

# XXX CLH

CONGRESO LATINOAMERICANO  
DE HIDRAULICA | BRASIL | 2022

## ANALES

- VOLÚMEN 2 -  
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL  
Y SUBTERRÁNEA



International Association  
for Hydro-Environment  
Engineering and Research

Hosted by  
Spain Water and IWHR, China

***Organizadores***

Dr. Cristiano Poletto - UFRGS (Presidente)  
Dr. José Gilberto Dalfré Filho - UNICAMP  
Dr. André Luís Sotero Salustiano Martim - UNICAMP

**ANALES DEL  
XXX CONGRESO LATINOAMERICANO DE  
HIDRÁULICA 2022**

**- VOLÚMEN 2 -  
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL  
Y SUBTERRÁNEA**



Madrid – España  
2023

**Copyright © 2023, by IAHR Publishing.**

Derechos Reservados en 2023 por **IAHR Publishing.**

**Montaje:** Cristiano Poletto

**Organización General de la Obra:** Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho;  
André Luís Sotero Salustiano Martim

**Maquetación:** Juliane Fagotti; Cícero Manz Fagotti

**Relectura General:** Elissandro Voigt Beier

**Portada:** Juliane Fagotti

---

Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim  
(Organizadores)

ANALES del XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica – VOLÚMEN 2 –  
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA / Organizadores: Cristiano Poletto; José  
Gilberto Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim – MADRI, España: IAHR  
Publishing, 2023.

958p.: il.;

ISBN • 978-90-832612-3-2

*ES AUTORIZADA la libre reproducción, total o parcial, por cualquier medio, sin  
autorización escrita del Editor o de los Organizadores.*

---

## AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE FERRO E MANGANÊS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO DE IPIRANGA, MUNICÍPIO DE GRAVATAÍ - RS

Nícolas Bitello Winck, Pedro Antônio Roehe Reginato, Maria Cristina de Almeida Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
nikolas@ambengenharia.com, pedro.reginato@ufrgs.br, maria.almeida@ufrgs.br

### RESUMO

O presente 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. 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. Os valores dos parâmetros físico-químicos analisados foram comparados com os valores máximos permitidos (VMP's) estabelecidos em normas regulamentadoras. Na comparação dos parâmetros com os VMP's, alguns poços apresentaram pH, turbidez e amônia fora dos limites estabelecidos. 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 têm sua origem associada às camadas de siltito, bem como aos sedimentos localizados próximos a superfície.

### ABSTRACT

The present work presents a hydrogeological, hydrochemical, and Fe and Mn assessment in groundwater captured by wells in the Ipiranga, northwestern region of Gravataí. The waters captured by these wells showed evidence of high concentrations of Fe and Mn. For hydrogeological analysis, geological and hydrogeological data of wells registered in CPRM and drilling companies, which were used to identify the primary lithologies and aquifers, were evaluated. For hydrochemical evaluation, physical-chemical analysis of sampled points was performed. The values of the physicochemical parameters analyzed were compared to the maximum allowed values established in regulatory standards. In comparing the parameters with the maximum allowed values, some wells showed pH, turbidity, and ammonia outside the established limits. Fe analysis had an average content of 1.04 mg/L and presented concentrations above the limits allowed for human consumption in 40% of the points analyzed. Mn concentrations presented above the maximum allowed values in 33% of the points analyzed. The highest levels of Fe and Mn probably originate with the siltite layers and the sediments near the surface.

**PALAVRAS - CHAVE:** *Água subterrânea; Ferro; Manganês.*

## INTRODUÇÃO

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

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.

Localizado na região metropolitana de Porto Alegre, o município de Gravataí possuía, em 2015, 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.

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 sistema público de abastecimento de água tratada. 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.

## OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo é avaliar as características hidrogeológicas e hidroquímicas da área de interesse, com enfoque na avaliação da ocorrência de ferro e manganês nas águas subterrâneas localizadas no distrito de Ipiranga, na região noroeste do município de Gravataí.

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; e avaliar a ocorrência de ferro e manganês existente nas águas subterrâneas.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Captação da Água Subterrânea

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 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).

O processo de construção de poços deve ser realizado de acordo com as normas vigentes. Existem normas amplamente conhecidas a serem seguidas, como: 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 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 (CAJAZEIRAS, 2007).

## **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).

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).

## **Ferro e Manganês na Água Subterrânea**

O ferro pode ocorrer sob diversas formas químicas, mas normalmente aparece associado ao manganês (FILHO, 2000). 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 ( $\text{Fe}^{+2}$ ), 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).

Segundo Richter & Azevedo Netto (1991), teores excessivos de ferro nas águas apresentam vários inconvenientes, dentre eles: manchas nos tecidos, roupas, utensílios sanitários; sabor desagradável; interferência em processos industriais, como cervejarias, tinturarias, fabricação de papel; incrustações e o aparecimento de bactérias ferruginosas nocivas.

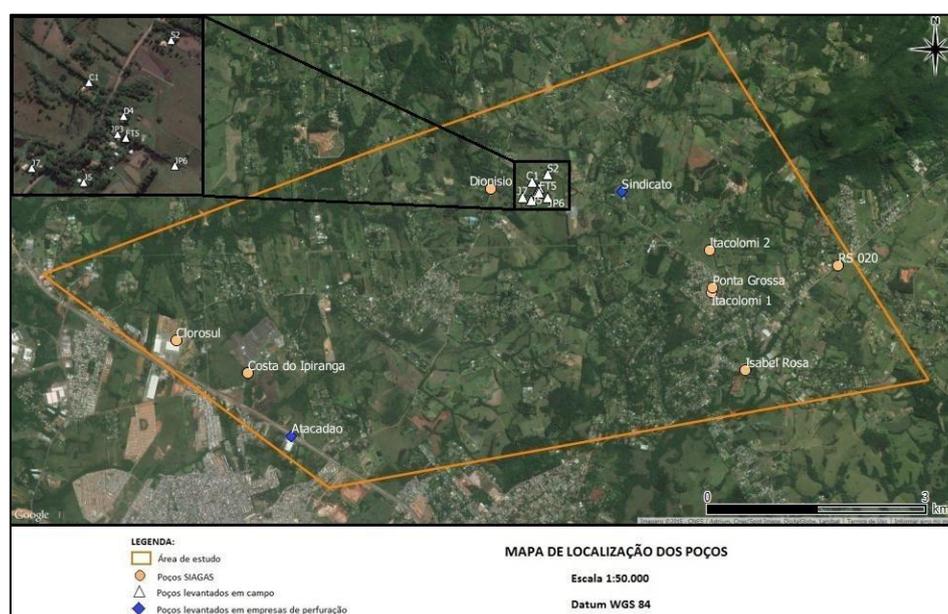
Segundo Iris (2004) o ferro atua na formação da hemoglobina do sangue humano, a sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes. Conforme Delvin et al (1998), o acúmulo de ferro no fígado, no pâncreas e no coração pode levar a cirrose e tumores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

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).

## 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 Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPE). 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.

A área de estudo se encontra hidrogeologicamente na região dos Aquitardos Permianos. 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.



**Figura 1.-** Localização da área de estudo e dos poços de interesse em Gravataí – RS (Fonte: Bing Maps)

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 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.

### 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, no ano de 2015. 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 2). 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 2.-** Problemas encontrados nos poços levantados, apresentando indícios de ocorrência de Fe e Mn.

## 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, entre outros). Para a avaliação das unidades aquíferas e para entender a disposição das litologias, presentes na área de estudo, foram avaliadas as seções geológicas com base nos dados dos perfis geológicos dos poços tubulares levantados.

## 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 3). 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 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, para análise de ferro e manganês.



**Figura 3.-** Locais de coleta das amostras nas saídas dos poços ponteira ou na entrada das caixas d'água.

## 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 (VMP) para abastecimento humano, determinados pela legislação em vigor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização Hidrogeológica da Área de Estudo

Na região foram levantados 10 poços tubulares cadastrados no SIAGAS e 8 poços levantados em campo. A partir dos dados dos perfis geológicos de alguns poços tubulares cadastrados no SIAGAS foi possível avaliar as 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.

As seções avaliadas 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.

As informações obtidas nas fichas cadastrais do SIAGAS e em fichas técnicas de empresas de perfuração estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.-** 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)	Tipo de Formação	Camada de Entrada de Água	Aquífero
Clorosul	6694205	492713	39	120	44	Rio do Rastro	Folhelho	Poroso
Costa do Ipiranga	6693753	493696	112	80	54, 80	Rio Bonito	Arenito	Poroso
Dionísio	6696299	497030	62	172	54, 92, 120	Rosário do Sul	Siltito/Folhelho	Poroso
Isabel Rosa	6693794	500522	75	144	ND	Serra Geral	Basalto	Fissural
Itacolomi 2	6695448	500026	120	83	21, 76	Rio Bonito	Diabásio/Arenito	Poroso
Itacolomi 1	6694863	500053	118	73	ND	Rio Bonito	ND	Poroso
Atacadão	6692887	494295	50	150	31	Rio do Rastro	Sedimento/Arenito	Fissural
RS 020	6695238	501797	77	70	25, 33	Rio do Rastro	Arenito	Poroso
Ponta Grossa	6694929	500075	91	98	34, 94	Rio do Rastro	Arenito/Siltito	Poroso
Sindicato	6696256	498824	80	108	16, 60	Rio do Rastro	Arenito/Siltito	Poroso/ Fissural

A partir da Tabela 1 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 m<sup>3</sup>/h. Através dos testes de bombeamento foi possível evidenciar que as maiores vazões estão relacionadas com os aquíferos das camadas de arenito, enquanto 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 avaliados são destinados ao abastecimento para consumo humano, visto que na área, não há distribuição de água potável pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). O consumo de água varia entre 0,2 e 1 m<sup>3</sup>/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. As informações obtidas junto aos poços levantados em campo estão na Tabela 2.

**Tabela 2.-** 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	Camada de entrada de água	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Consumo (m <sup>3</sup> /dia)	Uso da Água
C1	6696387	497602	65	68	68	Ponteira	Siltito	1	0,8	Residencial
D4	6696304	497687	68	45	45	Ponteira	Siltito	1,2	1	Residencial
JP3	6696259	497671	68	50	50	Ponteira	Siltito	0,6	0	Desativado
FT5	6696249	497692	68	70	70	Ponteira	Siltito	0,6	0,2	Residencial
S2	6696491	497803	68	56	56	Ponteira	Siltito	0,6	0,2	Residencial
J5	6696141	497589	68	80	80	Ponteira	Folhelho	0,6	0,3	Residencial
J7	6696176	497461	65	10	10	Cacimba	Sedimentos	ND	0,6	Residencial
JP6	6696181	497812	69	Superfície	Superfície	Nascente	Sedimentos	ND	0,2	Residencial

A partir das seções geológicas e dos dados de profundidade dos poços levantados em campo foi possível estimar que, os poços ponteira 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. É possível que os poços JP3, S2, C1, D4 e FT5 estivessem captando as águas subterrâneas das camadas de siltito.

## 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 3. Os principais parâmetros analisados e utilizados para a caracterização hidroquímica foram: condutividade, pH, turbidez, amônia, cloretos, ferro, manganês e nitrato.

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 3.-** Resultados das análises físico-químicas realizadas e dos laudos obtidos.

Parâmetro	Unidade	JP3	S2	C1	D4	FT5	J5	J7	JP6	Atacadão	Sindicato
Condutividade	uS/cm	121	126,8	326,6	136,2	244,6	77,7	55	27	363	391
pH	-	6,65	7,63	7,71	7,35	7,88	6,71	5,66	5,09	8,3	8,3
Turbidez	Ut	3,6	20,4	2,5	ND	ND	3,2	3	6,2	11,8	1,86
Amônia	mg/L	3,6	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	-	-
Cloretos	mg/L	8,5	2,5	3,5	7,7	6,9	12,3	9,5	5,9	6,9	9,18
Ferro	mg/L	1,4	1,39	0,8	ND	ND	0,19	-	-	2,41	0,04
Manganês	mg/L	0,14	0,11	0,5	ND	ND	ND	-	-	0,002	ND
Nitrato	mg/L	0,1	0,2	0,1	ND	ND	0,3	0,1	0,2	0,39	0,51

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 888/21).

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 4 apresenta os Valores Máximos Permitidos (VMPs) e os Valores de Investigação (VI), determinados pelas resoluções citadas.

**Tabela 4.-** 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 888/21	CONAMA 396/08	CONAMA 420/09
Nitrato	10	10	10
Amônia	1,2	-	-
Cloretos	250	250	-
Ferro	0,3	0,3	2,45
Manganês	0,1	0,1	0,4
Turbidez	5	-	-
pH	6 a 9	-	-

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.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na maior parte da região, as camadas superficiais são formadas por sedimentos areo-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. 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.

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.

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.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também à minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Cristina de Almeida Silva e ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof.ª Água, Projeto CAPES/ANA AUXPE N.º. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas/ABNT.** NBR 12244:Poço Tubular - Construção de poço para captação de água subterrânea: Rio de Janeiro, 2006. 10p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas/ABNT.** NBR 12212: Poço Tubular- Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006. 10p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas/ABNT.** NBR Poço Tubular: Construção e execução de fossas sépticas. Rio de Janeiro, 1993. 23p.
- 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.
- 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 n.º 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 dez. 2009. DOU n.º 249, p. 81-84.
- CONAMA,** 2008. Resolução n.º 396, de 3 de abril de 2008. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 abr. 2008. DOU n.º 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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.
- Mahan, B. M.** Química: um curso universitário. 4. Ed, São Paulo: Ed. Blücher, 2000.
- Mineropar** [2009]. Glossário de termos geológicos. Serviço Geológico do Paraná. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/glossario>. Acesso em: 25 mai. 2015.
- Ministério da Saúde.** Portaria Nº 2914/2011. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação. Brasília, 2011. 34 p. Disponível em: <[http://www.suvisa.rm.gov.br/contentproducao/aplicacao/sesap\\_suvisa/arquivos/gerados/portaria\\_ms\\_2914\\_de\\_z\\_2011.pdf](http://www.suvisa.rm.gov.br/contentproducao/aplicacao/sesap_suvisa/arquivos/gerados/portaria_ms_2914_de_z_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.
- Reginato, Pedro Antônio Roehle; Strieder, Adelir José.** Condicionantes geológicos 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.
- 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 Aquífero Freático da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí - RS. Águas Subterrâneas, n. 1, 2002.
- 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](http://www.sema.rs.gov.br), 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.