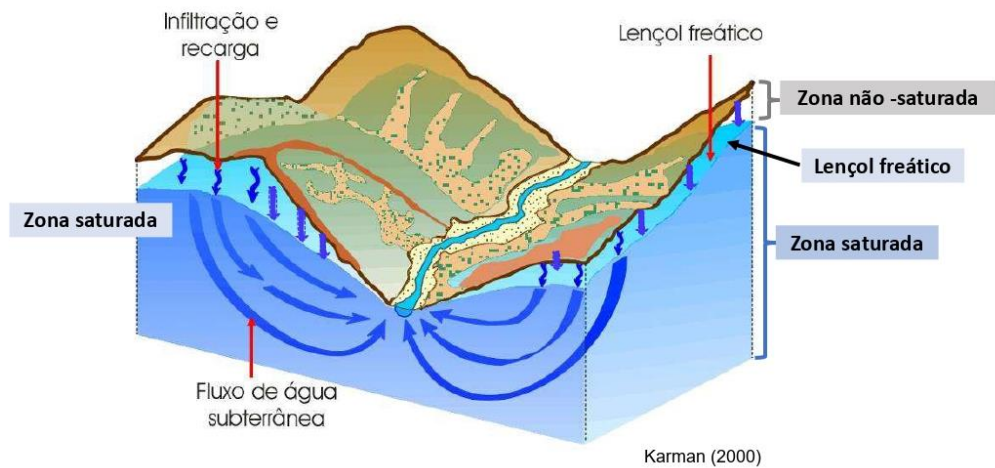


Figura 20. Este bloco-diagrama, que mostra tanto a superfície do terreno, como o que está abaixo do solo, ilustra as características de um aquífero livre, que também pode ser chamada de aquífero freático. As características do aquífero livre são:

- O limite superior é o lençol freático.
- Os poços perfurados no aquífero livre mostram a profundidade do lençol freático no local do poço.
- A água da chuva infiltra no subsolo e recarrega diretamente o aquífero. Essa infiltração é representada pelas flechas verticais azuis na zona não-saturada. Note que a infiltração (e recarga) acontece em toda a superfície do terreno, exceto nos vales de rios, onde acontece a descarga.
- A água subterrânea do aquífero livre flui de áreas mais altas para áreas mais baixas e sofre descarga nos vales. Portanto, existe conexão entre o aquífero livre e as drenagens (rios, ribeirões, córregos etc.)
- O aquífero livre contribui para o fluxo de base dos rios e é em parte responsável pela vazão dos rios durante as estiagens
- Este tipo de aquífero sustenta parte da vegetação, principalmente próximo a rios e em áreas úmidas (serviços ecossistêmicos – parte da segurança hídrica)
- É um aquífero vulnerável, pois não há camada confinante acima dele; dessa forma os contaminantes chegam nele facilmente com a infiltração da água da chuva.

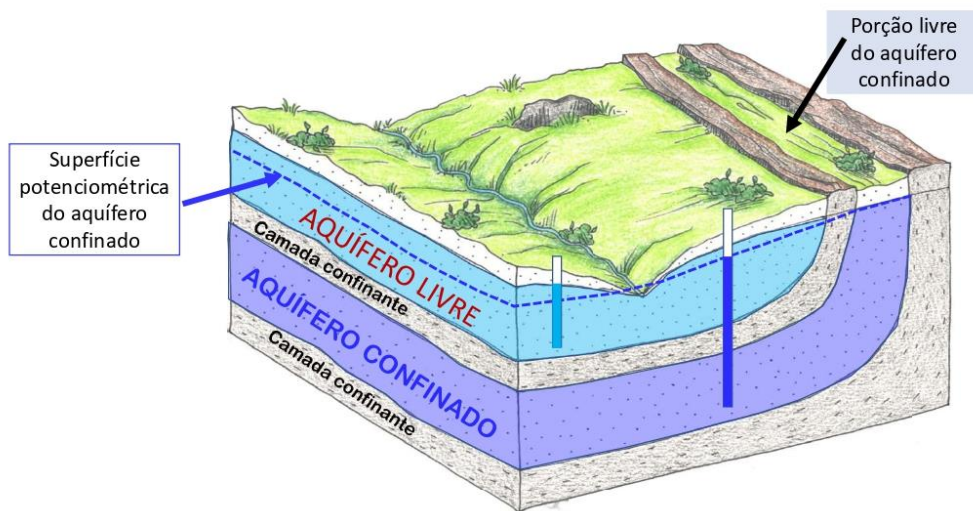


Figura 21. Este bloco-diagrama, que mostra tanto a superfície do terreno, como o que está abaixo do solo, ilustra as características de um aquífero confinado. Suas características são:

- O limite superior é uma camada confinante. Esse aquífero possui uma área livre que pode ter extensão muito menor que a parte confinada.
- A água da chuva infiltra e recarrega o aquífero apenas na sua parte livre.
- A água subterrânea do aquífero confinado não tem conexão com rios, lagos etc.).
- A água subterrânea nesse aquífero está sob pressão, e o nível d'água dentro dos poços, que exploram apenas o aquífero confinado, será acima do contato entre a camada confinante e o aquífero (veja o poço que explora o aquífero confinado). O nível d'água mostrará a superfície potiométrica do aquífero confinado, ou seja, mostrará a sua pressão no local. É por isso que existem poços jorrantes ou artesianos; eles acontecem em locais em que a superfície potiométrica está acima da superfície do terreno.
- É um aquífero pouco vulnerável, pois a camada confinante oferece uma proteção, impedindo que os contaminantes cheguem nele.

Figura 22. Um aquífero suspenso é semelhante ao livre, mas ocorre apenas localmente. Ele tem as seguintes características:

- A água da chuva passa pela zona não-saturada e recarrega o aquífero.
- Seu limite superior corresponde ao lençol freático local (este é descontínuo)
- É limitado na base por camada de baixa permeabilidade

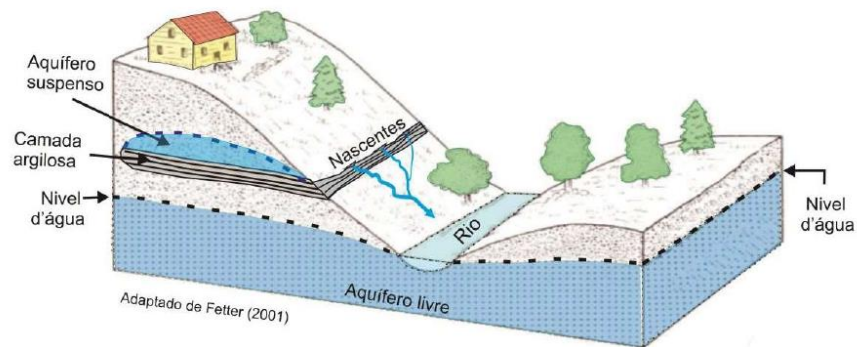
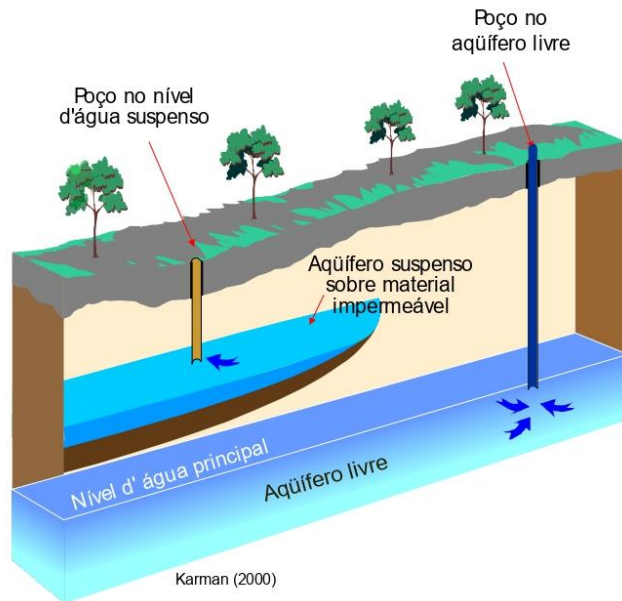


Figura 23. É comum que o aquífero suspenso leve à existência de nascentes. As nascentes se formam quando a superfície do terreno intercepta um aquífero suspenso.

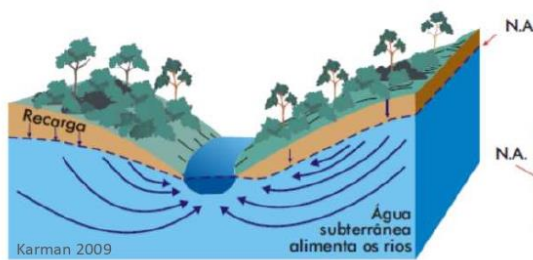


Figura 24. Esta paisagem úmida em que os aquíferos sofrem descarga nos rios (rios efluentes), ou seja contribuem para o fluxo de base, é favorecida pelas seguintes condições:

- Chuvas abundantes e regularmente distribuídas ao longo do tempo promovem uma infiltração maior, pois, a velocidade de infiltração acompanha o volume de precipitação.
- Presença de vegetação e de terrenos com pouca declividade, pois isto favorece a infiltração e a recarga do aquífero.



Figura 25. Esta paisagem seca, em que os aquíferos são alimentados pelos rios (rios influentes) é favorecida pelas seguintes condições:

- Chuvas escassas e muitas intensas e rápidas desfavorecem a infiltração e promovem intenso escoamento superficial
- Ausência de vegetação e presença de terrenos com maior declividade, também favorecem o escoamento superficial. Assim quase toda a água da chuva vai parar diretamente (sem passar pelo subsolo) nos rios. A erosão pode ser um fenômeno muito importante.

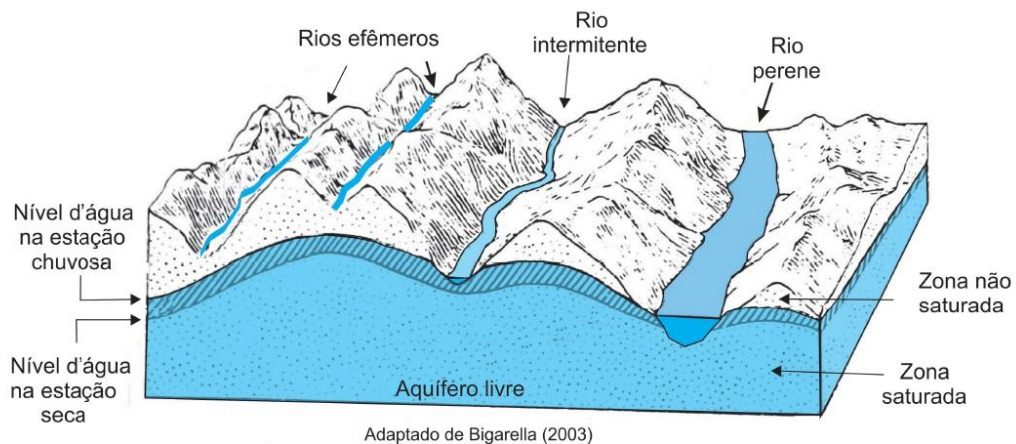


Figura 26. Os rios tem uma relação direta com o aquífero livre e, em função da oscilação da profundidade do lençol freático ao longo do ano, haverá os cursos d'água perenes, intermitentes e efêmeros. Em porções mais baixas do terreno, o lençol freático é mais raso, e mesmo com as oscilações anuais, o rio sempre terá conexão com o aquífero e não seca; neste caso o rio é perene. Em porções mais elevadas do terreno, o lençol freático em geral é um pouco mais profundo e, após a estação seca ele estará mais profundo e os cursos d'água (em geral os menores) poderão perder conexão com o aquífero e ficarão secos, até chegar novamente a estação chuvosa; estes são os cursos d'água intermitentes. Há locais ainda em que os cursos d'água nunca tem conexão com o aquífero; neste caso, esses cursos terão água apenas imediatamente um evento chuvoso. Estes são os cursos d'água efêmeros.

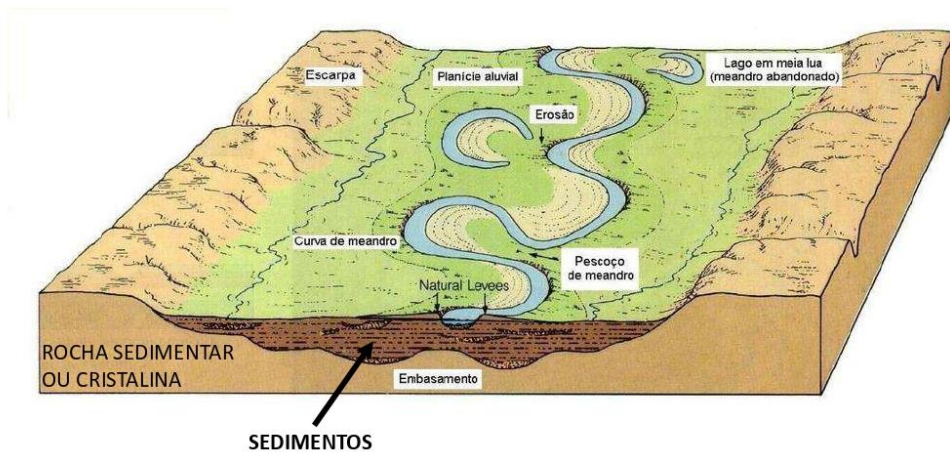


Figura 27. Planície aluvial, onde o subsolo é constituído de sedimentos que repousam sobre rochas sedimentares ou cristalinas. A foto é do Rio Paraitinga, no Vale do rio Paraíba do Sul. Neste caso os morros são constituídos de rochas cristalinas e os sedimentos da planície estão sobre essas rochas. Fonte: CONCEITOS DO MEIO FÍSICO PARA O NOVO CÓDIGO FLORESTAL, Instituto Geológico (IG*) 2012. O Instituto Geológico atualmente pertence ao Instituto de Pesquisas Ambientais – SIMA.