

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA  
CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DA MINA DO TREVO, SIDERÓPOLIS (SC).**

**Porto Alegre, 2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**LUIZ GABRIEL BONGIOLO VARGAS**

**PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA  
CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DA MINA DO TREVO, SIDERÓPOLIS (SC).**

Projeto apresentado como requisito para aprovação no curso de graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Orientador(a) / Orientadores(ras): Prof.(a) Marcos Imério Leão**

**Porto Alegre, 2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Reitor:** Rui Vicente Oppermann

**Vice-Reitor:** Jane Fraga Tutikian

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Vargas, Luiz Gabriel Bongioiolo

Caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área da Mina do Trevo, Siderópolis (SC). / Luiz Gabriel Bongioiolo Vargas. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017. [50 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientador(es): Marcos Imério Leão

1. Hidrogeologia. 2. Mineração de carvão. 3. Mina subterrânea. 4. Plano de Monitoramento. 5. Aquífero Freático. 6. Aquífero Confiano. I. Título.

CDU 556.3

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

---

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, a baixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLOGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DA MINA DO TREVO, SIDERÓPOLIS (SC)**.  
Elaborado por Luiz Gabriel Bongioio Vargas como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

---

Prof. Dr. Pedro Reginato

---

Prof. Dr. Artur C. Bastos Neto

---

Prof. Dr. Marcus V. D. Remus

**Dedico este trabalho a comunidade científica, a minha família e aos meus professores.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, incluindo todos os Professores e Funcionários que a cada dia se esforçam para manter o curso de Geologia um exemplo para outras universidades.

Agradeço a minha família que não mediu esforços para que esta conquista fosse realizada e esteve presente a cada dia durante este percurso.

Muito obrigado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS e em especial ao professor Marcos Imério Leão que contribuiu com sua experiência e seu conhecimento para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho descreve e analisa a evolução dos parâmetros hidrogeológicos e hidrogeoquímicos após o encerramento das atividades de lavra de carvão mineral em subsolo pelo método de câmara e pilares. A Mina do Trevo está localizada no município de Siderópolis, na região carbonífera no extremo sul do estado de Santa Catarina. O encerramento das atividades de mineração em 2006 provocou o enchimento com água, total ou parcial, das galerias da mesma. Dentro deste contexto, a empresa implantou um sistema de monitoramento de vários parâmetros indicadores da qualidade ambiental, entre eles o monitoramento das águas subterrâneas e superficiais, buscando realizar um estudo comparativo entre os impactos causados pelo processo produtivo e as condições pós-operacionais na região sob influência do empreendimento. Durante o período de descomissionamento da mina, foram construídos dois poços tubulares que atingiram as galerias da mina, com a finalidade de monitorar as mesmas e acompanhar seu enchimento com água. A partir da medição atual das cotas piezométricas nos dois poços profundos e em um poço freático, seis anos após o término do período de monitoramento, em conjunto com as análises de duas amostras de água subterrânea e uma amostra de água superficial, este trabalho pode identificar a elevação dos níveis piezométricos nos dois poços tubulares. Este aumento nos níveis piezométricos mostrou que as galerias da mina estão funcionando como um aquífero confinado. As análises químicas demonstraram alterações nos parâmetros hidroquímicos, tais como, sólidos totais dissolvidos, sulfatos, ferro e condutividade elétrica.

**Palavras-Chave:** Hidrogeologia; Mineração de carvão; Mina subterrânea; Plano de Monitoramento; Aquífero Freático, Aquífero Confinado;

## ABSTRACT

This study describes and analyses the evolution of the hidrogeological and hidroquimichal parameters after the of a coal mine exploration activities. The Trevo Mine is located at Siderópolis city, which is knows as the coal region of the extreme south of Santa Catarina. The end of the mining activities in 2006, full filled the galleries of the mine with water, totally or partially. Expecting this event, the company responsible for the exploration applied a monitoring system of several water parameters to identify the risks for the environment, for the ground water quality, for the superficial water quality and freatic levels, looking foward to understand the impacts on this region due to the end of coal exploration. The database produced on this monitoring process will be used to quantify the evolution of the hidrogeological and hidroquimichal parameters after the end of the mining activities. During the exploration, the mine was monitored by several freatic piezometers, and was added two ground water piezometers located inside the galleries of the mine, to follow the water levels on these points. The superficial waters where monitored to identify if there was connection between both freatic and ground water aquifers, due to risk of contamination. The ground waters where monitored to identify the water levels changes and the impacts on the ground water quality. A comparative study using this data, associated with new data, was made to identify the water levels on the Mine galleries, identifying the evolution of the hidroquimichal parameters and describing the hidrogeological aspects of the area. From the data on both piezometers, six years from the end of the monitoring, in conjunction with two water analyses from the ground water, and one from the freatic level, this study has show an elevation of the piezometric level. This means that the galleries from the mine are working like a confined aquifer. The water analyses indicated an alteration of the hydro chemical parameters like sulfates, total dissolved solids, iron and electric conductivity.

**Key words:** Hidrogeology; Coal Mine Exploration; Underground Mine; Monitoring Plan; Freatic Aquifer; Confined Aquifer.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Mapa 1</b> - Localização da área de estudo na região Carbonífera de Santa Catarina...	4
<b>Figura 1</b> - Coluna Estratigráfica da área correspondente à Bacia Carbonífera de Santa Catarina.....	6
<b>Mapa 2</b> - Mapa geológico para a região de Siderópolis.....	7
<b>Figura 2</b> - Mapa piezométrico da área.....	12
<b>Figura 3</b> – Diagrama de Piper para as águas do Sistema Aquífero Rio Bonito.....	13
<b>Figura 4</b> – Diagrama de Piper das águas amostradas na Vila Funil.....	14
<b>Figura 5</b> – Diagrama de Schoeller-Berkalof para os piezômetros PzMT – 01 e PzMT – 02 para o ano de 2008.....	26
<b>Imagem de Satélite 1</b> – Localização dos poços piezométricos.....	28
<b>Foto 1</b> - Vista da boca do Piezômetro PzMT-01.....	29
<b>Foto 2</b> - Sonda de medir nível e vista do Piezômetro Freático.....	29
<b>Figura 6</b> – Perfil construtivo do Piezômetro PZMT-01.....	30
<b>Figura 7</b> – Perfil construtivo do Piezômetro PZMT-02.....	31
<b>Foto 3</b> – Frascos utilizados para amostragem.....	38
<b>Figura 8</b> – Evolução temporal dos parâmetros hidroquímicos nas águas subterrâneas dos piezômetros PzMT-01 e PzMT-02.....	41
<b>Figura 9</b> – Diagrama de Schoeller-Berkalof para as águas subterrâneas para os anos de 2009, 2011 e 2017.....	42
<b>Figura 10</b> - Diagrama de Piper para águas subterrâneas na Mina do Trevo, e superficiais no Rio Fiorita no ano de 2017.....	43
<b>Figura 11</b> - Variação da cota piezométrica.....	44
<b>Figura 12</b> - Sessão Geológica Transversal demonstrando a evolução temporal das cotas piezométricas e das cotas do nível freático.....	46

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente**

**FUNCEME - Departamento de Recursos Hídricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.**

**NRM - Normas Reguladoras de Mineração**

**OMS – Organização Mundial de Saúde**

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela I</b> – Relação histórica das cotas piezométricas nos piezômetros PzMT – 01 e PzMT – 02.....	15
<b>Tabela II</b> – Relação histórica das análises químicas para o PzMT – 01.....	17
<b>Tabela III</b> – Relação histórica das análises químicas para o PzMT – 02.....	18
<b>Tabela IV</b> – Relação histórica das análises químicas para o Rio Fiorita.....	19
<b>Tabela V</b> - Métodos empregados na realização do projeto.....	22
<b>Tabela VI</b> – Parâmetros analisados no período.....	24
<b>Tabela VII</b> – Ensaios Realizados, Resolução e Referência do Método.....	39

## LISTA DE SÍMBOLOS

Al - Alumínio

°C – graus Celsius

Ca – Cálcio

CaCO<sub>3</sub> - Bicarbonato de cálcio

Cu – Cobre

Fe – Ferro

K<sup>+</sup> - Potássio

Mg<sup>+2-</sup> - Magnésio

Mn - Manganês

Na - Sódio

O<sub>2</sub> - Oxigênio molecular

pH – Potencial hidrogênio

Pb – Chumbo

Zn<sup>+2</sup> - Zinco

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	5
2. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	9
3. PROBLEMA / HIPÓTESES.....	20
4. OBJETIVOS.....	21
4.1 Objetivos específicos.....	21
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
5.1 Levantamento de dados.....	24
5.1.1 Dados quantitativos.....	24
5.1.1 Dados qualitativos.....	25
5.1.2 Parâmetros analisados.....	25
5.2 Nível Piezométrico.....	27
5.3 Análise Físico-Química.....	33
5.3.1 Definição dos Parâmetros.....	33
5.3.1.1 Temperatura.....	34
5.3.1.2 pH.....	34
5.3.1.3 Acidez.....	35
5.3.1.4 Alcalinidade.....	35
5.3.1.5 Cloretos.....	35
5.3.1.6 Oxigênio Dissolvido.....	35
5.3.1.7 Sólidos Totais e Sólidos Dissolvidos.....	36
5.3.1.8 Sulfato.....	36
5.2.1.9 Turbidez.....	36
5.2.1.10 Alumínio (Al).....	36
5.2.1.11 Cálcio (Ca).....	37
5.2.1.12 Chumbo (Pb).....	37
5.2.1.13 Cobre (Cu).....	37
5.2.1.14 Ferro (Fe).....	37
5.2.1.15 Magnésio (Mg <sup>+2</sup> ).....	37
5.2.1.16 Manganês (Mn).....	38
5.2.1.17 Potássio (K <sup>+</sup> ).....	38
5.2.1.18 Sódio (Na).....	38
5.2.1.19 Zinco (Zn <sup>+2</sup> ).....	38
5.3.2 - Preparação Para a Amostragem.....	39
5.3.3 - Das análises em laboratório / Precisão e Resolução.....	40
5.4 Seção Geológica Transversal.....	41
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
6.1 Resultados Qualitativos.....	41
6.1.1 Análise química.....	41
6.2 Resultados Quantitativos.....	45
6.2.1 Sessão Geológica Transversal.....	45

7. Conclusões.....	48
8. REFERÊNCIAS.....	49
9. ANEXOS.....	51

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo dos recursos hídricos é fundamental para a atividade de mineração, tanto subsolo quanto a céu aberto. O fato da mineração subterrânea ocorrer sob o nível freático, com incidência das águas superficiais, implica em riscos e problemas durante a lavra de carvão, podendo gerar impactos ambientais ou custos adicionais, sendo assim fundamental para muitos dos processos e operações a serem desenvolvidos como elemento que exige extrema atenção e planejamento.

Portanto o êxito em uma operação de mineração, depende em grande parte do controle adequado dos recursos hídricos. Lembrando que o uso da água não se restringe a exploração da jazida, mas também é comumente utilizado nos processos de beneficiamento do minério. Durante a exploração é preciso drenar constantemente a água de dentro das galerias da mina, por vezes com grandes vazões, e realocar este conteúdo de maneira correta, produzindo efeitos hidrológicos, econômicos e ambientais.

No Brasil, a sistemática de prevenção e conservação do meio só começou a ser regulamentada por lei na década de 1970, passando a se tornar tema constitucional em 1988. Somente na década de 1990 que as primeiras legislações foram criadas, visando regulamentar os processos de encerramento das atividades de mineração. O Conselho Nacional do Meio Ambiente, órgão deliberativo e consultivo de política ambiental, foi instalado em 1984, integrando o governo federal, os estados e a sociedade civil, sendo responsável pela criação da resolução CONAMA Nº 001/1986 que passou a regulamentar o sistema de licenciamento ambiental.

A criação das políticas e as regulamentações para o descomissionamento das minas de carvão, foram inspiradas em políticas de proteção ambiental presentes em outros países, visando mitigar os impactos ambientais associados a esta atividade e coibir o descaso com o gerenciamento ambiental pelas empresas responsáveis. Estas políticas incluem: obrigações, os requisitos para elaborar um plano de monitoramento, a aceitação dos padrões técnicos atuais, as características para a modificação do plano, monitoramento, relatório e fiscalização.

Em âmbito federal, não existe uma legislação ambiental específica na área de exploração mineral, portanto o assunto passou a receber tratamento legal através das legislações estaduais. Os estados passaram a inserir o assunto em suas legislações de proteção ambiental para garantir a redução dos impactos causados após a fase operacional das minas.

As Normas Reguladoras de Mineração - NRM, publicadas no Diário Oficial da União de 18 de outubro de 2001, surgiram com o propósito de determinar os termos de fechamento das minas e relatam o seguinte: Para efeito desta Norma o termo fechamento de mina designa a cessação definitiva das operações mineiras (NRM-20 – Suspensão, Fechamento de Mina e Retomada das Operações Mineiras; item 20.2. Generalidades).

Segundo Flores (2006), as principais etapas que devem ser adotadas em um plano de fechamento de uma mina de carvão consistem em:

*Descomissionamento:* compõe o conjunto de atividades necessárias para reduzir os impactos na área e tem como objetivo alcançar condições do ambiente a novos usos produtivos. O descomissionamento visa reduzir a degradação do lençol freático e diminuir os impactos causados pela disposição de material estéril, pelas obras de instalação das minas e do lançamento de efluentes nocivos ao meio ambiente durante as atividades de mineração.

*Reabilitação:* é a etapa caracterizada pela reestruturação da área impactada. Em conjunto com o monitoramento, a reabilitação é importante para prevenir que áreas com atividade rural ou industrial próximas a Mina, não sejam afetadas pelos efeitos pós operacionais. Esta etapa permite identificar possíveis fontes de contaminação, e quais são os tipos de ações a serem tomadas para que a área volte a ter um equilíbrio ambiental semelhante ao anterior a mineração.



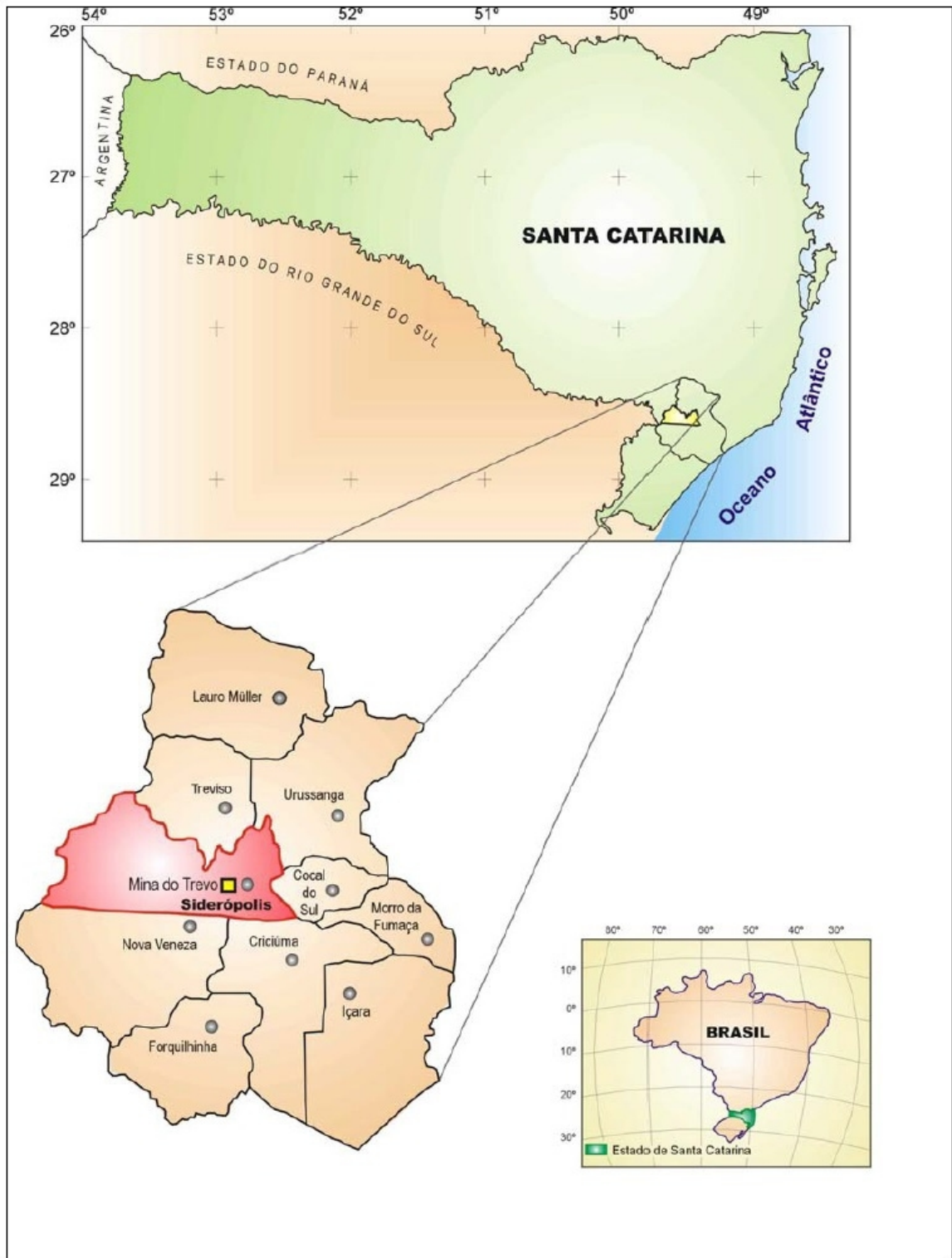
*Monitoramento:* Ira determinar os poços que irão compor a rede de monitoramento das águas subterrâneas e as calhas que irão compor a rede de drenagem das águas superficiais. Deve ser estabelecida uma frequência das inspeções, e os parâmetros físico-químicos a serem monitorados. Este monitoramento deve ser contínuo até que se demonstre padrões aceitáveis tanto na qualidade das águas, nas vazões das calhas e nos níveis piezométricos.

*Pós-fechamento:* consiste no conjunto destas atividades, desde o encerramento das atividades, com remoção do maquinário, ao momento em que a Mina é lacrada, com acompanhamento do monitoramento das águas subterrâneas e superficiais até que a estabilização dos parâmetros seja atingida.

A mina do Trevo, iniciou suas atividades em 1988 e foi desativada em 2006. Durante o período de atividades a mina esteve sob a responsabilidade de diferentes empresas, em janeiro de 2005 a mina passou a ser de responsabilidade da empresa Carbonífera Siderópolis. Em 2006 as atividades na mina foram encerradas, o maquinário foi removido e a entrada principal foi lacrada. Em novembro de 2006 a Carbonífera Siderópolis Ltda. solicitou ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas-IPH/UFRGS que elaborasse o Plano de monitoramento para a área da Mina do Trevo. (LEÃO, 2008).

O Plano de monitoramento realizado na Mina do Trevo consistiu na determinação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos na região. Este trabalho de monitoramento foi considerado pioneiro para a época, e a partir dele outras minas vizinhas passaram a adotar este plano. O mapa 1 demonstra a localização da área de estudo.

**Mapa 1** - Localização da área de estudo na região Carbonífera de Santa Catarina.



Fonte: VCS Engenharia, Mineração e Meio Ambiente.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

Em termos geológicos, a Bacia Carbonífera do Sul Catarinense, estende-se desde o sul do município de Araranguá, numa faixa de orientação norte-sul com aproximadamente 100 km de comprimento e uma largura média de 20 km, região correspondente a porção leste da Bacia do Paraná. Nela está inserida a Serra do Rio do Rastro, local onde ocorre a Coluna White, descrita por White (1908), a partir da cidade de Lauro Müller, seguindo-se em direção a Bom Jardim, compreendendo uma série de sequências de rochas sedimentares e efusivas básicas que constituem a estratigrafia da região. (BORTOLUZZI, 1990).

As características das formações geológicas na região são fundamentais para a interpretação dos fenômenos hídricos. O conjunto de litologias presentes e suas características físicas assim como as variações laterais e verticais de fácies e condições de fraturamento possibilitam uma melhor compreensão dos fenômenos envolvidos.

Segundo estudos realizados por Krebs (1999), as rochas aflorantes na região são rochas sedimentares e efusivas básicas a intermediárias. O embasamento cristalino não aflora nesta área da bacia, mas é constituído por granitoides tardi a pós-tectônicos. A figura 1 sintetiza a coluna estratigráfica da região:

A Mina do Trevo situa-se na porção da coluna estratigráfica correspondente a **Formação Rio Bonito**, representada pelo **Membro Siderópolis** aflorante no fundo do vale do rio Fiorita e em outros cursos d'água próximos.

A **Formação Rio Bonito** é caracterizada por uma porção basal arenosa, uma porção intermediária argilosa e uma porção superior predominantemente arenosa onde encontra-se os principais leitos e camadas de carvão. A revisão estratigráfica da Bacia do Paraná, realizada por Mühlmann. et al (1974), que subdividiu a Formação Rio Bonito em três membros: Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis. (LREBS, 2004).

**Figura 1:** Coluna Estratigráfica da área correspondente à Bacia Carbonífera de Santa Catarina.

Período	Unidade Litoestratigráfica			Litologias	
	Grupo	Formação	Membro		
Quaternário				Areias de praia e depósitos de aluvião e coluviões.	
Jurássico	São Bento	Serra Geral		Derrames e intrusões de lavas basálticas (em forma de diques e soleiras).	
Cretáceo		Botucatu		Arenitos maciços e grosseiros com estratificação cruzada. Arenito e siltito vermelho argiloso.	
Permiano	Passa Dois	Rio do Rastro		Arenito violeta-acinzentado, siltito e folhelhos marrom-avermelhados.	
		Estrada Nova		Siltitos e folhelhos pretos com algumas intercalações de arenitos.	
		Irati		Folhelhos e siltitos pretos com níveis betuminosos e lentes de calcário.	
	Tubarão	Palermo		Siltitos cinza e cinza-esverdeado e arenitos finos intercalados.	
		Rio Bonito	Siderópolis		Arenito cinza-claro, geralmente fino a médio, subordinadamente siltitos, folhelhos, camadas de carvão.
			Paraguaçu		Siltito cinza-esverdeado subordinadamente arenitos finos, camadas de carvão.
			Triunfo		Arenito cinza-claro fino a grosseiro, subordinadamente siltitos cinza-escuro.
Pré-Cambriano	Pedras Grandes			Rochas graníticas, quartzomonzoníticas e granodioríticas.	

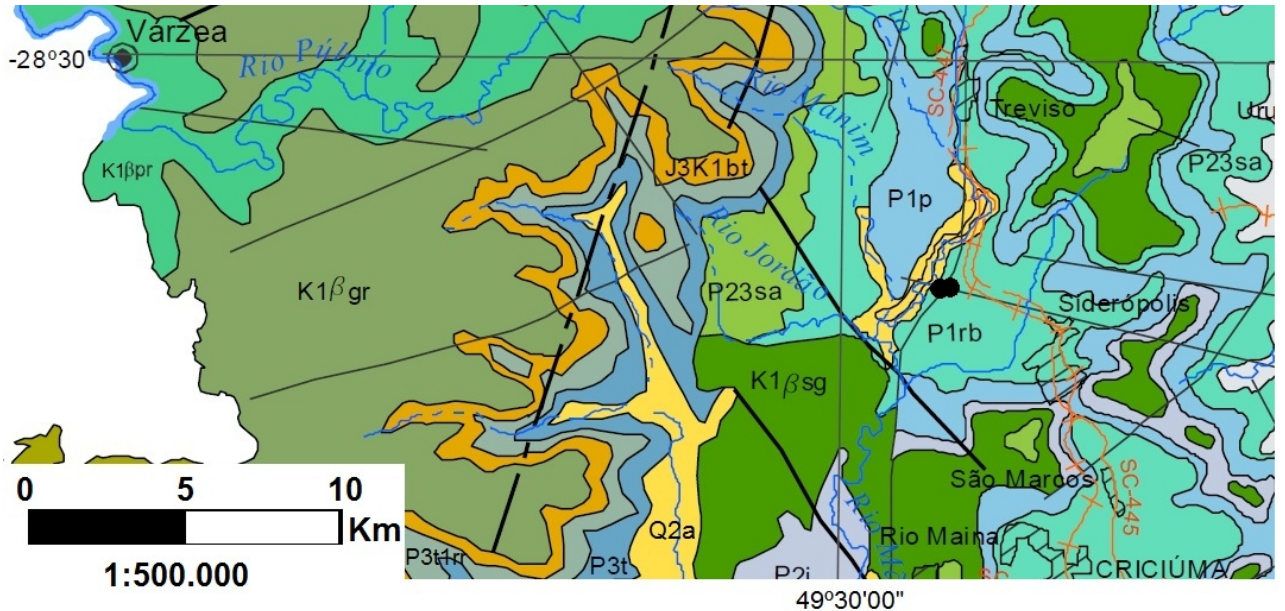
Fonte: Krebs 2004.

Na porção basal denominada Membro Triunfo, estão depositados arenitos cinza claros, de granulometria' fina a média, raramente grossa, moderadamente selecionados e com matriz argilosa. Estes estão intercalados com siltitos e folhelhos cinza escuro. A geometria sigmoidal das camadas indica a relação das estruturas com processos flúvio-deltaicos. (LEÃO, 2008)

O Membro Paraguaçu, na porção intermediária da formação, apresenta sedimentação predominantemente pelítica, com intercalação rítmica entre siltitos e folhelhos com arenitos finos a muito finos, quartzosos, micáceos e com laminação paralela ondulada. É possível identificar a presença de bioturbações, características

de uma sedimentação transgressiva com afogamento do delta do Membro Triunfo.  
(LEÃO, 2008)

**Mapa 2** – Mapa geológico para a região de Siderópolis.



### Legenda

●	Pontos de Amostragem		
—	Estrada Asfaltada		
- - -	Estrada Secundária		
	Drenagem		
—	Falha		
	Fm. Rio do Sul		Fm. Irati
	Fm. Botucatu		Fm. Palermo
	Fm. Rio do Rastro		Fm. Rio Bonito
	Fm. Terezina		Depósitos Aluviais
	Fm. Serra Alta		Fm. Serra Geral

Fonte: Modificado, Mapa Geológico de Santa Catarina, CPRM 2014.

A porção superior da Formação corresponde ao Membro Siderópolis, onde localiza-se a área de estudo. Esta região é constituída por um espesso pacote de arenitos intercalados com siltitos, folhelhos carbonosos e carvão. Os arenitos encontram-se na porção basal a média, são de cor cinza amarelado, textura média, localmente grossa, com grãos de quartzo subarredondados a arredondados, presença de feldspato mais restrita e abundante matriz quartzo feldspática. As camadas possuem geometria lenticular ou tabular, com estratificação acanalada de médio a grande porte. As espessuras variam entre alguns centímetros podendo ser maiores que 1 metro. A camada de carvão explorada na Mina do Trevo, encontra-se na porção superior do Membro Siderópolis, e é denominada Barro branco (Camada Bonito). (LEÃO, 2008).

A parte superior do Grupo Guatá é denominada de **Formação Palermo**. Nesta porção encontra-se um espesso pacote de ritmitos com espessura variável e alternância de tonalidades claras e escuras, correspondentes a interlaminação de areia-silte e argila. A laminação é plano-paralela, ondular e lenticular. Estruturas de fluidização e bioturbação estão presentes na porção inferior da camada, e estruturas do tipo *micro-hummocky* na porção superior. Estas estruturas associadas a estruturas de fluidização presente na área correspondem a um ambiente marinho raso, com atuação de ondas e microrganismos. Evento este que marca o início da transgressão marinha com afogamento do ambiente deltaico/lagunar da Formação Rio Bonito. (LEÃO, 2008).

Próximo às encostas do platôs gonduânicos e nas proximidades de Siderópolis ocorrem depósitos do tipo **Aluvial**, geneticamente relacionados à natureza da área fonte. A porção próxima as encostas dos platôs gonduânicos, fica fora da área estudada e possui vales encaixados de gradiente acentuado. São pouco expressivos e são basicamente depósitos conglomeráticos ou areno conglomeráticos concentrados nas calhas dos cursos d'água. (KREBS, 2004).

Os depósitos aluviais mais expressivos estão situados próximos a Siderópolis, em regiões onde os vales são mais abertos e com rochas pelíticas aflorantes nas encostas dos morros. Apresentam um intervalo superior predominantemente argiloso ou areno-siltoso argiloso, de cores cinza amarelado, plasticidade média e depositado sobre um intervalo inferior constituído por seixos. (KREBS, 2004).

## 2. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

A variedade de tipos litológicos, leques aluviais e depósitos em maior parte arenosos, associada a frequente presença de falhas e estruturas geológicas na região, com eventual basculamento de blocos descrito por Krebs. et al (2004), compõem importantes unidades geológicas com características propícias ao armazenamento de água subterrânea. Importantes aquíferos associados a estas litologias estão presentes na Bacia Carbonífera, grande parte comprometida pela intensa exploração do carvão.

Autores como Krebs (2004), Amaral (2004) e Leão (2008) realizaram um amplo estudo das características das águas superficiais e subterrâneas aí presentes assim como dos tipos litológicos e estruturas relacionadas. O plano de monitoramento da Mina do Trevo, Leão (2008), descreve a região em termos geomorfológicos como tendo a forma de um pequeno anfiteatro de aproximadamente 16 km<sup>2</sup>. A geometria de um pequeno morro testemunho está relacionada a presença de um sill de diabásio encaixado no intervalo estratigráfico correspondente a Formação Irati.

O morro testemunho da origem a uma drenagem composta por pequenos cursos d'água pertencentes à micro bacia do rio Fiorita. Aproximadamente no intervalo estratigráfico correspondente ao contato das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral com as rochas sedimentares da Formação Irati.

Com relação as drenagens existentes, a própria empresa responsável pela exploração da mina, em 1999, analisou e interpretou as fotografias aéreas em conjunto com a Planta de Superfície Global da região e determinou que as drenagens possuem padrão dendrítico, escoando no sentido sul a norte, onde se situa o rio Fiorita determinando o nível base da drenagem. A região possui um relevo movimentado junto às encostas, com pequenos vales em forma de V. As características do solo e do substrato rochoso nas encostas compõem uma superfície pouco permeável, permitindo um escoamento rápido até a base da encosta, por vezes formando pequenos banhados que fazem parte da planície aluvial do rio Fiorita. (LEÃO, 2008).

Dentre as Formações presentes, as com domínio sedimentar o controle de armazenamento se dá pela quantidade de espaços intergranulares, ou seja, pelo maior ou menor grau de permeabilidade da rocha. As Formações com rochas do tipo cristalina têm seu armazenamento controlado pelo grau de fraturamento e pela ocorrência de estruturas como falhas geológicas. Os principais aquíferos relacionados área de estudo encontram-se presentes nos mantos de alteração da Formação Palermo e inseridos na Formação Rio Bonito. (KREBS, 2004)

Com relação aos aquíferos presentes na **Formação Rio Bonito**, esta corresponde a unidade geológica mais importante em termos de disponibilidade hídrica e presença de camadas de carvão a muito tempo exploradas, gerando riscos de contaminação. As minas a céu aberto e as minas em subsolo, com presença de depósitos de rejeito alteraram as características naturais das águas. O mapeamento litofaciológico descrito por Krebs (2004), constatou a presença de diferentes variações laterais e verticais de fácies litológicas. A frequente presença de falhas geológicas provocou o basculamento de blocos. Fatores que interferem no comportamento hidrogeológico e hidrogeoquímico, dificultando a definição da assinatura hidrogeoquímica padrão para este aquífero.



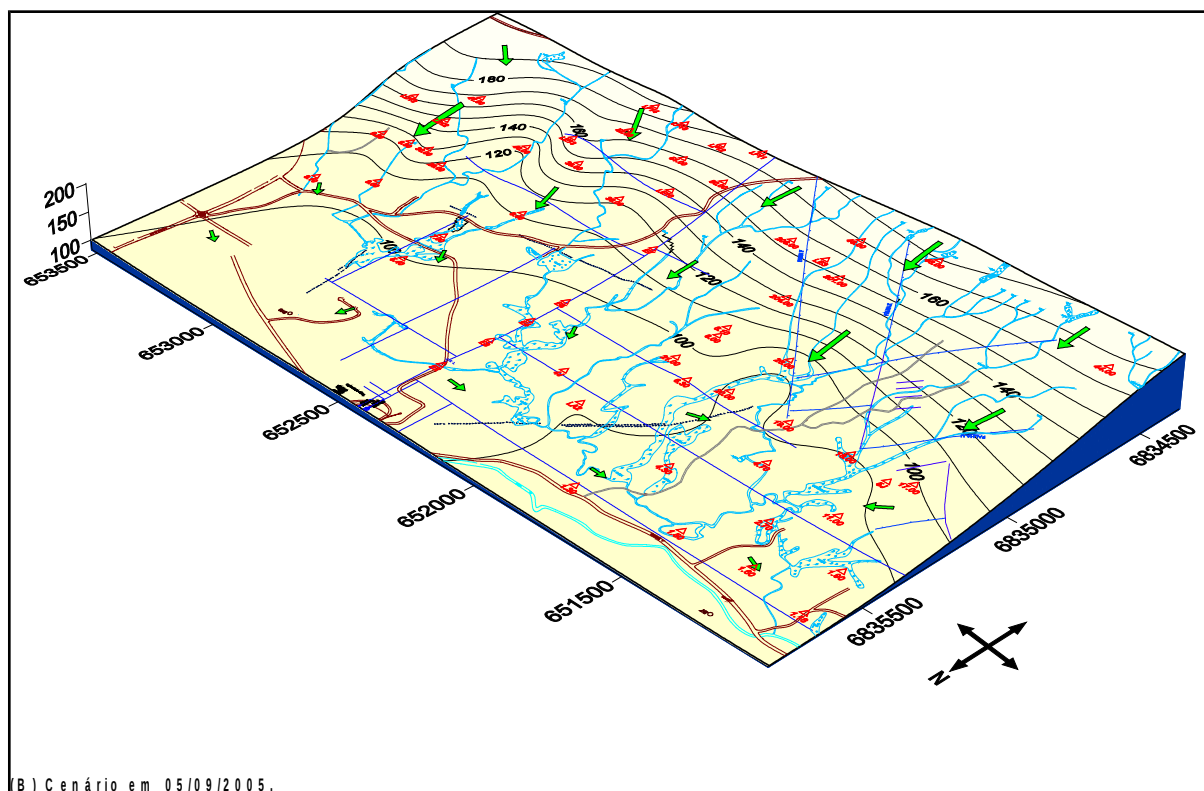
As mesmas correlações litofaciológicas descritas através dos furos de sondagem foram utilizadas nas avaliações hidrogeológicas. Estas constataram que essa Formação é composta por múltiplos aquíferos relacionados aos tipos litológicos presentes nos Membros Siderópolis e Triunfo. As características litológicas e granulométricas, correlacionadas ao posicionamento estratigráfico e sua distribuição sugerem que se trata de um aquífero extenso e com porosidade intergranular. A unidade possui geometria tabular ou lenticular, com regime de fluxo livre, e em alguns locais semiconfinados quando coberto por camadas de siltito carbonoso da Formação Palermo. O comportamento hidrogeológico e os aspectos hidroquímicos das águas estão relacionados com estes fatores. (LEÃO, 2008).

O plano de monitoramento da mina, determinou o modelo hidrogeológico estabelecido através das linhas de fluxo, associado a informações geológicas e geomorfológicas, área de recarga, circulação e descarga. Estes dados indicaram que as áreas de recarga estão situadas nas partes altas do morro testemunho. Na parte aflorante desta formação, a recarga ocorre por infiltração direta, a partir de precipitações e através dos solos residuais e transportados. (LEÃO, 2008).

O mapa piezométrico apresentado por Leão (2008), figura 2, demonstra que grande parte da água que se infiltra nas encostas do morro testemunho flui em sentido noroeste, onde afloram litologias da formação Rio Bonito predominantemente arenosas.

A vulnerabilidade deste aquífero, devido as litologias arenosas, é considerada média a alta, e aumenta com a presença das atividades de mineração do carvão e depósitos de rejeito piritosos associados. A porção superior a camada de carvão Barro Branco é a mais comprometida. Coletas de água nas galerias das minas de subsolo na região apresentaram péssima qualidade das águas, demonstrando que parte do aquífero já encontra-se comprometido, e em casos extremos, foram destruídos. Os rejeitos piritosos depositados sobre afloramentos de rochas areníticas possuem grande influência na degradação da qualidade das águas.

Figura 2 – Mapa piezométrico da área.



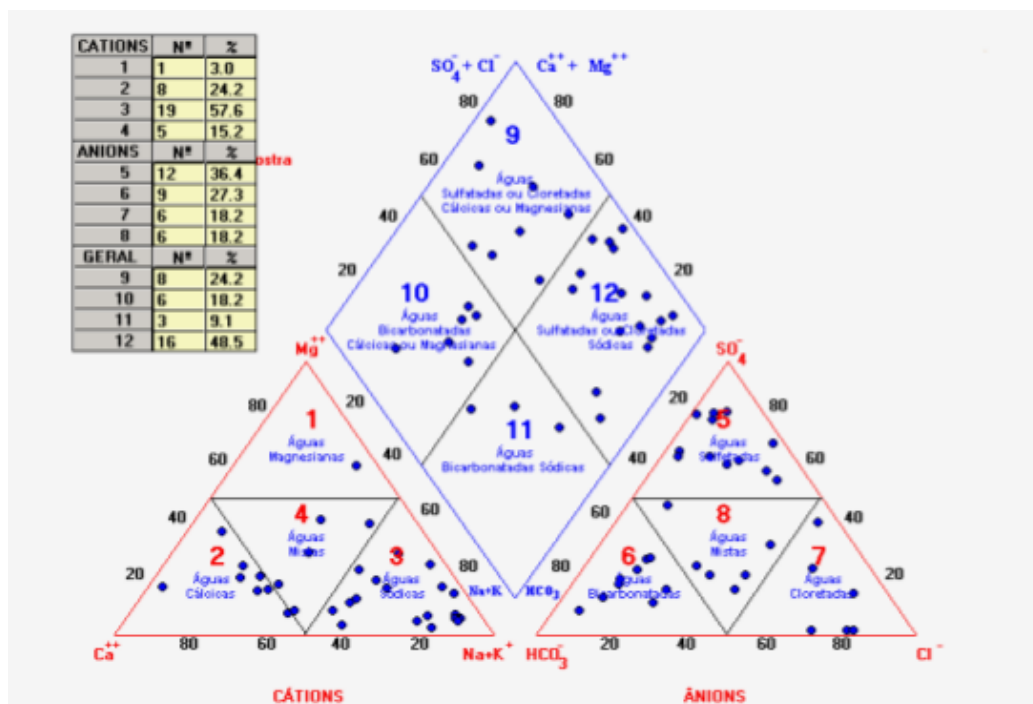
\* Legenda: Os pontos vermelhos representam a rede de monitoramento.

Fonte: Leão (2008).

O diagrama de Piper, composto por Krebs (2004), representado na figura 3, demonstra que as águas do Sistema Aquífero Rio Bonito apresentam grande variação composicional que não está diretamente relacionada a uma herança composicional de cada intervalo litológico presente, tanto em termos de quantidade de íons dissolvidos quanto para íons individuais.

Das amostradas analisadas por este autor, 48,5% encontram-se no campo das águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, 24,2% situam-se no campo das águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas. A porção restante, 18,2% das amostras foram caracterizadas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e 9,1% como águas bicarbonatadas sódicas.

**Figura 3** – Diagrama de Piper para as águas do Sistema Aquífero Rio Bonito.



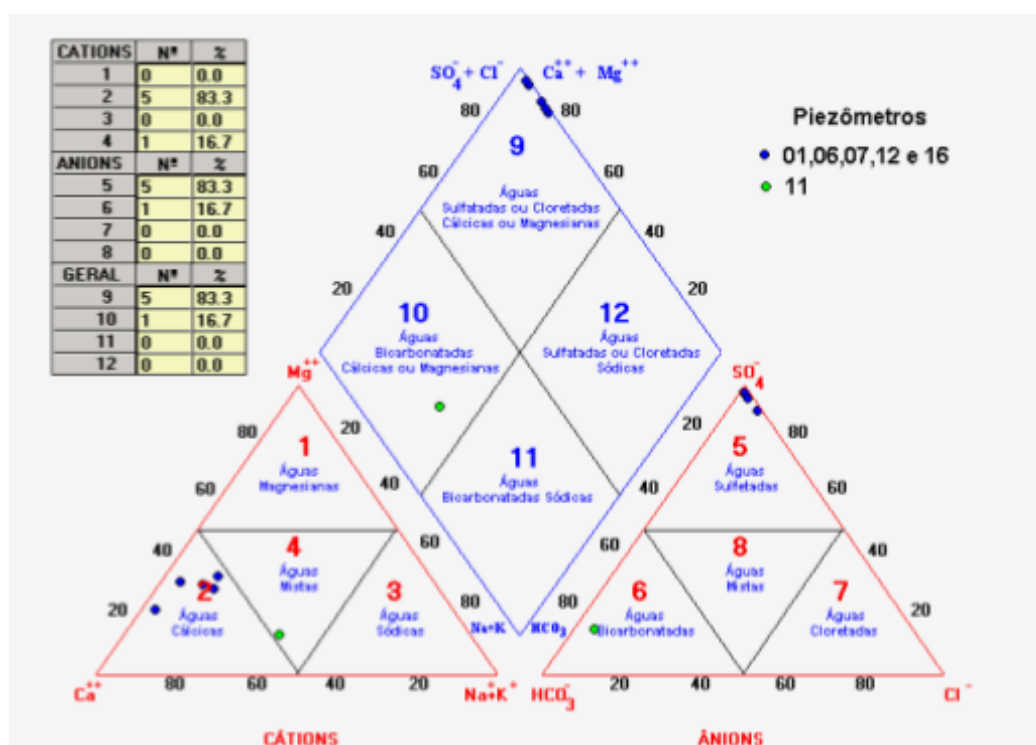
Fonte: Krebs, 2004.

Para definir o comportamento geoquímico nas áreas em que ocorriam a exploração do carvão, Krebs (2004) amostrou águas dos poços piezométricos profundos instalados na Vila Funil, região onde está localizada a Mina do Trevo, no município de Siderópolis. A amostragem destes piezômetros demonstrou que todas as águas situam-se no campo das águas sulfatadas ou magnesianas com exceção de uma amostra, cuja a recarga encontra-se fora da área minerada. Os valores de pH são baixos, presença de altos valores de acidez total, sulfatos e ferro total sugerem o comprometimento deste intervalo aquífero. (Figura 4).

O plano de monitoramento realizado por Leão (2008) considerou a vazão de diversos cursos d'água na região bem como as vazões em poços tubulares. As vazões nos poços tubulares profundos apresentaram valores entre 1 m<sup>3</sup>/h a 20 m<sup>3</sup>/h, em média 6,71 m<sup>3</sup>/h. Os valores para a condutividade hidráulica na Formação Rio Bonito variam de 5,4x10<sup>-9</sup> m/s a 7,0x10<sup>-7</sup> m/s. Conclui-se portanto que as águas

subterrâneas, na porção superior da Formação, apresentam baixa capacidade de movimentação horizontal. Há evidências de que ocorre aumento da condutividade hidráulica com o aumento da profundidade, conforme ocorre o aumento das fácies arenosas em maiores profundidades.

Figura 4 – Diagrama de Piper das águas amostradas na Vila Funil.



Fonte: Krebs (2004).

O **Aquífero Freático** na área de Mina do Trevo está relacionado ao manto de alteração da Formação Palermo, em suas fácies mais arenosas. Nele foram instalados a maior parte do piezômetros rasos que fazem parte da rede de monitoramento do aquífero freático. Trata-se de um aquífero livre a semiconfinado que acompanha a margem esquerda do Fiorita. (KREBS, 2004).

Este aquífero, na parte Norte da área, serviu como um indicador do comportamento do aquífero profundo, sob influência do enchimento das galerias da mina. Alterações no nível e nas qualidades das águas nestes piezômetros podem

indicar a ocorrência de conexão vertical entre o aquífero profundo presente na Formação Rio Bonito e Palermo, e o aquífero freático. (KREBS, 2004).

Durante o período de monitoramento da mina, a Carbonífera Siderópolis Ltda. era responsável pela medição das cotas piezométricas na rede de monitoramento e por realizar a análises das amostras de água, tanto subterrâneas quanto superficiais. A tabela I reapresenta os valores das cotas nesse período.

**Tabela I** – Relação histórica das cotas piezométricas nos piezômetros PzMT – 01 e PzMT – 02.

<b>Mina do Trevo</b>		
<b>Cotas Piezométricas (m)</b>		
<b>Ano</b>	<b>PzMT - 01</b>	<b>PzMT - 02</b>
2009 – Janeiro	77,395	75,974
2010 – Agosto	87,495	87,374
2011 – Agosto	88,83	88,61
2017 – Maio	89,2	88,995
Cota do terreno (m)	93,07	95,39

Segundo Roisenberg (2008), o contato de rochas e rejeitos de carvão contendo sulfetos, expostos ao intemperismo, com as águas provenientes das infiltrações presentes nas paredes das galerias de minas subterrâneas de carvão, promove a formação de soluções ácidas que proporcionam o transporte e a distribuição de cátions pesados, sendo responsáveis pela contaminação hídrica.

Mello (2014) caracteriza o termo DAM (Drenagem ácida da mina) como o termo geralmente utilizado para descrever os impactos da oxidação do mineral pirita, porém não é restrito a pirita. Em ambientes de mineração as águas, na maioria das vezes, apresentam baixos valores de pH (podendo ser inferiores a 3,5 quando a água está em contato com o oxigênio), altas concentrações de Sulfatos (podendo chegar a 2000 mg/L), e a presença de cátions metálicos em concentrações superiores às encontradas em ambientes naturais.

A oxidação natural da pirita ocorre devido à presença de oxigênio no sistema, causando uma elevação da acidez. A pirita e outros sulfetos quando expostos ao ar e a água, sofrem oxidação produzindo  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  e dois prótons. Esta reação é seguida por uma reação de oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  que leva a formação do hidróxido de ferro. Esta última é responsável pela característica visual comum em áreas de mineração, em que a água apresenta um aspecto avermelhado. (ROISENBERG, 2008).

Nestes casos, o pH das águas somente é reduzido quando a acidez do sistema supera a alcalinidade. Os minerais carbonáticos podem contribuir para a neutralização da acidez. A dissolução destes carbonatos modifica a composição das águas através do consumo de prótons e liberação de cátions, especialmente quando ocorre a presença de calcita e dolomita. (ROISENBERG, 2008).

Outros tipos de minerais encontrados em águas subterrâneas podem contribuir para a neutralização da acidez, embora com menor intensidade. A presença de silicatos máficos, feldspatos e argilominerais, que apesar de serem menos solúveis que os carbonatos, também são minerais neutralizadores nas águas ácidas. (ROISENBERG, 2008).

Para a Bacia hidrográfica do rio Araranguá, que contempla a região da Mina do Trevo, estudos realizados na década de noventa e utilizados como diagnóstico (CETEM, 2001; SDM, 1997; DNPM, 1999 e Ávila, 1992) já apresentavam parâmetros físico-químicos extremamente elevados devido à presença da atividade carbonífera na área. Os resultados demonstravam pH entre 2 e 3, sendo a condutividade elétrica superior a 6,0 mS/cm a 25°C. Os teores de sulfatos constatados nestes estudos indicavam que as águas afetada pela atividade de mineração do carvão apresentavam valores de até 6000 mg/L e manganês com valores de até 27 mg/L. Nesta época os valores de alumínio correspondiam a 63 mg/L, além da presença de outros metais como chumbo (0,8 mg/L) e zinco (2,4

mg/L). As tabelas II, III e IV demonstram a relação histórica dos parâmetros analisados durante e após o monitoramento da mina.

**Tabela II** – Relação histórica das análises químicas para o PzMT – 01.

PzMT – 01						
Ano	Unidade	2008/1	2008/2	2011/1	2011/2	2017/1
Temperatura	°C	17,5	20	20,8	20	21,7
pH		5,82	6,1	5,55	5,72	6,62
Acidez	CaCO <sub>3</sub> /L	6,89	ND	17,38	15,52	ND
Sol. Diss	mg/L	51	101	2006	1525	2842
Sol. Totais	mg/L	124	125	2095	1604	2905
Sulfato	mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	5,31	5,69	28,86	398	1750
Condutividade	mS/cm	77,4	71	1988	2271	1951
Mang. Total	mg/L	0,17	0,24	12	10,6	12,1
Zin Total	mg/L	0,02	0,01	0,05	0,08	0,012
Oxi Diss.	mgO <sub>2</sub> /L	1,82	6,58	ND	ND	ND
Alumínio	mg/L	0,68	0,21	<0,05	0,51	ND
Chumbo	mg/L	0,11	0,04	0,03	0,05	ND
Cobre Total	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	ND
Ferro	mg/L	<0,01	0,29	0,18	3,4	329
Sódio	mg/L	7,43	5,06	35,08	20,05	21,6
Cálcio	mg/L	1,82	1,27	696	301	398
Potássio	mg/L	0,99	1,12	11,39	6,49	16,5
Magnésio	mg/L	1,44	1,43	91,26	37,03	73,8
Cloretos	mgCl <sup>-</sup> /L	6,65	5,19	6,32	6,91	ND
Alcalinidade	CaCO <sub>3</sub> /L	23,76	17,71	35,35	15	115
Turbidez	NTU	25,9	17,83	150	111	44,8

\*ND – Não detectado pelo método.

**Tabela III** – Relação histórica das análises químicas para o PzMT – 02.

PzMT - 02						
Ano	Unidade	2008/1	2008/2	2011/1	2011/2	2017/1
Temperatura	°C	18,2	20	20,1	20,54	20,8
pH		6,93	6,91	6,74	6,57	6,88
Acidez	CaCO <sub>3</sub> /L	ND	ND	6,4	ND	30
Sol. Diss	mg/L	148	167	142	118	115
Sol. Totais	mg/L	360	397	152	118	123
Sulfato	mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	9,19	2,76	11,91	2,61	26,5
Condutividade	mS/cm	234,9	245	234,2	251,3	184,6
Mang. Total	mg/L	2,07	3,43	0,58	4,04	ND
Zin Total	mg/L	0,03	0,02	0,02	0,04	ND
Oxi Diss.	mgO <sub>2</sub> /L	7,78	5,76			5,5
Alumínio	mg/L	0,35	0,83	0,29	0,84	ND
Chumbo	mg/L	0,01	0,07	ND	0,03	ND
Cobre Total	mg/L	ND	0,01	ND	ND	ND
Ferro	mg/L	1,1	<0,01	0,13	0,23	0,48
Sódio	mg/L	11,59	9,7	12,38	9,24	8,97
Cálcio	mg/L	24,75	31,27	22,53	19,62	14,7
Potássio	mg/L	1,21	1,5	2,57	1,48	2,04
Magnésio	mg/L	6,74	7,06	5,55	4,04	ND
Cloretos	mgCl <sup>-</sup> /L	5,7	3,77	5,83	4,15	5
Alcalinidade	CaCO <sub>3</sub> /L	140	124	121	ND	70
Turbidez	NTU	57,52	130	11,15	55,3	4,6

\*ND – Não detectado pelo método.



**Tabela IV** – Relação histórica das análises químicas para o Rio Fiorita.

Rio Fiorita						
Ano	Unidade	2008/1	2008/2	2011/1	2011/2	2017/1
Temperatura	°C	20,9	19	20,1	13,56	18,8
pH		3,21	3,77	3,28	3,36	3,5
Acidez	CaCO <sub>3</sub> /L	156	55,38	229	96,9	410
Sol. Diss	mg/L	462	201	381	101	385
Sol. Totais	mg/L	471	126	390	201	400
Sulfato	mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	249	126	251	72,43	433
Condutividade	mS/cm	896	346	614	541	573
Mang. Total	mg/L	3,35	1,16	2,58	1,26	2,74
Zin Total	mg/L	0,15	0,05	0,1	0,09	0,115
Oxi Diss.	mgO <sub>2</sub> /L	8,36	2,47	ND	ND	6,8
Alumínio	mg/L	8,67	4,23	6,63	3,7	3,99
Chumbo	mg/L	0,01	0,03	ND	ND	ND
Cobre Total	mg/L	0,01	0,01	0,13	ND	0,047
Ferro	mg/L	0,28	0,14	0,13	0,25	6,64
Sódio	mg/L	10,88	5,42	17,88	5,11	9,17
Cálcio	mg/L	45,08	17,47	40,53	21,02	35,2
Potássio	mg/L	2,74	1,84	3,38	1,94	2,69
Magnésio	mg/L	12,98	5,1	9,05	4,31	12,3
Cloretos	mgCl <sup>-</sup> /L	6,65	5,66	107	11,06	12,5
Alcalinidade	CaCO <sub>3</sub> /L	ND	ND	ND	ND	ND
Turbidez	NTU	3,29	43,54	13,16	38,91	4,01

\*ND – Não detectado pelo método.

### 3. PROBLEMA / HIPÓTESES

Dentre os impactos associados a mineração subterrânea pela atividade de lavra do carvão, a contaminação dos solos, a contaminação por drenagem ácida, e problemas associados ao desmonte de pilares nas galerias entre outros, podem ser fatores modificadores das características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas na região de exploração.

A poluição das águas em locais próximos a minas de carvão se dá pelo processo de oxidação de minerais sulfetados, principalmente pirita, encontrada nos rejeitos e que em contato com a água, são solubilizados dando origem a drenagem ácida da mina. O baixo pH decorrente do contato da água com o material oxidado

proporciona a solubilização de metais pesados e diversos elementos químicos que podem ter impactos ambientais diversos, e riscos a saúde humana durante um longo período de tempo.

O sistema de monitoramento na mina do Trevo, foi um sistema pioneiro na região, com a finalidade de avaliação destas anomalias no sistema hidráulico local. Devido ao grande impacto causado pela mineração, levanta-se a hipótese de que passados 10 anos do término das atividades de carvão ainda devam existir anomalias nas características das águas subterrâneas no entorno da mina. Estas podem conter parâmetros físico-químicos alterados, assim como carga hidráulica elevada, que podem ocasionar a interconexão dos aquíferos confinado e aquíferos freáticos proporcionando eventual contaminação dos mesmos.

#### **4. OBJETIVOS**

O objetivo do projeto consiste em realizar uma investigação das características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas através da análise de duas amostras de água subterrânea no interior das galerias da Mina e uma amostra de água superficial para a comparação entre as mesmas em diferentes datas. Executar a medição dos níveis piezométricos nos dois poços tubulares profundos que atingem as galerias da Mina, e em um poço piezômetro para a medição de nível do lençol freático. Os resultados obtidos serão comparados com os dados de monitoramento realizados em anos anteriores, a fim de verificar a evolução temporal destes parâmetros.

##### **4.1 Objetivos específicos**

Entre os objetivos específicos do trabalho, que possibilitarão reconhecer aspectos importantes sobre as águas no interior da Mina do Trevo constam:

- entendimento das relações litológicas com as águas subterrâneas através de uma sessão geológica transversal;
- entendimento da evolução da composição química das águas nas galerias da mina e do fluxo subterrâneo das mesmas.
- determinação de possíveis anomalias e suas causas nas características hidrogeoquímicas.
- verificar o comportamento hidrostático nas galerias, devido ao comportamento de aquífero confinado das mesmas.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para testar a hipótese levantada, o estudo abordará o tema de duas formas: direta e indireta. O método direto consiste na medição direta em campo dos níveis piezométricos dentro das galerias, através de: dois poços tubulares previamente instalados durante a mineração; na coleta de amostras de água nesse dois piezômetros que atingem as galerias da mina e em superfície nas calhas localizadas no entorno da Mina; e a medição direta dos parâmetros pH, temperatura e condutividade elétrica. Dados estes que servirão de base para o estudo comparativo entre os dados obtidos no plano de monitoramento e os parâmetros atuais. O método indireto consiste em interpretar e avaliar os parâmetros obtidos durante e após o descomissionamento da Mina, possibilitando descrever as possíveis variações ao longo do tempo e determinar suas causas e estratégias de ação.

Abaixo estão listados os métodos e etapas que serão empregados para a realização do projeto apresentado na Tabela V.

A etapa de campo teve como principal objetivo a coleta direta de dados em superfície e subsuperfície. Foram realizadas medições, no campo, de pH, para determinar o caráter ácido ou básico da água, medição da temperatura da água nas galerias e condutividade elétrica, que define a habilidade de uma solução aquosa de

conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. Essa propriedade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon. As medições de níveis piezométricos dos dois piezômetros instalados na Mina, serviram para determinar a altura da carga hidráulica nas galerias. Os parâmetros hidroquímicos analisados nas amostras de água foram os mesmos presentes nas amostras realizadas durante o plano de monitoramento, listados na Tabela 6 do item 5.1.2.

**Tabela V** - Métodos empregados na realização do projeto.

MÉTODO	TÉCNICA	DADO	INFORMAÇÃO	NÍVEL DE IMPORTÂNCIA (Crescente– 1, 2, ...)	OBS
Levantamento de dados de monitoramento, estudos realizados. Mapa base.	Análise das informações existentes desde a época em que a Mina operava.	Dados de monitoramento de níveis e de qualidade das águas das galerias da mina.	Análise dos dados de monitoramento de níveis e de qualidade das águas subterrâneas das galerias, interpretando a evolução temporal destes parâmetros e os impactos, caso existam.	5	Etapa Pré-Campo
Análise Físico-Química	Identificar e quantificar os parâmetros hidroquímicos presentes na água.	Análise físico-química de amostras de água coletadas nos poços de monitoramento.	Avaliação da evolução da composição química das águas das galerias, desde o fechamento da mina até a presente data. Permitirá verificar as alterações nas concentrações de vários parâmetros nas águas da mina.	5	Etapa de Campo
Avaliação de Níveis	Medição de nível nos poços de monitoramento instalados no local.	Níveis piezométricos	Determinar a altura atual da carga hidráulica nas galerias da mina e comparar com os dados de monitoramento de níveis realizados desde o descomissionamento da mina do Trevo. Permitirá avaliar o enchimento de água das galerias da mina.	5	Etapa de Campo
Construção de uma seção geológica transversal.	Utilização de informações geológicas e hidrogeológicas	Utilização de dados geológicos e piezométricos	Descrição do comportamento hidrogeológico e acompanhamento da evolução temporal da piezometria no interior da mina.	5	Etapa Pós-Campo

Na etapa pós-campo foi realizada a interpretação e compilação do banco de dados, análise e interpretação dos resultados obtidos, possibilitando a construção de uma seção geológica transversal com a finalidade de descrever o comportamento e a evolução dos parâmetros hidrogeológicos e hidroquímicos da área de estudo.

## **5.1 Levantamento de dados**

A etapa pré-campo consistiu em analisar e interpretar o banco de dados já existente oriundo do plano de monitoramento da Mina, instalado no final do período de lavra do carvão pela empresa responsável. Em sequência correlacionar estes dados com os resultados obtidos no plano de monitoramento para o descomissionamento da Mina, produzido pelo IPH–UFRGS em dezembro de 2007, após fim das atividades de lavra. Foram realizadas análises dos dados de monitoramento de níveis e de qualidade das águas subterrâneas dentro dos poços piezométricos que atingem as galerias, interpretando a evolução temporal destes parâmetros e os impactos gerados.

### **5.1.1 Dados quantitativos**

O banco de dados proveniente do plano de monitoramento da Mina do Trevo é composto pela medição de nível de 61 piezômetros freáticos, feita semanalmente durante o ano de 2008, e reduzida após esse período. Estes dados forneceram informações a respeito de alterações no nível das águas subterrâneas no nível freático durante o período, e são importantes na correlação com o sistema de águas superficiais e águas subterrâneas no interior das galerias da mina. Estes dados foram plotados em um gráfico para serem comparados com os níveis piezométricos atuais.

O monitoramento das águas superficiais, incluso no plano de monitoramento, contém medições de nível e vazões obtidos em 7 réguas linimétricas instaladas em açudes e drenagens existentes sobre a área da mina do Trevo durante o ano de 2008, com duas medições por semana. Os dados foram plotados em planilha excel e são comparados com dados coletados para este trabalho. Estes dados são essenciais no entendimento da correlação entres os sistemas aquíferos, e funcionamento do sistema hidráulico que existe na região: aquífero confinado, aquífero freático e águas superficiais. Uma diminuição nos níveis e nas vazões nas

calhas pode indicar interconexão entre o sistema freático e superficial. Podendo secar açudes e córregos, ou causar contaminação dos aquíferos.

Para a fase de enchimento da mina, o monitoramento das águas subterrâneas foi obtido a partir dos piezômetros PZMT-01 e PZMT-02, que contemplam o interior das galerias. As medições foram feitas semanalmente durante o ano de 2008, com redução após este período. Os dados foram plotados em planilha excel e devem ser anexados ao conjunto de dados anteriores para interpretação da evolução dos níveis das águas e possíveis correlações entre os sistemas presentes.

### 5.1.1 Dados qualitativos

O programa de monitoramento também avaliou a qualidade das águas a partir de análises físico-químicas em campanhas trimestrais ou semestrais, dependendo do ponto de coleta, durante o período de um ano após o encerramento das atividades de lavra do carvão. As campanhas semestrais envolveram a amostragem das águas superficiais das sete calhas na área da mina, e duas amostras no rio Fiorita. A mesma campanha ainda envolveu amostragem de doze piezômetros freáticos e os dois piezômetros profundos PzMT-01 e PzMT-02. Nove piezômetros freáticos foram amostrados trimestralmente neste período.

### 5.1.2 Parâmetros analisados

A tabela VI mostra os parâmetros que foram analisados para as águas superficiais e subterrâneas, conforme o plano de monitoramento da Mina do Trevo.

**Tabela VI** – Parâmetros analisados no período.

Parâmetros (mg/L)	Frequência	Água Superficial	Frequência	Água Subterrânea
Temperatura*		-	trimestral	X
pH	semestral	X	trimestral	X
Acidez Total	semestral	X	trimestral	X

Condutividade	semestral	X	trimestral	X
Oxigênio Dissolv.	Semestral	X	trimestral	-
Sólidos Totais	semestral	X	trimestral	X
Sólidos Dissolvidos	semestral	X	trimestral	X
Sulfatos	semestral	X	trimestral	X
Al, Pb, Co, Cu, Mn,	semestral	X	trimestral	X
Ni e Zn	semestral	X	trimestral	X
Ferro <sup>2+</sup>	semestral	X	trimestral	X
Turbidez	semestral	X	trimestral	-
Na, Ca, K, Mg, Cl,	anual	X	anual	X
HCO <sub>3</sub> , CO <sub>3</sub>	anual	X	anual	X

\* A temperatura deve ser medida no campo.

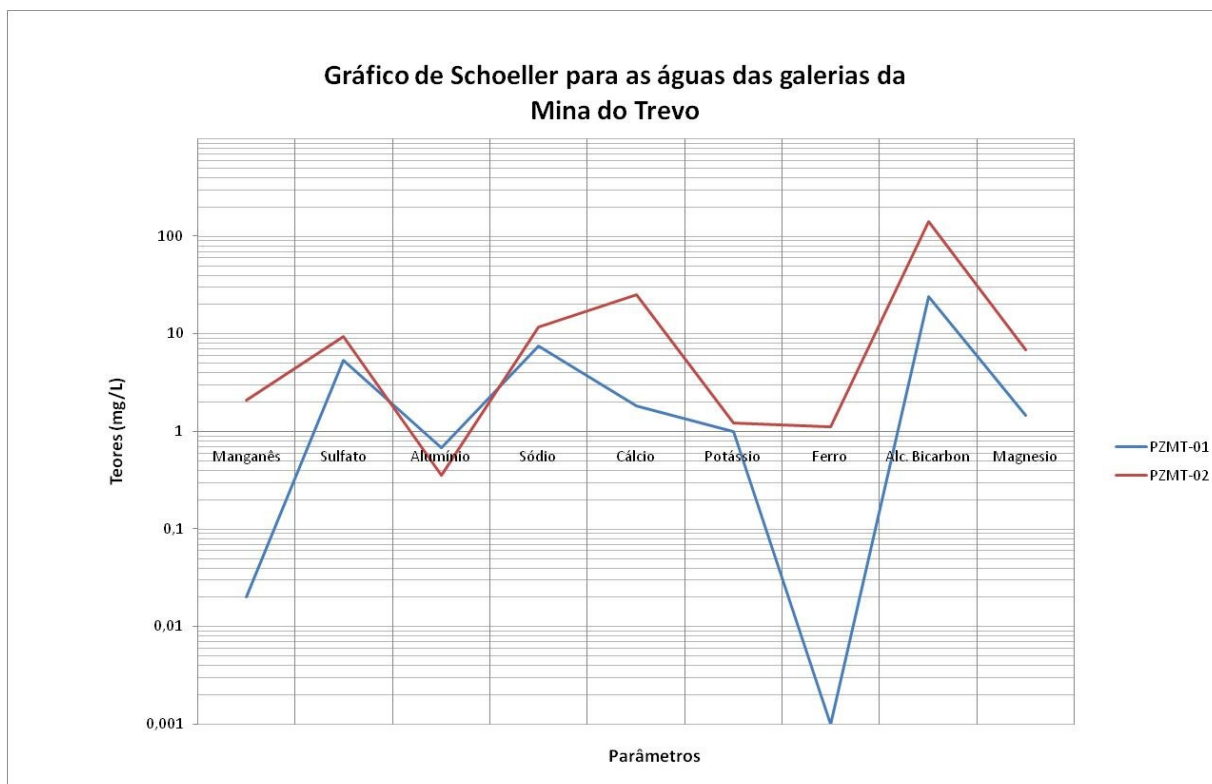
Os resultados de todas as análises químicas foram inseridos no software Qualigraf, ferramenta gratuita desenvolvida por Möbus (2002) junto ao Departamento de Recursos Hídricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME.

Com a utilização do software, foi construído o diagrama de Piper, que tem como função a classificação hidroquímica da água. Este diagrama é utilizado na comparação entre grupos de águas considerando os cátions e ânions dominantes e apresenta a concentração dos íons analisados em porcentagens. Plota-se as proporções dos cátions principais e dos ânions principais nas bases triangulares, e uma reta é traçada correspondendo ao valor dessa porcentagem. O ponto no losango central onde se cruzam as retas traçadas para os cátions e ânions corresponde a classificação hidroquímica da água. A representação gráfica é importante pois pode evidenciar relações entre íons de uma mesma amostra, ou variações temporais caso existam.

O software utilizado detêm uma série de ferramentas. Os diagramas de Schoeller representam os valores dos cátions e ânions (em mEq/L) através de uma sequência de linhas unindo os pontos que representam estes valores usando uma escala logarítmica, representado na figura 5. Este diagrama não é utilizado para avaliar pequenas variações na concentração de cada íon de diferentes amostras,

mas é útil na observação e representação entre íons associados a inclinação das linhas e indica se as águas analisadas pertencem a uma mesma família, ou seja, se pertencem ao mesmo aquífero.

**Figura 5** – Diagrama de Schoeller-Berkalof para os piezômetros PzMT – 01 e PzMT – 02 para o ano de 2008.



Fonte: Plano de Monitoramento da Mina do Trevo, Leão 2008.

## 5.2 Nível Piezométrico

O plano de monitoramento da Mina do Trevo contemplou as águas superficiais e subterrâneas. Foram consideradas as características geológicas e estruturais da área para a determinação da localização dos piezômetros.



Para as águas subterrâneas, foi considerada a cota da lapa da camada de carvão dentro das galerias da mina, levando em consideração a declividade das galerias, possibilitando prever qual setor da mina seria preenchido por água primeiro.

É por meio da medição do nível d'água no interior do piezômetro e registro destes em um intervalo de tempo, que se identifica o comportamento das águas subterrâneas.

O piezômetro consiste em um poço tubular com diâmetro variável e revestimento de PVC geomecânico. Para as águas subterrâneas das galerias, os dois piezômetros medidos foram construídos considerando a cota da lapa da camada de carvão dentro das galerias da mina. Para as águas do aquífero freático, entre os piezômetros instalados no plano de monitoramento, foi escolhido um piezômetro, com diâmetro menor, de 2 polegadas, construído com PVC, como na foto 2. A escolha do piezômetro freático levou em consideração o sentido de fluxo das águas subterrâneas e na posição que estivesse mais a oeste da área, próximo ao rio Fiorita.

A medição no poço é feita com uma sonda de medir nível, que consiste de uma fita métrica graduada, com um sensor que em contato com a água emite um sinal luminoso e sonoro.

O piezômetro PZMT-01, está localizado na propriedade da CCU onde reside a Sra. Candinha Zilli Périco, nas coordenadas UTM 0651449,872 e 6835500,170, na cota topográfica 93,075 m. Foi perfurado e revestido em 4 polegadas, com PVC geomecânico, tem 27,80 metros de profundidade, tendo atingido as galerias da mina aos 26,60 metros. O nível estático está a 3,87 metros de profundidade. A foto 1 mostra a boca do piezômetro PzMT-01, e a figura 6 representa o perfil construtivo do mesmo.

O piezômetro PzMT-02, está localizado na propriedade do Sr. Domingos Patel, nas coordenadas UTM 0651933,701 e 6835282,135, na cota topográfica 95,394 m. Foi perfurado e revestido em 4 polegadas, com PVC geomecânico, tem 38,60 metros de profundidade, tendo atingido as galerias da mina aos 36,80 metros. O nível estático neste piezômetro, em maio de 2017, está a 6,40 m de profundidade. A figura 6, mostra o perfil construtivo desse piezômetro. A foto 2 representa a boca do piezômetro freático e a sonda de medir nível. A figura 7 ilustra o perfil construtivo deste piezômetro PzMT - 02

A imagem de satélite 1, demonstra a localização dos dois Poços piezométricos, do poço freático e do Rio Fiorita em relação a entrada da mina e a cidade de Siderópolis. A distância entre os piezômetros PzMT – 01 e PzMT 02 é de 500 metros.

**Imagem de Satélite 1 – Localização dos poços piezométricos.**



**Foto 1** - Vista do Piezômetro PzMT-01.



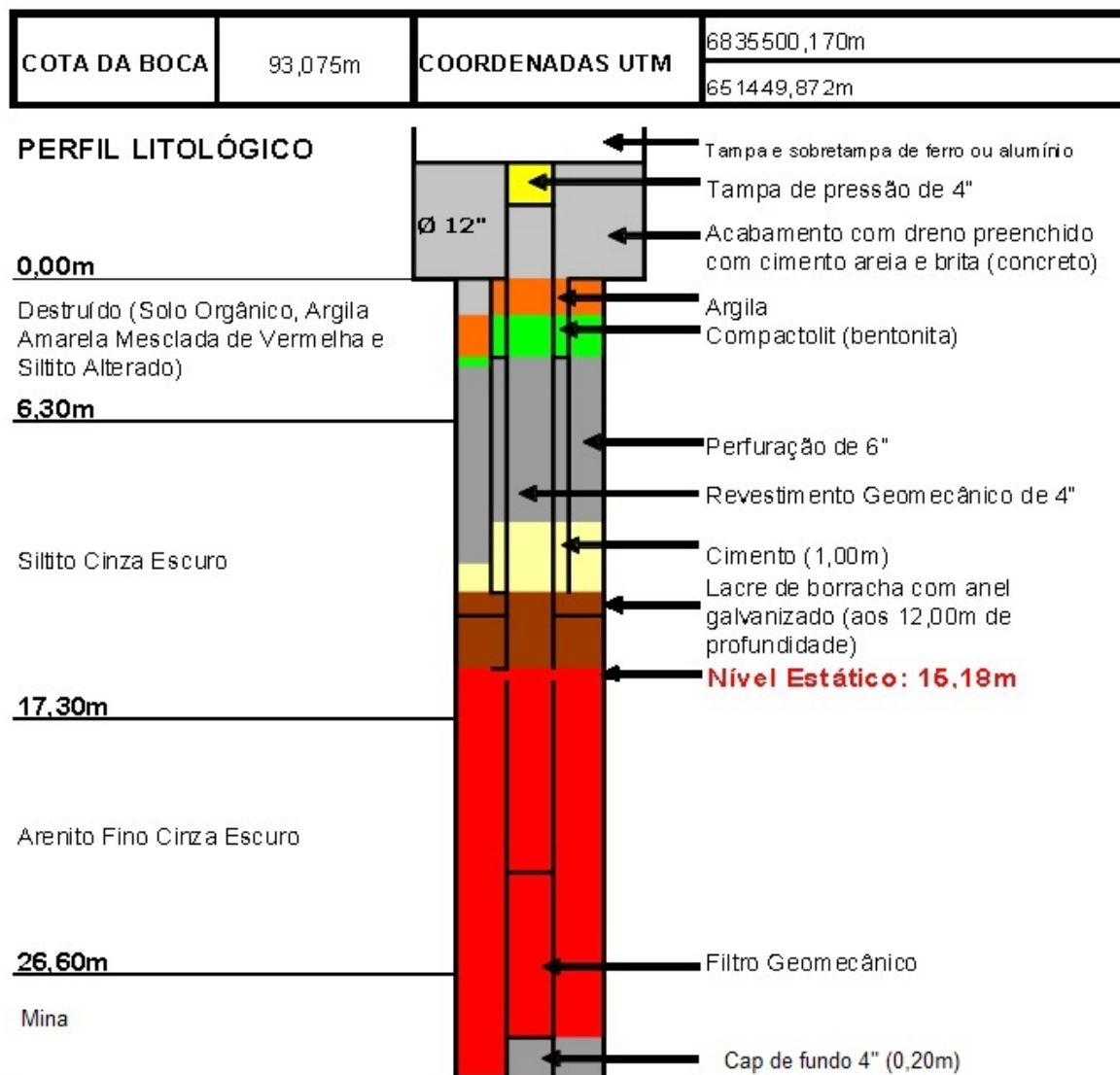
**Foto 2** - Sonda de medir nível e vista do Piezômetro Freático



Figura 6 – Perfil construtivo do Piezômetro PZMT-01.

## PERFIL DO POÇO PIEZOMÉTRICO PzMT-01

### Mina Trevo - Siderópolis, SC

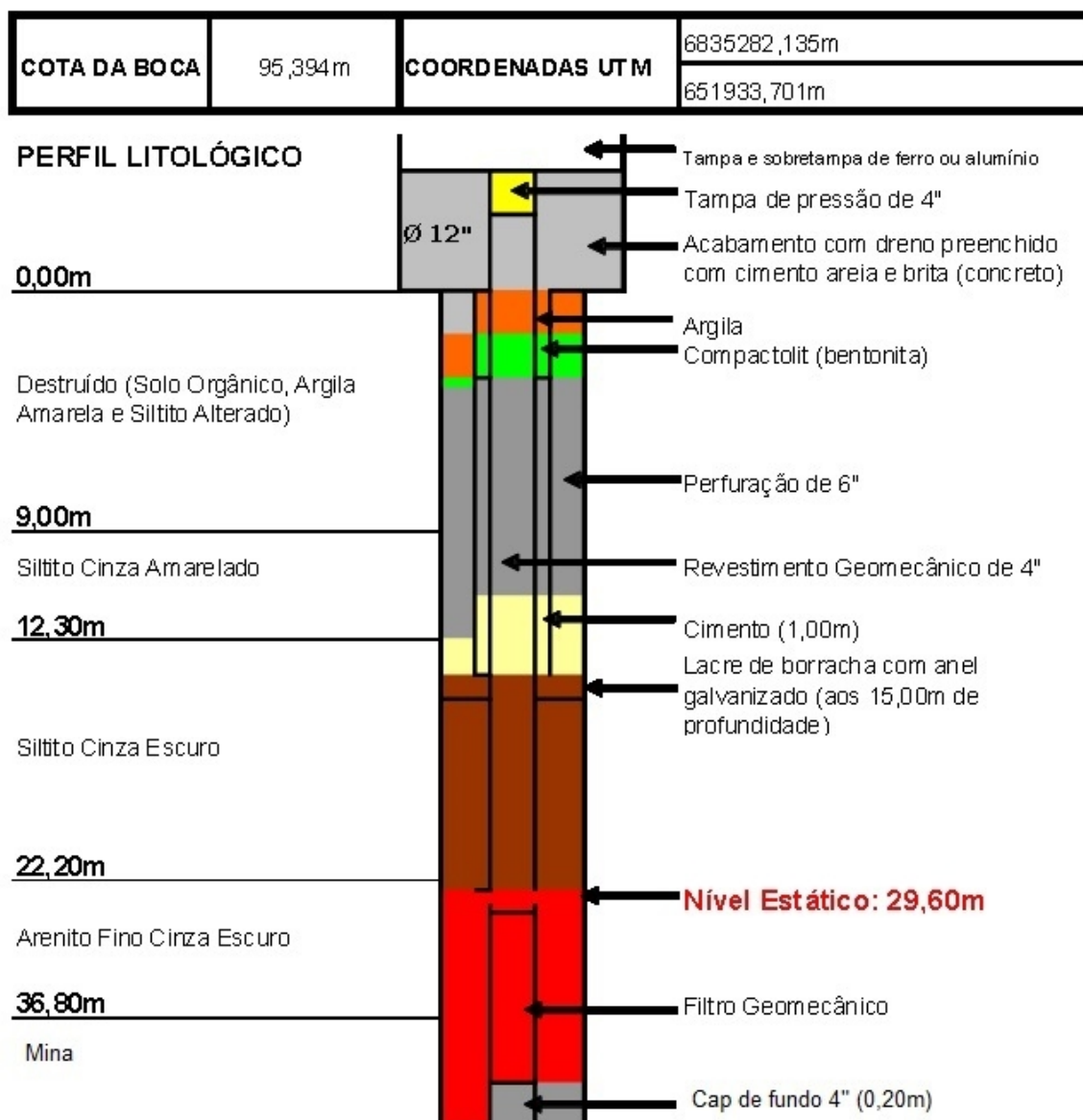


MINASGEL  
Técnico Responsável  
Geol. Adélia Machado Lorensi  
CREA/SC 10ª 7565 - D

Figura 7 – Perfil construtivo do Piezômetro PZMT-02.

## PERFIL DO POÇO PIEZOMÉTRICO PzMT-02

### Mina Trevo - Siderópolis, SC



MINASGEL  
Técnico Responsável  
Geol. Adélia Machado Lorensi  
CREA/SC 10ª 7565 - D

### **5.3 Análise Físico-Química**

Partindo da premissa que existe alteração dos parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas na região, devido a intensa exploração das camadas de carvão, a investigação nesse estudo, possibilita melhor compreensão da evolução da composição química das águas no interior das galerias da mina. Esta, foi correlacionada com dados dos sentidos de fluxo das águas subterrâneas na região, e reflete informações a respeito da relação formação geológica / água, possíveis anomalias na composição, estabelecimento da divisão entre os aquíferos freático e aquífero confinado.

A determinação de um terceiro local para coleta de uma amostra de água superficial avaliou a distribuição espacial da mina, e contemplou uma região com possível Influência do sentido de fluxo das águas subterrâneas, com objetivo de avaliar uma possível interconexão entre os sistemas de águas subterrâneas e superficiais locais.

O fato de serem amostrados águas de dois poços tubulares profundos no interior das galerias, e uma amostra superficial em local próximo a região da mina, que estavam no Plano de Monitoramento da Mina (2008), possibilita um estudo comparativo entre os resultados obtidos nas análises químicas atuais com as análises obtidas em campanhas anteriores.

#### **5.3.1 Definição dos Parâmetros**

Em galerias subterrâneas de minas, onde ocorreu a lavra de camadas de carvão, são frequentes a ocorrência de fenômenos relacionados a modificação da composição química das águas. O contato da água com as camadas de carvão e as rochas locais ocasiona o efeito de reduções de sulfatos e ferro, dissoluções, precipitações, mudanças de concentrações e óxido-reduções. As características das

águas provenientes desses locais, geralmente apresentam baixo pH e uma concentração elevada de metais pesados.

Desta forma, os padrões a serem estudados apresentam certa flexibilidade, e devem atender a finalidade do estudo, pois nem todos os parâmetros têm mesma importância. Neste caso, foi dado ênfase aos parâmetros associados a efluentes ácidos, sulfetações e metais pesados solubilizados, provenientes das transformações químicas decorrentes do contato da água subterrânea com as camadas de carvão no interior das galerias.

O mineral sulfetado, quando entra em contato com a água e o ar, sofre oxigenação, promovendo a alteração do íon de sulfeto para sulfato com dissolução de minerais. Nestas águas, o pH se torna ácido, entre 2 e 4, e a mobilidade dos íons é acentuada.

Os parâmetros analisadas neste trabalho são:

#### **5.3.1.1 Temperatura**

A temperatura é a medida de calor expresso e tem influência na atividade molecular das águas. As velocidades das reações químicas e a solubilidade de gases estão associados aos valores de temperatura.

Durante a amostragem, faz-se a medição da temperatura e registra-se o valor em uma escala apropriada, por exemplo: graus *Celsius* ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### **5.3.1.2 pH**

O pH é uma medida unidimensional. Corresponde à atividade do íon hidrogênio e determina o caráter ácido das águas. O pH é descrito em uma escala anti-logarítmica, variando entre 0 e 14. Os valores a baixo de 7 determinam o caráter ácido, acima de 7 o caráter básico, e neutro quando corresponde a 7.

A medição do pH pode ser feita tanto em laboratório como diretamente no campo com um medidor de pH. Insere-se o medidor na água amostrada e o

equipamento estima a diferença de concentração de íons  $H^+$  através de um potenciômetro e um eletrodo de hidrogênio, convertendo para a escala de pH.

#### **5.3.1.3 Acidez**

É a capacidade quantitativa de reação da água com uma base forte até um valor determinado de pH. Ocorre devido à presença de ácidos fortes, ácidos fracos e sais de caráter ácido. A definição deste parâmetro é importante pois os ácidos contribuem na corrosão e influenciam alguns processos químicos e biológicos.

#### **5.3.1.4 Alcalinidade**

A alcalinidade é determinada de maneira oposta a acidez. É a capacidade quantitativa de reação da água com um ácido forte até um valor determinado de pH. Os principais componentes da alcalinidade são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos. Esta, possibilita determinar a quantidade de  $OH^-$ ,  $CO_3^{2-}$  e  $HCO_3^-$  alcalinos contidos na amostra e a alcalinidade total representa o teor de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos da amostra, expressa em termos de  $CaCO_3$ .

#### **5.3.1.5 Cloretos**

Os cloretos são importantes ânions inorgânicos encontrado nas águas e representam íons da composição iônica dos elementos maiores. Em geral estão associados as formações litológicas associadas ao reservatório. São muito solúveis e estáveis em solução, portanto raramente precipitam.

#### **5.3.1.6 Oxigênio Dissolvido**

A medição de oxigênio dissolvido representa a concentração de oxigênio molecular ( $O_2$ ) dissolvido na água. Sua concentração está relacionada com a temperatura, pressão atmosférica, salinidade, atividades biológicas e características hidráulicas. É medição é representada em mg/L.



### **5.3.1.7 Sólidos Totais e Sólidos Dissolvidos**

Sólidos totais é a medida do conjunto de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na água. Uma porção homogênea da amostra é transferida para uma capsula de evaporação. Após a evaporação e secagem a uma temperatura aproximada de 110°C, o material remanescente na cápsula representa o valor dos sólidos totais.

O valor de sólidos dissolvidos corresponde ao resíduo remanescente após a filtragem da amostra em um filtro que retém partículas de diâmetro 1,2 µm ou maior. O valor resultante representa a concentração dos materiais dissolvidos na água, voláteis ou não.

### **5.3.1.8 Sulfato**

O íon sulfato é um dos mais comuns nas águas naturais. Correspondem a compostos iônicos que contêm  $\text{SO}_4^{2-}$  (ânion sulfato). São derivados do ácido sulfúrico ligados a elementos metálicos, trata-se de um átomo de enxofre ligado a quatro átomos de oxigênio ligados por ligações covalentes.

### **5.2.1.9 Turbidez**

É a propriedade física da água que caracteriza o nível de transparência devido à presença de materiais em suspensão tanto de origem orgânica quanto inorgânica. Dificultam a passagem da luz. Trata-se de uma característica visual e não corresponde a uma grandeza física diretamente mensurável.

### **5.2.1.10 Alumínio (Al)**

Por ser um dos elementos mais abundantes na crosta a presença de alumínio é comum nas águas. Geralmente encontra-se depositado por floculação ou sob a forma solúvel como sulfato de alumínio. As concentrações de alumínio para o

consumo humano segundo a OMS – Organização Mundial de Saúde é de 0,2 miligramas por litro, devido aos riscos associados a saúde humana.

#### **5.2.1.11 Cálcio (Ca)**

Sua presença está relacionada à dureza das águas. Este elemento forma sais com moderada a elevada solubilidade, sendo o mais comum o carbonato de cálcio. Pode ser encontrado sob a forma de bicarbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), tendo a solubilidade associada a presença de sais de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ .

#### **5.2.1.12 Chumbo (Pb)**

A presença elevada de chumbo nas águas pode levar a intoxicação em seres humanos. A tolerância para consumo humano é inferior a 0,5 mg/L.

#### **5.2.1.13 Cobre (Cu)**

O cobre geralmente apresenta baixas concentrações em águas naturais, mas apresenta importância para atividade biológica. Possui baixa solubilidade e elevada persistência. Quando apresenta baixas concentrações não causa riscos à saúde, mas em elevadas concentrações pode provocar danos ao corpo humano.

#### **5.2.1.14 Ferro (Fe)**

Sua presença está associada ao manganês e pode alterar as características de sabor e coloração da água em função da sua precipitação quando oxidado.

#### **5.2.1.15 Magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ )**

Este elemento, junto com o cálcio, têm sua ocorrência associada à dureza das águas. Sua presença é bastante solúvel e possui baixa precipitação ocorrendo sob a forma de bicarbonatos.

#### **5.2.1.16 Manganês (Mn)**

O manganês é um elemento altamente persistente nas águas. Possui características semelhantes à do ferro e ocorre sob a forma química  $Mn^{+2}$  e  $Mn^{+3}$ . Nas águas naturais, possui teores inferiores a 0,2 mg/L, já nas águas ácidas sua presença é mais abundante. Quando em contato com o oxigênio, o  $Mn^{+2}$  das águas, passa para o estado  $MnO_2$ . Outra presença comum do manganês é sob a forma de bicarbonato manganoso, quando em presença excessiva, deixa a água com uma cor escura e um aspecto fuliginoso.

#### **5.2.1.17 Potássio ( $K^+$ )**

O potássio geralmente é mais abundante em águas salgadas. Possui natureza semelhante à do sódio mas comportamento diferente com relação a solubilização. Em contato com o oxigênio, oxida-se facilmente, e é um elemento com alta participação nos processos de troca iônica.

#### **5.2.1.18 Sódio (Na)**

O sódio é um dos metais alcalinos com maior presença nas águas subterrâneas sendo sua concentração responsável pelo teor de salinidade. Possui alta solubilidade e baixa precipitação. Sua ocorrência está associada a ampla distribuição e a baixa estabilidade química dos compostos que possuem sódio presente.

#### **5.2.1.19 Zinco ( $Zn^{+2}$ )**

Em águas subterrâneas as concentrações de zinco geralmente são inferiores a 10 mg/L. Entre os metais pesados, este é o mais solúvel e o mais persistente na água.

### 5.3.2 - Preparação Para a Amostragem

Os procedimentos adotados para a coleta das amostras no campo seguiram os padrões encontrados no “Guia Técnico de Coleta de Amostras da CETESB”.

A amostragem foi feita diretamente na boca do poço através da utilização de um Bailer descartável, que consiste em um amostrador de polietileno descartável inserido pela boca do poço preso por uma corda até o nível d'água. O procedimento exige que o técnico ao realizar a amostragem remova cuidadosamente sem causar turbulência, uma pequena porção de água antes de realizar a coleta, removendo materiais que possam estar em suspensão no interior do poço, comprometendo a qualidade das análises. A partir daí pode-se remover a água para a amostragem, transferindo do Bailer para os frascos cuidadosamente.

Seguindo as normas técnicas da CETESB, as amostras dos dois poços tubulares e da coleta superficial, foram armazenadas em frascos de polietileno, sendo 3 litros de água, sem conservantes para análise de alcalinidade, cloreto, fluoreto, sulfato, sílica, condutividade elétrica, resíduos 105° C e 180° C e carbonato. Um frasco com 1,5 litros de água para a determinação das concentrações de ferro total, cálcio, magnésio, boro, sódio e potássio, sendo utilizado 2,5 ml de HNO<sub>3</sub> como conservante.

**Foto 3** – Frascos utilizados para amostragem.



### 5.3.3 – Das análises em laboratório / Precisão e Resolução

As Amostras foram realizadas pelo laboratório do Centro de Ecologia da UFRGS – Instituto de Biociências e seguem como referência os padrões descritos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater da American Public Health Association dos Estados Unidos. (Tabela VII)

Para determinação dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, à temperatura de 25 °C, foram realizados os seguintes ensaios:

**Tabela VII – Ensaios Realizados, Resolução e Referência do Método**

ENSAIOS REALIZADOS				
Parâmetro	Unidade	LD	Metodologia	REF.
Acidez	mgCaCO <sub>3</sub> /L	1,00	Volumetria de neutralização	1
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	1,00	Volumetria de neutralização	6
Cloretos	mgCl/L	1,00	Volumetria de precipitação	7
Oxigênio Dissolvido	mgO <sub>2</sub> /L	0,10	Método de Winkler	1
Sólidos Dissolvidos	mg/L	10	Gravimetria- secagem à 180°C	1
Sólidos Totais	mg/L	10	Gravimetria- secagem à 105°C	1
Sulfato	mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	1,00	Turbidimetria	1
Turbidez	NTU	1,00	Nefelometria	3

**LEGENDA:** LD = Limite de detecção.  
 ND = Não detectado. ND < LD.  
 REF. = Referência

#### Referência

1	Standard Methods 21 <sup>ST</sup>
3	NBR 11265/1990
6	NBR 13736/1996
7	NBR 13797/1997

Ferro	mg/L	0,037	EAA/Chama Ar- Acetileno
Magnésio*	mg/L	0,007	EAA/Chama Ar- Acetileno
Manganês	mg/L	0,006	EAA/Chama Ar- Acetileno
Potássio*	mg/L	0,110	EAA/Chama Ar- Acetileno
Sódio	mg/L	0,052	EAA/Chama Ar- Acetileno
Zinco	mg/L	0,012	EAA/Chama Ar- Acetileno

**LEGENDA:** LDM = Limite de detecção do Método.  
 ND = Não detectado = ND < LDM.  
 EAA = Espectrometria de Absorção Atômica.  
 EEA = Espectrometria de Emissão Atômica.

**REFERÊNCIA:** Standard Methods 21<sup>ST</sup>

**MÉTODO DE DIGESTÃO:** Digestão com ácido nítrico em sistema aberto.

#### **5.4 Seção Geológica Transversal**

A seção geológica transversal tem como intuito correlacionar a estratigrafia local com a evolução dos níveis piezométricos ao longo dos anos com a finalidade de interpretar e compreender a estrutura dos aquíferos locais, e a posição dos níveis d'água com a geologia local visando identificar possíveis zonas de risco onde o aquífero confinado poderia entrar em contato com o aquífero freático.

A construção da seção geológica transversal foi feita no software Corel Draw a partir do perfil litológico fornecido pela empresa perfuradora dos piezômetros. Foram utilizadas informações da litologia local, associadas a altura do nível d'água dentro dos piezômetros.

### **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O plano de monitoramento implantado pela Carbonífera Siderópolis teve início da coleta de dados em agosto de 2010 e cessou em agosto de 2011. Após este período o monitoramento foi encerrado devido a baixa alteração dos parâmetros.

Os dados explorados neste trabalho visam compreender os fenômenos atuantes nos piezômetros no período após o encerramento do plano de monitoramento.

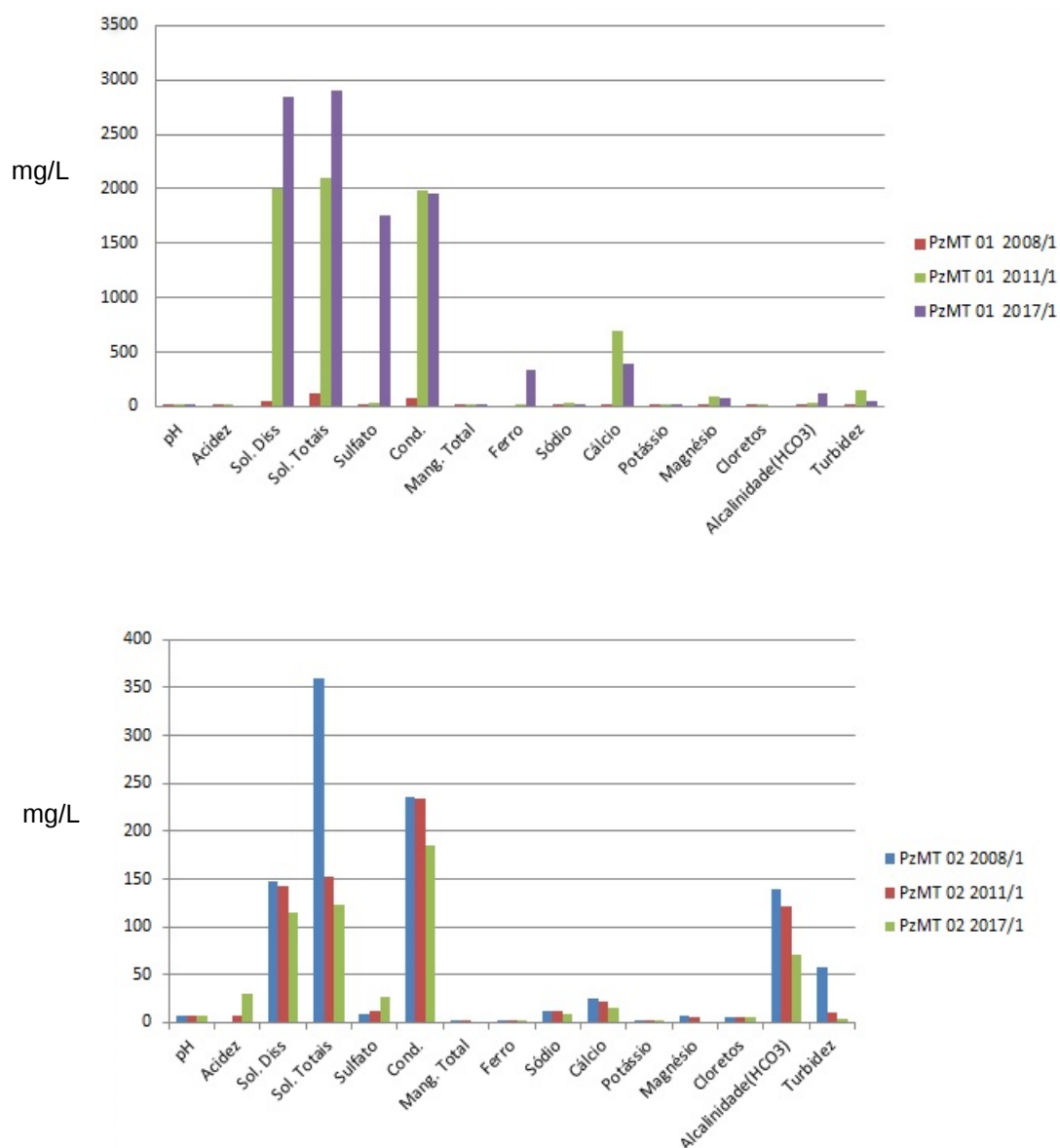
#### **6.1 Resultados Qualitativos**

##### **6.1.1 Análise química**

A comparação das características hidroquímicas nas águas das galerias da mina, e das águas superficiais apresentadas na figura 8, identificou que após o

descomissionamento da mina, ocorreu uma intensa elevação de alguns dos parâmetros no piezômetro PzMT-01, situado na porção mais profunda das galerias.

**Figura 8** – Evolução temporal dos parâmetros hidroquímicos nas águas subterrâneas dos piezômetros PzMT-01 e PzMT-02



Este estudo demonstra que entre os parâmetros analisados, o piezômetro PzMT-01 teve um aumento significativo em *Sólidos Totais*, *Sólidos Totais Dissolvidos*, *Sulfatos* e de sua *Condutividade*. Este fato, confere o previsto de que o

fluxo das águas subterrâneas dentro das galerias, ocorre das cotas mais elevadas (PzMT-02) para as cotas menos elevadas, em direção ao rio Fiorita. Sendo assim, o fluxo interno nas galerias proporcionou a concentração destes parâmetros na porção profunda da mina.

O piezômetro PzMT-02, quando comparado com os anos de 2008 e 2011, teve uma redução na *Condutividade*, na concentração de *Sólidos Totais*, *Sólidos Totais Dissolvidos*, *Sódio*, *Cálcio* e na *Alcalinidade*. As concentrações de Sulfatos elevaram-se neste período.

O diagrama de Schoeller-Berkalof para águas subterrâneas, são plotados em escala logarítmica e representam as variações nas concentrações dos íons presentes nas águas amostradas. Este diagrama serviu para identificar e distinguir as águas de uma mesma família. (Figura 9)

**Figura 9** – Diagrama de Schoeller-Berkalof para as águas subterrâneas para os anos de 2009, 2011 e 2017



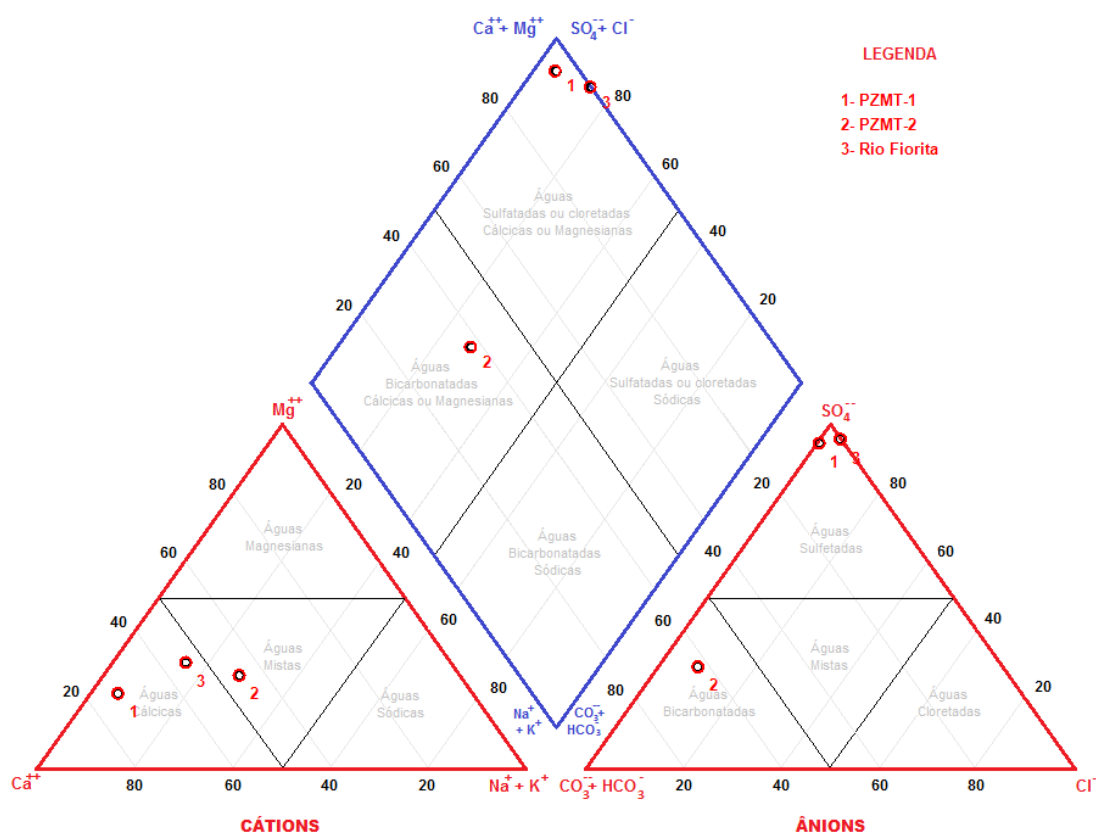
A interpretação deste diagrama sugere que as concentrações de íons no piezômetro PzMT-01 aumentaram com o passar do tempo, devido a possível



concentração na porção mais profunda da mina. Este diagrama confere que as águas são de mesma família pois apresenta pequenas variações na inclinação das retas, apresentando comportamento semelhante.

O diagrama de Piper para as amostras das águas subterrâneas nos piezômetros PzMT-01 e PzMT-02, classificou estas águas como Cálcica Sulfatada e Mista Bicarbonatada respectivamente. Para a amostra de água superficial no Rio Fiorita, esta foi classificada como Cálcica Sulfatada. Estes resultados conferem o resultado estimado por Krebs (2004) para as águas da Vila Funil observado na figura 4, indicando que apesar das alterações nos parâmetros, as águas da região ainda se enquadram dentro da mesma classificação. (Figura 10)

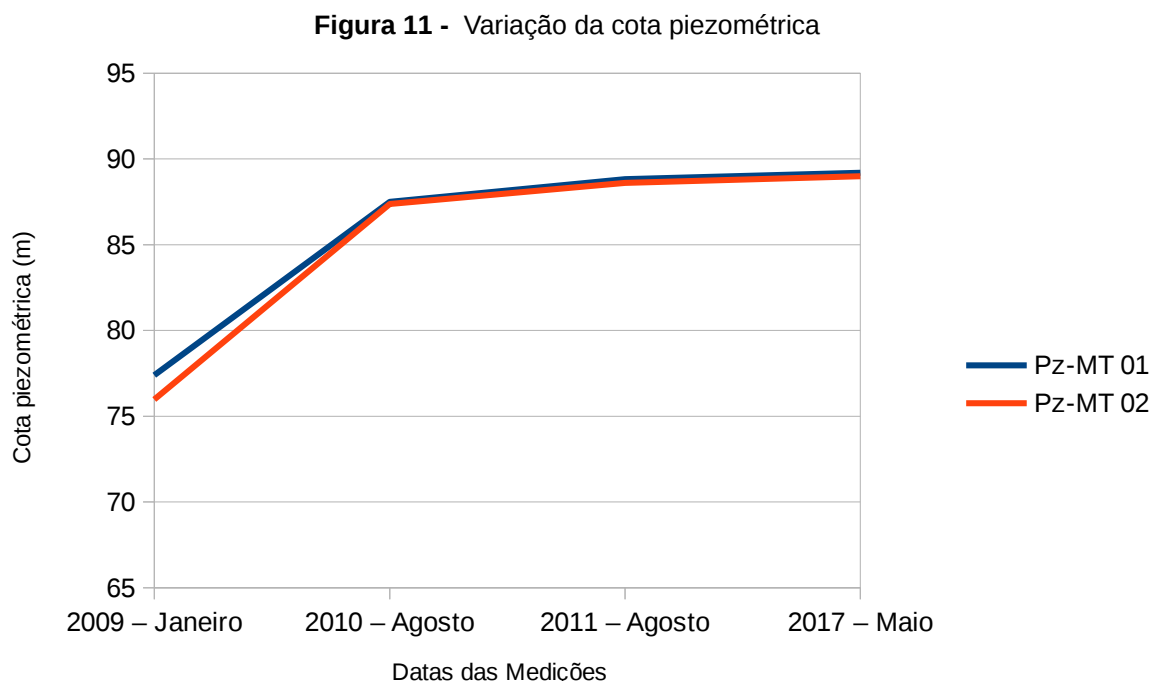
**Figura 10** - Diagrama de Piper para águas subterrâneas na Mina do Trevo, e superficiais no Rio Fiorita no ano de 2017.



## 6.2 Resultados Quantitativos

### 6.2.1 Sessão Geológica Transversal

A partir das medidas dos níveis piezométricos atuais no PzMT-01 e no PzMT-02 comparados com as medições de anos anteriores, permitiu a construção de um gráfico (Figura 11) que demonstra a evolução das cotas piezométricas ao longo dos anos. Nele é possível identificar que cotas piezométricas encontram-se bastante elevadas fazendo com que no PZ-MT 01 a profundidade do nível piezométrico esteja situado a 3,87 metros de profundidade em relação a boca do poço. E no piezômetro PZ-MT 02 a profundidade do nível piezométrico é de 6,40 metros. O estudo demonstra que o enchimento das galerias da mina foi mais rápido durante os primeiros anos após o descomissionamento, e continua a elevar-se com menor velocidade.



A cota piezométrica atual para o piezômetro PZ-MT 01 é de 89,2 metros. O nível piezométrico teve uma elevação de 11,43 metros entre os anos de 2009 e 2011, e de apenas 0,34 metros de 2011 a 2017, mostrando uma variação pequena.

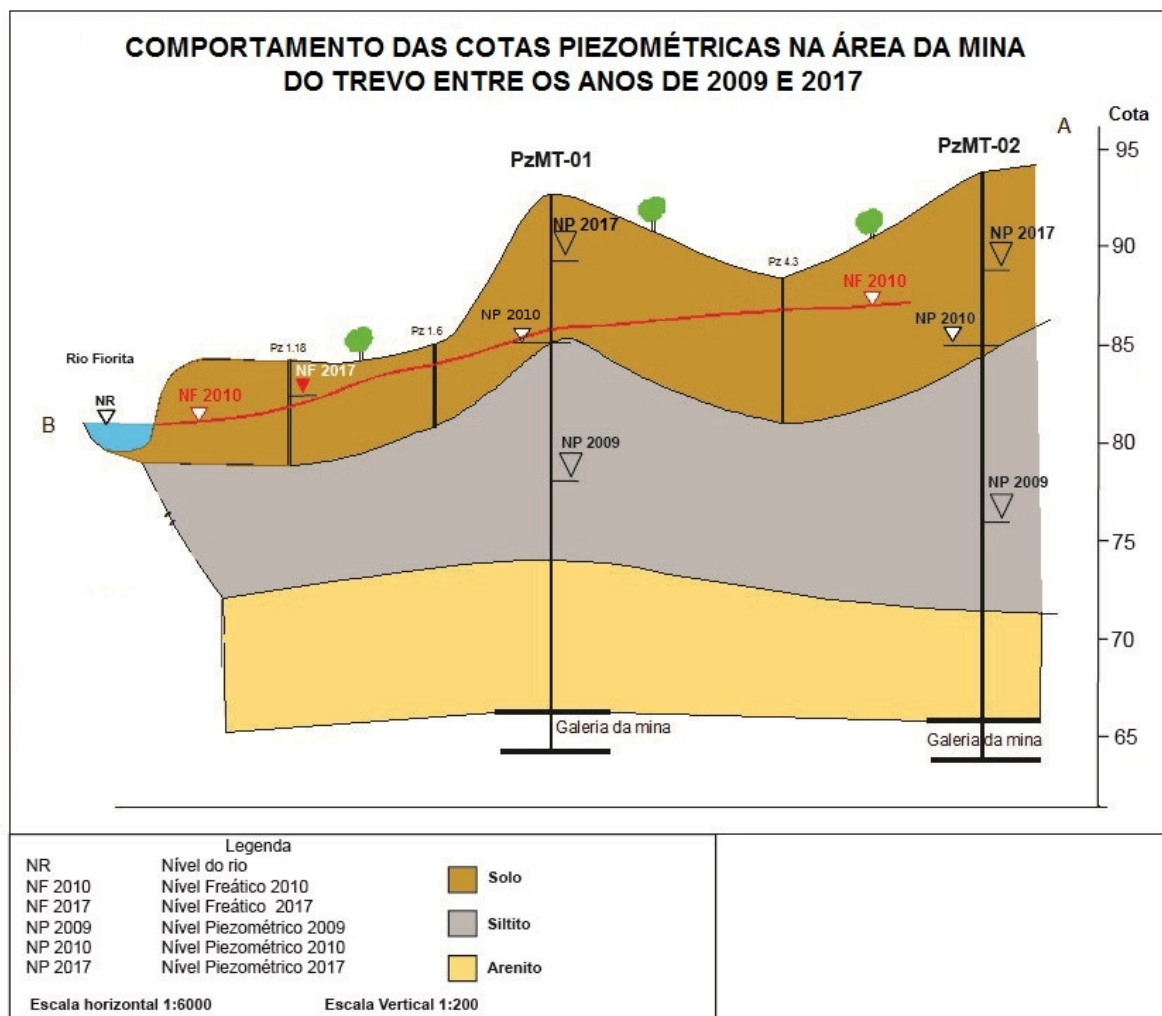
A cota piezométrica atual para o piezômetro PZ-MT 02 é de 88,99 metros. O nível piezométrico teve uma elevação de 12,63 metros, entre janeiro 2009 e agosto de 2011. Entre os anos de 2011 e 2017 o nível elevou-se apenas 0,38 metros.

Foi feita uma medição do nível freático, na parte oeste da área, este mostrou que o aquífero freático não está sofrendo influência das galerias da mina. A cota do nível freático em 2009 foi de 80,152 metros, e em 2017 foi de 82,902 metros. Observa-se uma pequena variação entre as duas datas, mostrando que o nível freático tem sua variação condicionada pela pluviometria.

A sessão Geológica foi construída a partir de dados prévios existentes no Plano de Monitoramento da Mina, as litologias descritas provem dos furos de sondagem realizados pela empresa responsável. Esta sessão geológica facilitou na interpretação da evolução dos níveis piezométricos dentro das galerias da Mina do Trevo. (Figura 12)

**Figura 12** - Sessão Geológica Transversal demonstrando evolução temporal das cotas piezométricas e das cotas do nível freático.

Fonte: Modificado do Plano de monitoramento da Mina do Trevo, Leão 2008.



## 7. Conclusões

A cota piezométrica atual nos piezômetros PzMT-01 e PzMT-02, de agosto de 2011 a 2017 demonstra que ocorreu uma tendência de estabilização dos níveis nos anos posteriores ao encerramento das atividades de lavra do carvão permitindo interpretar que as galerias da mina estão funcionando como um aquífero confinado.

A carga hidráulica elevada, fazendo com que as galerias atuem como um aquífero confinado, e a análise topográfica da área acima da Mina do Trevo permite que se recomende:

- A região situada a Oeste, próxima ao rio Fiorita, apresenta cota topográfica inferior às cotas piezométricas dos piezômetros PZ-MT 01 e PZ-MT 02. Nesta região não podem ser perfurados poços que atinjam as galerias da mina, pois certamente irá provocar artesianismo.

Sugere-se que seja mantido um monitoramento semestral dos níveis piezométricos nos dois piezômetros (PZMT-01 PZMT-02), visando identificar a estabilização dos níveis ou possível continuidade na elevação dos mesmos.

Este trabalho mostrou a importância do monitoramento qualitativo e quantitativo das águas subterrâneas após o encerramento das atividades de lavra de carvão em mina de galeria.

## 8. REFERÊNCIAS

ABORRAGE, A. M. LOPES, C. (1986). **Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica.** Porto Alegre, São Paulo: DNPM/CPRM. 223p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). (2006). **A gestão dos recursos hídricos e a mineração. / Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias; Instituto Brasileiro de Mineração** ; organizadores, Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson, Suzana Alípez. Brasília : ANA, 334 p. : il.

ÁVILA, E. L. (1992) **Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica da Formação Rio Bonito na Região de Siderópolis e Adjacências.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. SC. 242p.

BORTOLUZZI, A.A. (1990) et al. Coluna White: **estratigrafia da Bacia do Paraná no sul do Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: DNPM/PETROBRAS/CPRM.

CAMPOS, H.C. (2013). **Metodologia para estudos da qualidade das águas subterrâneas e sua aplicação para caracterização hidrogeoquímica do Aquífero Guarani. 18f. Centro de Apoio Operacional à Execução - CAEx - Ministério Público do Estado de São Paulo.**

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (2001). **Projeto Conceitual para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense [CDROM].** Rio de Janeiro, V3. p.194.

CONAMA Nº 001/1986- **“Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.”** - Data da legislação: 23/01/1986 - Publicação DOU, p.2548-2549.

DNPM (1999). **Controle da Poluição Hídrica Decorrente da Atividade de Mineração/Programa de Estudo de Casos – Diagnóstico da Qualidade da Água na Bacia do Rio Araranguá.** Relatório Final, DNPM, São Paulo, 173p.

Flores, J. C. C., Lima H. M., Costa F. L. (2006). **Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo.** Rem: Rev. Esc. Minas, Dez 2006, vol.59, no.4, p.397-402.

LEÃO, M. I. (2008) Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Plano de Monitoramento da Mina do Trevo.** Porto Alegre.

LEÃO, M. I. ; KREBS, A. S. J. (1999). **Estudos hidrogeológicos da área correspondente à mina do trevo, siderópolis, sc.** (recursos hídricos subterrâneos)

\_\_\_\_\_. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. (2000). **Estudo geológico e hidrogeológico da área da Mina do Trevo**. Porto Alegre, rs.

KREBS, A.S.J. (1994) et. al. **Áreas mineradas para carvão no município de Criciúma/SC. Programa de informações básicas para gestão territorial de Santa Catarina** - PROGESC. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Porto Alegre, v.02.

KREBS, A.S.J., (2004). **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da área correspondente à bacia hidrográfica do Rio Araranguá, SC**. Florianópolis. UFSC. Departamento de Geociências. 2v. 376p (tese de Doutorado).

KREBS, A.S.J, AMARAL J. E. (2006). **Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Área correspondente à Bacia Carbonífera de Santa Catarina – Brasil**. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. São Paulo, Brasil. pp. 1-14.

KREBS, A.S.J., NOSSE, E. O. (1999). **Avaliação Preliminar do Potencial Hidrogeológico da Região correspondente Aos Municípios de Treviso e Siderópolis, SC**.

Mello, J.W.V., Duarte, H.A., Ladeira, A.C.Q., (2014). **Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina** – p.24-29.

MÜHLMANN, H.; SCHNEIDER, R. L.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. (1974). **Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná**. Ponta Grossa: PETROBRÁS/DESUL. 186 p. (Relatório DESUL, 444).

SCHNEIDER, R.L. (1974). et al. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. In.: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28º**, Porto Alegre, Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.41-65.

UNESC - **Universidade do Extremo Sul Catarinense. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas. Monitoramento ambiental - Mina do Trevo**. Relatórios mensais de monitoramento. Criciúma , novembro 1998 a julho 1999.

SDM/SDRA - **Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura**

**(1997) Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina**, Diagnóstico Geral, Florianópolis, Santa Catarina. 163 p.



## 9. ANEXOS


**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
CENTRO DE ECOLOGIA**


Porto Alegre, 23 de maio de 2017

## RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 077/2017-Ág.

Requisição n°:	025/2017
----------------	----------

Dados do Cliente			
Cliente	Marcos Imerio Leão.		
Endereço	IPH.		
Dados da Amostra			
Tipo de Amostra	Água subterrânea.		
Identificação da amostra	PZMT-1.		
Data do Recebimento	12/05/2017.		
Data da Coleta	11/05/2017	Hora da Coleta	Tarde.
Responsável pela coleta	Luiz Gabriel Bongioiolo.		
Local da Coleta	Siderópolis/SC.		

ENSAIOS REALIZADOS					
Parâmetro	Unidade	Resultado	LD	Metodologia	REF.
Acidez	mgCaCO <sub>3</sub> /L	ND	1,00	Volumetria de neutralização	1
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	115	1,00	Volumetria de neutralização	6
Cloretos	mgCl <sup>-</sup> /L	ND	1,00	Volumetria de precipitação	7
Oxigênio Dissolvido	mgO <sub>2</sub> /L	ND	0,10	Método de Winkler	1
Sólidos Dissolvidos	mg/L	2842	10	Gravimetria- secagem à 180°C	1
Sólidos Totais	mg/L	2905	10	Gravimetria- secagem à 105°C	1
Sulfato	mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	1750	1,00	Turbidimetria	1
Turbidez	NTU	44,8	1,00	Nefelometria	3

**LEGENDA:** LD = Limite de detecção.  
 ND = Não detectado. ND<LD.  
 REF.= Referência.

**Referência**

1	Standard Methods 21 <sup>st</sup>
3	NBR 11265/1990
6	NBR 13736/1996
7	NBR 13797/1997

Vera Lucia Atz  
Química Industrial – CRQ-V: 05201177

Cadastro FEPAM N°: 00030/2014

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 - CEP: 91.501-970 - Porto Alegre - RS  
 Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 - e-mail: [ceneco@ufrgs.br](mailto:ceneco@ufrgs.br) Home Page: [www.ecologia.ufrgs.br](http://www.ecologia.ufrgs.br)

Relatório de Ensaio 077 - 17 - Marcos Imerio Leão(1/1)



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 23 de maio de 2017

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 078/2017-Ág.

Requisição n°:	025/2017
----------------	----------

Dados do Cliente			
Cliente	Marcos Imerio Leão.		
Endereço	IPH.		
Dados da Amostra			
Tipo de Amostra	Água subterrânea.		
Identificação da amostra	PZMT-2.		
Data do Recebimento	12/05/2017.		
Data da Coleta	11/05/2017	Hora da Coleta	Tarde.
Responsável pela coleta	Luiz Gabriel Bongioiolo.		
Local da Coleta	Siderópolis/SC.		

ENSAIOS REALIZADOS					
Parâmetro	Unidade	Resultado	LD	Metodologia	REF.
Acidez	mgCaCO <sub>3</sub> /L	30	1,00	Volumetria de neutralização	1
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	70	1,00	Volumetria de neutralização	6
Cloretos	mgCl <sup>-</sup> /L	5,00	1,00	Volumetria de precipitação	7
Oxigênio Dissolvido	mgO <sub>2</sub> /L	5,5	0,10	Método de Winkler	1
Sólidos Dissolvidos	mg/L	115	10	Gravimetria- secagem à 180°C	1
Sólidos Totais	mg/L	123	10	Gravimetria- secagem à 105°C	1
Sulfato	mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	26,5	1,00	Turbidimetria	1
Turbidez	NTU	4,60	1,00	Nefelometria	3

LEGENDA: LD = Limite de detecção.  
REF. = Referência.

Referência

1	Standard Methods 21 <sup>ST</sup>
3	NBR 11265/1990
6	NBR 13736/1996
7	NBR 13797/1997

Vera Lucia Atz  
Química Industrial – CRQ-V: 05201177

Cadastro FEPAM N°: 00030/2014

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 - CEP: 91.501-970 - Porto Alegre - RS  
Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 - e-mail: [ceneco@ufrgs.br](mailto:ceneco@ufrgs.br) Home Page: [www.ecologia.ufrgs.br](http://www.ecologia.ufrgs.br)

Relatório de Ensaio 078 - 17 - Marcos Imerio Leão(1/1)



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 23 de maio de 2017

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 079/2017-Ág.

Requisição nº:	025/2017
----------------	----------

Dados do Cliente			
Cliente	Marcos Imerio Leão.		
Endereço	IPH.		
Dados da Amostra			
Tipo de Amostra	Água superficial.		
Identificação da amostra	Rio Fiorita.		
Data do Recebimento	12/05/2017.		
Data da Coleta	11/05/2017	Hora da Coleta	Tarde.
Responsável pela coleta	Luiz Gabriel Bongioiolo.		
Local da Coleta	Siderópolis/SC.		

ENSAIOS REALIZADOS					
Parâmetro	Unidade	Resultado	LD	Metodologia	REF.
Acidez	mgCaCO <sub>3</sub> /L	410	1,00	Volumetria de neutralização	1
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	ND	1,00	Volumetria de neutralização	6
Cloretos	mgCl <sup>-</sup> /L	12,5	1,00	Volumetria de precipitação	7
Oxigênio Dissolvido	mgO <sub>2</sub> /L	6,8	0,10	Método de Winkler	1
Sólidos Dissolvidos	mg/L	385	10	Gravimetria- secagem à 180°C	1
Sólidos Totais	mg/L	400	10	Gravimetria- secagem à 105°C	1
Sulfato	mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	433	1,00	Turbidimetria	1
Turbidez	NTU	4,01	1,00	Nefelometria	3

**LEGENDA:** LD = Limite de detecção.  
ND = Não detectado. ND<LD.  
REF.= Referência.

**Referência**

1	Standard Methods 21 <sup>ST</sup>
3	NBR 11265/1990
6	NBR 13736/1996
7	NBR 13797/1997

Vera Lucia Atz  
Química Industrial – CRQ-V: 05201177

Cadastro FEPAM Nº: 00030/2014

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 – CEP: 91.501-970 - Porto Alegre – RS  
Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 – e-mail: [ceneco@ufrgs.br](mailto:ceneco@ufrgs.br) Home Page: [www.ecologia.ufrgs.br](http://www.ecologia.ufrgs.br)  
Relatório de Ensaio 079 - 17 - Marcos Imerio Leão(1/1)



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 2 de junho de 2017

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 080/2017AA

Requisição nº:	025/2017
----------------	----------

Dados do Cliente			
Cliente	Marcos Imerio Leão.		
Endereço	IPH.		
Dados da Amostra			
Tipo de Amostra	Água subterrânea.		
Identificação da amostra	PZMT-1.		
Data do Recebimento	12/05/2017.		
Data da Coleta	11/05/2017	Hora da Coleta	Tarde.
Responsável pela coleta	Luiz Gabriel Bongioiolo.		
Local da Coleta	Siderópolis/SC.		

ENSAIOS REALIZADOS				
Parâmetro	Unidade	Resultado	LDM	Metodologia
Alumínio	mg/L	ND	0,047	EAA/Chama Óxido Nitroso- Acetileno
Cálcio	mg/L	398	0,003	EAA/Chama Ar- Acetileno
Chumbo	mg/L	ND	0,042	EAA/Chama Ar- Acetileno
Cobre	mg/L	ND	0,007	EAA/Chama Ar- Acetileno
Ferro	mg/L	329	0,037	EAA/Chama Ar- Acetileno
Magnésio*	mg/L	73,8	0,007	EAA/Chama Ar- Acetileno
Manganês	mg/L	12,1	0,006	EAA/Chama Ar- Acetileno
Potássio*	mg/L	16,5	0,110	EAA/Chama Ar- Acetileno
Sódio	mg/L	21,6	0,052	EAA/Chama Ar- Acetileno
Zinco	mg/L	0,012	0,012	EAA/Chama Ar- Acetileno

**LEGENDA:** LDM = Limite de detecção do Método.  
 ND = Não detectado = ND < LDM.  
 EAA = Espectrometria de Absorção Atômica.  
 EEA = Espectrometria de Emissão Atômica.

**REFERÊNCIA:** Standard Methods 21<sup>ST</sup>

**MÉTODO DE DIGESTÃO:** Digestão com ácido nítrico em sistema aberto.

Vera Lucia Atz

Química Industrial – CRQ-V: 05201177

\*Sem Cadastro FEPAM  
 Cadastro FEPAM Nº: 00030/2014

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 – CEP: 91.501-970 - Porto Alegre – RS  
 Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 – e-mail: [ceneco@ufrgs.br](mailto:ceneco@ufrgs.br) Home Page: [www.ecologia.ufrgs.br](http://www.ecologia.ufrgs.br)

Relatório de Ensaio nº 080 - 17 - Marcos Imerio Leão(1/1)



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 2 de junho de 2017

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 081/2017AA

Requisição n°:	025/2017
----------------	----------

Dados do Cliente			
Cliente	Marcos Imerio Leão.		
Endereço	IPH.		
Dados da Amostra			
Tipo de Amostra	Água subterrânea.		
Identificação da amostra	PZMT-2.		
Data do Recebimento	12/05/2017.		
Data da Coleta	11/05/2017	Hora da Coleta	Tarde.
Responsável pela coleta	Luiz Gabriel Bongioiolo.		
Local da Coleta	Siderópolis/SC.		

ENSAIOS REALIZADOS				
Parâmetro	Unidade	Resultado	LDM	Metodologia
Alumínio	mg/L	ND	0,047	EAA/Chama Óxido Nitroso- Acetileno
Cálcio	mg/L	14,7	0,003	EAA/Chama Ar- Acetileno
Chumbo	mg/L	ND	0,042	EAA/Chama Ar- Acetileno
Cobre	mg/L	ND	0,007	EAA/Chama Ar- Acetileno
Ferro	mg/L	0,480	0,037	EAA/Chama Ar- Acetileno
Magnésio*	mg/L	5,43	0,007	EAA/Chama Ar- Acetileno
Manganês	mg/L	ND	0,006	EAA/Chama Ar- Acetileno
Potássio*	mg/L	2,04	0,110	EAA/Chama Ar- Acetileno
Sódio	mg/L	8,97	0,052	EAA/Chama Ar- Acetileno
Zinco	mg/L	ND	0,012	EAA/Chama Ar- Acetileno

**LEGENDA:** LDM = Limite de detecção do Método.  
ND = Não detectado = ND < LDM.  
EAA = Espectrometria de Absorção Atômica.  
EEA = Espectrometria de Emissão Atômica.

**REFERÊNCIA:** Standard Methods 21<sup>ST</sup>

**MÉTODO DE DIGESTÃO:** Digestão com ácido nítrico em sistema aberto.

Vera Lucia Atz

Química Industrial – CRQ-V: 05201177

\*Sem Cadastro FEPAM  
Cadastro FEPAM N°: 00030/2014

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 - CEP: 91.501-970 - Porto Alegre - RS  
Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 - e-mail: [ceneco@ufrgs.br](mailto:ceneco@ufrgs.br) Home Page: [www.ecologia.ufrgs.br](http://www.ecologia.ufrgs.br)  
Relatório de Ensaio n° 081 - 17 - Marcos Imerio Leão(1/1)



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 2 de junho de 2017

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 082/2017AA

Requisição n°:	025/2017
----------------	----------

Dados do Cliente			
Cliente	Marcos Imerio Leão.		
Endereço	IPH.		
Dados da Amostra			
Tipo de Amostra	Água superficial.		
Identificação da amostra	Rio Fiorita.		
Data do Recebimento	12/05/2017.		
Data da Coleta	11/05/2017	Hora da Coleta	Tarde.
Responsável pela coleta	Luiz Gabriel Bongioiolo.		
Local da Coleta	Siderópolis/SC.		

ENSAIOS REALIZADOS				
Parâmetro	Unidade	Resultado	LDM	Metodologia
Alumínio	mg/L	3,99	0,047	EAA/Chama Óxido Nitroso- Acetileno
Cálcio	mg/L	35,2	0,003	EAA/Chama Ar- Acetileno
Chumbo	mg/L	ND	0,042	EAA/Chama Ar- Acetileno
Cobre	mg/L	0,047	0,007	EAA/Chama Ar- Acetileno
Ferro	mg/L	6,64	0,037	EAA/Chama Ar- Acetileno
Magnésio*	mg/L	12,3	0,007	EAA/Chama Ar- Acetileno
Manganês	mg/L	2,74	0,006	EAA/Chama Ar- Acetileno
Potássio*	mg/L	2,69	0,110	EAA/Chama Ar- Acetileno
Sódio	mg/L	9,17	0,052	EAA/Chama Ar- Acetileno
Zinco	mg/L	0,115	0,012	EAA/Chama Ar- Acetileno

**LEGENDA:** LDM = Limite de detecção do Método.  
 ND = Não detectado = ND < LDM.  
 EAA = Espectrometria de Absorção Atômica.  
 EEA = Espectrometria de Emissão Atômica.

**REFERÊNCIA:** Standard Methods 21<sup>ST</sup>.

**MÉTODO DE DIGESTÃO:** Digestão com ácido nítrico em sistema aberto.

  
**Vera Lucia Atz**  
 Química Industrial – CRQ-V: 05201177


\*Sem Cadastro FEPAM  
 Cadastro FEPAM N°: 00030/2014

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 - CEP: 91.501-970 - Porto Alegre - RS  
 Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 - e-mail: [ceneco@ufrgs.br](mailto:ceneco@ufrgs.br) Home Page: [www.ecologia.ufrgs.br](http://www.ecologia.ufrgs.br)  
 Relatório de Ensaio n° 082 - 17 - Marcos Imerio Leão(1/1)

## GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

<b>Título da Monografia: Caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área da mina do Trevo, Siderópolis (SC)</b>	
<b>Autor: Luiz Gabriel Bongioiolo Vargas</b>	
<b>Orientador(es): Marcos Imério Leão</b>	
<b>Nota final (1 até 10): 6,5</b>	
<b>Examinador:</b>	<b>Artur Cezar Bastos Neto</b>
<b>Data: 18/12/2017</b>	

		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	x		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?			x
3	As ilustrações são úteis e adequadas?			x
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?			x
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	x		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	x		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?			x
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	x		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?	x		
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?		x	

Página	Correções obrigatórias
	Para aprovação, devem ser efetuadas as seguintes correções: (1) Efetuar revisão total do manuscrito que tem numerosos problemas de português e digitação. (2) Incluir no resumo os principais resultados. (3) Incluir mapa geológico da área da mina com localização dos pontos de amostragem. (4) Incluir na Revisão aspectos da hidrogeoquímica de águas ácidas de mineração de carvão. (5) Incluir nos trabalhos anteriores alguns dados do monitoramento da mina e do rio Fiorita. (6) Incluir item de Discussão dos Resultados. (7) Incluir item de Conclusões.
	

## GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

<b>Título da Monografia:</b> Caracterização Hidrogeológica e Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas na Área da Mina do Trevo, Siderópolis (SC)	
<b>Autor:</b> Luiz Gabriel Bongioio Vargas	
<b>Orientador(es):</b> Prof. Marcos Imério Leão	
<b>Nota final (1 até 10):</b> 4,0	
<b>Examinador:</b> Pedro Antonio Roehle Reginato	<b>Data:</b> 18/12/17

		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	X		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?			X
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	X		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?			X
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	X		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	X		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?			X
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	X		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?			X
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?			X

Página	Correções obrigatórias
Resumo	Sugiro reescrever, pois não são apresentados os principais resultados encontrados com o trabalho. Diminuir a parte inicial do resumo e colocar os principais resultados e conclusões encontradas.
Introdução	Ver trabalho – tem correções ortográficas e de citações de referências, bem como faltou a chamada do Mapa 1 no texto.
Contexto Geológico	Referências citadas no texto não estão na lista ou estão com anos diferentes. É necessário corrigir a ortografia de algumas palavras e adicionar fontes.
Contexto Hidrogeológico	Necessário algumas correções ortográficas e nas citações. Correções de texto e de interpretação das figuras (página 13)

A



Objetivos	<p>Geral - Sugiro que o objetivo principal seja reformulado, pois ficou um texto longo com dois parágrafos. Usar um banco de dados não é um objetivo, mas a investigação das características hidrogeológicas sim.</p> <p>Específicos: sugiro retirar o objetivo que envolve o estabelecimento de zonas hidrogeoquímicas e divisão dos aquíferos, pois os resultados encontrados não alcançam esse objetivo.</p>
Metodologia	<p>Melhor seria colocar Materiais e Métodos</p> <p>Algumas correções no texto – ver trabalho.</p>
Página 23 a 25	<p>Problemas nas figuras e no texto. No texto é feita a chamada de uma figura para exemplificar um poço por exemplo e, na legenda da figura é outro poço. Conferir e ajustar.</p>
Resultados	<p>Correções gerais de ortografia e formatação.</p> <p>Página 36 – não usar o termo deposição destes parâmetros na porção profunda da cava, pois tu está apresentando dados de elementos presentes na água e não depositados no fundo.</p> <p>Página 38 – tu explica as variações dos níveis e remete ao gráfico, onde estão representadas as cotas piezométricas. O ideal seria uniformizar isso, pois torna o texto confuso para o leitor. Tu fala em níveis de 3,87e quando vai olhar no gráfica está representada a cota.</p> <p>Página 39 – No terceiro parágrafo tu fala sobre a medição do nível freático, mas não apresenta valores. Seria importante colocar esse valores, pois olhando para a secção geológica transversal parece que houve um pequeno aumento do nível</p>
Conclusão	<p>Inserir um item sobre as conclusões finais do teu trabalho.</p> <p>A parte final do teu texto da página 39 é uma conclusão.</p>
Referências	<p>Na lista de referências faltam várias citações que foram feitas ao longo do texto, bem como, algumas precisam revisadas com relação a ano ou forma de citação.</p>

## GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

<b>Título da Monografia:</b>	Caracterização Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de águas subterrâneas...	
<b>Autor:</b>	LUIZ CARLOS BONFIOLO VAREAS	
<b>Orientador(es):</b>	Marcos Emílio Leão	
<b>Nota final (1 até 10):</b>	7,0	
<b>Examinador:</b>	MARCUS V. D. REMES	<b>Data:</b> 18/12/17

		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	X		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?			X
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	X		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?			X
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	X		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	X		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?			X
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?		X	
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?			X
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?		X	

Página	Correções obrigatórias
	considero que a apresentação oral foi bem sucedida e que o aluno teve desempenho ótimo na explanação do assunto. Da mesma forma, o aluno teve bom desempenho na argumentação e respondeu aos questionamentos adequadamente.
	Entretanto o manuscrito

