
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

NÍKOLAS BITELLO WINCK

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA, HIDROQUÍMICA E DA
OCORRÊNCIA DE FERRO E MANGANÊS NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO DE IPIRANGA, REGIÃO
NOROESTE DO MUNICÍPIO DE GRAVATAÍ**

Porto Alegre

Julho 2015

NÍKOLAS BITELLO WINCK

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA, HIDROQUÍMICA E DA OCORRÊNCIA DE
FERRO E MANGANÊS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO DE
IPIRANGA, REGIÃO NOROESTE DO MUNICÍPIO DE GRAVATAÍ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO
AO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
DO SUL COMO PARTE DOS REQUISITOS
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Pedro Antonio Roehé Reginato

Porto Alegre

Julho 2015

NÍKOLAS BITELLO WINCK

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA, HIDROQUÍMICA E DA OCORRÊNCIA DE FERRO
E MANGANÊS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO DE IPIRANGA,
REGIÃO NOROESTE DO MUNICÍPIO DE GRAVATAÍ

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **02/07/2015** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....
Prof. Dr. Dieter Wartchow - (IPH/UFRGS)

.....
Prof. Msc. Marcos Imério Leão - (IPH/UFRGS)

.....
Prof. Dr. Gustavo Barbosa Athayde – (IPH/UFRGS)

Conceito:.....

Dedico este trabalho a meus pais, que sempre me apoiaram nos momentos mais difíceis e especialmente à minha avó Emy e meu avô Ary (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas oportunidades concedidas ao longo de minha vida.

Agradeço especialmente ao Prof. Orientador Pedro Reginato, por toda a paciência e ajuda na elaboração deste trabalho, além de compartilhar seus sábios conhecimentos.

Agradeço imensamente aos meus pais, por todo apoio, amor e carinho para que tivesse forças para concluir e vencer mais uma etapa de minha vida.

Agradeço aos meus avós, em especial minha avó Emy e meu avô Ary (*in memoriam*), por todo seu amor e seus ensinamentos.

Agradeço a todos os meus amigos e familiares, pelo apoio e incentivo.

Agradeço aos meus ex-chefes e ex-colegas de trabalho do ICTA/UFRGS, Auxiliadora Predial, Geoamérica e REFAP/PETROBRÁS por todos os ensinamentos e pela amizade adquirida.

Agradeço a todo o pessoal da Sigeplan, pela compreensão e apoio durante a elaboração deste trabalho.

RESUMO

WINCK, N. B. Avaliação Hidrogeológica, Hidroquímica e da Ocorrência de Ferro e Manganês nas Águas Subterrâneas do Distrito de Ipiranga, Região Noroeste do Município de Gravataí. 2015. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho apresenta uma avaliação hidrogeológica, hidroquímica e da ocorrência de Fe e Mn nas águas subterrâneas captadas por poços localizados no distrito de Ipiranga, região noroeste do município de Gravataí. As águas captadas por esses poços apresentaram indícios de concentrações elevadas de Fe e Mn. Em função disso, o trabalho teve como objetivo principal avaliar as características hidrogeológicas, hidroquímicas e a ocorrência de Fe e Mn nas águas subterrâneas da região. Para a análise hidrogeológica foram avaliados dados geológicos e hidrogeológicos de poços cadastrados na CPRM e em empresas de perfuração, que foram utilizados na identificação das principais litologias e aquíferos. Para avaliação hidroquímica foram realizadas coletas e análises físico-químicas de pontos amostrados, além da interpretação dos dados através do software livre Qualigraf. Os valores dos parâmetros físico-químicos analisados foram comparados com os VMP's estabelecidos em normas regulamentadoras. Na área de estudo foram identificadas uma sequência de camadas formadas por sedimentos, arenitos, siltitos e folhelhos, que fazem parte das Formações Rio do Rastro, Rio Bonito, Rosário do Sul e Irati. A interpretação dos perfis geológicos indicou que os poços captam águas de aquíferos que estão associados as camadas de sedimentos e de rochas como os arenitos, siltitos e folhelhos. Na comparação dos parâmetros com os VMP's, alguns poços apresentaram pH, turbidez e amônia fora dos limites estabelecidos. Segundo o diagrama de Piper, as águas subterrâneas foram classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas (40%) e Bicarbonatadas Sódicas (60%). As análises de Fe realizadas tiveram teor médio de 1,04 mg/L e apresentaram concentrações acima dos limites permitidos para consumo humano em 40% dos pontos analisados. As concentrações de Mn se apresentaram acima do VMP em 33% dos pontos analisados. Os teores mais elevados de Fe e Mn provavelmente tem sua origem associada às camadas de siltito, bem como aos sedimentos localizados próximos a superfície. Neste sentido, sugerem-se estudos mais detalhados e a utilização de filtros nas residências, desde que comprovada sua eficiência para remoção de Fe e Mn a níveis aceitáveis para consumo humano.

Palavras-chave: Água subterrânea; Ocorrência de Fe e Mn; Avaliação hidroquímica; Avaliação hidrogeológica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo.....	15
Figura 2 - Representação esquemática dos diferentes tipos de aquíferos, de acordo com o sistema de pressão de suas águas e com a natureza das camadas que os delimitam no topo e na base (modificado de Bear & Verruijt, 1987). Fonte: Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações 2ª edição – CPRM (2000).....	18
Figura 3 - Ilustração dos aquíferos poroso, fissural e cárstico. Adaptado de Boscardin Borghetti et al. (2004). Fonte: ABAS (2015).	20
Figura 4 - Estruturas de construção de poços tubulares em aquíferos sedimentares. Fonte: Noções básicas de poços tubulares – CPRM (1998).	22
Figura 5 - Localização da Folha Gravataí. Fonte: Roisenberg (2007).	33
Figura 6 - Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul. Fonte: Atlas Sócio-econômico do Estado do RS, Secretaria da Coordenação e Planejamento – 2ªedição 2006.	34
Figura 7 - Compartimentação geotectônica do RS. Fonte: Roisenberg (2007).....	35
Figura 8 - Localização da Bacia do Paraná e distribuição da Formação Serra Geral (modificado de Zalan et al., 1990). Fonte: Roisenberg (2007).....	37
Figura 9 - Mapa da área da Bacia do Paraná e distribuição das superseqüências no território brasileiro (modificado de Milani, 1997). Fonte: Roisenberg (2007).....	38
Figura 10 - Formações geológicas descritas na área de estudo (Adaptado da Carta Geológica para o Estado do RS, CPRM, 2008, 1:750.000).	41
Figura 11 - Hidrogeologia da área de estudo (Adaptado do Mapa Hidrogeológico do RS, MACHADO E FREITAS, 2005, 1:750.000).	43
Figura 12 - Problemas encontrados nos poços levantados, apresentando indícios de ocorrência de Fe e Mn.	45
Figura 13 - Locais de coleta das amostras (saídas dos poços ponteira ou na entrada das caixas d'água, quando possível).....	47
Figura 14 - Mapa de localização dos poços SIAGAS e dos poços ponteira levantados em campo.	49
Figura 15 - Mapa de localização das seções geológicas elaboradas.....	50
Figura 16 - Seção geológica "Dionísio-Atacadão".....	51
Figura 17 - Seção geológica "Dionísio-Ponta Grossa" com a localização dos poços J7 e J5. .	52
Figura 18 - Seção geológica "Dionísio-Sindicato" com a localização dos poços ponteira identificados no levantamento de campo.....	53

Figura 19 - Seção geológica "Sindicato-Atacadão".	54
Figura 20 - Seção geológica "Sindicato-Ponta Grossa".	55
Figura 21 - Valores de condutividade elétrica, pH, turbidez, cloretos e nitrato nas principais camadas geológicas identificadas.	60
Figura 22 - Diagrama de Piper elaborado para as amostras.	63
Figura 23. Diagramas de Stiff dos pontos C1 e Sindicato.	64
Figura 24 - Diagramas de Stiff dos pontos S2 e JP3.	65
Figura 25 - Diagrama de Stiff do ponto Atacadão.	66
Figura 26 - Comparação dos teores de ferro com o VMP e o VI.	67
Figura 27 - Comparação dos teores de manganês com o VMP e o VI.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais minerais de rochas cristalinas e os íons por eles liberados (COSTA, 1965). Fonte Santos (2000).	25
Tabela 2 - Levantamento de dados dos poços cadastrados no SIAGAS da CPRM, situados na área de estudo.	56
Tabela 3 - Levantamento de dados dos poços cadastrados em campo, através de visitas na região de estudo.	56
Tabela 4 - Possíveis camadas litológicas de captação dos poços levantados em campo.	58
Tabela 5 - Resultados das análises físico-químicas realizadas e dos laudos obtidos.	59
Tabela 6 - Valores Máximos Permitidos (VMP) e Valores de Investigação (VI) para parâmetros abordados neste estudo. Fonte: MMA (2015) e MINISTÉRIO DA SAÚDE (2015).	61

LISTA DE SIGLAS

ABAS: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

ANA: Agência Nacional de Águas

ARB: Aquífero Rio Bonito

BTEX: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CORSAN: Companhia Riograndense de Saneamento

COT: Carbono Orgânico Total

COV: Compostos Orgânicos Voláteis

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

DRH: Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação

Eh: Potencial de Oxi-Redução

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PAH: Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

PIB: Produto Interno Bruto

RMPA: Região Metropolitana de Porto Alegre

SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

STD: Sólidos Totais Dissolvidos

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNESCO: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultural

VI: Valor de Investigação

VMP: Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA	16
4.2 AQUÍFEROS.....	17
4.3 CAPTAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA: TIPOS DE POÇOS, PROCESSO CONSTRUTIVO E PROBLEMAS ASSOCIADOS	21
4.4 HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	23
4.5 FERRO E MANGANÊS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	27
4.5.1 Processos de oxidação e remoção de Ferro e Manganês.....	29
4.6 LEGISLAÇÃO	31
4.7 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E GEOMORFOLÓGICA	32
4.8 GEOLOGIA REGIONAL	35
4.8.1 Escudo Sul-Rio-Grandense	36
4.8.2 Bacia do Paraná.....	36
4.9 HIDROGEOLOGIA REGIONAL	42
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES	44
5.2 INVENTÁRIO E CADASTRAMENTO DE PONTOS DE ÁGUA	44
5.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA	45
5.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA	46
5.5 ELABORAÇÃO DE MAPAS.....	47
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
6.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO	48
6.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA	58
6.3 AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE FERRO E MANGANÊS	66
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	68
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, 39% dos municípios brasileiros são abastecidos exclusivamente através da captação de água subterrânea por poços tubulares. No Rio Grande do Sul, este número é maior, apresentando 59% dos municípios gaúchos abastecidos exclusivamente por água subterrânea (ANA, 2010).

Localizado na região metropolitana de Porto Alegre, o município de Gravataí possui aproximadamente 118 poços tubulares cadastrados no portal SIAGAS da CPRM, mas esse número aumenta quando contabilizados os poços que não possuem qualquer registro de perfuração. O uso da água captada por esses poços é diverso, podendo ser utilizada tanto para fins industriais, como para fins de abastecimento residencial e consumo humano. Muitos poços são perfurados por empresas ilegais, construídos sem qualquer padrão estabelecido pelas normas vigentes. A construção incorreta dos poços favorece a entrada de substâncias indesejadas para o interior dos poços, sendo elas de origem natural ou antrópica, contaminando os aquíferos captados. Segundo Cajazeiras (2007), a qualidade das águas subterrâneas varia lentamente em sua condição natural, mas podem apresentar teores elevados de elementos químicos como ferro, manganês, fluoreto, carbonatos, entre outros, dependendo das formações geológicas em que se encontram os aquíferos. A área de estudo se encontra na região dos Aquitardos Permianos. Esse sistema de aquitardos apresenta elevada dureza da água subterrânea e grande concentração de carbonatos. Na região, também há evidências de alta concentração de ferro e manganês. Conforme Richter & Azevedo Netto (1991), teores excessivos de ferro nas águas podem apresentar diversos problemas, como: manchas em tecidos e roupas, sabor desagradável, interferência em processos industriais, incrustações, aparecimento de bactérias ferruginosas nocivas, incidência de problemas cardíacos, cirrose, tumores hepáticos, diabetes *mellitus* e insuficiência cardíaca.

A área de estudo está localizada em uma área rural, na porção noroeste do município de Gravataí, no distrito de Ipiranga. Para muitos moradores de região, o abastecimento de água, através de poços tubulares ou do tipo ponteira, é a única opção existente, visto que, não há canalização para abastecimento pela CORSAN. Sendo assim, há a necessidade de uma melhor investigação das águas subterrâneas desta região, para avaliar as características hidrogeológicas, os parâmetros químicos das águas captadas e a origem destes elementos. O estudo tem como objetivo realizar uma caracterização hidrogeológica e hidroquímica da área de estudo, com enfoque na avaliação da ocorrência de ferro e manganês.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse projeto é avaliar as características hidrogeológicas, hidroquímicas e a ocorrência de ferro e manganês nas águas subterrâneas localizadas no distrito de Ipiranga, na região noroeste do município de Gravataí.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Identificar e caracterizar os diferentes tipos de aquíferos existentes na área de estudo;
- Avaliar a composição química das águas subterrâneas localizadas na região de estudo;
- Avaliar a ocorrência de ferro e manganês existente nas águas subterrâneas.

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada em uma área rural, na porção noroeste do município de Gravataí, no distrito de Ipiranga (Figura 1). O município de Gravataí é integrante da Região Metropolitana de Porto Alegre e situa-se a 23 km da capital. Apresenta 25% de sua área em zona urbana com mais de 255 mil habitantes (IBGE,2010), sendo o sexto município mais populoso do estado e o terceiro da RMPA.

O município ocupa uma área de aproximadamente 463 km² e é subdividido em cinco distritos, sendo eles Barro Vermelho, Ipiranga, Itacolomi, Morungava e a Sede. No ano de 2000, possuíam, respectivamente, uma população de 4.085, 4.048, 6.073, 5.920 e 202.503 habitantes (IBGE,2010).

Atualmente, a indústria é o setor mais relevante para a economia do município, sendo o Complexo Industrial Automotivo General Motors o maior responsável pelo aumento do PIB municipal. O setor terciário atualmente é a segunda maior fonte geradora do PIB e a agricultura é o setor menos relevante da economia gravataiense.

Gravataí está localizada, em sua maior parte, na bacia hidrográfica do rio Gravataí e, em uma pequena parte, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos. A área de estudo encontra-se no limite entre as duas bacias. O clima de Gravataí é subtropical (tipo Cfa, segundo Köppen), com duas estações bem definidas. Apresenta verões quentes e invernos frios, condição determinada tanto pela latitude, como pela ação dos anticiclones do oceano Atlântico e do móvel polar.

Na região predominam os ventos do quadrante sul e do leste. Em relação às precipitações, o clima caracteriza-se pela regularidade na distribuição das chuvas ao longo do ano. A precipitação média anual é de 1.346 mm, sendo abril o mês mais seco e agosto e setembro os meses mais chuvosos.

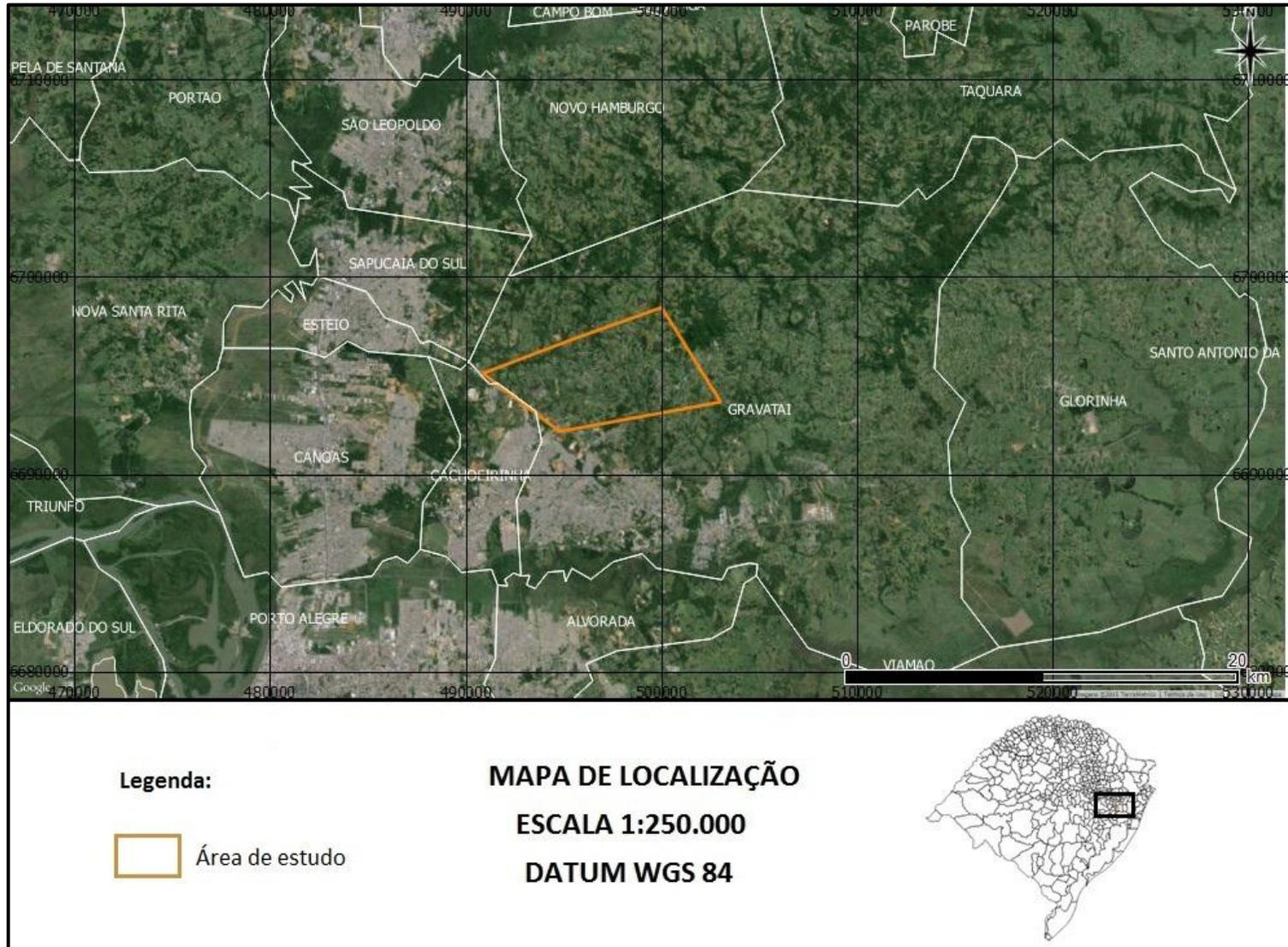


Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA

Aproximadamente 97,5% dos recursos hídricos disponíveis estão concentrados nos oceanos e 2,5% estão distribuídos em terras emersas. Desta fração, 2,17% está retido nas geleiras, 0,61% nos mananciais subterrâneos e o restante nos solos, nos lagos de água doce, nos rios, nas lagoas e na atmosfera. Considerando que mais de 75% da água nas áreas emersas estão retidas nos glaciais ou em ambientes salinos, resta somente uma pequena percentagem deste suprimento total que pode ser disponibilizado como água adequada às necessidades humanas, destas, mais de 98% encontra-se na forma de reservatórios subterrâneos, excedendo em muito o volume das águas armazenadas na superfície (FETTER, 1994).

Segundo dados da UNESCO/PHI (2003), os processos naturais de evaporação da água salgada dos oceanos para a atmosfera geram uma vazão aproximada de 43.000 km³/ano de água doce. Cerca de 14% desta vazão é utilizada pela população, sendo 70% em atividades agrícolas, 20% atividades industriais e 10% no consumo doméstico. Os mananciais subterrâneos contêm o maior volume de água no estado líquido, abrangendo cerca de 10,3 milhões de km³.

Existe atualmente uma demanda crescente de água subterrânea de boa qualidade visando o atendimento destas necessidades de abastecimento, devido ao comprometimento dos mananciais superficiais por contaminação intensiva. O crescente aumento da produção e a dispersão de poluentes, conseqüentemente aumentou o risco de contaminação dos mananciais subterrâneos (UNESCO/PHI, 2003).

Segundo Mösslacher (2000) e CETESB (2001a), o solo e a água subterrânea fazem parte de um mesmo contexto e o que ocorrer com o solo repercutirá nas águas subterrâneas, podendo resultar em alterações de sua qualidade. As características químicas das águas subterrâneas dependem, inicialmente, da composição das águas de recarga e, em seguida, de sua evolução química, influenciada diretamente pela litologia pela qual atravessa (CETESB, 2001b).

4.2 AQUÍFEROS

As águas subterrâneas se formam através da precipitação das chuvas que infiltram no solo. O solo é constituído por diferentes materiais geológicos (sedimentos, rochas e minerais), por matéria orgânica, por água e por ar. Segundo Caicedo (1993), o solo pode ser dividido em zonas, dependendo da ocupação dos vazios por água e ar. Em função disso, há a formação de uma zona não saturada e de uma zona saturada. Enquanto que na zona saturada todos os espaços vazios encontram-se completamente preenchidos pela água, na zona insaturada os poros contêm água e ar. Essa divisão entre tais zonas é delimitada pelo nível da água subterrânea.

Na hidrogeologia, a denominação água subterrânea é atribuída apenas à água que circula na zona saturada, ou seja, abaixo da superfície freática. Segundo Cleary (1989) um aquífero é uma formação geológica com suficiente permeabilidade e porosidade interconectada que permite armazenar e transmitir quantidades significativas de água. Formações permeáveis como as areias e os arenitos são exemplos de aquíferos. A Resolução CONAMA 396 (2008, p. 309) define aquífero como:

“Corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”.

Um aquíclode é uma formação que pode conter água, as vezes em quantidades elevadas, porém é incapaz de transmiti-la em condições naturais. Formações impermeáveis, como camadas de argila, são exemplos de aquíclodes (FILHO, 2000).

Os aquíardos possuem um comportamento de uma membrana semipermeável onde podem ocorrer filtrações verticais ou drenança. Formações impermeáveis que não armazenam nem transmitem água podem ser classificadas como aquífugos (FILHO, 2000).

Um aquífero pode ser classificado de acordo com a pressão das águas nas suas camadas limítrofes, superior e inferior e também em função da capacidade de transmissão de água dessas camadas limítrofes. Quanto à pressão são classificados em: livres ou confinados (drenantes ou não drenantes). A Figura 2 apresenta os diferentes tipos de aquíferos de acordo com as classificações acima citadas.

Conforme Filho (2000), aquífero confinado é a denominação usada para aquíferos no qual a pressão da água no topo é maior do que a pressão atmosférica. São formações geológicas permeáveis e completamente saturadas de água. Subdividem-se em confinados não drenantes e confinados drenantes. Os confinados não drenantes possuem suas camadas limítrofes com alto índice de impermeabilidade. Poços situados nessas camadas apresentam nível estático da água acima da base da camada confinante superior. Quando o nível de água se encontra acima da superfície do solo, o poço é denominado de artesiano surgente ou poço jorrante. O nível estático da água indica a carga hidráulica da zona de admissão da água do poço.

Um aquífero confinado drenante possui pelo menos uma das camadas limítrofes semipermeável, o que permite a entrada e saída de fluxos de água por drenagem ascendente ou descendente. As formações semipermeáveis apresentam uma resistência hidráulica relativamente alta à passagem do fluxo de água através delas. Também são chamados de aquíferos semiconfinados (FILHO, 2000).

Os aquíferos livres também são chamados de freáticos ou não confinados. São aqueles no qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica e seu limite superior é a superfície freática. São formações geológicas permeáveis e parcialmente saturadas de água. São limitados apenas na base por uma camada impermeável, o que permite movimentação da superfície freática para cima e para baixo (FILHO, 2000).

Segundo a ABAS (2015), a constituição geológica do aquífero irá determinar a velocidade e a qualidade da água em seu meio e também a sua qualidade como reservatório. A litologia dos aquíferos é decorrente da sua origem geológica, que pode ser sedimentar (rochas formadas em diferentes ambientes como o fluvial, lacustre, eólico, glacial, aluvial, marinho), ígnea intrusiva (granitos), ígneas vulcânicas (basaltos) e metamórficas (xistos, gnaisses, mármore, etc.), que vão determinar os diferentes tipos de aquíferos e suas diferentes características.

Quanto à porosidade, existem três tipos aquíferos: Poroso, fissural e cárstico (Figura 3) (ABAS, 2015, CETESB, 1978):

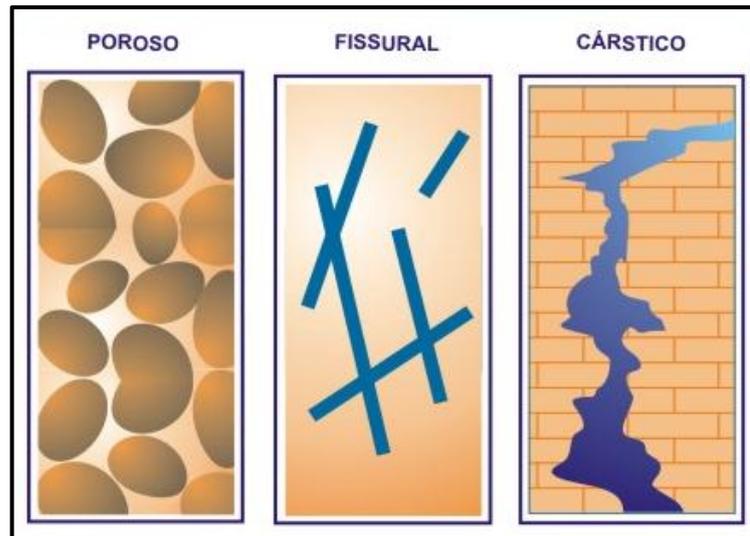


Figura 3 - Ilustração dos aquíferos poroso, fissural e cárstico. Adaptado de Boscardin Borghetti et al. (2004).
Fonte: ABAS (2015).

- Aquífero poroso ou sedimentar: formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos. A circulação da água se faz nos poros existentes entre os grãos de areia, silte e argila. Ocorrem em grandes áreas e apresentam grande volume de água, por isso, são considerados aquíferos mais importantes. Esses tipos de aquíferos ocorrem em locais de acumulação de sedimentos arenosos como grandes bacias sedimentares. Apresentam porosidade homogênea que faz com que a água possa fluir em qualquer direção definida pela diferença de pressão hidrostática;

- Aquífero fraturado ou fissural: formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças. As águas ocorrem neste tipo de aquífero, nas fraturas e falhas formadas devido ao movimento tectônico. A quantidade de água está relacionada ao número de fraturas e o fluxo é dado através das ligações e comunicações existentes entre elas;

- Aquífero cárstico (Karst): formado em rochas calcárias ou carbonáticas. A circulação da água ocorre nas fraturas e em outras discontinuidades resultantes da dissolução do carbonato em água. Essas discontinuidades podem ter grandes aberturas e formar rios subterrâneos que atingem grandes dimensões. São aquíferos que apresentam heterogeneidade e dureza elevada. As rochas que compõem esse tipo de aquífero são os calcários, dolomitos e mármore.

4.3 CAPTAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA: TIPOS DE POÇOS, PROCESSO CONSTRUTIVO E PROBLEMAS ASSOCIADOS

O processo de abertura de poços é bastante antigo, havendo evidências e registros de poços perfurados por chineses há cerca de 4.000 anos atrás utilizando tecnologia simples. O abastecimento de água para o homem é dado através da captação de águas superficiais (rios) ou então de águas subterrâneas (nascentes e poços). Os métodos de construção e perfuração de poços são diversos, porém as formas de captação mais utilizadas são os poços escavados, poços do tipo ponteira e os poços tubulares (DEMETRIO, 2000).

Os poços escavados são conhecidos popularmente como poços cacimba ou amazonas. São poços abertos através da utilização de pás e picaretas, em solos com baixa resistência, possuindo grandes diâmetros. Geralmente são revestidos por tijolos. Apresentam elevados riscos de contaminação por captarem as águas superficiais que infiltram no solo, recebendo substâncias ali presentes que acabam sendo lixiviadas (MINEROPAR, 2009).

Os poços ponteira são constituídos por um tubo com seções perfuradas e apresentam uma terminação em ponta. Sua instalação é dada através do uso de bate-estaca ou de jatos de água, por isso são limitados a solos arenosos e homogêneos. Devido ao seu processo simples de instalação, tais poços possuem pequeno diâmetro, pouca profundidade e apresentam baixo custo de implantação. Juntamente com os poços escavados, os poços ponteira apresentam grande risco de contaminação, pois são construídos sem atender as normas de construção (MINEROPAR, 2009).

Os poços tubulares são os mais práticos e eficientes para captação de água de uma formação aquífera. Sua perfuração é feita por meio de máquinas perfuratrizes à percussão, rotativas ou rotopneumáticas. Possui alguns centímetros de abertura (no máximo 50 cm), revestido com canos de ferro ou de plástico. Poços tubulares perfurados em formações não consolidadas como areia, argilas expansivas ou pedregulhos deverão receber sustentação através de um revestimento para evitar o desmoronamento do poço. Nessas formações a água está presente nos vazios formados entre as partículas adjacentes. Os poços perfurados em rochas consolidadas apresentam grande estabilidade, portanto não há a necessidade de revestimentos na parte da rocha. Nas formações consolidadas as águas ocorrem nas fraturas ou fendas existentes nas rochas ou poros do arenito (FILHO, 1998).

O processo de construção de poços deve ser realizado de acordo com as normas vigentes. Atualmente existem duas normas a serem seguidas: a NBR 12212 (ABNT, 1992) (Projeto de poço para captação de água subterrânea – Procedimento) e a NBR 12244 (ABNT, 2006) (Construção de poço para captação de água subterrânea). Os poços devem apresentar selo sanitário, tubo de revestimento, filtro e pré-filtro, além da vedação das camadas indesejadas de captação, através da cimentação com material impermeável, como bentonita ou cimento. A Figura 4 apresenta a ilustração dos componentes que deverão ser instalados na construção de um poço tubular.

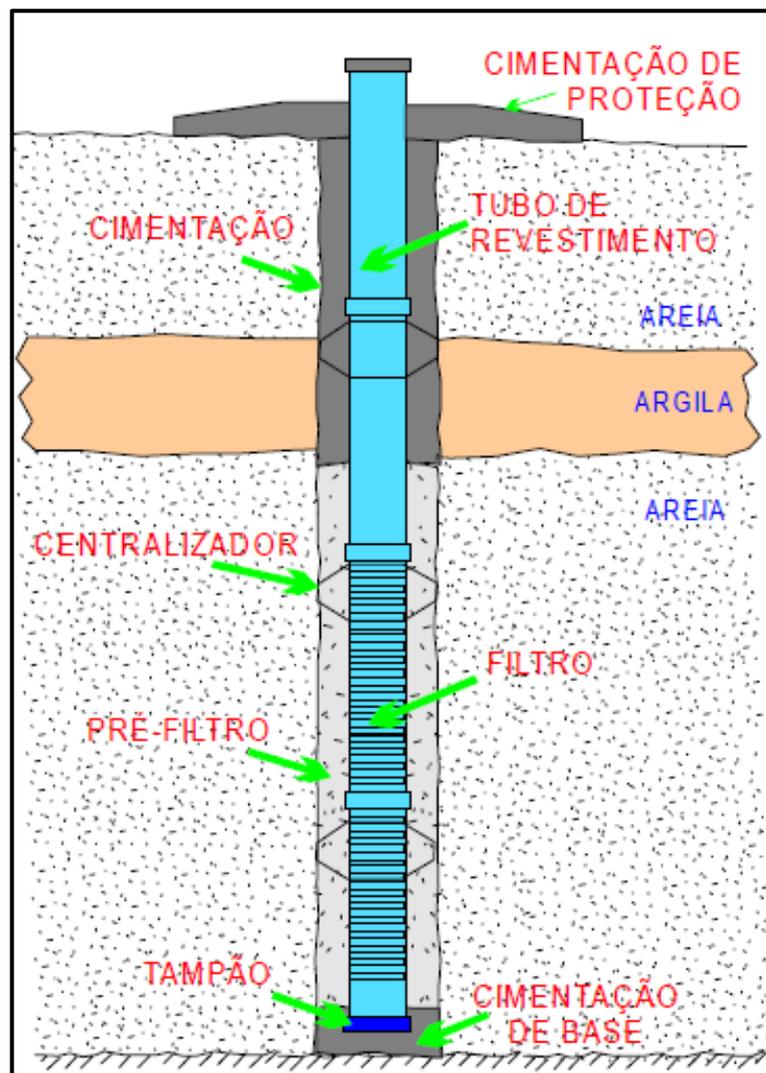


Figura 4 - Estruturas de construção de poços tubulares em aquíferos sedimentares. Fonte: Noções básicas de poços tubulares – CPRM (1998).

A construção incorreta dos poços favorece a entrada de águas superficiais que transportam substâncias presentes na superfície do solo, como contaminantes ou elementos químicos de origem natural presentes nos diversos minerais específicos de diferentes camadas

litológicas. A percolação dessas águas superficiais traz consigo substâncias que são indesejadas na captação das águas subterrâneas, principalmente quanto à aptidão para consumo humano, e podem contaminar os aquíferos captados pelos poços.

Os poços em funcionamento podem apresentar diversos problemas, sejam eles oriundos dos processos construtivos ou do processo de deterioração decorrente do bombeamento de água e das características físico-químicas do aquífero que está sendo captado. As principais causas de deterioração dos poços incluem as incrustações, a corrosão e a formação das bactérias de ferro. Tais fatores podem causar a queda de produção do poço, a obstrução das ranhuras dos filtros, carregamento de areia para os reservatórios de água captada, colapso do revestimento do poço e redução da vida útil da bomba.

4.4 HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A composição físico-química das águas subterrâneas depende da composição das águas de recarga (pluviometria, águas superficiais) e de suas evoluções químicas, que são influenciadas diretamente pela interação água-rocha representadas pela percolação da água através dos poros e/ou fraturas das camadas geológicas (CAJAZEIRAS, 2007). A composição química da água presente na zona saturada está intimamente relacionada à solubilidade e à mobilidade dos elementos e compostos do meio (CLEARY, 1989). O teor de substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas pode aumentar à medida que essa água prossegue com o seu movimento (CETESB, 1998).

Conforme Custódio & Llamas (1983) as águas subterrâneas podem apresentar concentrações de sais superiores a das águas superficiais e isto ocorre devido às maiores superfícies de contato para dissolver materiais, reduzidas velocidades de circulação e maiores pressão e temperatura a que estão submetidas. Segundo Cajazeiras (2007), a qualidade das águas subterrâneas varia lentamente em sua condição natural, porém em características extremas podem apresentar situações anômalas como, por exemplo, presença de uma maior concentração de elementos químicos como ferro, manganês, fluoreto, entre outros. Sendo assim, há a necessidade de uma investigação das águas subterrâneas para avaliar os parâmetros químicos de uma determinada formação aquífera, que podem ser considerados de origem natural ou provenientes das atividades antrópicas.

Os aquíferos livres e semiconfinados estão mais susceptíveis à contaminação do que aquíferos mais profundos e altamente confinados. Tais aquíferos apresentam maior risco e preocupação, pois armazenam substâncias que se depositam sobre o solo e são lixiviadas pelas águas das chuvas que infiltram e contaminam os aquíferos livres (FOSTER, 1993).

A água é um solvente quimicamente muito ativo capaz de dissolver e reagir com o meio, incorporando grandes quantidades de substâncias ao entrar em contato com os minerais constituintes dos solos e rochas, nos quais circula, como, por exemplo, substâncias orgânicas e inorgânicas (SANTOS, 2000). As substâncias dissolvidas podem estar sob a forma molecular ou iônica, porém, nas águas subterrâneas esta última é predominante (SANTOS, 2000). Os principais constituintes das águas subterrâneas, quando considerados apenas os processos naturais, resultam de processos físico-químicos do intemperismo de rochas (MAGALHAES, 2006). O intemperismo físico é relacionado com a fragmentação das rochas e o intemperismo químico envolve processos de alteração mineral através de reações de hidrólise, dissolução, precipitação, oxi-redução e complexação (FAUST & ALY, 1981). Deste modo, são formados minerais secundários (de alteração) e liberados íons solúveis que são incorporados ao ambiente aquático (MAGALHAES, 2006).

Magalhaes (2006) afirma que as rochas apresentam condições de instabilidade na presença de água, com isso, o intemperismo químico pode ser interpretado como a tendência do sistema água/rocha a alcançar o equilíbrio físico-químico. Segundo o mesmo autor, as concentrações dos solutos nas águas subterrâneas são consequentes dos litotipos dos aquíferos, do tipo de alteração mineral, do fluxo e taxa de recarga do aquífero. Já as reações químicas de alteração mineral dependem do tempo de contato água/rocha, temperatura, do CO₂ disponível, da presença de ácidos inorgânicos e orgânicos e do clima. Conforme Drever (1997), a composição físico-química das águas subterrâneas irá refletir na mobilidade e solubilidade dos elementos envolvidos no processo de intemperismo.

O processo de dissolução é influenciado pelo pH, pela temperatura e pelo grau de saturação de cada elemento. Em ambientes ácidos a dissolução é mais rápida do que em ambientes alcalinos. Os produtos da dissolução podem reagir entre si formando compostos insolúveis, principalmente argilas que ficam na água em estado coloidal e tendem a fixar irreversivelmente o íon potássio, assim explicam-se os baixos teores de K⁺ nas águas subterrâneas (SANTOS, 2000). Ainda citando Santos (2000), a composição das rochas ígneas é muito variada, mas apresentam predominantemente silicatos. Íons Ca⁺², Na⁺, Mg⁺² e K⁺ estão ligados fracamente à estrutura silicatada, podendo passar facilmente para a água.

Nas rochas sedimentares existem dois tipos de sedimentos que definem as características das águas que passam por estas estruturas. Os sedimentos são classificados em clásticos ou químicos (SANTOS, 2000). Os sedimentos clásticos são formados por materiais que não foram dissolvidos durante sua formação. São constituídos por materiais pouco solúveis ou insolúveis como quartzo, silicatos, algumas micas, etc. São exemplos de sedimentos clásticos os arenitos e os cascalhos. Os sais provenientes dessas rochas originam, geralmente, os carbonatos de cálcio. As águas que sofrem interferência dessas rochas podem ter grande quantidade de sais, como Cl^- , SO_4^{-2} , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} e sílica (SANTOS, 2000). Os sedimentos químicos por precipitação são representados principalmente por calcários e dolomitas. São rochas muito solúveis em águas com alto teor de CO_2 , produzindo íons de HCO_3^- , Ca^{+2} e Mg^{+2} . Os sedimentos químicos por evaporação são formados através da evaporação da água, os mais comuns são anidrita, gesso e halita. As águas em contato com essas rochas absorvem grande quantidade de sais e as formações de anidrita e gesso podem ter concentrações elevadas de SO_4^{-2} e Ca^{+2} (SANTOS, 2000).

Os plagioclásios podem constituir fontes de Na^+ e Ca^{+2} para o ambiente aquático, enquanto que biotita e feldspato potássico podem ser fontes de Mg^{+2} e K^+ . Águas meteóricas também podem ser importantes fontes de espécies químicas dissolvidas tais como Cl^- , SO_4^{-2} e Na^+ (MAGALHAES, 2006). Na Tabela 1, estão relacionados os minerais que mais contribuem na salinização das águas subterrâneas e os íons por eles liberados, segundo Costa (1965).

Tabela 1 - Principais minerais de rochas cristalinas e os íons por eles liberados (COSTA, 1965). Fonte Santos (2000).

Mineral	Íons
Plagioclásio	Na^+ e Ca^{+2}
Hornblenda	Na^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}
Calcita	Ca^{+2}
Moscovita	K^+
Biotita	K^+ e Mg^{+2}
Granada	Ca^{+2} e Mg^{+2}
Microclina	K^+
Apatita	Cl^- e Ca^{+2}
Alanita	Na^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}
Epidoto	Ca^{+2}
Titanita	Ca^{+2}
Clorita	Mg^{+2}

Segundo Foster & Gomes (1989), para avaliar a qualidade das águas subterrâneas, em função das substâncias dissolvidas, sejam elas de origem natural ou antrópica e avaliar a distribuição espacial e variação temporal dessas substâncias, faz-se necessário a realização de um monitoramento.

Os principais objetivos das investigações hidroquímicas em águas subterrâneas consistem em avaliar a ocorrência de contaminantes potenciais nestes ambientes, avaliar o nível e a gravidade da contaminação e identificar as opções de medidas reparadoras, para evitar contaminação e danos para a saúde da população (FOSTER & GOMES, 1989).

A qualidade da água é definida através dos estudos hidroquímicos, que a classificam quanto ao seu uso (consumo humano, dessedentação animal, irrigação, industrial, piscicultura, aquicultura, recreação e urbano). Estes estudos englobam análises físico-químicas, bacteriológicas, microbiológicas, radioativas e ambientais. Os parâmetros mais analisados são cor, turbidez, odor, temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, dureza, alcalinidade DBO, DQO, COT, hidrocarbonetos totais de petróleo, BTEX, COV, metais, fenóis, PAH's, além de concentrações de cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, fluoretos, carbonatos, bicarbonatos e sulfatos, muito utilizados na caracterização hidroquímica e na identificação dos principais tipos de água subterrânea. Após essas análises, procede-se à comparação dos resultados com os padrões de referência determinados pela legislação vigente (FEITOSA, 2008).

Também é fundamental a elaboração de diagramas como o de Piper e Stiff. O diagrama de Piper é um diagrama hidroquímico, frequentemente utilizado para classificar e comparar os diferentes grupos de águas, quanto aos seus íons dominantes. Através da sua utilização, as águas são classificadas em cálcicas, cloretadas, bicarbonatadas, sódicas, magnesianas, sulfatadas ou mistas (SANTOS, 2000). É muito utilizado quando se trabalha com grande número de análises químicas de água. Tal diagrama possui dois triângulos onde são plotados os percentuais das concentrações dos ânions e dos cátions e o cruzamento dos pontos, na área do losango, define sua posição e classifica a amostra de acordo com suas fácies hidroquímicas (CAJAZEIRAS, 2007).

No diagrama de Stiff, todas as concentrações iônicas são representadas sobre linhas paralelas horizontais. A ligação dos pontos respectivos irá determinar uma figura geométrica característica para a água analisada (SANTOS, 2000).

4.5 FERRO E MANGANÊS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O ferro é o segundo metal mais comum na crosta terrestre, apenas em menor quantidade que o alumínio. Estão presentes em minerais máficos como: magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. No ambiente natural estão relacionados a depósitos orgânicos, detritos de plantas e podem se associar a colóides ou húmus, dando cor amarelada à água. O ferro pode ocorrer sob diversas formas químicas, mas normalmente aparece associado ao manganês (FILHO, 2000).

O ferro está presente no solo e em minerais, principalmente como óxido férrico insolúvel, já o manganês, como dióxido mangânico (MORUZZI, 2012). As formas de carbonatos insolúveis como siderita (FeCO_3) e rodocrosita (MnCO_3), também são frequentes (WALDE, 1985). Grandes quantidades de dióxido de carbono dissolvido também podem estar presentes nas águas subterrâneas. Os carbonatos podem ser dissolvidos para formas solúveis como bicarbonato ferroso ou manganoso, ou então formar sulfatos.

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), teores elevados de ferro são encontrados nas águas subterrâneas com baixo pH, ricas em gás carbônico e sem oxigênio dissolvido, sob a forma de bicarbonato ferroso dissolvido. Essas águas subterrâneas são captadas principalmente em terrenos antigos e aluviões. Nessas condições, o ferro está sob as formas quimicamente reduzidas (Fe^{+2}), solúveis e invisíveis (MORUZZI, 2012).

Quando o material sofre oxidação, seja ela através da aeração ou então pela adição de cloro, os minerais são precipitados, fazendo com que a água adquira uma aparência avermelhada escura, em casos de presença de ferro ou então púrpura escura, em casos de concentrações de manganês (MORUZZI, 2012). O pH é determinante para as diferentes formas em que podem se apresentar os materiais de ferro e manganês (MORUZZI, 2012). Segundo Cleasby (1983), alguns hidróxidos complexos de ferro podem estar presentes na água subterrânea, assim como complexos inorgânicos com bicarbonato, sulfato ou fosfato; complexos orgânicos associados a ácidos húmicos e fúlvicos ou complexos estáveis como os quelatos, frequentemente coloridos. No estado ferroso (Fe^{+2}) forma principalmente hidróxidos que são compostos solúveis. Em ambientes oxidantes passam a Fe^{+3} e dão origem a formas precipitadas como $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCO_3 , Fe ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$, que são insolúveis e se precipitam, colorindo fortemente a água (MORUZZI, 2012).

Nas águas subterrâneas podem ocorrer complexações entre o ferro e a matéria orgânica presente, ocasionando a formação de compostos. A formação desses complexos orgânicos e

quelatos aumenta a solubilidade do ferro e manganês, dificultando a sua remoção (O'CONNOR,1971). Segundo Hausman (1995), a presença de ferro e manganês nas águas subterrâneas está associada aos processos de decomposição das rochas vulcânicas que possuem minerais ferro-magnesianos. Quando esses minerais são quimicamente intemperizados acabam fornecendo os elementos de Fe e Mn para os solos e, conseqüentemente, para as águas que circulam por eles.

Alguns estudos realizados por Reginato e Strieder (2007), na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, apontaram uma associação entre as ocorrências de Fe e Mn e os aspectos morfoestruturais e geomorfológicos. Vales com vertentes e fundos côncavos e altos topográficos representados por superfícies onduladas apresentaram maiores concentrações de Fe e Mn nas águas subterrâneas.

Os mesmos autores também destacaram uma associação das concentrações desses elementos com regiões de solos do tipo argissolos, cambissolos e latossolos, bem como com a espessura do manto de alteração. Geralmente os mantos de alteração mais espessos apresentam horizonte B argiloso, com concentração de óxidos e hidróxidos de ferro. Nos vales com fundo côncavo há uma tendência da formação de maiores espessuras de solo, além de maior circulação de água pelo manto de alteração, favorecendo no aumento de concentração desses elementos. Sendo assim, concentrações maiores de Fe e Mn apresentam significativa relação com os aspectos morfoestruturais, geomorfológicos e pedológicos.

Quando são captadas, as águas subterrâneas com altos teores de ferro são incolores, porém ao entrarem em contato com o oxigênio do ar apresentam coloração. Segundo Richter & Azevedo Netto (1991), teores excessivos de ferro nas águas apresentam vários inconvenientes, dentre eles: manchas nos tecidos, roupas, utensílios sanitários, etc; sabor desagradável; interferência em processos industriais, como cervejarias, tinturarias, fabricação de papel, etc; incrustações e o aparecimento de bactérias ferruginosas nocivas. A precipitação de ferro presente nas águas é a principal responsável pela perda da capacidade específica de poços profundo (ZIMBRES, 2000).

Segundo Iris (2004) o ferro atua na formação da hemoglobina do sangue humano, a sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes. Conforme DELVIN, et al (1998) o acúmulo de ferro no fígado, no pâncreas e no coração pode levar a cirrose e tumores hepáticos, diabetes *mellitus* e insuficiência cardíaca, respectivamente. Segundo MAHAN (2000) o ferro em excesso pode

causar a formação de quantidades excessivas de radicais livres que atacam as moléculas celulares, aumentando o número de moléculas potencialmente carcinogênicas.

As bactérias de ferro ocorrem principalmente em poços cuja água contém teores elevados de ferro e manganês associados com matéria orgânica dissolvida, bicarbonato e dióxido de carbono (FILHO, 2000). Tais bactérias obtêm sua energia através do processo de oxidação dos íons ferrosos para íons férricos, e assim, se desenvolvem. A precipitação do ferro e o rápido crescimento das bactérias criam rapidamente grandes volumes de materiais mucilaginosos que obstruem as aberturas das ranhuras dos filtros. Em casos extremos um poço pode ser totalmente obstruído em poucos meses (DRISCOLL, 1987).

Segundo Filho (2000), como prevenção e tratamento dessas bactérias recomenda-se a utilização de uma quantidade de cloro livre residual, em uma concentração de 10 mg/L no processo de perfuração do poço. Também é recomendada a mistura de hipoclorito de cálcio seco no material do pré-filtro durante a sua introdução no poço.

4.5.1 Processos de oxidação e remoção de Ferro e Manganês

Segundo Di Bernardo (1993) existem muitos processos de remoção de ferro e manganês, embora a oxidação em pH apropriado com aeração ou uso de oxidantes químicos, sejam os mais utilizados. Conforme Moruzzi (2012), os métodos usualmente empregados para controle ou remoção de ferro e manganês da água de abastecimento são:

- Formação de precipitado e filtração através da aeração, sedimentação e filtração (com ou sem adição de cloro e alcalinizante para ajuste de pH); ou através da oxidação com permanganato de potássio, cloro, dióxido de cloro ou ozônio, seguida da filtração (com ou sem adição de alcalinizante);

- Troca iônica;

- Estabilização com polifosfatos.

A troca iônica é recomendável somente quando a concentração de ferro e manganês é muito baixa (geralmente menor que 0,5 mg/L). O uso de oxidantes causa a formação do precipitado de ferro para valores de pH maiores que 6,5, mas, no caso do manganês, geralmente é necessário um valor de pH maior que 8 para que haja formação do precipitado.

Quando a concentração de ferro for superior a 10 mg/L, pode ser benéfica a sedimentação, após a oxidação, porém, a remoção não é muito elevada devido a baixa velocidade atribuída aos flocos, havendo a necessidade de filtração (MORUZZI, 2012).

Segundo Benefield e Morgan (1990), o ferro e o manganês podem ser removidos da água de diferentes maneiras. A maneira mais utilizada envolve a oxidação das formas mais solúveis de Fe^{+2} e Mn^{+2} e subsequente remoção dos precipitados formados por filtração. O oxigênio molecular, cloro e o permanganato de potássio são usados com sucesso como agentes oxidantes. Cleasby (1983), comenta que para a oxidação de 1 mg de Fe^{+2} são necessários 0,64 mg de Cl_2 e, para a oxidação de 1 mg de Mn^{+2} são necessários 1,29 mg do mesmo oxidante.

Conforme Wong (1984), processos como troca iônica, oxidação com dióxido de cloro seguido da filtração, ajuste do pH, e uso da micro ou nanofiltração têm sido aplicados, porém com menor frequência, devido ao alto custo e problemas operacionais.

O processo de aeração-filtração é geralmente recomendado para águas com altas concentrações de ferro (> 5 mg/L) para amenizar os custos com produtos químicos. O processo de cloração-filtração é recomendado para remoção de concentrações menores de ferro (< 2 mg/L). A oxidação com permanganato de potássio seguida da filtração em leito de pedra calcária é recomendada para a remoção de pequenas a moderadas concentrações de ferro e manganês (MORUZZI, 2012).

O processo de aeração-filtração inclui um equipamento de aeração, tanque de retenção e filtros. O processo de cloração-filtração é simples e normalmente requer pequenas unidades de cloração e filtros. Algumas vezes um pequeno tanque de retenção e um sistema para ajuste do pH com soda cáustica ou hidróxido de cálcio são requeridos. Tanto o cloro gasoso como o hipoclorito podem ser usados como agentes oxidantes (MORUZZI, 2012).

O processo de oxidação com permanganato de potássio seguido da filtração em rocha calcária é similar ao processo de cloração-filtração, diferenciando-se no oxidante utilizado e leito filtrante. Uma solução de 1 a 4% de permanganato de potássio é necessária antecedendo o filtro para reduzir a quantidade de ferro e manganês solúveis no interior do meio filtrante. A rocha calcária é um mineral capaz de trocar elétrons com os metais solúveis alterando-os para seus estados insolúveis, tendo portanto, a habilidade de oxidar e filtrar (MORUZZI, 2012).

Segundo Moruzzi (2012), as maiores desvantagens deste processo são o alto custo operacional associado aos produtos químicos requeridos e a deterioração do leito filtrante

quando o pH esta na faixa de valor em torno de 7. Em alguns casos o cloro é utilizado em associação com o permanganato de potássio para reduzir os custos com produtos químicos.

4.6 LEGISLAÇÃO

A primeira legislação referente ao uso de águas, no Brasil, foi implantada em 1934 através do Código de Águas. Em 1988, com a criação da Constituição Federal, foi extinto o domínio privado das águas subterrâneas, passando a ser considerado um bem de domínio público e sua gestão realizada pelo Estado (ARENZON, 2004).

No Rio Grande do Sul, em 1994, foi criada a Lei Estadual nº 10.350/94 que instituiu o Sistema Estadual de Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul. Seu principal instrumento de gestão é a Outorga de Direito de Uso da Água, assegurado pelo Decreto Estadual nº 37.033/94 e elaborado para autorizar, conceder ou permitir aos usuários a utilização desse bem público. Assim, a outorga é o ato administrativo mediante o qual o Poder Público outorgante concede o direito de uso dos recursos hídricos, nos termos e condições estabelecidas no referido ato administrativo. Com isso, o Poder Público promove a harmonização entre os múltiplos usos, garantindo a todos os usuários o acesso aos recursos hídricos, conforme a disponibilidade em cada bacia hidrográfica (SEMA/DRH, 2015).

Em 1995 foi criada a Secretaria Nacional de Recursos Hídricos, que tinha como principal objetivo formular e executar o planejamento de recursos hídricos no Brasil. Com isso, em 1997 foi criada a Lei Federal 9.433 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil. Esta lei disciplina, moderniza e democratiza o uso de águas subterrâneas e de superfície no Brasil e faz com que a água subterrânea passe a estar ligada ao limite da bacia hidrográfica em que está localizado o aquífero, devendo ter sua gestão integrada à das águas superficiais. Também são adotados instrumentos para a gestão das águas, como a outorga de uso da água, já estabelecida no Rio Grande do Sul, que deverá estar condicionada às prioridades de uso estabelecidas e deverá respeitar a classe de enquadramento determinada pela Resolução 20/86 do CONAMA (BRASIL, 1986) (ARENZON, 2004).

Conforme a Resolução nº 001/97 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) são dispensados da Outorga de Direito de Uso da Água os usos das águas de caráter individual, referentes à satisfação das necessidades básicas da vida, como higiene, alimentação e produção de subsistência, sendo associadas também a esse critério às condições

de uso da água em unidade residencial unifamiliar, em locais onde não haja sistema de abastecimento público, além da não utilização da água para fins econômicos. Também são dispensados da Outorga de Direito de Uso da Água as captações insignificantes, com vazão média mensal de até dois metros cúbicos por dia ou com a finalidade de uso de caráter individual e para a satisfação das necessidades básicas da vida, segundo o Decreto Estadual nº 42.047/02 (SEMA/DRH, 2015).

Em abril de 2008 é criada a Resolução CONAMA nº 396 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, além de apresentar uma lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada um dos usos considerados e os limites de quantificação praticáveis (LQP), considerados como aceitáveis para aplicação desta Resolução (MMA, 2015). A Resolução CONAMA 420 (MMA, 2015), criada em 2009, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade e uso do solo e água subterrânea quanto à presença de substâncias químicas e estabelece teores limites para a ocorrência de riscos potenciais à saúde humana, sejam eles diretos ou indiretos (Valores de Investigação). No dia 12 de dezembro de 2011 é criada então, pelo Ministério da Saúde, a Portaria 2.914 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e define o seu padrão de potabilidade, estabelecendo concentrações máximas de substâncias que podem afetar a saúde humana, nas águas destinadas ao consumo humano.

4.7 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E GEOMORFOLÓGICA

A área de estudo está inserida na Folha Gravataí. Esta folha abrange uma superfície de aproximadamente 2680 km² e situa-se na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Seus limites se dão pelos paralelos 29°30' e 30°00' Sul e pelos meridianos 51°00' e 50°30' Oeste (Figura 5).

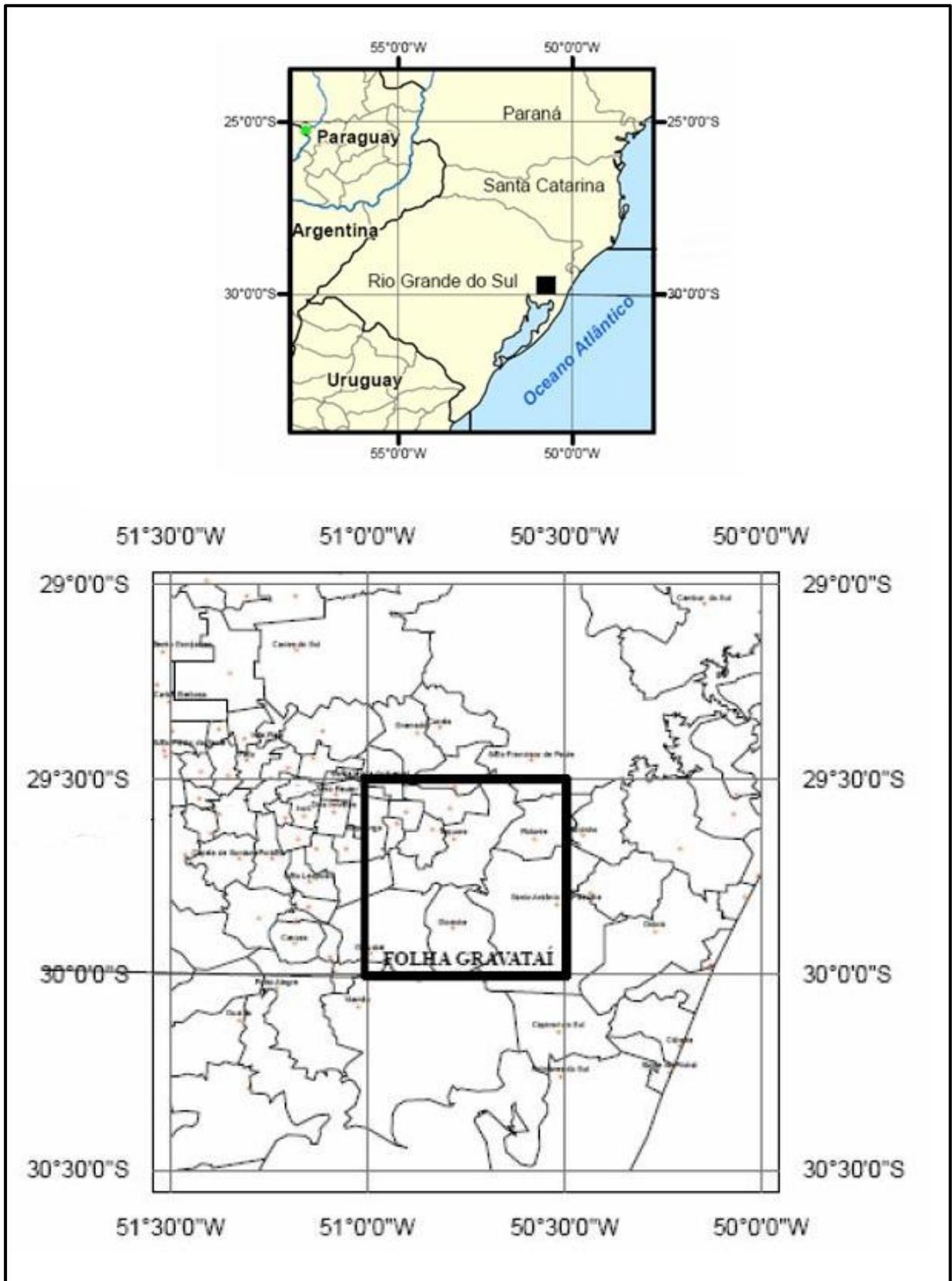


Figura 5 - Localização da Folha Gravataí. Fonte: Roisenberg (2007).

A região da Folha de Gravataí compreende os municípios de Gravataí, Glorinha, Sapiranga, Parobé, Araricá, Nova Hartz, Taquara, Igrejinha, Três Coroas, Santo Antônio da Patrulha, Rolante, Alvorada, Viamão, Novo Hamburgo, Santa Maria do Herval e São Francisco de Paula. Os principais rios presentes na região são o Rio Gravataí e o Rio dos Sinos.

Na Folha de Gravataí ocorrem as unidades geomorfológicas do Planalto Meridional, Depressão Central e Planície Costeira (Figura 6).

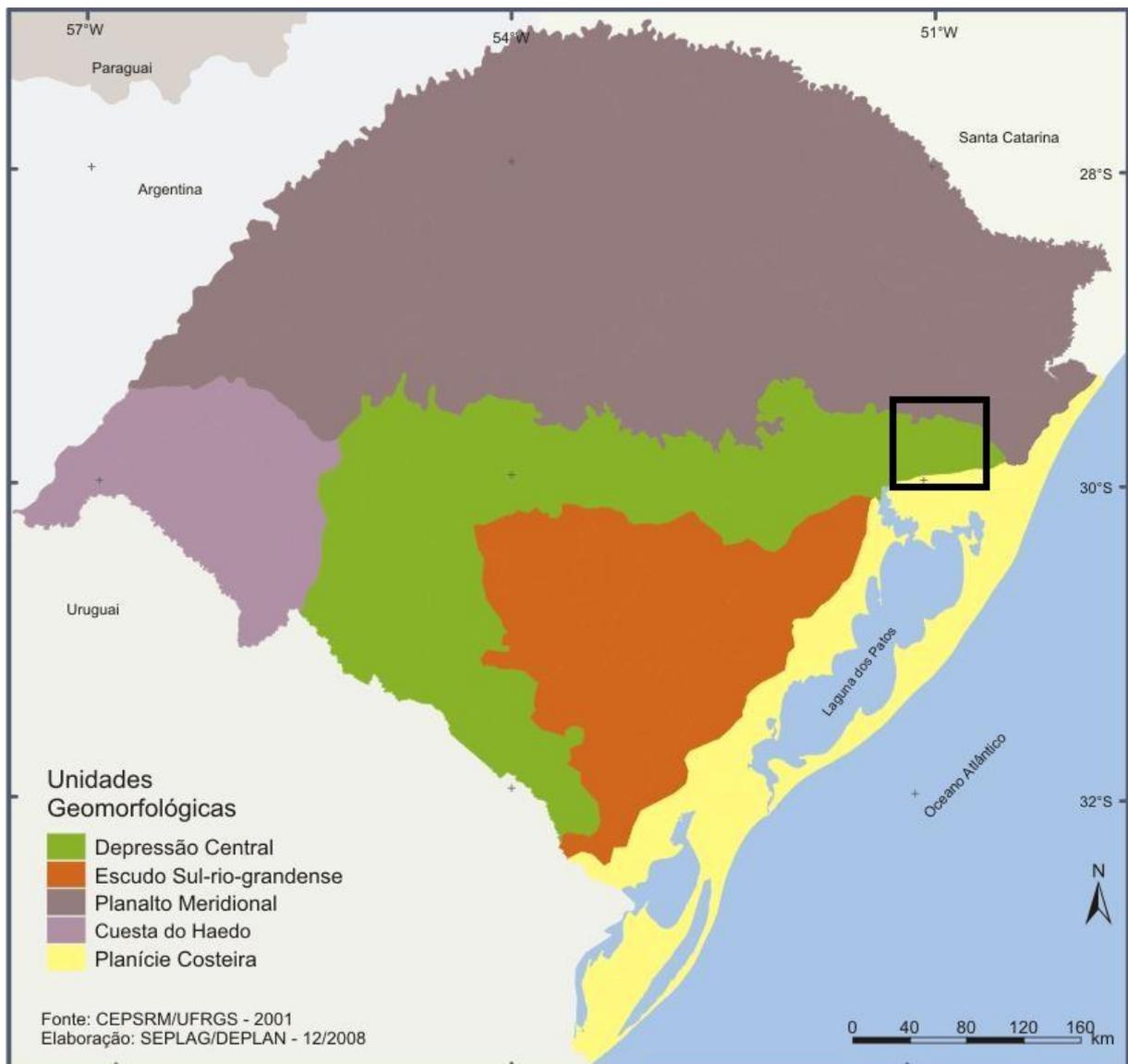


Figura 6 - Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul. Fonte: Atlas Sócio-econômico do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Coordenação e Planejamento – 2ª edição 2006.

A Depressão Central é caracterizada por terras de baixa altitude. Está localizada ao sopé do Planalto e apresenta relevo aplainado e planícies fluviais, sendo formada por rochas

sedimentares da Bacia do Paraná. É comum nesta área a ocorrência de morros testemunhos de até cerca de 200 metros de altitude que representam a antiga linha de escarpa da Serra Geral. A vegetação predominante é de matas e campos. A Planície Costeira é formada por unidades sedimentares marinhas e flúvio-lacustres inconsolidadas pertencentes à Bacia de Pelotas e apresenta relevo muito baixo, próximo do nível do mar. É caracterizada por extensas regiões de banhados, lagos e lagoas (ROISENBERG, 2007).

A região de estudo está inserida na unidade geomorfológica denominada Depressão Central, apresentando relevos ondulados, com altitude média de 60 metros acima do nível do mar, variando de 39 a 120 metros.

4.8 GEOLOGIA REGIONAL

O contexto geotectônico da Folha Gravataí (Figura 7) é representado pelas unidades do Escudo Sul-rio-grandense, Bacia do Paraná (sedimentos gonduânicos e sequências vulcânicas básicas e ácidas) e Bacia de Pelotas (Planície Costeira).

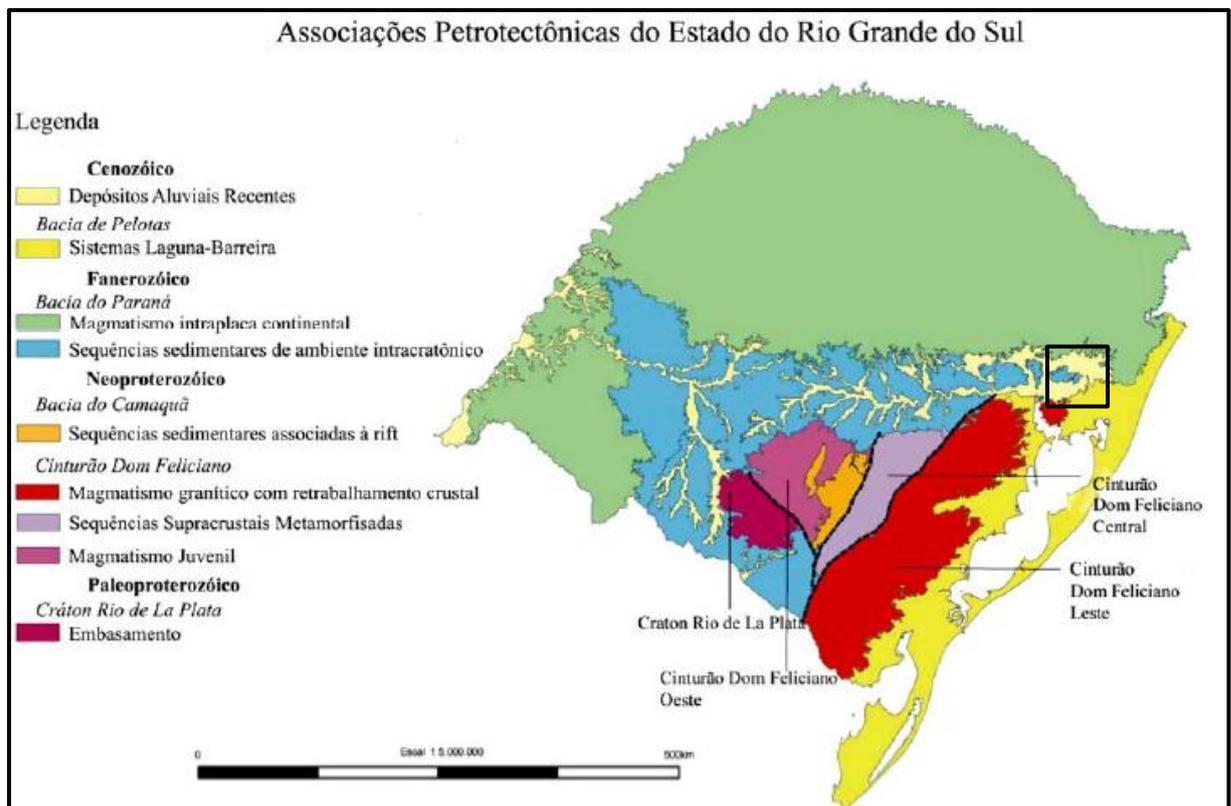


Figura 7 - Compartimentação geotectônica do Rio Grande do Sul. Fonte: Roisenberg (2007)

4.8.1 Escudo Sul-Rio-Grandense

O embasamento do Estado do Rio Grande do Sul é representado pelo Escudo Sul-rio-grandense. Está localizado na região centro-sul, possuindo cerca de 65.000 km² de área no Estado (CHEMALE JR., 2000). É delimitado ao norte, oeste e sudoeste pela Bacia do Paraná, e a leste pela Bacia de Pelotas, que pertence à Província Costeira do Rio Grande do Sul.

O escudo é composto por rochas de idades variadas desde o Arqueano até o Eopaleozóico. Apesar de ser espacialmente restrito, apresenta associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, de idade, origem e evolução diversas, distribuídas num complexo arranjo tecno-estratigráfico controlado por lineamentos regionais de orientação predominante NE-SW e NW-SE (ROISENBERG, 2007).

Na Folha Gravataí, este embasamento está representado pela Suíte Granítica Dom Feliciano. Esta unidade ocorre em uma porção restrita, localizada em um alto topográfico na cidade de Gravataí, constituída por um granito de cor rósea e textura isotrópica (ROISENBERG, 2007).

4.8.2 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná corresponde a uma bacia intracratônica cujas unidades basais depositaram-se sobre o Escudo Sul-rio-grandense (ROISENBERG, 2007). É representada por sedimentos predominantemente siliciclásticos e rochas vulcânicas, de idade desde o Ordoviciano até o período Cretáceo. Sua espessura é estimada entre 5.000 e 6.000 m (Figura 8).

Segundo Milani (1997), a Bacia do Paraná está dividida em cinco superseqüências: Superseqüência Rio Ivaí (O-S), Superseqüência Paraná (D), Superseqüência Gondwana I (C-eoTr), Superseqüência Gondwana II (meso/neoTr), Superseqüência Gondwana III (neoJ-eoK) e Superseqüência Bauru (neoK) (Figura 9).

Na Folha Gravataí, a Bacia do Paraná está representada por algumas unidades pertencentes às Superseqüência Gondwana I (Formações Rio Bonito e Palermo do Grupo Guatá, Subgrupo Estrada Nova e Formação Rio do Rastro do Grupo Passa Dois, e Formação Pirambóia) e Superseqüência Gondwana III (Formações Botucatu e Serra Geral do Grupo São Bento) (ROISENBERG, 2007).

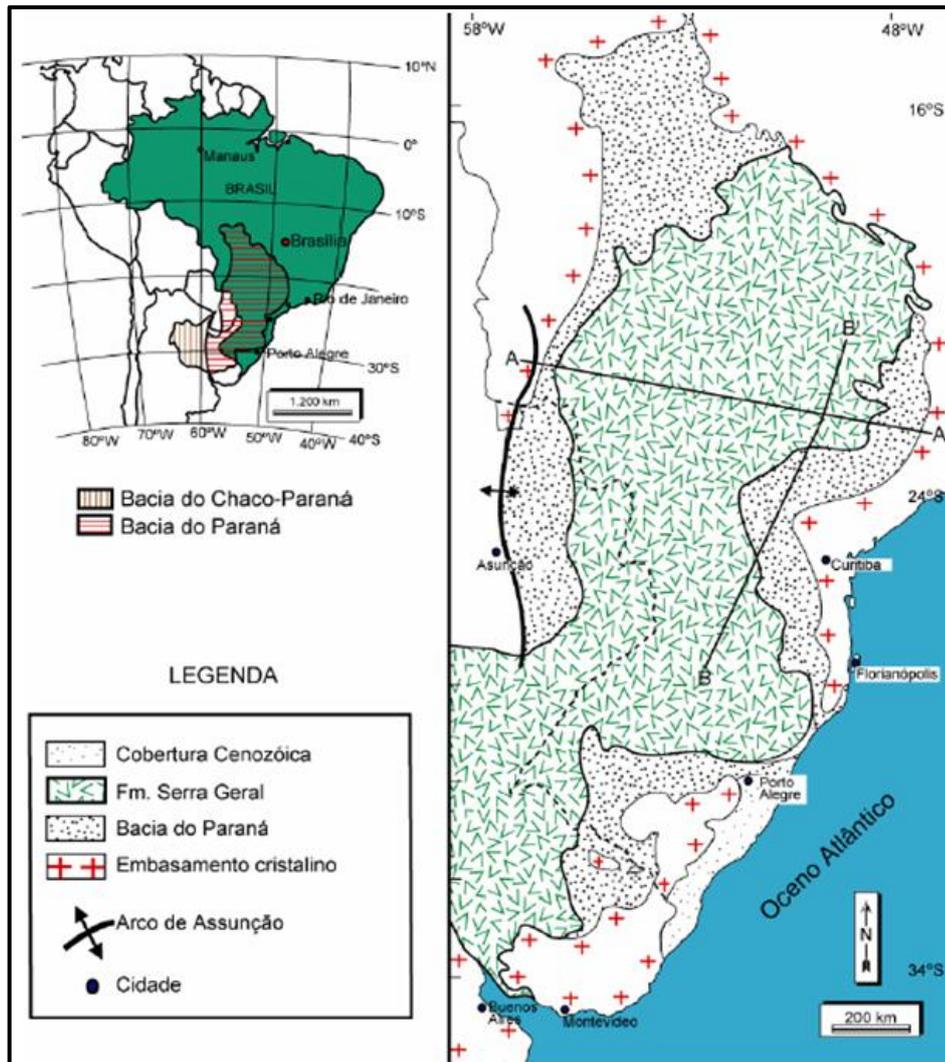


Figura 8 - Localização da Bacia do Paraná e distribuição da Formação Serra Geral (modificado de Zalan et al., 1990). Fonte: Roisenberg (2007).

A Supersequência Gondwana I está depositada sobre a supersequência Paraná em discordância de larga abrangência. A sedimentação iniciou-se no Carbonífero e se estendeu até o Permiano Superior e Triássico Inferior. Mudanças profundas do clima e da tectônica caracterizaram o período de deposição desta supersequência, enquanto que a sedimentação se iniciou em condições glaciais. O clima frio foi mudando gradativamente para um clima temperado e úmido. Processos de deformação litosférica, associados à orogenia do Cabo e La Ventana, ocorreram no Permiano (ROISENBERG, 2007).

A Supersequência Gondwana III é composta pelas unidades sedimentares da Formação Botucatu e do magmatismo da Formação Serra Geral. Os depósitos sedimentares são representados por paleodunas e sedimentos associados à Formação Botucatu, ocorrentes no período Jurocretácico. A deposição dos sedimentos da Formação Botucatu foi iniciada durante a pré-ruptura dos continentes e continuou durante o evento de magmatismo da

Formação Serra Geral (ROISENBERG, 2007). Segundo Milani *et al.* (1998), as dunas e os depósitos sedimentares de clima árido ocorreram de forma intertrápica ou mesmo como espessas camadas de dunas arenosas eólicas (ergs) subjacentes, posteriormente litificadas (paleodunas).

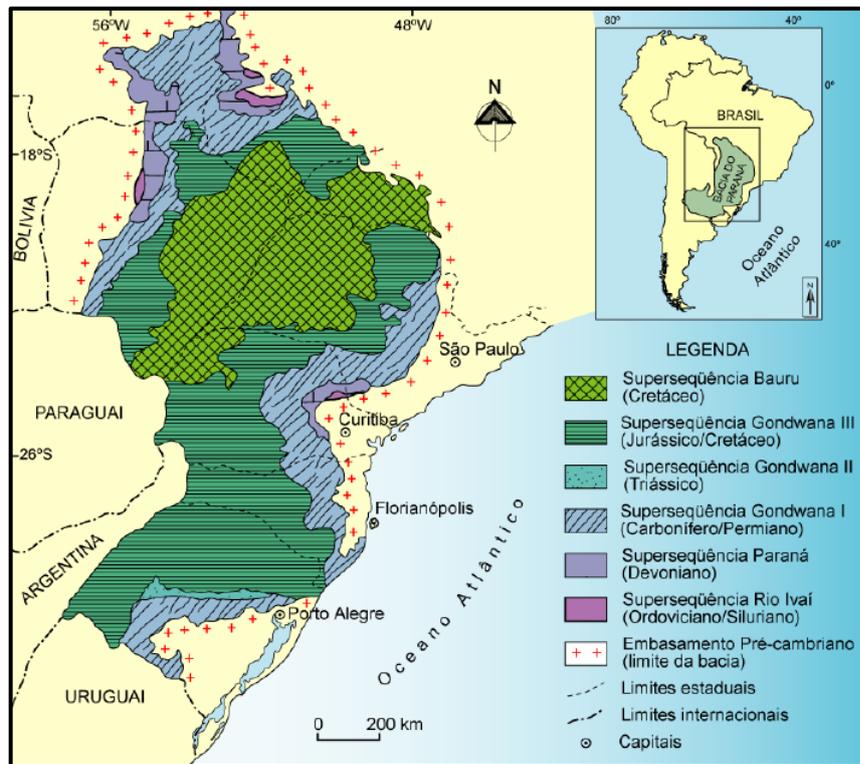


Figura 9 - Mapa da área da Bacia do Paraná e distribuição das superseqüências no território brasileiro (modificado de Milani, 1997). Fonte: Roisenberg (2007).

As formações geológicas de maior ocorrência na Folha Gravataí estão descritas abaixo:

- Formação Rio Bonito: é constituída principalmente por arenitos finos a médios nas porções da base e do topo. Na porção média apresenta siltitos e folhelhos contendo camadas de carvão e calcários (MILANI, 1997).

- Formação Palermo: caracteriza-se por apresentar em sua constituição siltitos e siltitos arenosos, acinzentados ou amarelo-esverdeados e arenitos finos a médios no topo. Sua sedimentação ocorreu num momento de subsidência acelerada que propiciou a subida do nível relativo do mar e o nível de máxima inundação da Superseqüência Gondwana I (MILANI, 1997).

- Formação Irati: apresenta camadas de siltitos, argilitos e folhelhos cinza claros ou cinza esverdeados a negros, frequentemente intercaladas com arenitos tubulares muito finos, amarelados, com espessuras decimétricas, quartzosos e com cimento carbonático (GOFFERMANN, 2013). Os folhelhos cinza são compostos por minerais como esmectita,

ilita, barita, quartzo e piroxênio, e os folhelhos negros por esmectita, ilita, jarosita, quartzo, plagioclásio e piroxênio. O arenito amarelado tem em sua composição mineralógica, quartzo, muscovita, feldspato, carbonato, argilominerais e óxido de ferro (ROISENBERG, 2007).

- Subgrupo Estrada Nova: está representado, na Folha Gravataí, por siltitos e argilitos com intercalações milimétricas de arenitos muito finos, em geral muito alterados. Localmente predominam níveis mais argilosos, sem laminações evidentes de cor cinza claro e oxidações amarelo-laranja-avermelhada (ROISENBERG, 2007).

- Formação Rio do Rastro: é constituída pelos membros Serrinha e Morro Pelado. Serrinha tem sua deposição associada a um ambiente transicional constituído por depósitos marinho raso e de planície costeira e apresenta, em sua constituição, arenitos finos, bem selecionados, intercalados com siltitos e argilitos. Morro Pelado está associado a depósitos flúvio-deltaicos, sendo constituído por lentes de arenitos finos intercalados com siltitos e argilitos (ROISENBERG, 2007). Segundo Lavina (1991), no Rio Grande do Sul, os depósitos apresentam características associadas ao Membro Morro Pelado, apresentando arenitos avermelhados depositados em ambiente continental sob condições climáticas oxidantes.

- Formação Pirambóia: é caracterizada como seqüências deposicionais representadas por depósitos flúvio-lacustres-eólicos depositados sobre a Formação Rio do Rasto. É constituída por litologias predominantemente arenosas, friáveis e espessas com uma quantidade reduzida de afloramentos bem preservados. Ocorrem predominantemente, arenitos médios a finos, siltosos, brancos, avermelhados e arroxeados (ROISENBERG, 2007).

- Formação Rosário do Sul: é a formação com maior expressão territorial, distribuindo-se em uma faixa marginal na base dos arenitos da Formação Botucatu e como um corpo isolado na porção nordeste de Gravataí. Apresenta aproximadamente 200 metros de espessura e é constituído por três unidades distintas: formações Santa Maria, Sanga do Cabral e Caturrita (FINATO, 2013). A Formação Rosário do Sul reúne arenitos de granulação média a fina, siltitos, argilitos e lamitos, que mostram colorações vermelha, castanho-avermelhada, cinza-avermelhado e branca. Os arenitos tem origem no Triássico médio e caracteriza-se por uma sequencia indiferenciada de interdigitações destes materiais. O ambiente de deposição é fluvial, localmente lacustre (FINATO, 2013).

- Formação Botucatu: abrange uma ampla área de deposição eólica, recobrando cerca de 1.300.000 km², compreendendo áreas do Brasil, Uruguai, Paraguai e África. A época de deposição da Formação Botucatu era caracterizada pelo domínio do clima árido, com mínima

influência do lençol freático, contribuindo para a ocorrência de grandes quantidades de sedimentos que eram transportados e depositados através dos ventos e gerando dunas espessas (PIRES, 2004). Na Folha de Gravataí, os afloramentos da Formação Botucatu são constituídos essencialmente por arenitos finos a médios, de cores róseo-avermelhadas, bastante litificados, com domínio de minerais quartzosos, sem matriz argilosa (ROISENBERG, 2007).

- Formação Serra Geral: tem sua formação associada a um extensivo derramamento de lavas basálticas, de imenso volume em área cratônicas continentais. Estes derrames constituem um volume estimado de 800.000 km³ (PEATE & HAWKESWORTH, 1996), onde 90% estão distribuídos na América do Sul e 10% na Namíbia. Na América do Sul, o vulcanismo está concentrado no Brasil, mas também ocorrem remanescentes na Argentina, Uruguai e Paraguai. O magmatismo da Formação Serra Geral, é dominado por basaltos e basaltos andesíticos de afinidade toleítica distribuídos em uma pilha de derrames com até 2 km de espessura. As unidades ácidas descritas genericamente como “riolitos” ocorrem intercaladas no topo da pilha vulcânica (Peate *et al.*, 1992). O magmatismo máfico (rochas vulcânicas e intrusivas correlatas) é subdividido em dois grupos: Basaltos Alto Ti, ricos em TiO₂ e Basaltos Baixo Ti, pobres em TiO₂. Os Basaltos Alto Ti ocorrem principalmente no norte da Bacia e os Baixo Ti são predominantes no sul (Melfi *et al.*, 1988). Na Folha Gravataí, as unidades relacionadas ao magmatismo da Formação Serra Geral ocorrem principalmente na metade superior. Foi identificado o predomínio de rochas vulcânicas básicas a intermediárias (Fácies Gramado), principalmente nas regiões de escarpas do planalto. Também há a ocorrência de lavas ácidas (Fácies Caxias) em pequenas áreas ao noroeste e nordeste, na parte mais elevada e plana (ROISENBERG, 2007).

- Depósitos Gravitacionais de Encostas (Aluviões e Coluviões): é constituída de leques aluviais alimentados principalmente pelo Escudo Pré-cambriano. Englobam um conjunto de fácies sedimentares resultantes de processos de transporte associados aos ambientes de encosta de terras altas. São conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos de cores avermelhadas, maciços ou com estruturas acanaladas. As flutuações entre clima árido e úmido no Terciário Superior e Quaternário tiveram grande influência no desenvolvimento deste sistema deposicional (FINATO, 2013).

As principais formações geológicas que ocorrem na área de estudo são a Formação Rio do Rastro e os Depósitos Colúvio Aluviais (Figura 10).

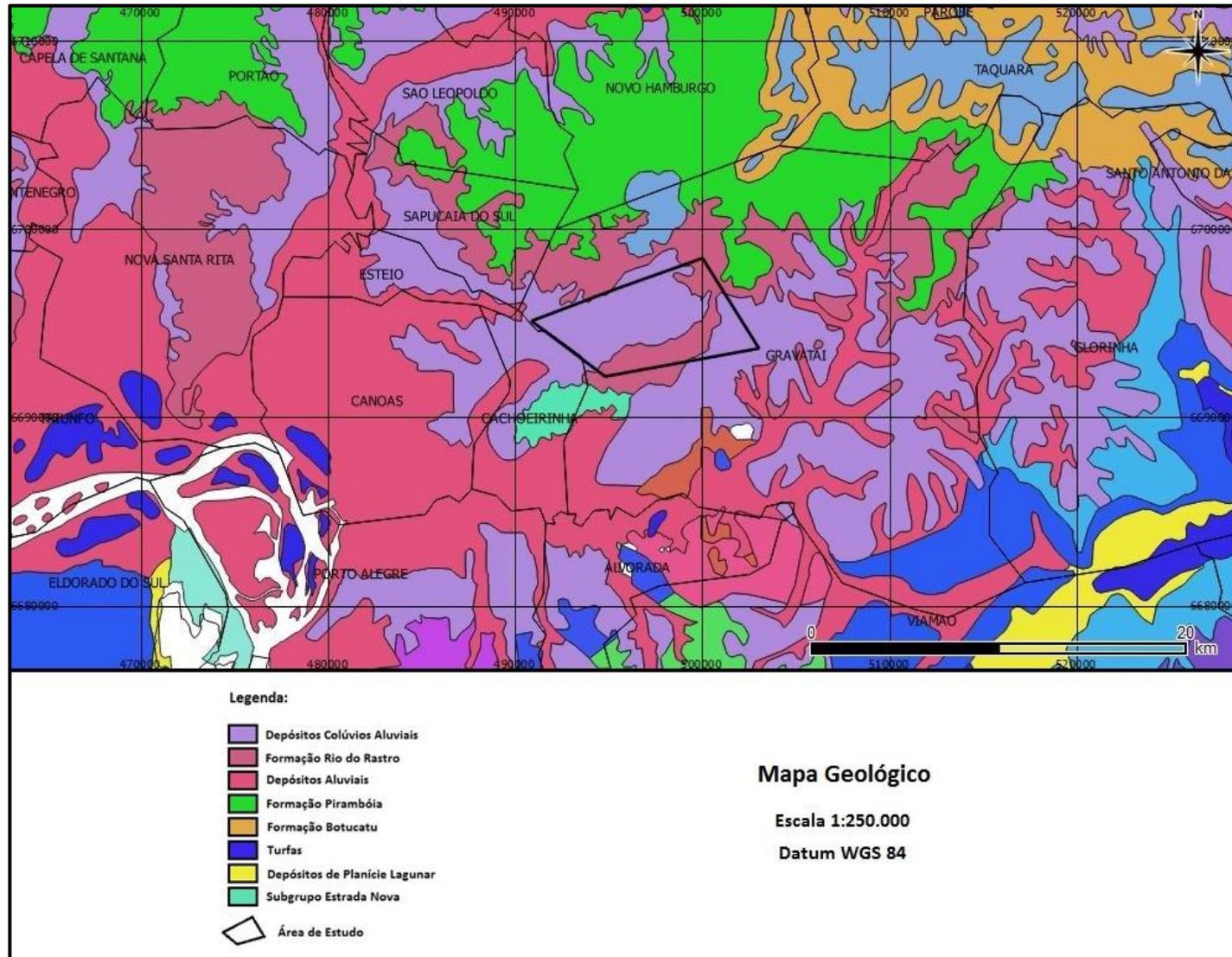


Figura 10 - Formações geológicas descritas na área de estudo (Adaptado da Carta Geológica para o Estado do RS, CPRM, 2008, Escala 1:750.000).

4.9 HIDROGEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo se encontra na região dos Aquitardos Permianos (Figura 11). Esse sistema de aquitardos apresenta elevada dureza da água subterrânea e grande concentração de carbonatos. Também há evidências de alta concentração de ferro e manganês na área de estudo.

Os Aquitardos Permianos englobam as Formações Irati, Sub-Grupo Estrada Nova e Formação Rio do Rasto. São constituídos por siltitos argilosos, argilitos cinza escuros, folhelhos pitobetuminosos e pequenas camadas de calcários e arenitos. As capacidades específicas dos poços que captam água deste sistema são baixas, inferiores a $0,1\text{m}^3/\text{h.m}$. As águas captadas podem ser duras, com grande quantidade de sais de cálcio e magnésio (MACHADO & FREITAS, 2005). A sua vulnerabilidade natural é considerada insignificante, devido ao alto teor de argilas e siltitos em sua composição (VIERO, 2010). Por apresentar uma constituição essencialmente de rochas sedimentares finas, essas unidades são consideradas aquitardos, apresentando baixíssima condutividade hidráulica. Lentas calcárias, camadas de arenitos, planos entre os folhelhos e estruturas frágeis (planos de falhamentos e fraturas) podem causar um aumento da circulação de água nestas unidades. Como as mesmas estão sobrejacentes ao Aquífero Rio Bonito (ARB) e em função do ambiente deposicional (marinho), associados à mineralogia destas rochas, os Aquitardos Permianos podem se constituir em horizontes contaminantes do ARB, principalmente quando estão em contato com os folhelhos pirobetuminosos da Formação Irati (HAUSMAN, 1995).

Conforme estudos realizados por Goffermann (2013) na região do município de São Gabriel, as águas relacionadas aos Aquitardos Permianos, que são vinculadas principalmente às unidades litoestratigráficas da Formação Irati apresentaram consideráveis teores de sais dissolvidos, sódio e flúor. Amostras de água subterrânea, situadas dentro dos Aquitardos Permianos associadas às rochas sedimentares das Formações Estrada Nova e Irati, com captação ocorrendo em níveis arenosos da formação Rio Bonito que interceptam o pacote, apresentaram altos valores de condutividade Elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD) e cloretos. Nessa região as águas foram classificadas como bicarbonatadas sódicas, inadequadas para consumo humano e desfavoráveis para irrigação.

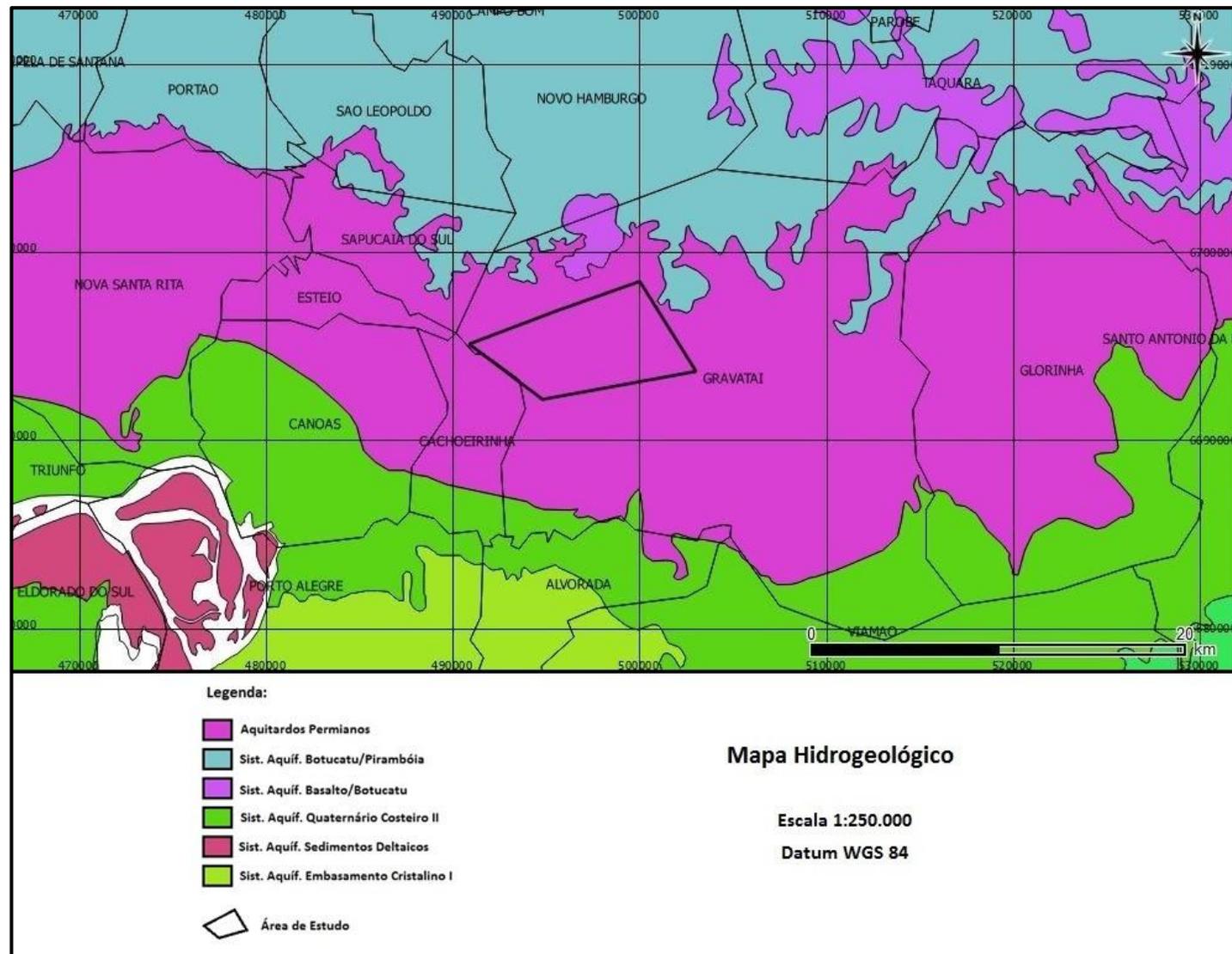


Figura 11 - Hidrogeologia da área de estudo (Adaptado do Mapa Hidrogeológico do RS, MACHADO E FREITAS, 2005, Escala 1:750.000).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES

O levantamento de dados geomorfológicos, geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos foi realizado através da consulta em publicações (artigos, dissertações, teses), mapas geológicos e hidrogeológicos, entre outros, desenvolvidos por órgãos públicos e instituições de ensino. Tais informações foram utilizadas na caracterização geral, geológica e hidrogeológica da área de estudo.

5.2 INVENTÁRIO E CADASTRAMENTO DE PONTOS DE ÁGUA

O levantamento dos poços tubulares foi realizado através do acesso ao Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e por meio de empresas de perfuração de poços. No portal do SIAGAS foi realizada uma pesquisa dos poços tubulares existentes na região de estudo e obtidas as fichas técnicas desses poços. Nas fichas técnicas foram consultados os dados do perfil geológico, cota do terreno, profundidade total do poço, profundidade das entradas de água, vazão, nível estático, tipo de captação, uso da água, formação geológica, camada geológica de captação de água, método de perfuração e as coordenadas geográficas de localização. Os dados de cota do terreno, indisponíveis em algumas fichas técnicas, foram obtidos com o auxílio do software Google Earth (SRTM 90m). Os dados de análises físico-químicas não estavam disponíveis nas fichas cadastrais dos poços. No levantamento de poços tubulares realizado em empresas de perfuração foram obtidas, além das fichas técnicas, os dados de análises físico-químicas das águas subterrâneas. Todos os dados foram organizados em tabelas e utilizados para caracterizar a hidrogeologia da área de estudo.

Foram feitos levantamentos de campo para realizar um inventário e o cadastramento dos poços existentes na área de estudo. O levantamento foi realizado em uma porção restrita da região, pois as águas captadas por esses poços apresentavam indícios de ocorrência de ferro e manganês, com problemas de manchas em roupas e precipitados avermelhados escuros em chuveiros, máquinas de lavar roupa e recipientes (Figura 12). Foi feita uma entrevista com os moradores da região para saber as características dos poços e das águas captadas. Foram levantados dados de profundidade, vazão, tipo de captação, características construtivas,

consumo de água, uso da água e coordenadas geográficas e ocorrência de problemas de qualidade da água. Os dados de cota do terreno foram obtidos com o auxílio do software Google Earth.



Figura 12 - Problemas encontrados nos poços levantados, apresentando indícios de ocorrência de Fe e Mn.

5.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

A caracterização geológica e hidrogeológica foi realizada com base na interpretação de dados secundários disponíveis em mapas, publicações e dados geológicos e hidrogeológicos dos poços tubulares identificados na região de estudo. Essa caracterização teve como objetivo identificar as formações geológicas e os aquíferos existentes na região, bem como determinar suas características hidrogeológicas (parâmetros hidrogeológicos, níveis de água, vazão, etc.).

Para a avaliação das unidades aquíferas e para entender a disposição das litologias, presentes na área de estudo, foram elaboradas seções geológicas com base nos dados dos perfis geológicos dos poços tubulares levantados. Para a elaboração das seções foi utilizado o programa AutoCad 2012.

5.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

A avaliação hidroquímica foi realizada através da interpretação de dados obtidos com o levantamento de informações existentes, com o inventário e cadastramento de poços e através dos laudos das análises físico-químicas das amostras coletadas nas atividades de campo. Os dados de informações existentes consistiram em análises de trabalhos e publicações (artigos, dissertações, teses) sobre a ocorrência de diferentes substâncias químicas nas águas subterrâneas e sua correlação com a hidrogeologia dos aquíferos. Também foram levantados dados de análises físico-químicas de alguns poços localizados na região. Esses dados foram utilizados para avaliar a hidrogeologia e a hidroquímica da região de estudo.

A atividade de campo envolveu a coleta de amostras de água subterrânea em 8 poços distintos, que apresentavam problemas de qualidade em suas águas. A coleta das amostras foi realizada na entrada das caixas d'água ou diretamente na tubulação de saída do poço ponteira, dependendo da acessibilidade (Figura 13). Dos 8 poços analisados, 6 apresentavam bombeamento de água através de ar comprimido. Nestes poços, a bomba foi acionada e o bombeamento foi mantido por aproximadamente 10 minutos para proporcionar a limpeza e a liberação da água presente na tubulação. Após esse tempo foi realizada a coleta de água na entrada da caixa d'água, ou então, diretamente na saída do poço ponteira.

As amostras foram coletadas com frascos de PVC e vidro, acondicionadas em caixas de isopor e mantidas sob refrigeração. Amostras dos oito pontos foram enviadas para o laboratório do IPH e foram analisados os parâmetros pH, condutividade, cloreto, nitrato, amônia e turbidez, com o uso de sonda Eureka, modelo Manta 2. Também foram enviadas para o Centro de Ecologia da UFRGS, as amostras de seis pontos escolhidos entre os oito coletados. Dessas seis amostras, em três pontos foram avaliados os parâmetros: sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, alcalinidade, sulfato, ferro, manganês e fluoreto. Nas outras três amostras foram avaliados somente os parâmetros ferro, manganês e fluoreto.

As análises completas adquiridas no levantamento de dados e as três análises realizadas em amostras coletadas no campo foram utilizadas na elaboração de gráficos e diagramas de Piper e Stiff, com o objetivo de identificar os principais tipos de águas subterrâneas. Para geração dos gráficos foi utilizado o programa Excel e para os diagramas o Programa Qualigraf (Mobus, 2002).



Figura 13 - Locais de coleta das amostras nas saídas dos poços ponteira ou na entrada das caixas d'água, quando possível.

5.5 ELABORAÇÃO DE MAPAS

Os mapas foram elaborados através dos softwares Google Earth e Quantum GIS. As bases cartográficas utilizadas foram disponibilizadas pelo banco de dados da CPRM, FEPAM, IBGE e Ministério do Meio Ambiente.

5.6 ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE FERRO E MANGANÊS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO

A análise destes elementos envolveu a identificação de problemas relacionados a qualidade da água, principalmente no que se refere a indícios de ocorrência de ferro e manganês nos poços da região. Procedeu-se às análises hidrogeológicas, através da interpretação de mapas, publicações e fichas técnicas de poços existentes. Foram realizadas análises físico-químicas, nos poços levantados em campo, para determinar os teores de ferro e manganês nas águas captadas por estes poços. Os resultados das análises foram comparados com os valores máximos permitidos para abastecimento humano, determinados pela legislação em vigor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida na porção noroeste do município de Gravataí, mais especificamente no distrito de Ipiranga. Na região foram levantados 10 poços tubulares cadastrados no SIAGAS e 8 poços levantados em campo (Figura 14).

A partir dos dados dos perfis geológicos de alguns poços tubulares cadastrados no SIAGAS foi possível elaborar cinco seções geológicas para a área de estudo, com o objetivo de identificar os diferentes tipos de litologias e a relação estratigráfica das camadas geológicas. As seções geológicas foram correlacionadas com as profundidades dos poços ponteira, com o objetivo de avaliar quais camadas eram interceptadas por esses poços, visto que estes foram perfurados por empresas irregulares e não apresentam qualquer dado de perfil litológico. Os poços de maior interesse para a elaboração das seções foram: Atacadão, Dionísio, Sindicato e Ponta Grossa. A Figura 15 indica a localização das seções geológicas elaboradas. As Figuras 16 a 20 apresentam os perfis geológicos das seções.

As seções elaboradas demonstram que, na maioria da região, as camadas superficiais são formadas por sedimentos areno-argilosos com presença de siltes, possuindo espessuras que variam de 12 a 27 metros. Conforme a análise dos perfis geológicos dos poços, estes sedimentos apresentam coloração que varia entre marrom, amarelo, rosa e bege. As zonas inferiores são formadas por camadas de arenito, apresentando espessuras variadas de 5 a 39 metros. Abaixo das camadas de arenito foram identificadas, em algumas seções, finas camadas de argilito, com espessuras que variam entre 6 e 10 metros. Na porção inferior a estas litologias estão localizadas espessas camadas de siltito, intercaladas com grandes camadas de folhelhos. Estas litologias são originárias principalmente da Formação Rio do Rastro, mas na região, também foi verificada a existência de litologias oriundas da Formação Rio Bonito e da Formação Rosário do Sul. Em zonas mais profundas foi possível identificar grandes camadas de folhelhos originários da Formação Irati.

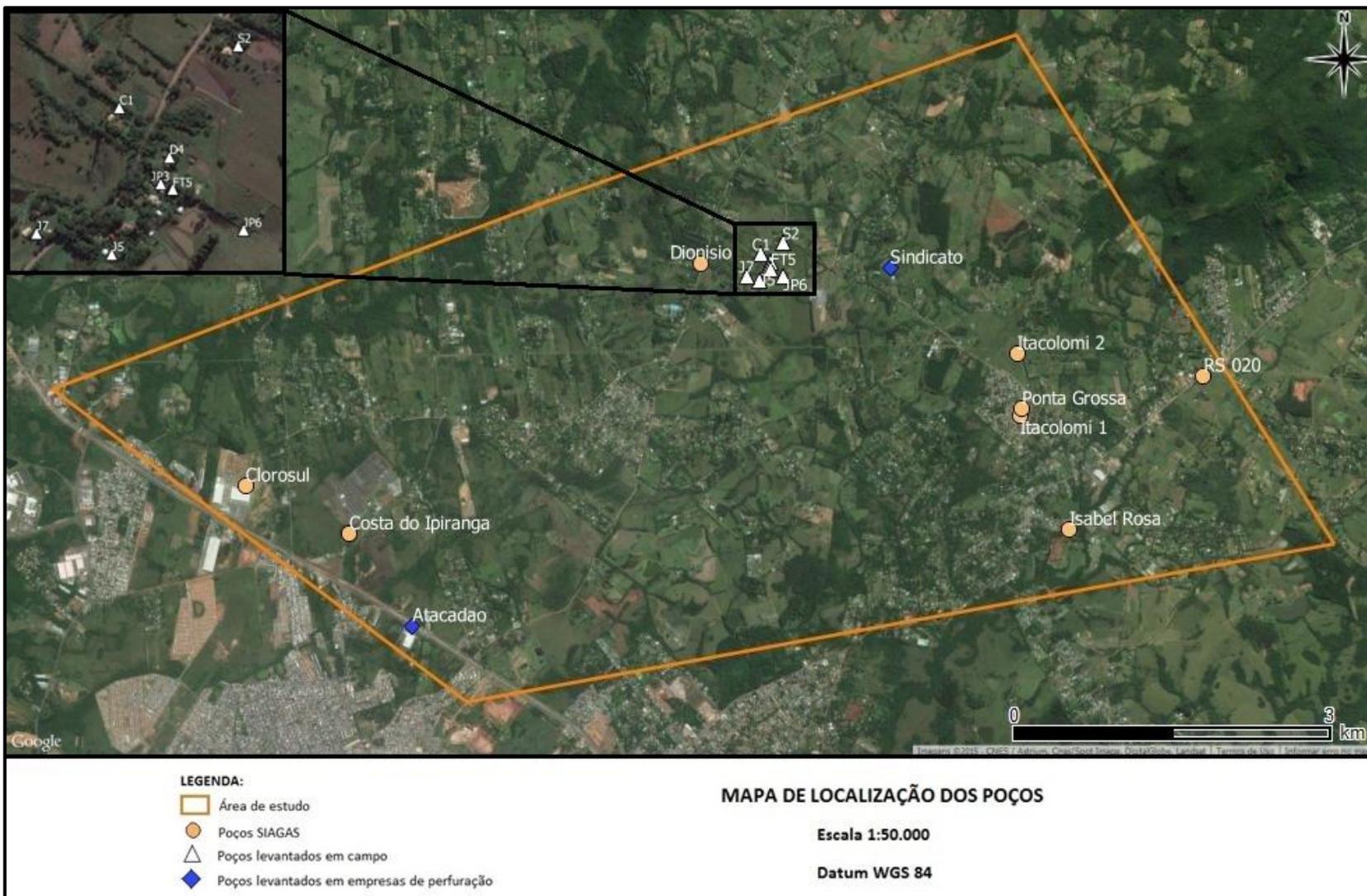


Figura 14 - Mapa de localização dos poços SIAGAS e dos poços ponteira levantados em campo.

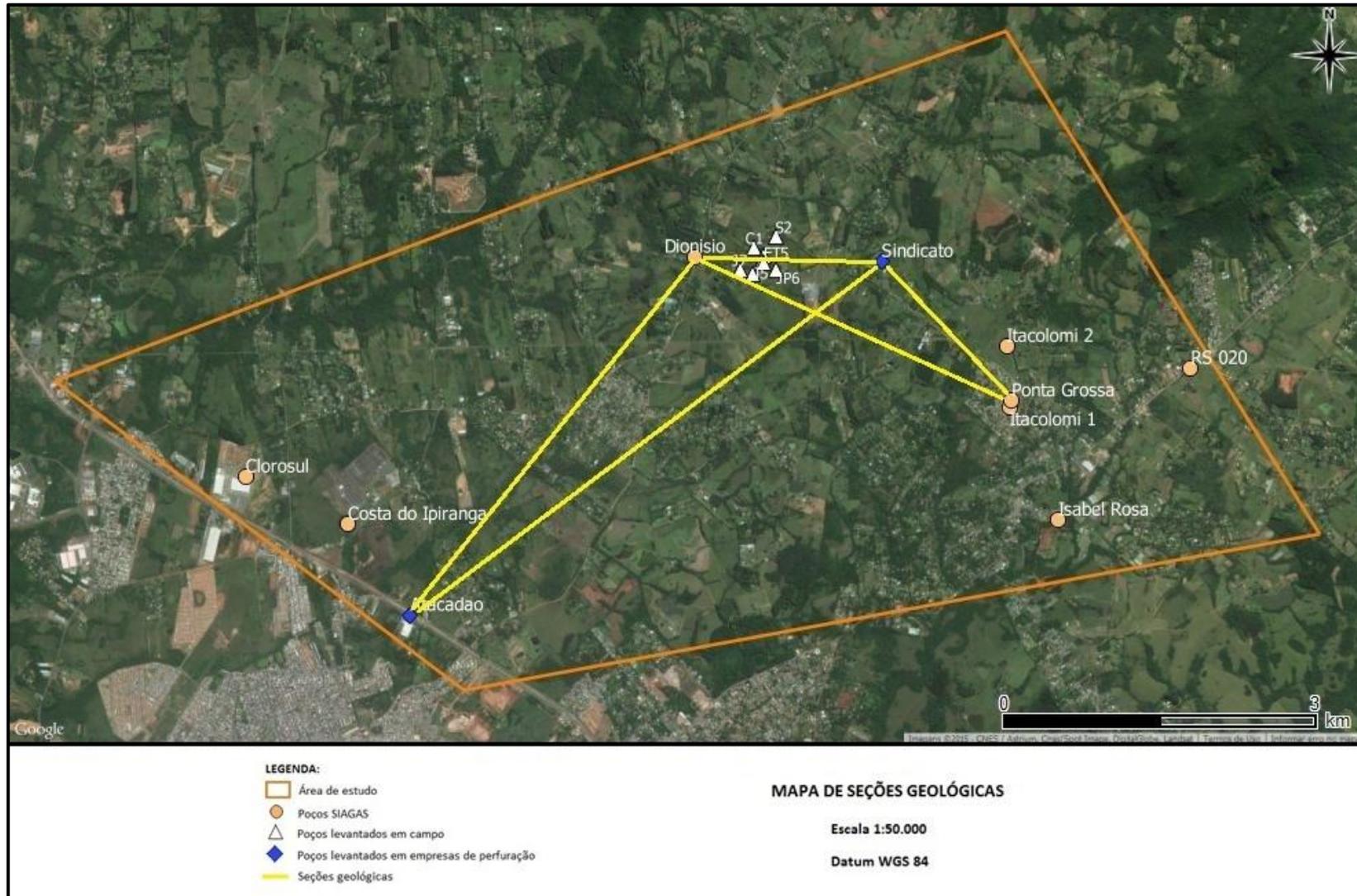


Figura 15 - Mapa de localização das seções geológicas elaboradas.

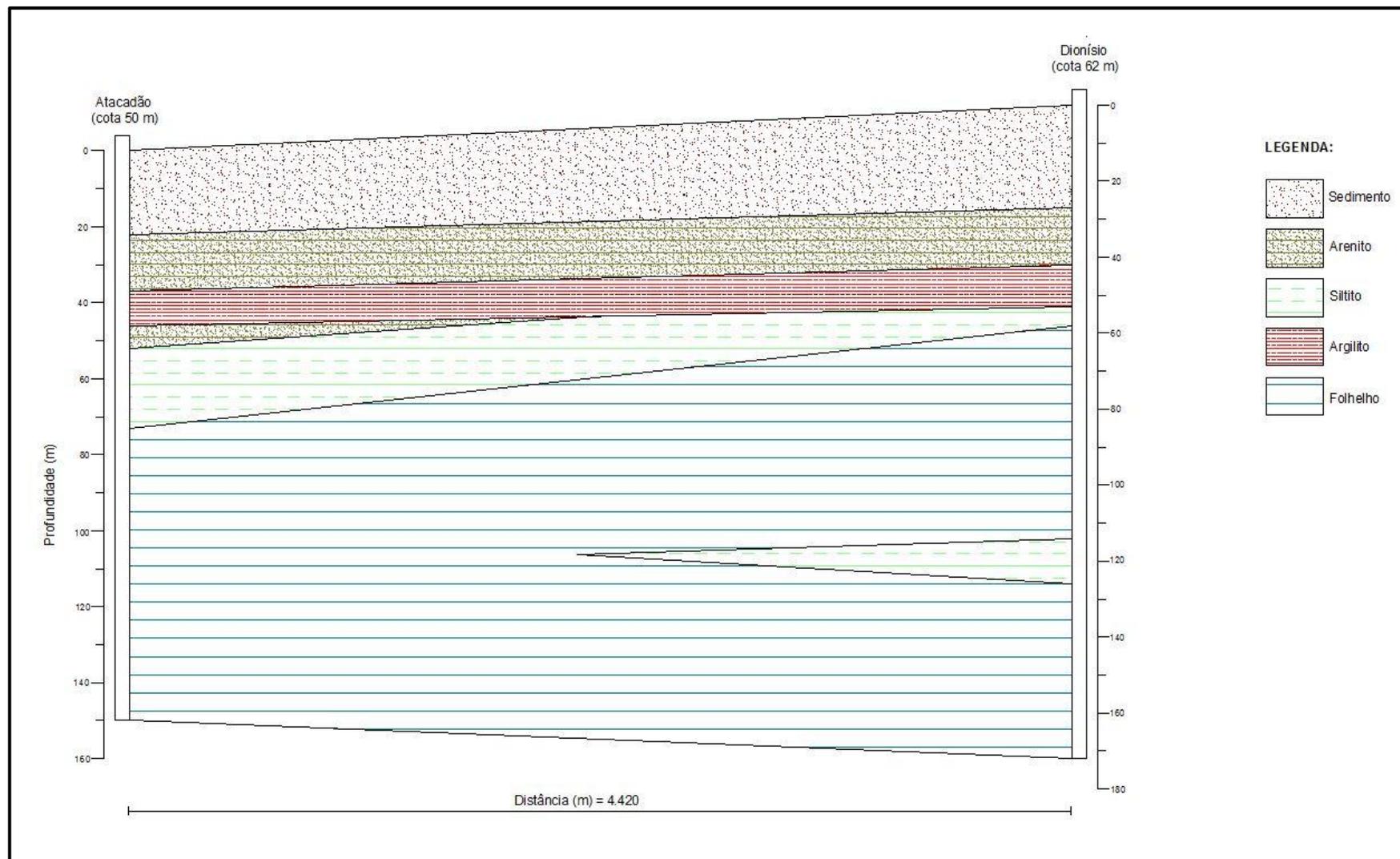


Figura 16 - Seção geológica "Dionísio-Atacadão".

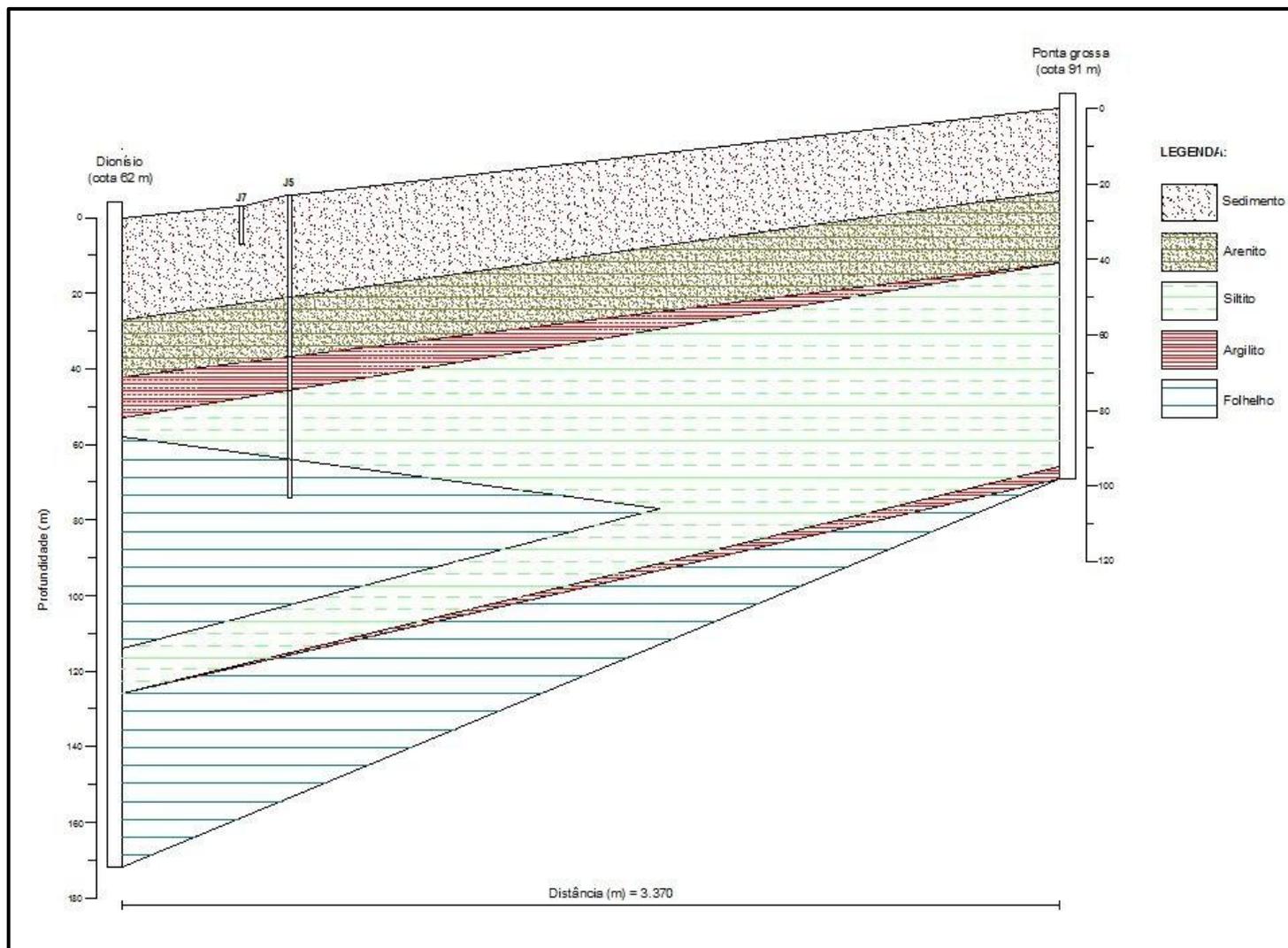


Figura 17 - Seção geológica "Dionísio-Ponta Grossa" com a localização dos poços J7 e J5.

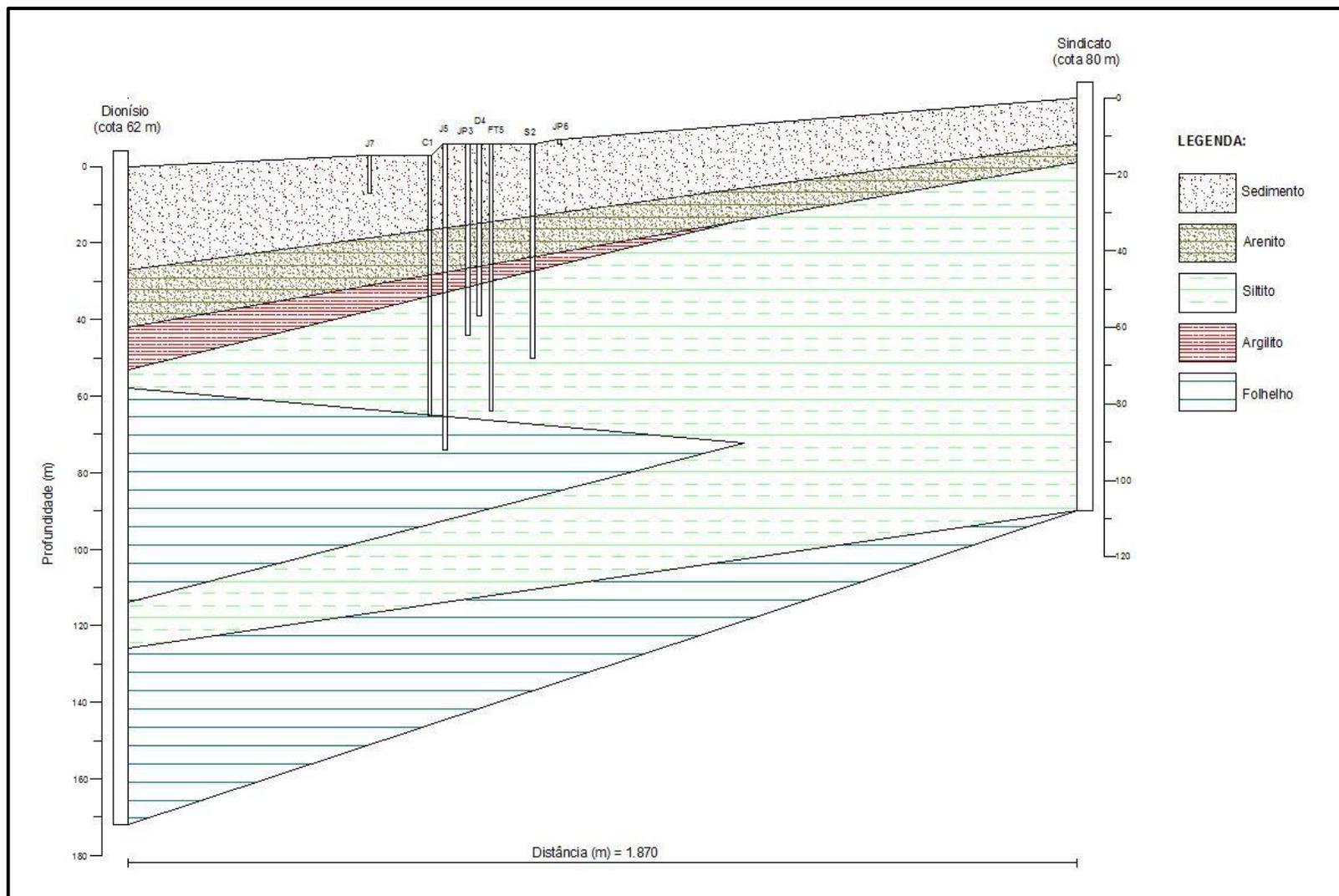


Figura 18 - Seção geológica "Dionísio-Sindicato" com a localização dos poços ponteira identificados no levantamento de campo.

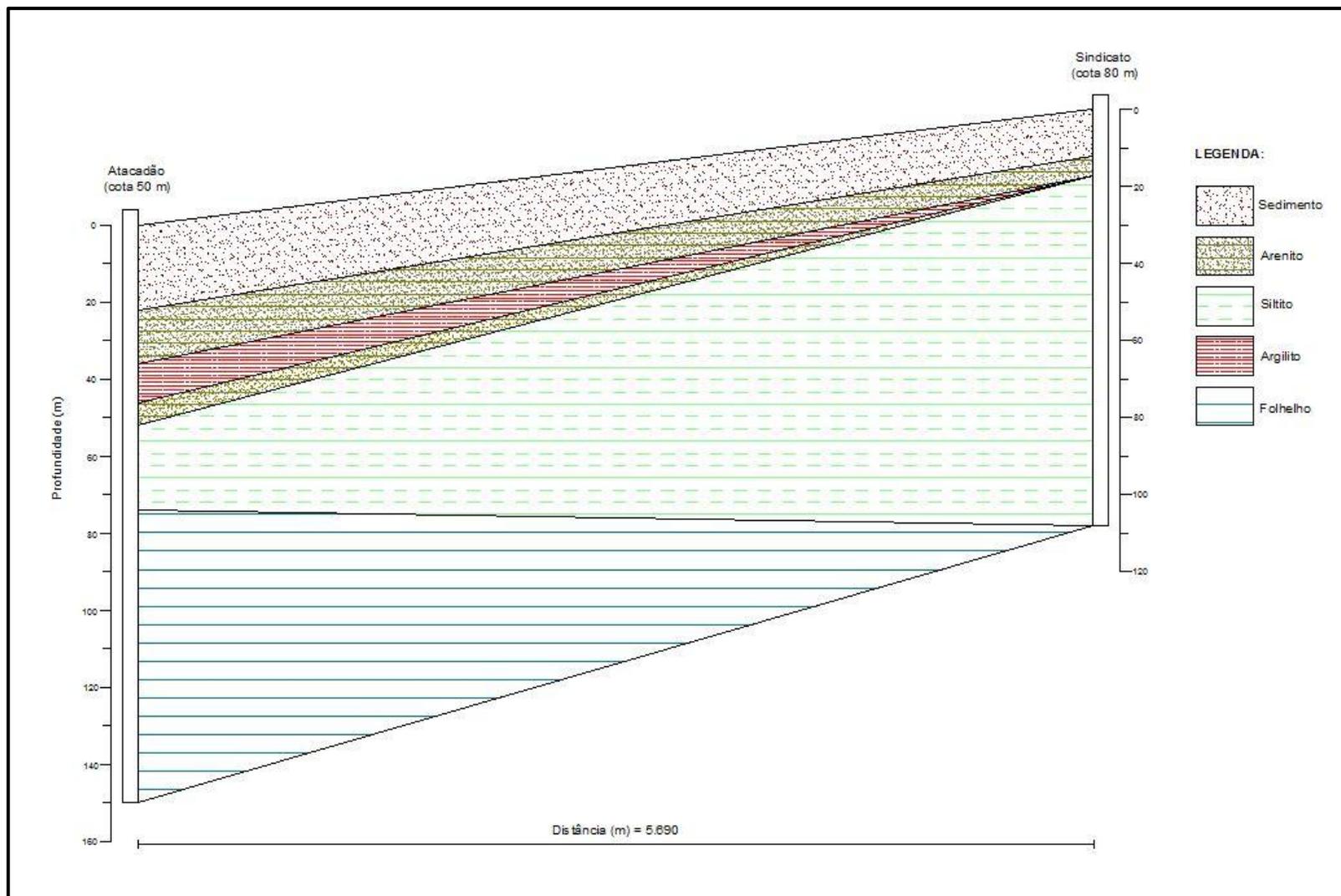


Figura 19 - Seção geológica "Sindicato-Atacadão".

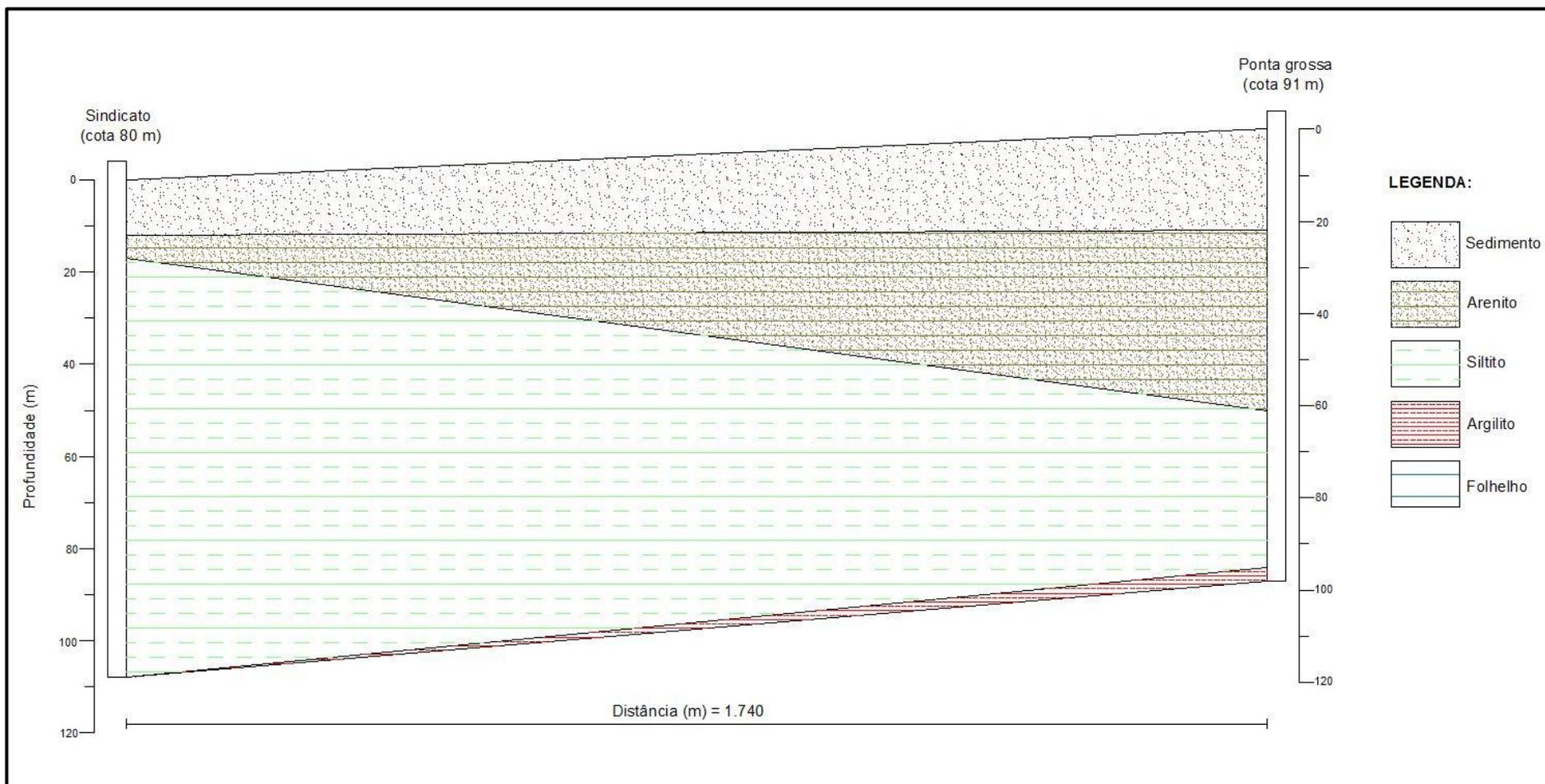


Figura 20 - Seção geológica "Sindicato-Ponta Grossa".

Tabela 2 - Levantamento de dados dos poços cadastrados no SIAGAS da CPRM, situados na área de estudo.

Identificação do Poço	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Cota do Terreno (m)	Prof. Total (m)	Entrada de água (m)	Vazão (m ³ /h)	NE (m)	Tipo de Formação	Camada de Entrada de Água	Aquifero	Tipo de perfuração
Clorosul	6694205	492713	39	120	44	3	5,8	Rio do Rastro	Folhelho	Poroso	Rotopneumático
Costa do Ipiranga	6693753	493696	112	80	54, 80	3,5	20	Rio Bonito	Arenito	Poroso	Percussão
Dionísio	6696299	497030	62	172	54, 92, 120	1,5	10	Rosário do Sul	Siltito/Folhelho	Poroso	Rotopneumático
Isabel Rosa	6693794	500522	75	144	ND	2	16,2	Serra Geral	Basalto	Fissural	Rotopneumático
Itacolomi 2	6695448	500026	120	83	21, 76	4	18	Rio Bonito	Diabásio/Arenito	Poroso	Percussão
Itacolomi 1	6694863	500053	118	73	ND	6	24	Rio Bonito	ND	Poroso	Percussão
Atacadão	6692887	494295	50	150	31	6,43	13,5	Rio do Rastro	Sedimento/Arenito	Fissural	Rotopneumático
RS 020	6695238	501797	77	70	25, 33	4	5,8	Rio do Rastro	Arenito	Poroso	Rotopneumático
Ponta Grossa	6694929	500075	91	98	34, 94	2	12	Rio do Rastro	Arenito/Siltito	Poroso	Percussão
Sindicato	6696256	498824	80	108	16, 60	1,8	9,2	Rio do Rastro	Arenito/Siltito	Poroso/Fissural	Rotopneumático

Tabela 3 - Levantamento de dados dos poços cadastrados em campo, através de visitas na região de estudo.

Identificação do Poço	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Cota do Terreno (m)	Profundidade Total (m)	Entrada de água (m)	Tipo de Captação	Vazão (m ³ /h)	Consumo (m ³ /dia)	Uso da Água
C1	6696387	497602	65	68	68	Ponteira	1	0,8	Residencial
D4	6696304	497687	68	45	45	Ponteira	1,2	1,0	Residencial
JP3	6696259	497671	68	50	50	Ponteira	0,6	0	Desativado
FT5	6696249	497692	68	70	70	Ponteira	0,6	0,2	Residencial
S2	6696491	497803	68	56	56	Ponteira	0,6	0,2	Residencial
J5	6696141	497589	68	80	80	Ponteira	0,6	0,3	Residencial
J7	6696176	497461	65	10	10	Cacimba	ND	0,6	Residencial
JP6	6696181	497812	69	Superfície	Superfície	Nascente	ND	0,2	Residencial

As informações obtidas nas fichas cadastrais do SIAGAS e em fichas técnicas de empresas de perfuração estão apresentadas na Tabela 2 e as informações dos poços levantados em campo estão na Tabela 3.

A partir da Tabela 2 pode-se observar que a profundidade dos poços tubulares cadastrados no SIAGAS varia de 70 a 150 metros, apresentando uma média de 110 metros. A região possui uma cota média de 82 metros, com relevo pouco ondulado e cotas dos terrenos variando entre 39 e 120 metros. A maior parte dos poços tubulares instalados na região capta água subterrânea de camadas de arenito e siltito, mas também existem poços captando água de camadas de folhelho e basalto, originárias principalmente da formação Rio do Rastro, Rio Bonito, Serra Geral e Rosário do Sul. Os métodos de perfuração utilizados variam entre rotopneumáticos e de percussão. Os testes de bombeamento realizados nos poços tubulares identificaram vazões que variam de 1,5 a 6,43 m³/h. Através dos testes de bombeamento foi possível evidenciar que as maiores vazões estão relacionadas com os aquíferos das camadas de arenito, enquanto que as menores estão associadas às camadas de siltito, basalto e folhelhos.

O levantamento de campo realizado indicou que a maioria dos poços é do tipo ponteira. Foi levantado também um poço cacimba e uma nascente (vertente) da qual é captada a água para consumo residencial. Nos poços do tipo ponteira, as profundidades variam entre 45 e 80 metros. Os terrenos onde se localizam os poços apresentam pouca variação de altitude, com cotas entre 65 e 69 metros. Os dados de vazão foram obtidos através da consulta ao responsável pela perfuração dos poços, que informou que a região apresenta vazões extremamente baixas, característica da região dos aquíferos denominados Aquitardos Permianos. Todos os poços são destinados ao abastecimento para consumo humano, visto que na área, não há distribuição de água potável pela CORSAN. O consumo de água varia entre 0,2 e 1 m³/dia, com exceção do poço JP3 que está desativado devido ao grande odor, presença de espuma e precipitados escuros. Os poços S2 e C1 também apresentam problemas em suas águas. As águas captadas pelo poço S2 apresentam grande quantidade de sedimentos e quando aquecidas, formam precipitados de coloração clara nos recipientes. Já o poço C1 apresenta problemas como manchas em roupas e tecidos, além da formação de precipitados avermelhados-escuros em máquinas de lavar roupa e chuveiros.

A partir das seções geológicas “Dionísio-Ponta Grossa” e “Dionísio-Sindicato” (Figuras 17 e 18) e dos dados de profundidade dos poços levantados em campo foi possível estimar que, os poços ponteira provavelmente captam as águas subterrâneas presentes nas camadas de

sedimentos e de rochas como siltitos e folhelhos, que pertencem a Formação Rio do Rastro (Aquitardos Permianos). Os poços J7 e JP6 captam as águas mais superficiais que circulam pelos sedimentos, estando mais susceptíveis à contaminação de origem antrópica. O poço J5 provavelmente capta as águas que circulam nos folhelhos. Os poços JP3, S2, C1, D4 e FT5 provavelmente estão captando as águas subterrâneas das camadas de siltito. A Tabela 4 indica os poços levantados e as possíveis camadas litológicas de captação de água subterrânea. Essas camadas determinam a qualidade das águas de abastecimento da região de estudo.

Tabela 4 - Possíveis camadas litológicas de captação dos poços levantados em campo.

Poços	Camada litológica
JP3	Siltito
S2	Siltito
C1	Siltito
D4	Siltito
FT5	Siltito
J5	Folhelho
J7	Sedimentos
JP6	Sedimentos

6.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

Foram obtidos, mediante consultas a empresas de perfuração, laudos físico-químicos de dois pontos localizados na região de estudo: Atacadão e Sindicato. Os resultados obtidos através da análise dos laudos físico-químicos dos poços tubulares e das análises físico-químicas das amostras coletadas foram organizados na Tabela 5. Os principais parâmetros analisados e utilizados para a caracterização hidroquímica foram alcalinidade, condutividade, pH, turbidez, amônia, cálcio, cloretos, ferro, fluoreto, magnésio, manganês, nitrato, potássio, sódio e sulfato.

As águas analisadas na região de estudo apresentaram pH médio de 7,13, variando de 5,09 a 8,30. A condutividade elétrica apresentou grande variação entre os pontos, com valores entre 27 e 391 uS/cm. As concentrações de cloretos tiveram valores que variaram de 2,5 a 9,18 mg/L, com média de 7,29 mg/L. Nos frascos de coleta das amostras S2 e JP3 foi identificada a ocorrência de um precipitado de cor castanha avermelhada no fundo do recipiente, provavelmente associada ao ferro e manganês presente na água.

Tabela 5 - Resultados das análises físico-químicas realizadas e dos laudos obtidos.

Parâmetro	Unidade	JP3	S2	C1	D4	FT5	J5	J7	JP6	Atacadão	Sindicato
Alcalinidade	mg/L CaCO ₃	65,00	85,00	170,00	-	-	-	-	-	172,80	200,70
Condutividade	uS/cm	121,00	126,80	326,60	136,20	244,60	77,70	55,00	27,00	363,00	391,00
pH	-	6,65	7,63	7,71	7,35	7,88	6,71	5,66	5,09	8,30	8,30
Turbidez	Ut	3,60	20,40	2,50	ND	ND	3,20	3,00	6,20	11,80	1,86
Amônia	mg/L	3,60	0,30	0,40	0,30	0,50	0,30	0,20	0,20	-	-
Cálcio	mg/L	3,60	6,91	31,30	-	-	-	-	-	12,70	28,65
Cloretos	mg/L	8,50	2,50	3,50	7,70	6,90	12,30	9,50	5,90	6,90	9,18
Ferro	mg/L	1,40	1,39	0,80	ND	ND	0,19	-	-	2,41	0,04
Fluoreto	mg/L	ND	ND	0,21	0,12	0,10	ND	-	-	0,13	0,14
Magnésio	mg/L	1,98	3,06	9,70	-	-	-	-	-	8,17	10,14
Manganês	mg/L	0,14	0,11	0,50	ND	ND	ND	-	-	0,002	ND
Nitrato	mg/L	0,10	0,20	0,10	ND	ND	0,30	0,10	0,20	0,39	0,51
Potássio	mg/L	2,14	1,64	1,87	-	-	-	-	-	0,01	2,00
Sódio	mg/L	13,30	18,10	20,70	-	-	-	-	-	37,00	20,00
Sulfato	mg/L	7,90	4,60	5,97	-	-	-	-	-	11,30	4,71

Os parâmetros químicos foram agrupados de acordo com as águas captadas das diferentes camadas geológicas, com o objetivo de evidenciar as diferenças entre as características químicas de cada camada. Devido às características químicas mais semelhantes com as camadas de arenito, o poço C1 não foi considerado nos cálculos das médias dos parâmetros químicos das camadas de siltito.

A Figura 21 apresenta os gráficos de condutividade elétrica, pH, turbidez, cloretos e nitrato nas principais camadas geológicas identificadas na região.

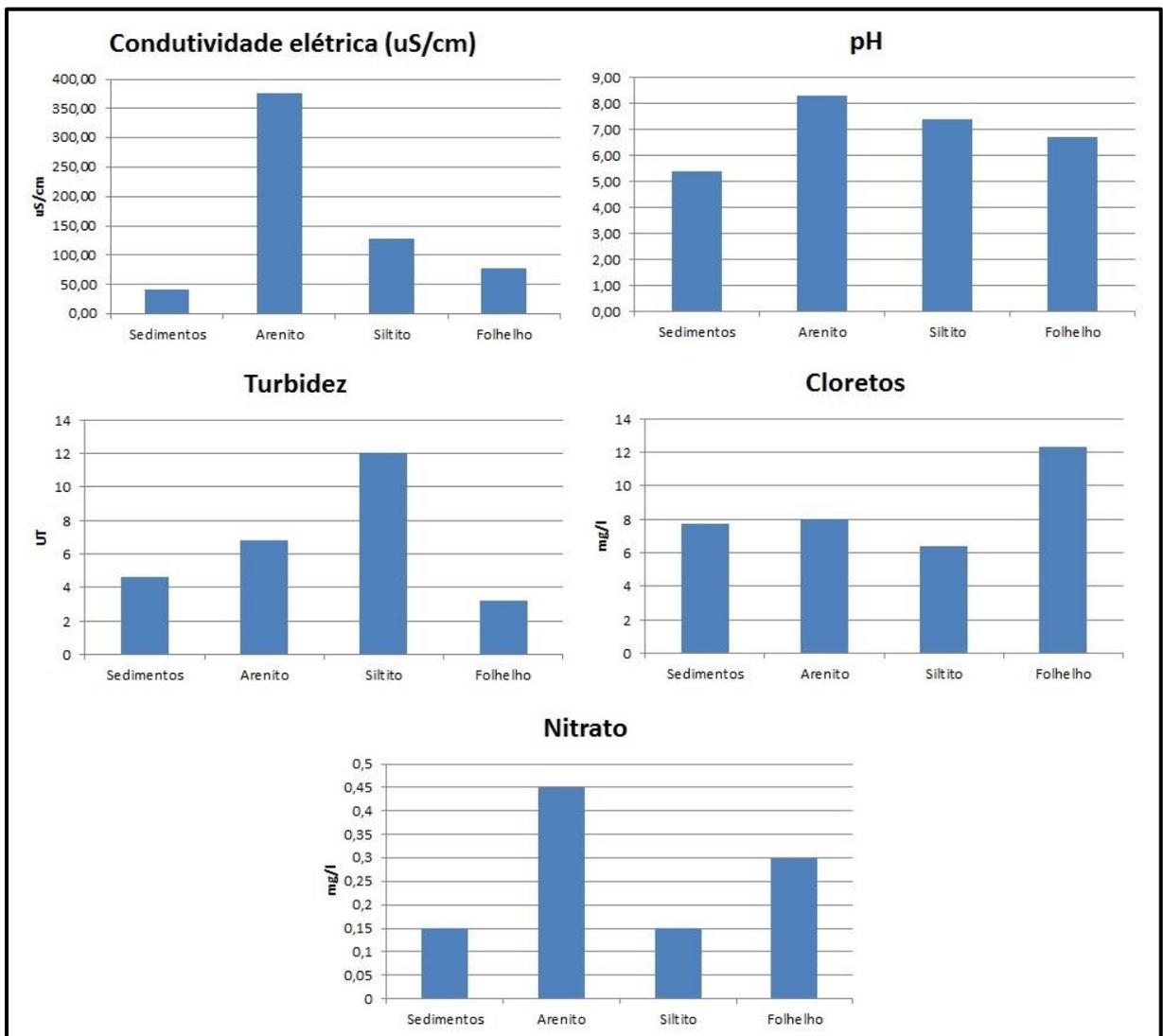


Figura 21 - Valores de condutividade elétrica, pH, turbidez, cloretos e nitrato nas principais camadas geológicas identificadas.

As camadas mais superficiais, formadas por sedimentos, apresentaram condutividade elétrica média mais baixa (41 uS/cm), quando comparada com as demais litologias. Os sedimentos também apresentaram pH médio mais ácido (pH=5,38) quando comparado com as demais camadas litológicas. As camadas de arenito obtiveram os maiores valores médios de condutividade elétrica (377 uS/cm) e apresentaram a média de pH mais elevada (pH=8,30).

Os valores de turbidez foram mais elevados nas camadas de siltito e mais baixos nas camadas de folhelhos. Os folhelhos, por sua vez, apresentaram os teores mais elevados de cloretos, enquanto que os siltitos tiveram os menores valores deste parâmetro. Quanto aos teores de nitrato, estes se apresentaram baixos em todas as camadas, porém maiores nas camadas de arenito.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos foram comparados com a resolução que determina a qualidade das águas subterrâneas no Brasil (CONAMA 396/98) e com a portaria que determina os valores máximos que podem ser ingeridos pela população, sem que haja danos à saúde (Portaria MS 2.914/11).

A CONAMA 420/09 também determina a concentração de determinadas substâncias na água subterrânea, acima das quais existem riscos potenciais à saúde humana. A Tabela 6 apresenta os Valores Máximos Permitidos (VMPs) e os Valores de Investigação (VI), determinados pelas resoluções citadas.

Tabela 6 - Valores Máximos Permitidos (VMP) e Valores de Investigação (VI) para parâmetros abordados neste estudo. Fonte: MMA (2015) e MINISTÉRIO DA SAÚDE (2015).

Parâmetros	VMPs para consumo humano (mg/L)		VI (mg/L)
	Portaria 2914	CONAMA 396	CONAMA 420
Fluoreto	1,5	1,5	-
Nitrato	10	10	10
Amônia	1,5	-	-
Cloretos	250	250	-
Ferro	0,3	0,3	2,45
Manganês	0,1	0,1	0,4
Sódio	200	200	-
Sulfato	250	250	-
Turbidez	5	-	-
pH	6 a 9,5	-	-

Os parâmetros pH, amônia e turbidez também tiveram valores acima dos estabelecidos. Nas amostras dos pontos J7 e JP6, o pH apresentou valores de 5,66 e 5,09, respectivamente, estando fora da faixa de valores permitidos por lei. Estes poços estão relacionados com as camadas superficiais formadas por sedimentos. Os pontos S2, JP6 e Atacadão tiveram níveis de turbidez elevada, com teores acima do padrão.

O parâmetro amônia apresentou concentração acima do VMP apenas no ponto JP3, com valor de 3,6 mg/L, evidenciando uma possível contaminação antrópica. Em todas as amostras, os níveis de fluoreto se apresentaram baixos, com concentrações dentro do padrão e valor médio de 0,14 mg/L.

Os teores de sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloretos, sulfato e alcalinidade, além dos valores de pH e condutividade foram inseridos no software Qualigraf (Mobus, 2002) para a confecção dos diagramas de Piper e Stiff.

O diagrama de Piper classifica as águas e permite comparar os distintos grupos químicos. Através do software foi calculada a percentagem de cada cátion ou ânion, sendo que os valores foram plotados nas diferentes áreas do diagrama. Segundo o diagrama de Piper, as águas subterrâneas foram classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas (mistas bicarbonatadas - 40%) e Bicarbonatadas Sódicas (60%) (Figura 22).

As águas bicarbonatadas sódicas foram encontradas nas águas captadas pelos poços JP3, S2 e Atacadão. Estas águas estão relacionadas, provavelmente, com as águas presentes nas camadas de siltito, com possível interferência das águas que circulam nos sedimentos e no arenito. As águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas (mistas bicarbonatadas) estão relacionadas aos pontos C1 e Sindicato, que captam suas águas de camadas de siltito e arenito.

As amostras de água coletadas no ponto C1 apresentaram características químicas muito semelhantes com as águas analisadas nos poços que captam águas das camadas de arenito, portanto acredita-se que haja uma possível interferência das águas que circulam pelos arenitos, nas águas captadas pelo poço C1.

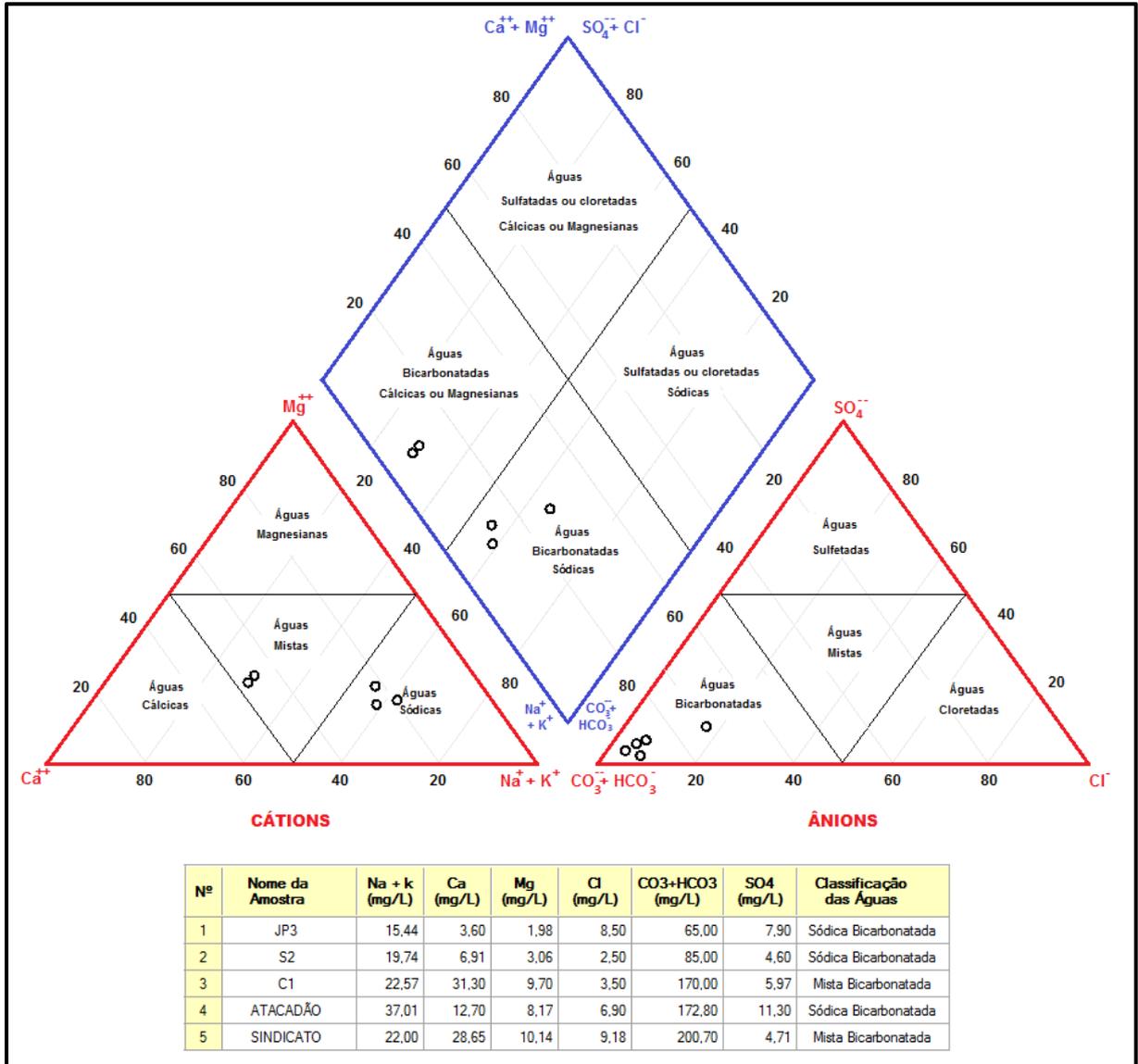


Figura 22 - Diagrama de Piper elaborado para as amostras.

No diagrama de Stiff as concentrações iônicas são representadas sobre linhas paralelas horizontais, sendo o lado direito representado pelos os ânions e o esquerdo pelos cátions. O diagrama resulta em uma figura geométrica característica para cada amostra de água analisada, que tem como objetivo visualizar a composição química das águas, facilitando a comparação das diferentes amostras. Na análise do diagrama de Stiff observa-se a ocorrência de grupos de águas subterrâneas distintas. As geometrias dos poços C1 e Sindicato se mostraram semelhantes, evidenciando características químicas relacionadas provavelmente às camadas de arenito, que possivelmente influenciam nos constituintes das águas captadas pelo poço C1 (Figura 23).

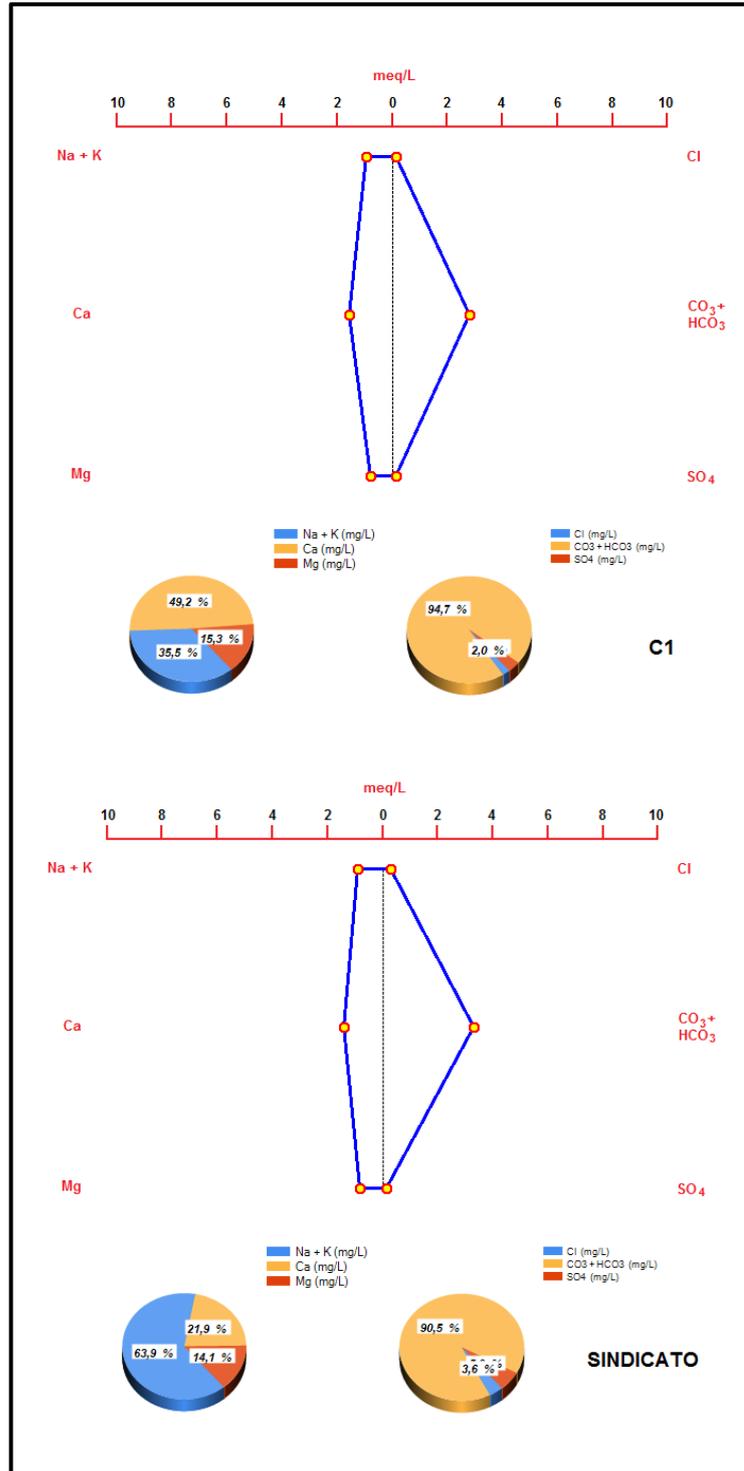


Figura 23. Diagramas de Stiff dos pontos C1 e Sindicato.

As amostras JP3 e S2 apresentam geometrias semelhantes, evidenciando uma provável captação de água da mesma camada litológica, no caso, provavelmente das camadas de siltito (Figura 24).

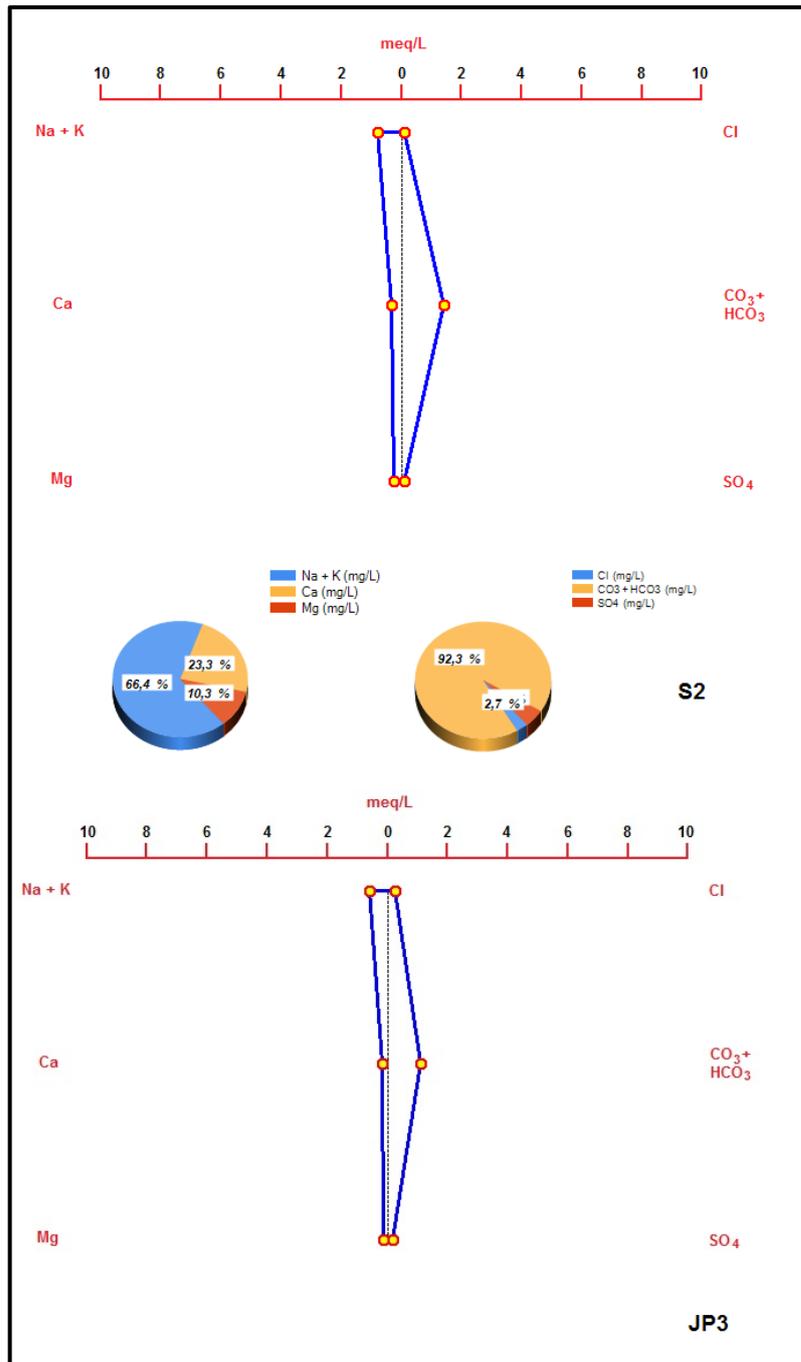


Figura 24 - Diagramas de Stiff dos pontos S2 e JP3.

Embora possua a mesma classificação das águas que os poços JP3 e S2, o poço Atacadão apresentou teores mais elevados de bicarbonatos, sódio e potássio. Estes teores estão relacionados com as camadas de arenito e sedimentos, das quais capta suas águas (Figura 25).

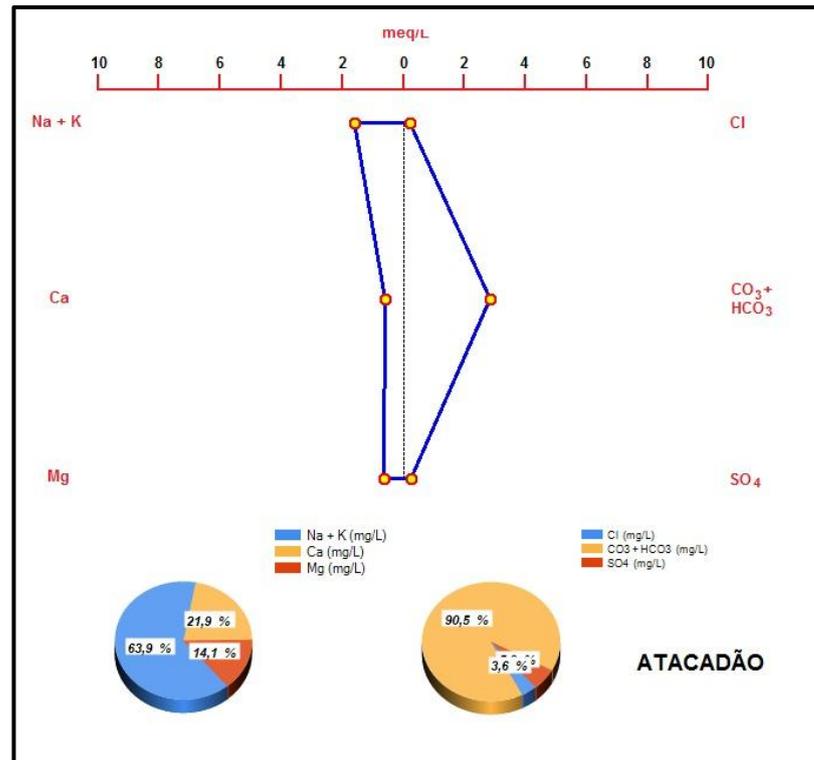


Figura 25 - Diagrama de Stiff do ponto Atacadão.

6.3 AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE FERRO E MANGANÊS

As análises de ferro realizadas tiveram teor médio de 1,04 mg/L e apresentaram concentrações acima dos limites permitidos para consumo humano em 40% dos pontos analisados (Figura 26). O ponto Atacadão apresentou concentração de ferro 8 vezes maior que o VMP. Os pontos S2 e JP3 tiveram concentrações quase 5 vezes maior, enquanto que o ponto C1 apresentou quase o triplo da concentração de ferro máxima, permitida para consumo humano.

As concentrações de manganês se apresentaram acima do VMP em 33% dos pontos (Figura 27). Os pontos S2 e JP3 apresentaram concentrações de manganês de 0,11 e 0,14 mg/L, respectivamente, enquanto que o ponto C1 obteve uma concentração de 0,5 mg/L. Este valor é 5 vezes maior do que o VMP para consumo humano e está acima do VI estabelecido em 0,4 mg/L.

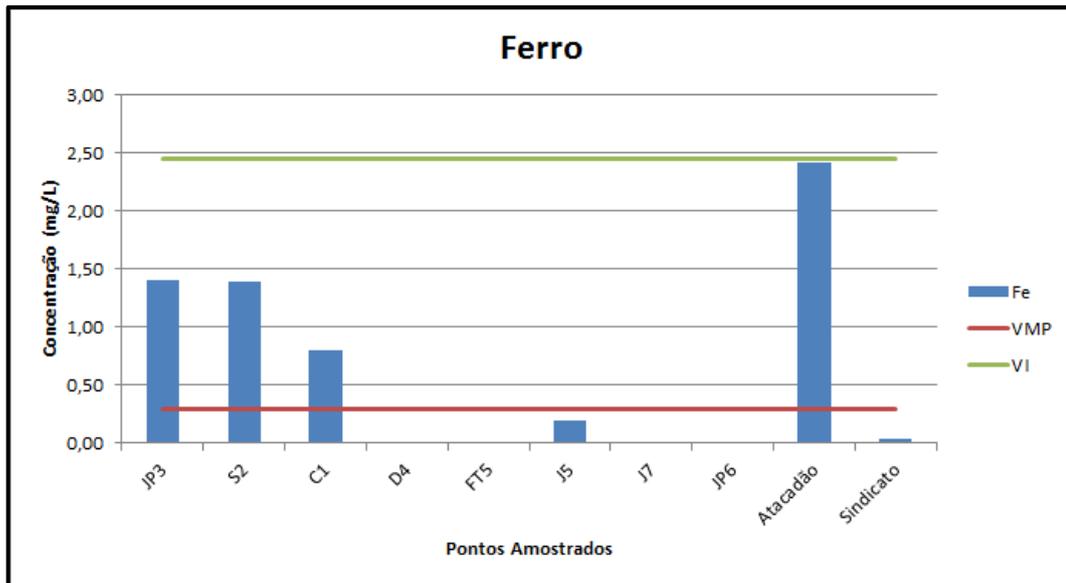


Figura 26 - Comparação dos teores de ferro com o VMP e o VI.

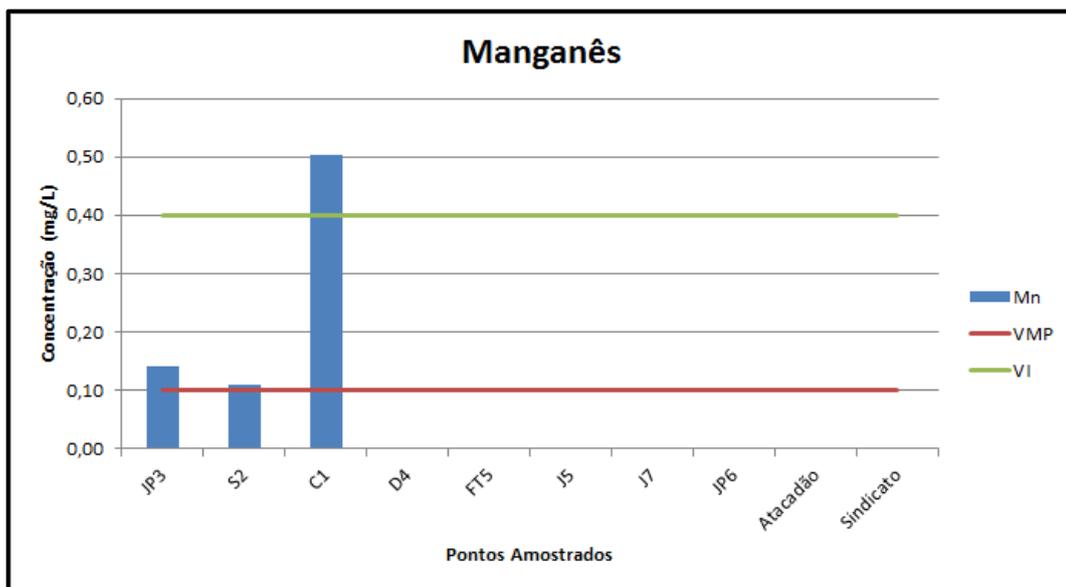


Figura 27 - Comparação dos teores de manganês com o VMP e o VI.

Avaliando as águas que circulam nas camadas de siltito, fica evidenciado que dentre os sete poços que provavelmente captam águas dessas camadas, cinco (71%) apresentaram quantidades de ferro em sua composição, sendo que três deles (43%) tiveram valores acima do VMP para abastecimento humano. Quanto ao manganês, três poços (43%) apresentaram teores deste elemento e todos com quantidades acima do VMP. Sendo assim, é possível avaliar que os teores excessivos de ferro e manganês provavelmente tem sua origem associada com as camadas de siltito e pelas camadas superficiais formadas por sedimentos, visto que o poço Atacadão também apresentou teores elevados de ferro.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Na maior parte da região, as camadas superficiais são formadas por sedimentos areno-argilosos com presença de siltes. As zonas inferiores são formadas por camadas de arenito. Na porção inferior a estas litologias estão localizadas espessas camadas de siltito, intercaladas com grandes camadas de folhelhos. Estas litologias são originárias principalmente das formações Rio do Rastro, Rio Bonito, Rosário do Sul e Irati. A maior parte dos poços tubulares instalados na região apresentam profundidades que variam de 70 a 150 metros e captam água subterrânea de camadas de arenito, siltito, folhelho e basalto. O levantamento de campo realizado indicou que a maioria dos poços é do tipo ponteira, com profundidades variando entre 45 e 80 metros. Estes poços provavelmente captam as águas presentes nas camadas de sedimentos, siltitos e dos folhelhos, originários da formação Rio do Rastro e que correspondem aos Aquitardos Permianos. Os poços JP3, S2 e C1 apresentaram problemas de qualidade em suas águas, como odor, sedimentos e precipitados de coloração variada, além de manchas em roupas e tecidos. Estes poços provavelmente captam águas de camadas de siltito.

As águas analisadas na região de estudo apresentaram pH médio de 7,13, variando de 5,09 a 8,30. A condutividade elétrica apresentou grande variação entre os pontos, com valores entre 27 e 391 uS/cm. As concentrações de cloretos tiveram valores que variaram de 2,5 a 9,18 mg/L, com média de 7,29 mg/L. As camadas mais superficiais apresentaram pH e condutividade elétrica média mais baixa que as demais litologias, enquanto que as camadas de arenito obtiveram os maiores valores médios desses parâmetros. Os valores de turbidez foram mais elevados nas camadas de siltito e mais baixos nas camadas de folhelhos. Os folhelhos, por sua vez, apresentaram os teores mais elevados de cloretos, enquanto que os siltitos tiveram os menores valores deste parâmetro. Quanto aos teores de nitrato, estes se apresentaram baixos em todas as camadas.

Na comparação dos parâmetros com os VMP's, o pH esteve fora da faixa de valores recomendada nos pontos J7 e JP6. Os pontos S2, JP6 e Atacadão tiveram níveis de turbidez elevada, com teores acima do padrão. O parâmetro amônia apresentou concentração acima do VMP apenas no ponto JP3. Em todas as amostras, os níveis de fluoreto se apresentaram baixos, com concentrações dentro do padrão.

Segundo o diagrama de Piper, as águas subterrâneas foram classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas (mistas bicarbonatadas - 40%) e Bicarbonatadas Sódicas (60%). As águas bicarbonatadas sódicas foram encontradas nas águas captadas pelos

poços JP3, S2 e Atacadão. As águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas estão relacionadas aos pontos C1 e Sindicato. As amostras de água coletadas no ponto C1 apresentaram características químicas muito semelhantes com as águas analisadas nos poços que captam águas das camadas de arenito, portanto acredita-se que haja uma possível interferência das águas que circulam pelos arenitos, nas águas captadas pelo poço C1.

As análises de ferro realizadas tiveram teor médio de 1,04 mg/L e apresentaram concentrações acima dos limites permitidos para consumo humano em 40% dos pontos analisados (Atacadão, S2, JP3 e C1), atingindo em um dos pontos concentração 8 vezes maior que o VMP. As concentrações de manganês se apresentaram acima do VMP em 33% dos pontos analisados (S2, JP3 e C1), estando acima do VI no ponto C1. Sendo assim, é possível avaliar que os teores excessivos de ferro e manganês provavelmente tem sua origem associada com as camadas de siltito e pelas camadas superficiais formadas por sedimentos.

Nesse sentido, os resultados apontam a importância de se realizar um estudo mais detalhado, abrangendo uma análise química mais completa e os efeitos crônicos dos elementos na saúde humana. Estudos envolvendo avaliação de risco e exposição a estes elementos também apresenta grande relevância. Alternativas de tratamento convencional para excesso de ferro e manganês, através de projetos convencionais domésticos ou a utilização de filtros seria uma prática de extrema importância para os usuários destes poços, desde que, fique comprovada a remoção destes elementos a níveis aceitáveis para consumo humano. Sugere-se, também, maior preocupação por parte dos órgãos públicos e a instalação de rede de abastecimento de água tratada para as residências da região.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES OLIVEIRA, Daniela et al. Avaliação de teor de ferro em águas subterrâneas de alguns poços tubulares, no plano diretor do Palmas. In: **Forjando el Ambiente que Compartimos**. AIDIS, 2004. p. 1-15.
- ABAS. **Águas subterrâneas, o que são?**. Disponível em:< <http://www.abas.org/educacao.php> >. Acesso em: 22 mai. 2015.
- ANA (BRASIL). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape – Brasília : ANA : Engecorps/Cobrape, 2010. Volume 1.
- ANA (BRASIL). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado**. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape – Brasília : ANA : Engecorps/Cobrape. 2010. Volume 2.
- ARENZON, Alexandre. Ensaio ecotoxicológicos no monitoramento da qualidade de águas subterrâneas potencialmente impactadas. 2004.
- BAUMGARTEN, Maria da Graça Zepka; DE PAIVA, Mariele Lopes; RODRIGUES, Horácio Rodrigo Souza. KIT ANALÍTICO SIMPLIFICADO: UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO MASSIVA DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA. **Águas Subterrâneas**, v. 28, n. 2, 2014.
- BENEFIELD, L. D. E MORGAN, J. M (1990). “Chemical Precipitation” In: Pontius, F. W. (ed) *Water Quality and Treatment*. American Water Works Association. Mc Graw-Hill, E.U.A., 641-707. CAICEDO, N. O. L.; **Água subterrânea. In: Hidrogeologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, Edusp. Cap. 8, p.289 – 333.
- CAJAZEIRAS, CCA. Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, Região de CRAJUBAR–CE. **Universidade Federal do Ceará. Departamento de Geologia, Fortaleza, 2007.**
- CHEMALE, JR., F. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p. 13-52.
- CETESB. **Água subterrânea e poços tubulares**. 482 p. : il.. São Paulo.1978. 3ed.
- CETESB. 2001a. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Estabelecimento de padrões de referência de qualidade e valores de intervenção para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo: relatório final**. São Paulo, 248p.
- CETESB. 2001b. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo, CETESB, 73 p.
- CLEARY, R. 1989. Hidrologia de águas subterrâneas. In: **Engenharia Hidrológica**. Ramos (ed.). Rio de Janeiro, ABRH, UFRJ, 404p.

- CONAMA, 2009. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 dez. 2009. DOU nº 249, p. 81-84.
- CONAMA, 2008. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 abr. 2008. DOU nº 66, p. 64-68.
- CPRM. **Noções Básicas sobre Poços Tubulares**. Cartilha Informativa. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/dehid/manubpt.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2015. Recife, Agosto 1998.
- CPRM, **Carta Geológica do Estado do Rio Grande do Sul**, 2008.
- CPRM. Gravataí- SH.22-X-C-V, escala 1:100.000: nota explicativa./Ari Roisenberg, Juliana Charão Marques, Flávio Antônio Bachi, José Carlos Frantz.- Rio Grande do Sul: UFRGS/CPRM, 2007.
- CPRM, **Portal SIAGAS**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 25 abr. 2015
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R.; **Hidrogeologia subterrânea**. 2ed. Barcelona, Omega. 1983. 2v.
- DE VARGAS, TIAGO. **TRANSFERÊNCIA DE ELEMENTOS MAIORES, TRAÇOS E ELEMENTOS DAS TERRAS RARAS NO SISTEMA FERTILIZANTE-SOLO-ÁGUA SUBTERRÂNEA EM SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS DA REGIÃO DE ÁGUAS CLARAS, MUNICÍPIO DE VIAMÃO, RS**. 2010. Tese de Doutorado. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS.
- DELVIN T. M. et al. **Manual de Bioquímica com correlações clínicas**. Editora Edgard Blucher Ltda.1998.
- DEMETRIO, J. G. A. Projeto e Construção de Poços. In: FEITOSA, Fernando A. C.; FILHO, João Manoel. FEITOSA, Edilton Carneiro.; DEMETRIO, J. Geilson A. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 2º ed. Rio de Janeiro: CPRM - LABHID, 2000. cap. 9, p. 185-202.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 1993. Rio de Janeiro, ABES, 2v. DREVER, J.I. (Ed.) 1997. The Geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments. Prentice-Hall, New Jersey, 436pp.
- DRISCOLL, F.G. (1986) **Groundwater and wells**. 2.ed. MN USA, Johnson. Div., St.Paul. 1089p.
- FAUST, S.D. & ALY, O.M. (Eds.) 1981. Chemistry of Natural Waters. Butterworths Publishers, Sydney, 400pp.
- FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 2008.
- FETTER, C.W. 1994. **Applied Hydrogeology**. 3ª ed. New Jersey, Prentice Hall, 691p.

- FILHO, J. M. 2000 - CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM/REFO; LABHID-UFPE, 2000. 391p. cap. 5 p.81 – 108.
- FINATO, Tatiana. Classificação técnico-científica de solos e as percepções locais em Gravataí, RS. 2013.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/ Banco Mundial, 2006. Copyright ©.
- GOFFERMANN, Marcelo. Caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas da Região de São Gabriel, RS. 2013.
- HAUSMAN, A. 1995. Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia. Série Mapas*. n. 35. UNISINOS. São Leopoldo, RS.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. IBGE, abril de 2011. Disponível em <<http://censo2010.ibge.gov.br/pt/>>. Acesso em 30 mai. 2015.
- IRIS. 2004. **List of IRIS Substances**. Disponível em:< <http://www.epa.gov/IRIS/>>. Acesso em: 25 mai. 2015.
- LAVINA, E. L. **Geologia sedimentar e paleogeografia do neopermiano e eotriássico (intervalo Kazaniano-Scitiano) da Bacia do Paraná**. 1991. 336 f. v. 1. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.
- MACHADO, J. L. F. & FREITAS, M.A 2005. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul – Relatório Final**. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/relatoriohidrogeoRS.pdf>>. Acesso: 25 mai. 2015.
- MADEIRA, Vivian Stumpf et al. Desenvolvimento de um carvão adsorvente para remoção de íons ferro em águas naturais. 2003.
- MAGALHAES, Vanessa Souza. Hidroquímica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas Bacias dos Córregos Água Santa e Palmeiras, Município de Coronel Murta (MG). 2006.
- MAHAN, B. M. **Química: um curso universitário**. 4. Ed, São Paulo: Ed. Blücher, 2000.
- MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. 1997. 254 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- MINEROPAR [2009]. **Glossário de termos geológicos**. Serviço Geológico do Paraná. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/glossario/conteudo.php?conteudo=P>>. Acesso em: 25 mai. 2015.

- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria Nº 2914/20011**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação. Brasília, 2011. 34 p. Disponível em: <http://www.suvisa.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/sesap_suvisa/arquivos/gerados/portaria_ms_2914_dez_2011.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2015.
- MORUZZI, Rodrigo Braga; REALI, Marco Antonio Penalva. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial—uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. Páginas 29-43, 2012.
- MÖSSLACHER, F. 2000. Sensitivity of groundwater and surface water crustaceans to chemical pollutants and hypoxia: implication for pollution management. **Archiv Fur Hydrobiologie**, 149 (1): 51-66.
- O'CONNOR, J.T. Iron and manganese. In: AWWA. *Water quality and treatment. A Handbook of Public Water Supplies*. 3. ed. 1971. Cap.11, p.378-396.
- PEATE, David W.; HAWKESWORTH, Chris J. Lithospheric to asthenospheric transition in low-Ti flood basalts from southern Parana, Brazil. **Chemical Geology**, v. 127, n. 1, p. 1-24, 1996.
- PICANÇO, FE L.; LOPES, EC S.; DE SOUZA, E. L. Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da região metropolitana de Belém/PA. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 1988.
- PIRES, A. C. **Estratigrafia e escalas de heterogeneidades e sistemas eólicos secos (Formação Botucatu) e úmidos (Formação Pirambóia), Bacia do Paraná, RS**. 2006. 64 f. Monografia (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- REGINATO, Pedro Antônio Roehé; STRIEDER, Adelar José. Condicionantes geológicas da ocorrência de ferro e manganês em aquíferos fraturados da Formação Serra Geral. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2007.
- RICHTER, C.A.; NETO J. M. A. **Tratamento de Água, tecnologia atualizada**. Ed. Edgard Blucher. 1991.
- RIO GRANDE DO SUL. Lei Estadual 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial [Do Estado do Rio Grande do Sul]**, Porto Alegre, 30 dez. 1995.
- RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 37.033, de 21 de novembro de 1996. Regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado do Rio Grande do Sul, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. **Diário Oficial [Do Estado do Rio Grande do Sul]**, Porto Alegre, 21 nov. 1996.
- RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 42.047, de 26 de dezembro de 2002. Regulamenta disposições da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994 com alterações relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos. **Diário Oficial [Do Estado do Rio Grande do Sul]**, Porto Alegre, 27 dez. 2012.

- ROMANINI, Sérgio José; DE ALBUQUERQUE, Luiz Fernando Fontes. Aspectos geológicos, geoquímicos e potencialidade em depósitos de Ni-Cu-EGP do magmatismo da Bacia do Paraná. **Projeto Platina e Associados. CPRM-Superintendência Regional de Porto Alegre**, v. 2, 2000.
- RUBBO, Marta. Análise do potencial hidrogeológico do aquífero cenozóico da bacia hidrográfica do rio Gravataí-RS. 2004.
- RUBBO, Marta et al. DIAGNÓSTICO QUALI-QUANTITATIVO DO AQUIFERO FREÁTICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAVATAÍ-RS. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2002.
- SANTOS, A. C. 2000. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, Fernando A. C.
- SEMA, Secretaria Estadual do Meio Ambiente, Departamento de Recursos Hídricos - **MANUAL DE OUTORGA DE DIREITO DO USO DA ÁGUA**. Disponível em: www.sema.rs.gov.br/upload/Manual%20de%20Outorga%20de%20Água.pdf, acessado em: 27 de Abril de 2011. Acessado em: 30 de Maio de 2015.
- UNESCO. Água para todos, água para la vida. Paris, 2003. 36 p
- VIERO, A. C. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Organização Ana Cláudia Viero [e] Diogo Rodrigues Andrade da Silva. – Porto Alegre: CPRM, 2010. 250p.; 30cm + 1 DVD-ROM.
- WALDE, D. H. G. Geologia do manganês. **Brasil. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral. Principais depósitos minerais do Brasil**, 1985.
- WONG, J.M. Chlorination-filtration for iron and manganese removal. In: **Journal AWWA. Research & Technology**, 1984. p.76-79.
- ZIMBRES, Eurico. UERJ, 2000. Disponível em: <http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>. Acesso em 20 mai. 2015.