

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

KELLY MARQUES LOPES RONDON

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM
AQUÍFEROS DOS MUNICÍPIOS DE CAÇAPAVA DO SUL E VILA NOVA DO SUL,
RS**

CAÇAPAVA DO SUL/RS

2017

KELLY MARQUES LOPES RONDON

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM
AQUÍFEROS NOS MUNICÍPIOS DE CAÇAPAVA DO SUL E VILA NOVA DO SUL,
RS**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Geologia.**

**Orientadora: Prof^a Dr^a Delia Del Pilar
Montecinos**

**Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Barcellos
da Rosa**

CAÇAPAVA DO SUL

2017

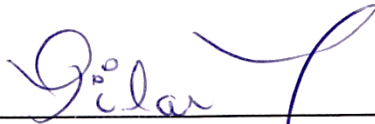
KELLY M. LOPES RONDON

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM
AQUÍFEROS NOS MUNICÍPIOS DE CAÇAPAVA DO SUL E VILA NOVA DO SUL,
RS**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Geologia.**

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: dia, mês e ano.

Banca examinadora:



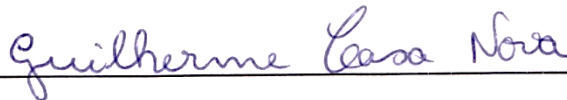
Profª Drª Delia Del Pilar Montecinos

Orientadora



Profª Drª Cristiane Heredia Gomes

Unipampa



Técnico Msc Guilherme Casanova

Unipampa

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

R768c Rondon, Kelly

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM
AQUÍFEROS NOS MUNICÍPIOS DE CAÇAPAVA DO SUL E VILA NOVA DO
SUL, RS / Kelly Rondon.

50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2017.

"Orientação: Delia de Almeida".

1. caracterização hidrogeoquímica. 2. água subterrânea. 3.
correlação água-rocha. 4. variação sazonal . I. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente me deram o suporte necessário para concluir com êxito essa longa jornada. Agradeço às mulheres da minha vida, minhas mães Mariluce e Gilda, pois cada uma à sua maneira nunca mediram esforços para me apoiar com amor e compreensão a cada decisão minha. Minha tia Ieda pelo carinho, sempre empenhada em ajudar.

Agradeço ao meu companheiro, namorado, amigo e colega, Bruno, por toda a parceria nos bons e maus momentos, por sempre me incentivar quando precisei de coragem para continuar. Sempre foste meu norte, sem tua presença essa conquista não seria possível. Me sinto duplamente feliz por podermos comemorar juntos o fim desse ciclo.

Às minhas irmãs de rocha e amigas da faculdade para a vida, Amanda (Fofa), Barbara (Barbe) e Ana Paula (Paulinha) pela companhia, risadas e choros madrugada a dentro, pelas festinhas e campos que vão ficar guardados na memória para rirmos na posteridade tomando um chá das cinco ou uma cervejinha. Obrigada aos irmãos de rocha, ao Maciel por sempre me fazer um cházinho, café ou um lanche quando me esquecia de comer estudando e ao Ricardo (Jesus) por me ensinar que um ódiozinho às vezes é fonte de motivação. Muito obrigada aos amigos Mariana e Bruno, pessoas especiais com quem compartilhei momentos muito importantes de crescimento espiritual nesse período.

Agradeço à minha orientadora Pilar, pelos puxões de orelha quando foram necessários, sempre acreditando em mim e no meu potencial, muito obrigada pela oportunidade e orientação.

Faltariam folhas para expressar gratidão a cada um que merece de alguma maneira ser reconhecido aqui. Então termino agradecendo à Deus e a vida pela oportunidade de crescer pessoal e profissionalmente com este ciclo de 7 anos que se encerra. Sinto agora um misto de sentimentos de alívio e saudades por antecedência dessa fase e dos laços que a geologia me proporcionou.

*"Há um prazer nas florestas desconhecidas;
Um entusiasmo na costa solitária;
Uma sociedade onde ninguém penetra;
Pelo mar profundo e música em seu rugir;
Amo não menos o homem, mas a natureza mais..."*

Lord Byron

RESUMO

A composição química das águas subterrâneas é fortemente influenciada pela composição das rochas que hospedam o sistema aquífero que as contém. Sua variação composicional aumenta na proporção em que íons solubilizados são incorporados à sua molécula por meio de ativos orgânicos e inorgânicos. Neste sentido, o presente trabalho realiza uma caracterização hidrogeoquímica de águas subterrâneas, coletadas em aquíferos cristalinos localizados na região dos municípios de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul, na Sequência Metamórfica Vacacaí, Complexo Cambaí e na Suíte Granítica Caçapava do Sul. Para as análises de rocha total a técnica analítica empregada para atingir tal objetivo foi a Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma (ICP-MS) no *Activation Laboratories – ACTLABs* no Canadá, para as de água essa mesma técnica foi realizada no SGS Geosol Laboratórios LTDA, além da espectrometria por absorção atômica, realizada no Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Santa Maria (LAQ-UFSM). A partir dos resultados geoquímicos obtidos e de dados bibliográficos, foi possível investigar e estabelecer correlações entre as assinaturas químicas das águas subterrâneas e as rochas à elas associadas. Constatou-se que a composição química dos granitoides da Suíte Granítica Caçapava do Sul, exercem considerável influência nas concentrações de sódio e silício, provavelmente derivados de feldspatos alcalinos, além de fornecerem elementos típicos das mineralizações de sulfetos hidrotermais à elas associadas. Os mármorees do Complexo Cambaí e Sequência metamórfica Vacacaí, conferem alta concentração dos elementos cálcio e magnésio, porém, os resultados demonstram que por vezes o elemento magnésio pode estar em maior volume nas águas com influência dos mármorees calcíticos. Comparações relativas às variações sazonais de cálcio e magnésio, sugerem em geral uma redução nas concentrações desses elementos durante o inverno, somente as águas com influência dos mármorees calcíticos demonstraram aumento de cálcio nessa estação.

Palavras-chave: caracterização hidrogeoquímica, água subterrânea, correlação água-rocha, variação sazonal

ABSTRACT

The groundwater chemical composition is strongly affected by the composition of the rocks that host the aquifer system. The rocks compositional variation increases in the proportion as solubilized ions are incorporated to its molecule by means of organic and inorganic assets. In this sense, the present work performs a hydrogeochemical characterization of groundwater collected in crystalline aquifers located in the region of Caçapava do Sul and Vila Nova do Sul, in the Vacacaí Metamorphic Sequence, Cambaí Complex, and in the Granitic Suite Caçapava do Sul. For the total rock analysis was employed Plasma Source Mass Spectrometry (ICP-MS) at ACTLABs in Canada. The same technique was performed at SGS Geosol Laboratórios LTDA. In addition, atomic absorption spectrometry was performed at the Chemical Analysis of the Federal University of Santa Maria (LAQ-UFSM). Based on the geochemical results and bibliographic data, it was possible to investigate and establish correlations between the chemical signatures of the groundwater and the associated rocks. It was observed that the chemical composition of granitic rocks of the Granitic Suite Caçapava do Sul, exerts considerable influence on the sodium and silicon concentration, probably derived from alkali feldspars. As well, it provides elements typical from the associated hydrothermal sulphides mineralizations. The marbles of the Cambaí Complex and the Vacacaí Metamorphic Sequence confer a high concentration of calcium and magnesium elements. However, the results show that sometimes the magnesium element may show higher volume in the waters due the influence of the calcitic marbles. Comparisons related to seasonal variations of calcium and magnesium suggest a reduction in the concentrations of these elements during the winter. Only the waters influenced by the calcitic marbles showed increase of calcium in that season.

Keywords: hydrogeochemical characterization, groundwater, water-rock correlation, seasonal variation

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo Geral.....	2
2.2 Objetivos específicos	2
3 JUSTIFICATIVA	2
4 ÁREA DE ESTUDO	3
4.1 Localização e acesso.....	3
4.2 Contexto geológico	5
4.2.1 Contexto geológico regional	5
4.2.2 Contexto geológico local.....	7
5 ESTADO DA ARTE	10
5.1 Composição e propriedades fundamentais das águas subterrâneas	10
5.2 Conceitos hidrogeológicos e hidrogeologia da área de estudo	12
6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
6.1 Campanha de amostragem	15
6.2 Procedimentos de coleta das amostras	16
6.3 Preparação das amostras de rochas	17
6.4 Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma (ICP-MS).....	18
6.5 Espectrometria de Absorção Atômica (AAS).....	18
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
7.1 Petrografia macroscópica das amostras	19
7.2 Geoquímica das amostras de rocha.....	22
7.3 Geoquímica elemental das amostras de água.....	24
7.4 Influência da rocha hospedeira na composição das águas	25
7.4.1 Influência dos granitoides na composição química da água	25
7.4.2 Influência dos mármorees na composição química da água.....	27
7.5 Comportamento sazonal dos elementos cálcio e magnésio	28
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
9 REFERÊNCIAS	33
ANEXO 1 – Certificado de análises emitido pelo SGS Laboratórios LTDA.....	36

LISTA DE SIGLAS

AAS - Espectrometria por Absorção Atômica

ADZ – Amostra de rocha de mármore calcítico

CDF - Cinturão Dom Feliciano

CMPF - Complexo Metamórfico Passo Feio

DGB – Amostra de rocha de mármore dolomítico

Eserg - Escudo Sul-rio-grandense

ICP-MS - *Inductively Coupled Plasma* Mass Spectrometry (Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente)

GRAN – Amostra de granada-biotita monzogranito

LAQ-UFSM - Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Santa Maria

LATRAM - Laboratório de Lavra e Tratamento de Minérios

LD- limite de detecção

LOI- *Loss in ignition* (Perda ao fogo)

Ppb - parte por bilhão

Ppt - parte por trilhão

Unipampa – Universidade Federal do Pampa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de situação e localização dos pontos de estudo.....	3
Figura 2 – Mapa de pontos em detalhe, para melhor visualizar as vias de acesso no município de Caçapava do Sul.....	4
Figura 3 - Mapa de pontos em detalhe, para melhor visualizar as vias de acesso no município de Vila Nova do Sul.	5
Figura 4 – Mapa da compartimentação do Escudo Sul-rio-grandense simplificado, com ênfase no Terreno São Gabriel, onde se insere a área de estudo.....	6
Figura 5 – Mapa geológico da região de estudo, cuja coluna estratigráfica enfatiza somente as unidades de interesse para o trabalho.....	9
Figura 6 – Mapa dos domínios hidrogeológicos da área de estudo.	14
Figura 7 - Equipamento utilizado para etapa de moagem das amostras: moinho de bolas.....	17
Figura 8- Amostra classificada como granada-biotita monzogranito, com destaque para a textura e alguns cristais de granada à direita.....	19
Figura 9 - Diagrama ternário QAP com as proporções modais de quartzo (Q), feldspato alcalino (A) e plagioclásio (P), com base em Le Maitre (2002). *Diorito se o plagioclásio for sódico ($An < 50\%$), gabro se o plagioclásio for cálcico.....	20
Figura 10- Amostra coletada na mineradora Dagoberto Barcelos, classificada como mármore dolomítico impuro da Sequência Metamórfica Vacacaí.	21
Figura 11- Amostra coletada na mineradora Andreazza, classificada como mármore calcítico do Complexo Cambaí.....	22
Figura 12 – Histograma de frequência das concentrações do elemento magnésio de acordo com a sazonalidade no município de Vila Nova do Sul.....	28
Figura 13– Histograma de frequência das concentrações do elemento magnésio de acordo com a sazonalidade no município de Caçapava do Sul.	29
Figura 14– Histograma de frequência das concentrações do elemento cálcio de acordo com a sazonalidade no município de Vila Nova do Sul.....	29
Figura 15 – Histograma de frequência das concentrações do elemento cálcio de acordo com a sazonalidade no município de Caçapava do Sul.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela resumindo os principais constituintes iônicos das águas subterrâneas.....	10
Tabela 2 – Tabela resumindo os principais constituintes secundários das águas subterrâneas.....	11
Tabela 3 – Comparativo dos principais minerais constituintes de rochas graníticas com os íons produzidos a partir da decomposição desses minerais.....	11
Tabela 2 – Tabela dos pontos amostrados com suas respectivas coordenadas UTM, datum SIRGAS 2000, zona 22J. Dos pontos P04 a P08, houveram duas coletas em diferentes estações.....	15
Tabela 5 – Coordenadas UTM e unidade de origem das amostras de rocha ADZ, DGB e GRAN.....	16
Tabela 6 – Valores de óxidos maiores e menores (% em peso) obtidos para as amostras de rocha com seus respectivos limites de detecção.....	23
Tabela 7 – Valores de elementos traço em partes por milhão (ppm) obtidos para as amostras de rocha com seus respectivos limites de detecção.....	23
Tabela 8 - Valores (em mg/L) das concentrações de elementos representativos das amostras de água e seus respectivos limites de detecção.....	24
Tabela 9 - Valores das concentrações em mg/L de cálcio e magnésio para as amostras analisadas por absorção atômica.....	25
Tabela 10 – Diferenças percentuais nas concentrações de cálcio e magnésio entre as amostras comparadas, e diferenças médias percentuais para unidade do aquífero.....	31

1 INTRODUÇÃO

Água subterrânea é o termo que define toda água presente abaixo do nível freático, contida nas rochas preenchendo poros e fraturas, e de acordo com Dunne e Leopold (1978), representa 21% do total da água doce do planeta. Todd (1960), define a hidrogeologia como a área das geociências que estuda a ocorrência, distribuição, movimentação e interação da água em subsuperfície com o meio, incluindo organismos vivos.

Os sistemas capazes de armazenar água subterrânea são chamados de aquíferos, os quais podem ser classificados quanto à sua porosidade em: poroso, fraturado ou cárstico; e quanto à pressão da água nele contida em: livre ou confinante. A composição química das águas subterrâneas está diretamente relacionada à mineralogia e litotipos que compõem o aquífero, ao seu tempo de permanência nos mesmos, influência de água salgada, profundidade de circulação, clima, composição da água de recarga e contaminação antrópica (HEM, J.D., 1985).

A composição básica da água consiste de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (H_2O), mas dificilmente é encontrada em sua forma pura na natureza. O aumento da sua complexidade composicional se dá através da dissolução mineral por ativos da atmosfera, biosfera e litosfera, uma vez que a água pura é fracamente reativa e portanto sua ação como solvente é ineficaz (SZIKSZAY, M, 1993). Dentre os íons solúveis mais comuns que são incorporados à água percolante, estão os cátions móveis Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , os que apresentam menor mobilidade Al^{3+} e Fe^{3+} e o de mobilidade intermediária K^+ (MAGALHAES, V. S., 2006).

O presente trabalho objetiva analisar a presença desses e outros elementos, em 13 amostras de águas subterrâneas coletadas em aquíferos cristalinos localizados na região dos municípios de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul, em rochas da Suíte Granítica Caçapava do Sul, e rochas calcárias da Sequência Metamórfica Vacacaí e Complexo Cambaí. Para atingir tais objetivos foram realizadas análises de amostras de água e rocha, utilizando métodos espectrométricos como ferramenta analítica. Os dados foram obtidos com o intuito de correlacionar a composição química da água com a litologia e em função da influência sazonal.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo geral determinar a assinatura química das águas de poços localizados nos municípios de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul, buscando uma correlação entre as assinaturas químicas dessas águas e suas respectivas rochas hospedeiras, bem como investigar possíveis mudanças composicionais conforme a sazonalidade.

2.2 Objetivos específicos

- medir as concentrações dos elementos constituintes de amostras de águas subterrâneas extraídas de mármores da Sequência Metamórfica Vacacaí, Complexo Cambaí e Suíte Granítica Caçapava do Sul;
- medir as concentrações de elementos maiores, menores e traços em rochas das unidades abordadas, tão próximas quanto possível aos poços de coleta de água subterrânea;
- realizar uma análise comparativa entre os resultados geoquímicos de água subterrânea e rocha hospedeira;
- realizar uma análise comparativa entre os resultados hidrogeoquímicos das diferentes áreas estudadas;
- investigar possíveis variações composicionais de acordo com a sazonalidade

3 JUSTIFICATIVA

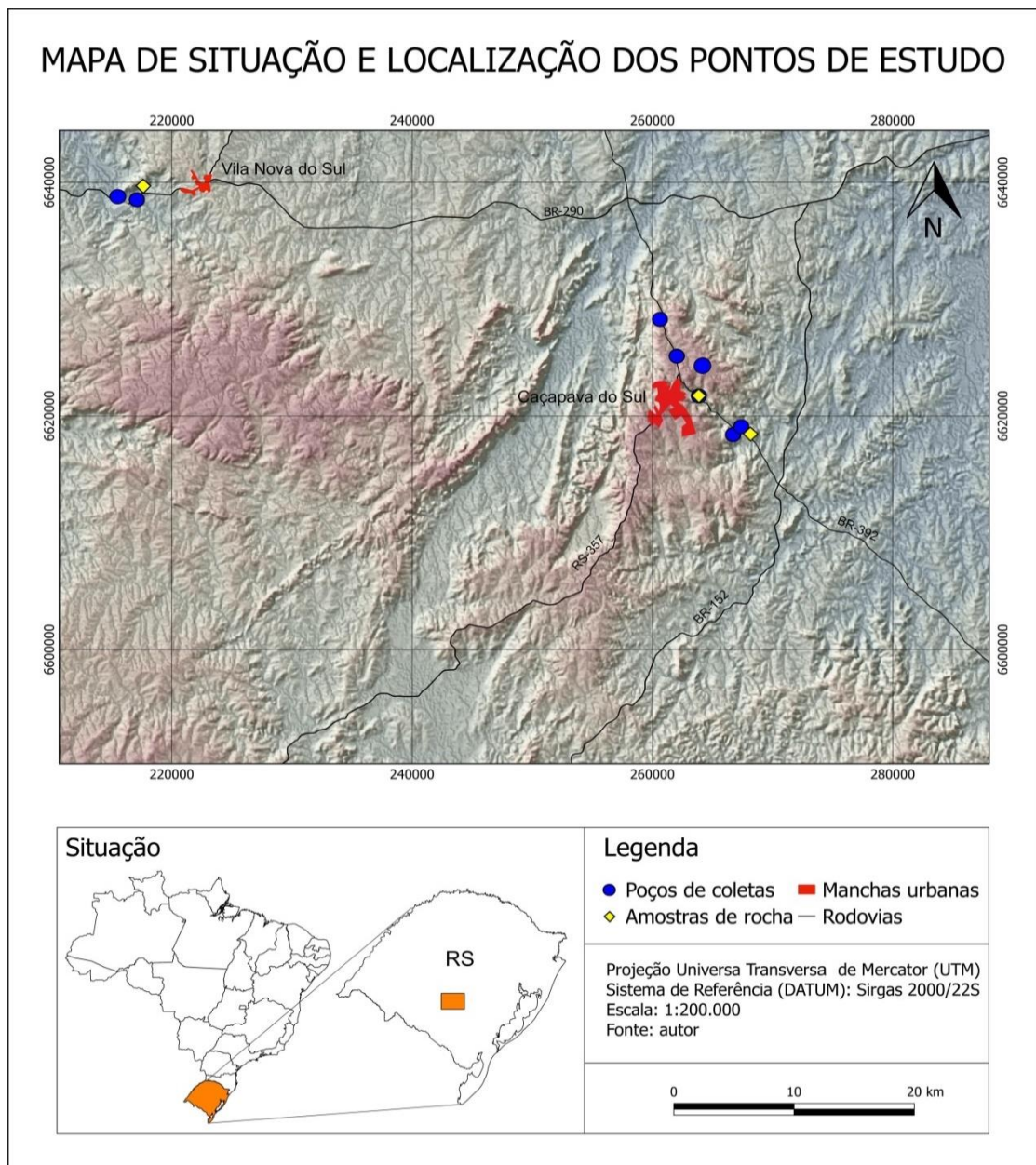
A análise investigativa a qual pretende este trabalho é justificável como contribuição para o entendimento da ocorrência ou não de dissolução de elementos presentes nas rochas na medida em que entram em contato com águas subterrâneas, e variações na solubilidade dos seus elementos constituintes conforme sazonalidade.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização e acesso

A área de estudo está situada na porção central do estado do Rio Grande do Sul, concentrando pontos de estudo em duas regiões: uma no município de Caçapava do Sul e outra em Vila Nova do Sul. As principais vias de acesso são a BR-290 e BR-392 (Figura 1), conectando-se aos pontos de coleta através de estradas vicinais.

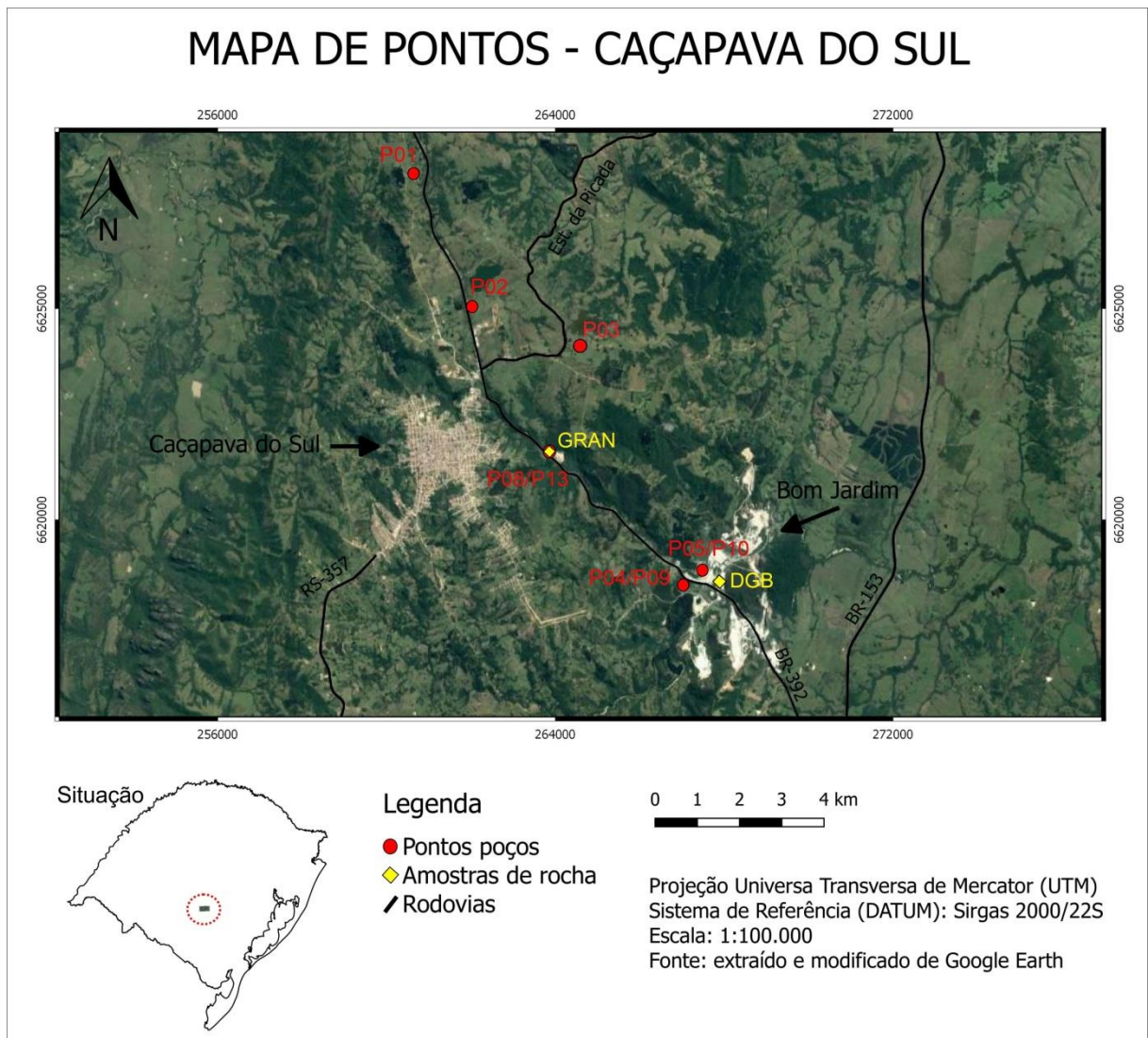
Figura 8 – Mapa de situação e localização dos pontos de estudo.



Fonte: Autora.

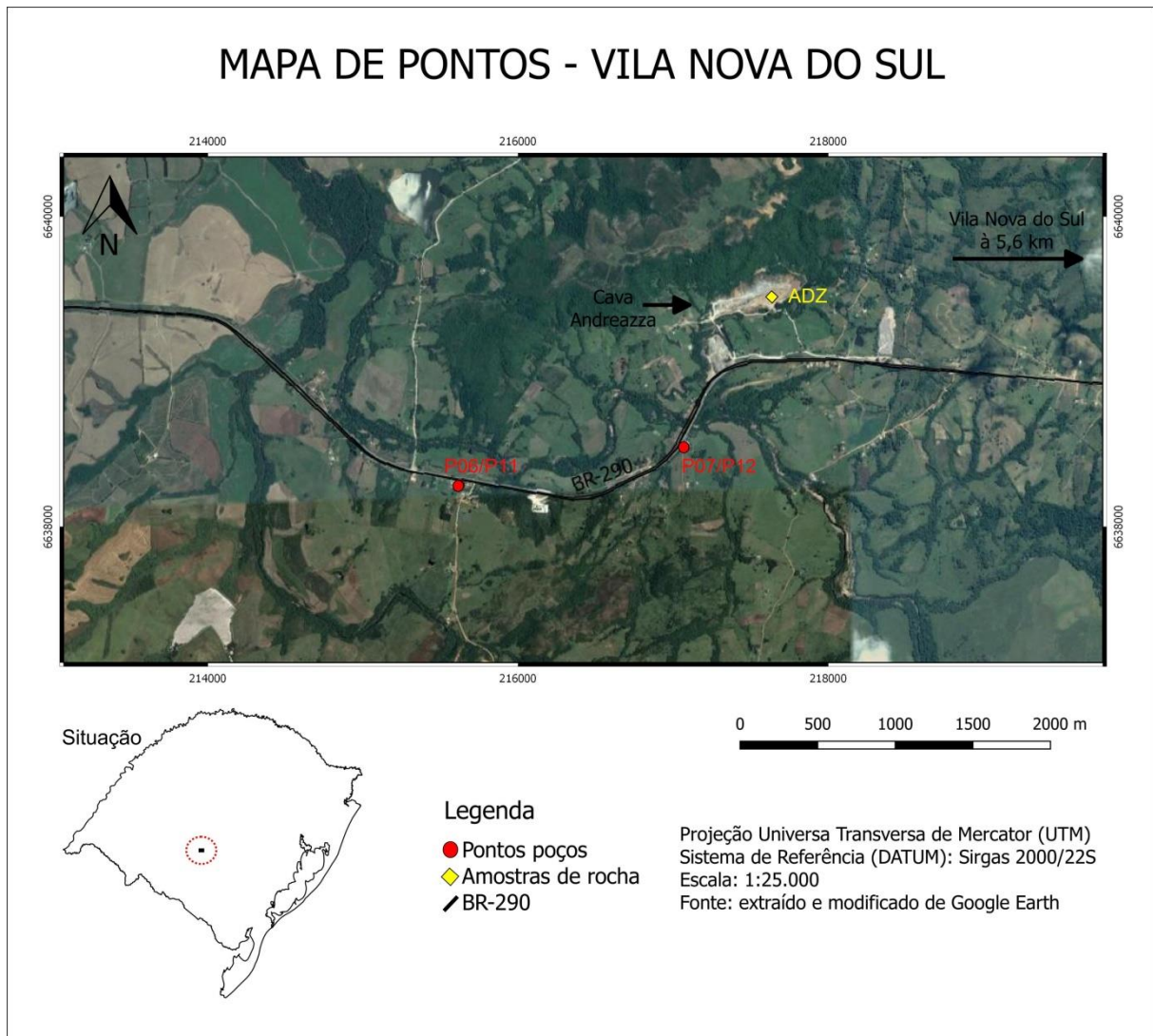
Com a finalidade de fornecer uma melhor visualização das estradas de acesso vicinais de ambos os municípios, são apresentados os mapas de localização e de pontos em escala maior (Figura 2 e 3).

Figura 9 – Mapa de pontos em detalhe, para melhor visualizar as vias de acesso no município de Caçapava do Sul.



Fonte: autora.

Figura 10 - Mapa de pontos em detalhe, para melhor visualizar as vias de acesso no município de Vila Nova do Sul.



Fonte: autora.

4.2 Contexto geológico

4.2.1 Contexto geológico regional

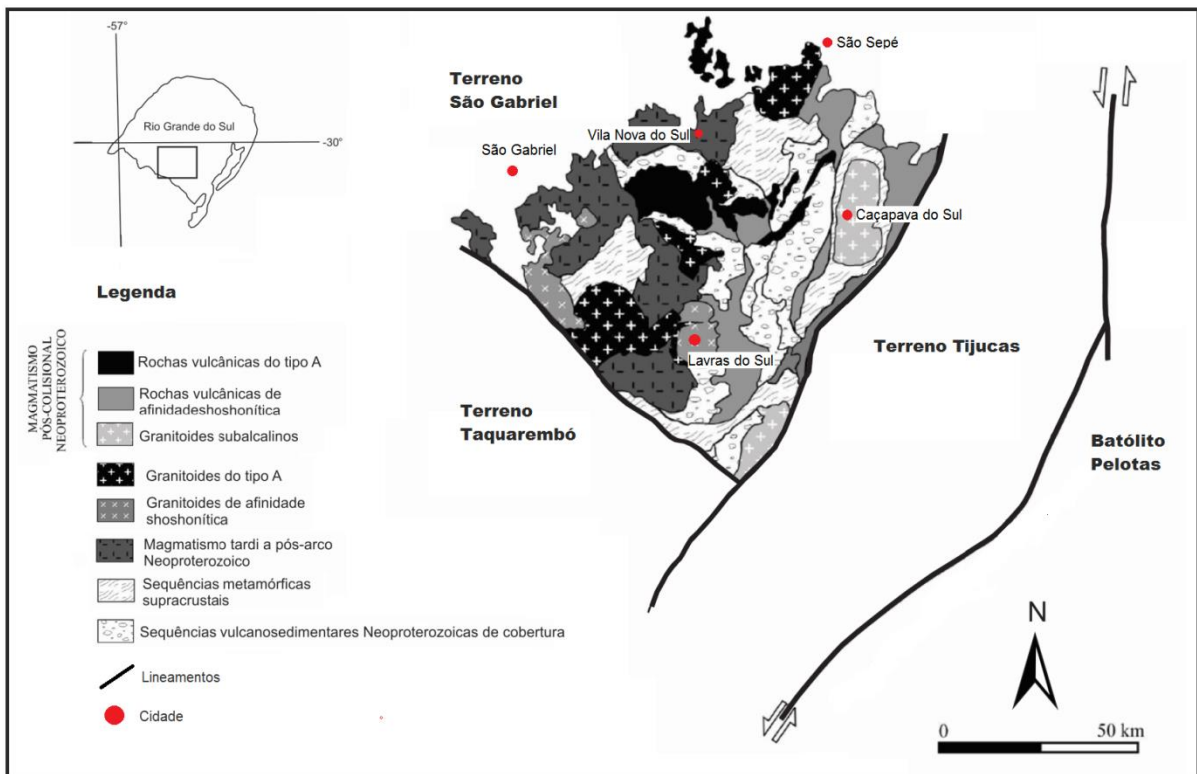
O Escudo Sul-rio-grandense (Esrg), é produto de processos de geração e deformação da crosta continental e de fontes mantélicas, resultantes de dois principais ciclos orogênicos: o Transamazônico (2,26-2 Ga) e o Brasileiro (900-535 Ma). Essa unidade é segmentada por lineamentos regionais NE-SW e NW-SE, que compartimentam rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, de idades, origens e evolução agrupadas em 4 domínios Geotectônicos: Terreno Taquarembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e o Batólito de Pelotas. Juntos esses

terrenos compõem o Cinturão Dom Feliciano (CDF) (PORCHER; LOPES, 2000; HARTMANN; CHEMALE; PHILIPP, 2007).

Em um contexto regional, a área de estudo está inserida no Terreno São Gabriel, também nomeado Cinturão Vila Nova (CHEMALE; HARTMANN; SILVA, 1995b), Terreno Rio Vacacaí (FRAGOSO-CESAR, 1980) ou ainda porção ocidental do Cinturão Dom Feliciano (FERNANDES et al., 1995b). O Terreno São Gabriel é delimitado a sul pelo Lineamento Ibaré e a leste pelo lineamento magnético de Caçapava (Figura 4).

As rochas do Terreno São Gabriel apresentam uma grande área de exposição, estendendo-se na direção L-W desde São Gabriel à Caçapava do Sul, e na direção N-S de São Sepé à Lavras do Sul. Diversas ocorrências de rochas básicas e ultrabásicas, associadas com mármores e depósitos terrígenos de uma paleobacia oceânica, com registros de tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG) e rochas cálcio alcalinas provenientes de arco magmático compõem sua associação petrotectônica (e.g. FRAGOSO-CESAR, 1980; BABINSKY et al., 1996; HARTMANN; CHEMALE JR; PHILLIP, 2007).

Figura 11 – Mapa da compartimentação do Escudo Sul-rio-grandense simplificado, com ênfase no Terreno São Gabriel, onde se insere a área de estudo.



Fonte: Extraído e modificado de Nardi & Bitencourt, 2007.

4.2.2 Contexto geológico local

As unidades de interesse do presente trabalho, são a Sequência Metamórfica Vacacaí, Complexo Cambaí e Suíte Granítica Caçapava do Sul, que fazem parte do Terreno São Gabriel (PORCHER & LOPES, 2000). Tais unidades estão representadas no mapa e coluna estratigráfica da Figura 5.

O termo “Vacacaí” foi introduzido na estratigrafia do Esrg por Carvalho (1932) referindo-se as “coberturas algonqueanas das cabeceiras do Rio Vacacaí”. A partir da década de 80 e 90 o termo passou por diversas redefinições (e. g. GOÑI et al., 1962 apud PORCHER; LOPES, 2000; FRAGOSO-CESAR, 1983; BABINSKY et al., 1996; HARTMANN; CHEMALE JR; PHILLIP, 2007).

Bitencourt (1983) propõe a designação estratigráfica de *Complexo Metamórfico Passo Feio*, no qual reuniu metapelitos, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas, metavulcânicas, mármore, rochas calcissilicáticas, quartzitos xisto magnesianos e rochas quartzo-feldspáticas metamorfizadas, que bordejam a Suíte Granítica Caçapava do Sul, e que foram metamorfizadas em regime de baixo a médio grau metamórfico. Este pacote de rochas foi incluído posteriormente na Sequência Metemórfica Vacacaí (PORCHER & LOPES, 2000), constituída por duas associações: a Associação Metavulcânica e a Associação Metassedimentar, na qual foram coletadas amostras de água e rocha.

Porcher & Lopes (2000) agrupam na sequência metavulcânica, rochas basálticas com estrutura almofadada e rochas andesíticas associadas à metatufos e epiclásticas, as quais foram metamorfizadas na fácies xisto verde e anfibolito. Em relação à sequência metassedimentar, unidade de interesse neste trabalho, os autores agruparam os metapelitos e xistos quartzo-feldspáticos, quartzitos e metavulcânicas subordinadas, bem como as lentes de mármore dolomítico objeto de estudo, e localizadas ocorrências de anfibolitos.

Os mármore desta região foram caracterizados por Bortolotto (1986) como mármore dolomíticos impuros, cujo conteúdo carbonático predomina sobre o silicático, que é representado pelos seguintes minerais: talco, tremolita, diopsídio, forsterita, clorita, flogopita e, subordinadamente, titanita, apatita e quartzo. Pode ocorrer serpentina como alteração de forsterita.

O *Complexo Cambaí* (PORCHER; LOPES, 2000) é subdividido em três unidades: Gnaisses Cambaí, Sequência Arroio Marmeleiro e Associação básico-ultrabásica Cerro da Mantiqueira.

A porção da área de estudo localizada no município de Vila Nova do Sul situa-se na unidade Gnaisses Cambaí, mais especificamente em gnaisses dioríticos com lentes de mármore calcítico. Com base em interpretações de dados químicos, se sugere na bibliografia que pelo menos parte desses gnaisses sejam derivados de protólitos sedimentares depositados em bacia do tipo *back arc*, cuja composição mineralógica é predominantemente de plagioclásio, biotita e/ou hornblenda e quartzo (PORCHER; LOPES, 2000).

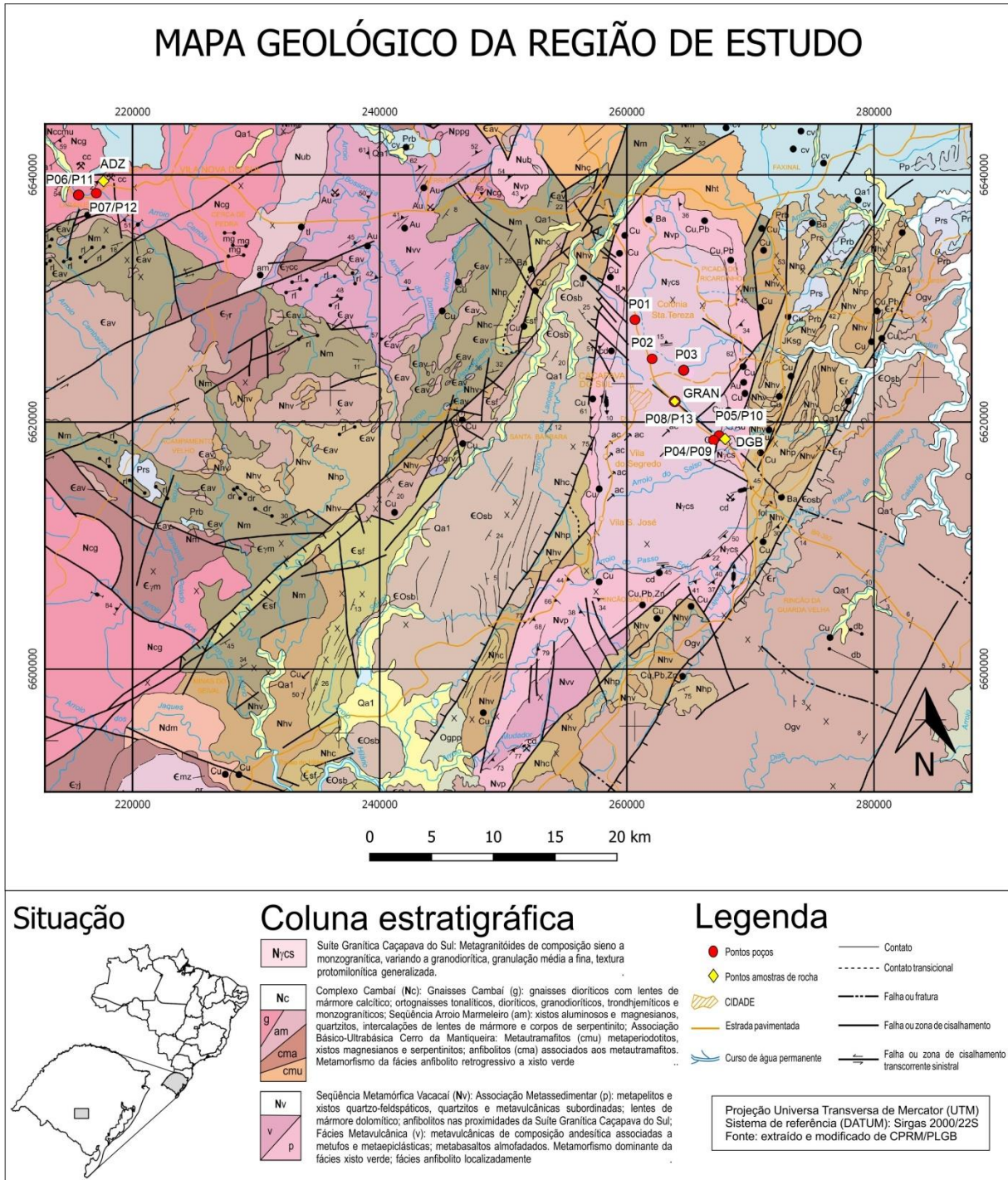
Em relação aos mármore encaixados no Gnaisse Cambaí, duas situações distintas são descritas, cujo padrão mineralógico é controlado pela ocorrência de fluidos hidrotermais e magmatismo subsequente. Conforme Hoerlle (2013), na zona de influencia dos escarnitos ocorrem predomínio de granada grossulária, diopsídio, calcita, clinozoizita, plagioclásio, quartzo, magnetita, com ocorrências de sulfetos de ferro e cobre. Já na segunda situação, a paragênese metamórfica do mármore é constituída de fluorita, fengita, feldspato alcalino, quartzo, calcita, pirita e calcopirita, ocorrendo em fraturas e outros planos de fraqueza dos mármore.

A *Suíte Granítica Caçapava do Sul* constitui um corpo com dimensão aproximada de 250km² de extensão, o qual está encaixado nos metamorfitos da Sequência Metamórfica Vacacaí. Nardi & Bitencourt (1989) apontam para a ocorrência de sienogranitos, monzogranitos, granodioritos e raros tonalitos, e definem três fácies principais distinguíveis através de petrografia e geoquímica:

- biotita granitoides: biotita como principal mineral máfico e altos teores e allanita como acessório característico;
- leucogranitoides: baixo teor de minerais máficos, contendo granada e/ou moscovita localizadas, e
- granitoides transicionais: de características intermediárias entre as outras fácies.

Em termos geoquímicos, Bitencourt (1983) relatam a estes granitoides um caráter peraluminoso em termos normativos de sílica (norma CIPW), e verificam seu comportamento cálcio-alcálico em relações aos teores de $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$.

Figura 12 – Mapa geológico da região de estudo, cuja coluna estratigráfica enfatiza somente as unidades de interesse para o trabalho.



Fonte: Autora.

5 ESTADO DA ARTE

5.1 Composição e propriedades fundamentais das águas subterrâneas

De acordo com Feitosa & Manoel Filho (2000), a água é o solvente mais abundante na natureza, com alta capacidade de reagir e dissolver substâncias orgânicas e inorgânicas. As reações decorrentes de sua interação com as rochas e solos, lhe conferem um enriquecimento de sais minerais em solução. As condições físicas do meio em que águas subterrâneas circulam, favorecem essas reações resultando em uma concentração maior de sais em relação às águas superficiais. Fatores como maiores pressões e temperaturas, facilidade em dissolver CO_2 ao percolar o solo não saturado e baixa velocidade de circulação, são relevantes para essa característica. Os constituintes das águas subterrâneas ocorrem predominantemente na forma iônica, refletindo em propriedades específicas como condutividade elétrica, que é sua capacidade de conduzir eletricidade, e dureza que é em geral expressa pela sua concentração de carbonatos de cálcio e magnésio. Os principais constituintes iônicos (tabela 1) somam quase a totalidade dos íons presentes para a grande maioria das águas subterrâneas.

Tabela 3 – Tabela resumindo os principais constituintes iônicos das águas subterrâneas.

Principais Cátions	Principais Ânions
Sódio (Na^+):	Cloreto (Cl^-)
Potássio (K^+)	Sulfato (SO_4^{-2})
Cálcio (Ca^{+2})	Bicarbonato (HCO_3^-)
Magnésio (Mg^{+2})	Carbonato (CO_3^{-2})
Ferro (Fe)	Nitrato (NO_3^-)

Fonte: Dados compilados a partir Feitosa & Manoel Filho (2000).

Os constituintes iônicos secundários podem ser muito variados, e segundo Feitosa & Manoel Filho (2000), representam concentrações inferiores a 1%. De maneira geral, aqueles encontrados com mais frequência estão representados na Tabela 2:

Tabela 4 – Tabela resumindo os principais constituintes secundários das águas subterrâneas.

Principais constituintes secundários
Boro (B^{+3})
Brometo (Br^-)
Compostos fenólicos
Fosfato (PO_4^{-3})
Manganês (Mn)
Sílica (SiO_2)
Zinco (Zn^{+2})
Cobre (Cu^+)

Fonte: Dados compilados a partir de Feitosa & Manoel Filho (2000).

Pode-se ainda fazer um paralelo entre os íons esperados pela dissolução para cada tipo de rocha. De acordo com Schoeller (1962) (apud SZIKSZAY, 1993) pelo fato de granitos em geral serem constituídos por quartzo, ortoclásio, plagioclásio, biotita e muscovita, é de se esperar que a decomposição dos minerais dessas litologias gerem íons de acordo com a tabela 3. Mas vale ressaltar, que para o caso do Brasil, o clima e situação geográfica pode muitas vezes interferir de maneira mais preponderante do que a composição da litologia propriamente dita.

Tabela 5 – Comparativo dos principais minerais constituintes de rochas graníticas com os íons produzidos a partir da decomposição desses minerais.

Principais minerais constituintes dos granitos	Íons produzidos pela decomposição dos minerais
Quartzo	SiO_2 (traços)
Ortoclásio	$SiO_2 + K^+$
Plagioclásio	$SiO_2 + Na^+ + Ca^{+2}$
Biotita	$K^+ + Fe^{+2}$
Muscovita	K^+

Fonte: Extraído de Schoeller (1962) (apud SZIKSZAY, 1993).

Águas com influência de granitos terão, no geral, quantidades razoáveis de SiO_2 , Ca^{2+} e HCO_3^- , além de serem carregadas de metais alcalinos. Terão poucos sais dissolvidos, com sódio predominando sobre potássio, devido à retenção deste último no solo. O silício dos silicatos combinarão com o alumínio para formar as argilas, transferindo para água somente o excedente.

Para o caso dos calcários, segundo a mesma autora, a dissolução de CaCO_3 fica em geral entre a faixa de 150-300 mg/l. A composição química das águas relacionadas, terá maior variabilidade, uma vez que depende das características físicas: a circulação difere para calcários compactos, calcários de granulação fina e de fissuras.

5.2 Conceitos hidrogeológicos e hidrogeologia da área de estudo

Em hidrogeologia o conceito de água subterrânea é por definição, aquela que circula na zona situada abaixo da superfície freática, chamada de zona saturada. As formações geológicas que contém e permitem a circulação dessa água em condições naturais são chamadas de aquíferos (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). Poland et al. (1972) definiu originalmente sistema aquífero da seguinte forma:

Corpo heterogêneo de materiais com intercalações permeáveis e pobremente permeáveis que funcionam como uma unidade hidroestratigráfica produtora de água; ele compreende duas ou mais camadas permeáveis, separadas ao menos localmente por aquíferos que impedem o movimento das águas subterrâneas, mas que não afetam a continuidade hidráulica do sistema (POLAND; LOFGREN; RILEY, 1972).

Definição essa, que traz a necessidade de esclarecer também o conceito de aquífero, onde segundo esse mesmo autor é definido como:

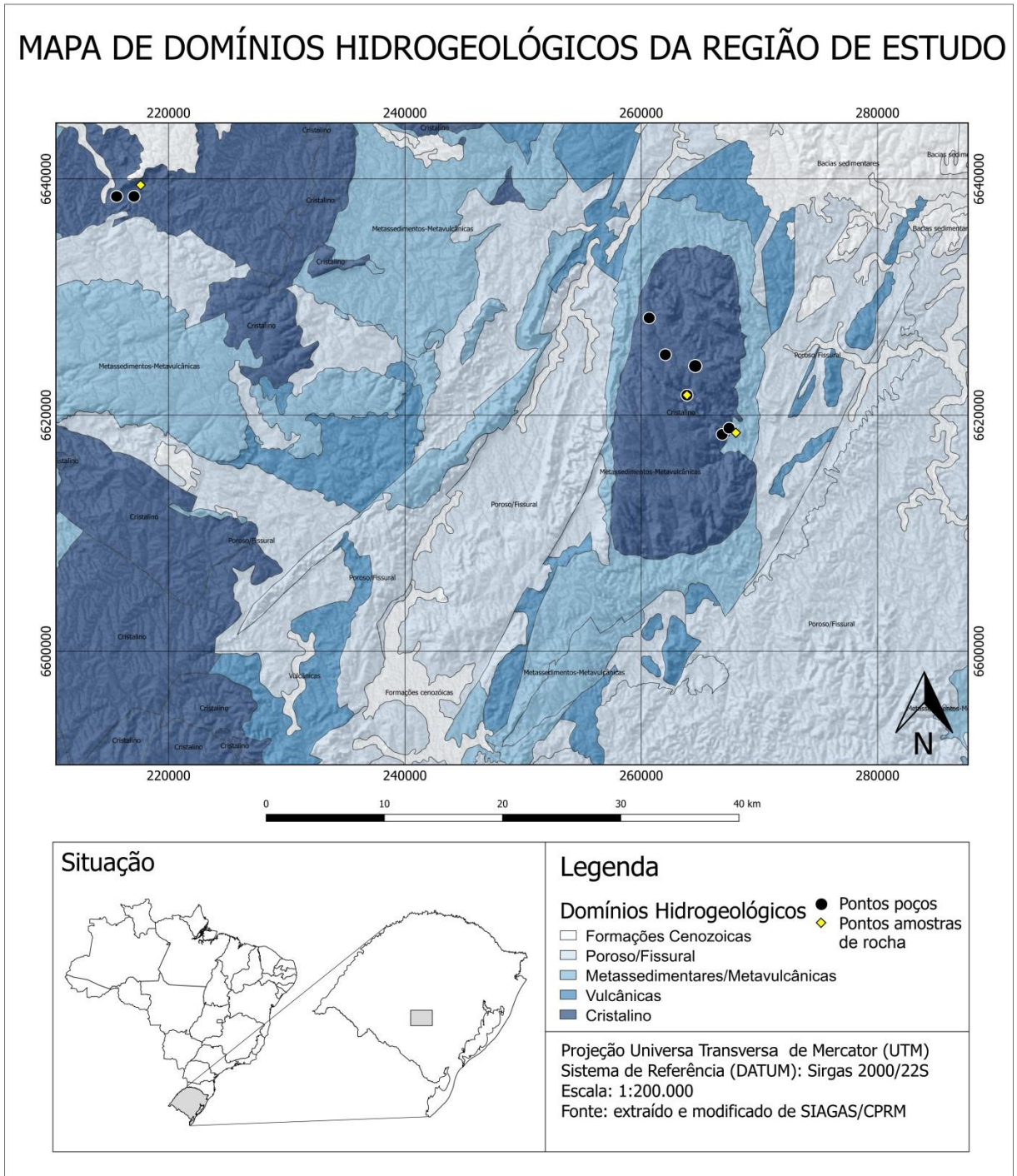
Uma camada saturada, mas pouco permeável, que impede que as águas subterrâneas se movimentem e não produz água livre para poços, mas que pode transmitir água apreciável para/de aquíferos adjacentes e, onde suficientemente espessa, pode constituir uma importante unidade de armazenamento de águas subterrâneas. Aquíferos são caracterizados por valores de vazão que podem variar de relativamente baixos a relativamente altos. Em geral, aquíferos extensos, de vazão relativamente baixa podem funcionar regionalmente como limites de fluxo de sistemas aquíferos (POLAND; LOFGREN; RILEY, 1972).

As formações geológicas podem ainda se portar como sistemas que contém água, até mesmo em quantidades significativas, mas são incapazes de permitir sua circulação em condições naturais, neste caso são chamadas de *aquicludes*. Já as formações impermeáveis, que são incapazes de armazenar ou transmitir água são denominadas *aquifugos*. São as características físico-químicas como a composição dos tipos litológicos, estratigrafia e estruturas, que controlarão a natureza e distribuição dos aquíferos e aquíferos (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Neste contexto, a área de estudo localiza-se na porção do estado do Rio Grande do Sul classificado como Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II (MACHADO; FREITAS, 2005), compreendendo os domínios cristalino e metassedimentares/metavulcânicas (Figura 6).

São considerados aquíferos limitados, apresentando baixa possibilidade para água subterrânea, contidos em rochas com porosidade intergranular ou controlados por fraturas. São áreas compreendidas basicamente entre os limites do embasamento cristalino, abrangendo todas as rochas graníticas, gnáissicas, andesíticas, xistos, filitos e calcários metamorfizados, localmente afetadas por fraturamentos e falhas. Áreas com ausência de coberturas de sedimentos marinhos, apresentam águas com baixos teores de sais dissolvidos, em geral inferiores a 300mg/l, raramente ultrapassando 200mg/l. Já as áreas contidas em rochas graníticas podem ser enriquecidas em flúor (MACHADO; FREITAS, 2005).

Figura 13 – Mapa dos domínios hidrogeológicos da área de estudo.



Fonte: Autora.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Campanha de amostragem

Foram coletadas 13 amostras de água em 8 poços, algumas das quais em estações do ano distintas, afim de verificar possíveis mudanças composicionais ocasionadas pelas diferenças em relação à regime de chuva e temperatura. Dessa forma 8 amostras, sendo elas P01, P02, P03, P04, P05, P06, P07 e P08 (Tabela 4) foram coletadas no verão durante o mês de março e 5 amostras P09, P10, P11, P12 e P13 (Tabela 4) foram coletadas no final do outono/começo do inverno entre os meses de maio e agosto, em poços já coletados anteriormente para análise comparativa. Na tabela abaixo são identificados os pontos de dupla coleta, com suas respectivas coordenadas e unidades a qual pertencem:

Tabela 6 – Tabela dos pontos amostrados com suas respectivas coordenadas UTM, datum SIRGAS 2000, zona 22J. Dos pontos P04 a P08, houveram duas coletas em diferentes estações.

Amostra	Coord X	Coord Y	Unidade do aquífero
P01	260670	6628244	Suíte Granítica Caçapava do Sul
P02	262044	6625097	Suíte Granítica Caçapava do Sul
P03	264600	6624137	Suíte Granítica Caçapava do Sul
P04 e P09	267058	6618526	Sequência Metamórfica Vacacaí
P05 e P10	267490	6618840	Sequência Metamórfica Vacacaí
P06 e P11	215621	6638269	Complexo Cambaí
P07 e P12	217066	6638517	Complexo Cmbaí
P08 e P13	263897	6621668	Suíte Granítica Caçapava do Sul

Fonte: Autora.

Referente as 3 amostras de rochas, buscou-se coletá-las nas proximidades das coletas de água dos poços situados nas 3 unidades de interesse, e nomeadas em relação ao ponto de coleta. Por conseguinte, foram coletadas uma amostra de mármore calcítico do Complexo Metamórfico Cambaí, na mineradora Andrezza (amostra ADZ) e uma de mármore dolomítico da Sequência Metamórfica Vacacaí, na mineradora Dagoberto Barcelos (amostra DGB). Além destas, foi obtida uma amostra de granada-biotita monzogranito da Suíte Granítica Caçapava do Sul, próxima ao poço da fábrica de fertilizantes Fidagran, da mineradora Fida (amostra GRAN). A tabela 5 contém as coordenadas das amostras, juntamente com a unidade a qual pertencem:

Tabela 5 – Coordenadas UTM e unidade de origem das amostras de rocha ADZ, DGB e GRAN.

Amostra	Coord x	Coord y	Unidade de origem
ADZ	217634	6639482	Complexo Metamórfico Cambaí
DGB	263897	6621668	Sequência Metamórfica Vacacaí
GRAN	267906	6618597	Suíte Granítica Caçapava do Sul

Fonte: Autora.

6.2 Procedimentos de coleta das amostras

Para uma avaliação hidrogeoquímica de confiabilidade é fundamental que sejam executados alguns procedimentos afim de garantir que não hajam contaminações nem perdas durante a coleta de amostras de água, os quais serão descritos nesse tópico.

As 13 amostras de água foram obtidas a partir de poços escavados e tubulares, armazenadas em frascos de polietileno, previamente descontaminados com solução de limpeza contendo ácido nítrico e álcool, diluídos em água deionizada.

Nos poços escavados, vulgarmente chamados de cacimba, a amostra foi retirada com o auxílio de amostrador descontaminado e previamente ambientalizado com água do poço por alguns minutos. Já para os poços tubulares foi realizado o bombeamento por cerca de 5 minutos, afim de evitar coleta de água estagnada no encanamento. Para ambos os casos, todos os frascos foram lavados 4 vezes com água do poço, com volume de 2 litros de amostra coletada. Alguns cuidados adicionais foram tomados, como evitar contato da parte interna e tampa do frasco com as mãos do coletor, bem como deixá-los abertos um tempo mínimo, somente o necessário para seu preenchimento.

Os frascos foram acondicionados em caixas térmicas refrigeradas com a adição de gelo durante o transporte ao refrigerador do laboratório de química da Unipampa, onde foram conservadas até o envio para o LAQ-UFSM.

Para as amostras de rocha o procedimento é relativamente simples, e consistiu apenas em coletar amostras representativas, do tamanho de um punho fechado, não intemperizadas, tão próximas dos poços quanto possível.

6.3 Preparação das amostras de rochas

A preparação das 3 amostras de rochas para a determinação de composição elementar, consistiu em transformar a amostra original em uma forma mais apropriada para análise por Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS).

A primeira etapa de redução de tamanho da amostra foi a britagem, realizada manualmente com o auxílio de uma marreta. Após essa redução os fragmentos foram submetidos à um sistema de pulverização automatizado durante 40 minutos. O equipamento utilizado foi o moinho de bolas Marconi MA 500, do Laboratório de Lavra e Tratamento de Minérios (LATRAM) da Unipampa (Figura 7), com 20 bolas para cada amostra.

O mecanismo de moagem consiste em preencher parcialmente o jarro cerâmico com as esferas e material a ser pulverizado, que são então rotacionados a baixa velocidade. Essa movimentação contínua provoca atrito entre o material e as esferas, resultando na moagem da amostra.

Figura 14 - Equipamento utilizado para etapa de moagem das amostras: moinho de bolas.



Fonte: autora

Certos cuidados entre um procedimento e outro foram tomados, entre eles a lavagem do jarro cerâmico e ferramentas utilizadas para retirada do pó, com secagem em estufa a 50°, bem como a utilização de esferas limpas a cada processo de moagem.

Uma massa representativa de pó de rocha (aproximadamente 20g) foi embalada em sacos plásticos, e enviada para o laboratório no Canadá, onde foi realizada a análise de composição elementar por ICP-MS.

6.4 Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma (ICP-MS)

A Espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) é uma técnica analítica de análise quantitativa utilizada na determinação de composição elementar. Amplamente utilizada em estudos ambientais, geológicos, biomédicos e campos de aplicação nuclear, o fator limitante para seu uso em trabalhos de rotina é seu alto custo e complexidade. A técnica consiste em combinar um espectrômetro de massa com uma fonte de ICP de alta temperatura. Dessa forma, a fonte ICP converte os átomos dos elementos da amostra em íons, que são então separados e detectados pelo espectrômetro de massa. (THOMAS, R, 2004)

6.5 Espectrometria de Absorção Atômica (AAS)

A espectrometria de absorção atômica é dentre as técnicas disponíveis para a caracterização multi-elementar, a mais amplamente utilizada na determinação de elementos em baixas concentrações. Pode-se associar à isso fatores como sua robustez, alta especificidade, sensibilidade, baixos limites de detecção para vários elementos em diferentes amostras e seu baixo custo relativo. O princípio fundamental da técnica consiste em submeter o analito à uma fonte de radiação externa de frequência apropriada, com o intuito de medir a absorção da intensidade da radiação eletromagnética proveniente da fonte. Para tal, a amostra é submetida à um processo de volatilização, onde é decomposta produzindo uma fase gasosa de átomos e íons. A partir dessa decomposição é possível a determinação de espécies atômicas, uma vez que no estado gasoso os átomos individuais ou íons elementares se encontram separados uns dos outros. (FRESCHI, G.P.G. et al., 2000, SKOOG et al., 2006).

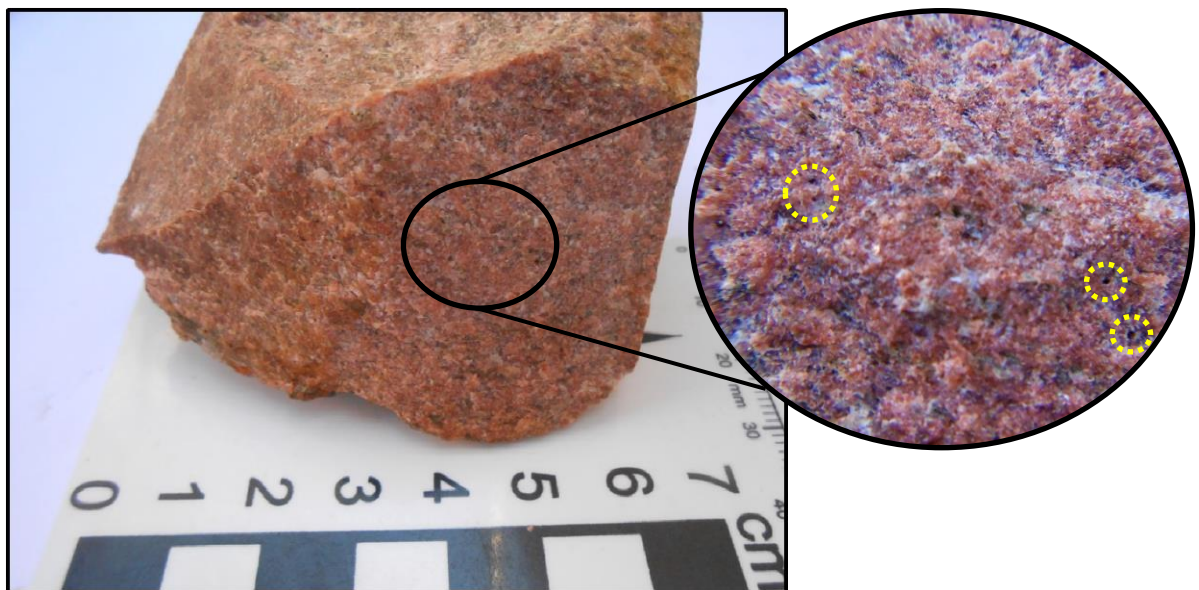
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados das análises relativas às 3 amostras de rocha e às 13 de águas subterrâneas, bem como as interpretações e discussão acerca de seus significados. As amostras de rocha foram nomeadas em relação ao ponto de coleta, desta maneira, a amostra ADZ corresponde às proximidades da mineradora Andrezza (próxima ao P07), a DGB faz referência à mineradora Dagoberto Barcelos (próxima ao P04 e ao P05) e a GRAN à fábrica Fidagran da mineradora Fida (próxima ao P08).

7.1 Petrografia macroscópica das amostras

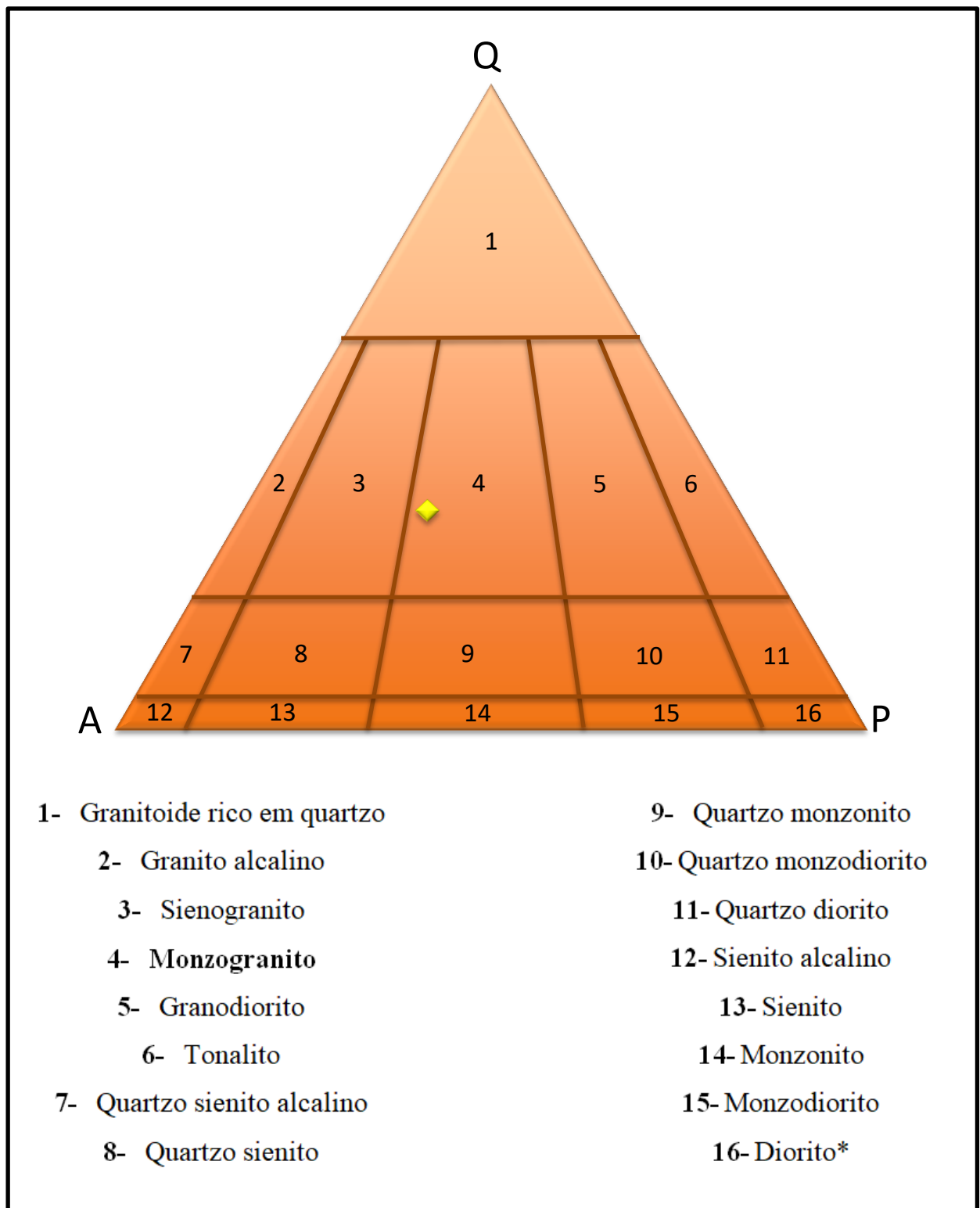
No diagrama ternário classificativo de rochas ígneas plutônicas concebido por Le Maitre (2002), a amostra GRAN foi classificada como sendo um monzogranito (figura 9). Com base na análise modal macroscópica, identificou-se 30% de quartzo, 35% de feldspato alcalino, 20% de plagioclásio, 10% de biotita e 5% de granada, o que permite classificá-la de acordo com os minerais qualificadores, como um granada-biotita monzogranito. A rocha possui coloração rosada, textura fanerítica média equigranular, com foliação delineada pela biotita, quartzo Ribbon e algens feldspáticos (figura 8).

Figura 8- Amostra classificada como granada-biotita monzogranito, com destaque para a textura e alguns cristais de granada à direita.



Fonte: Autora.

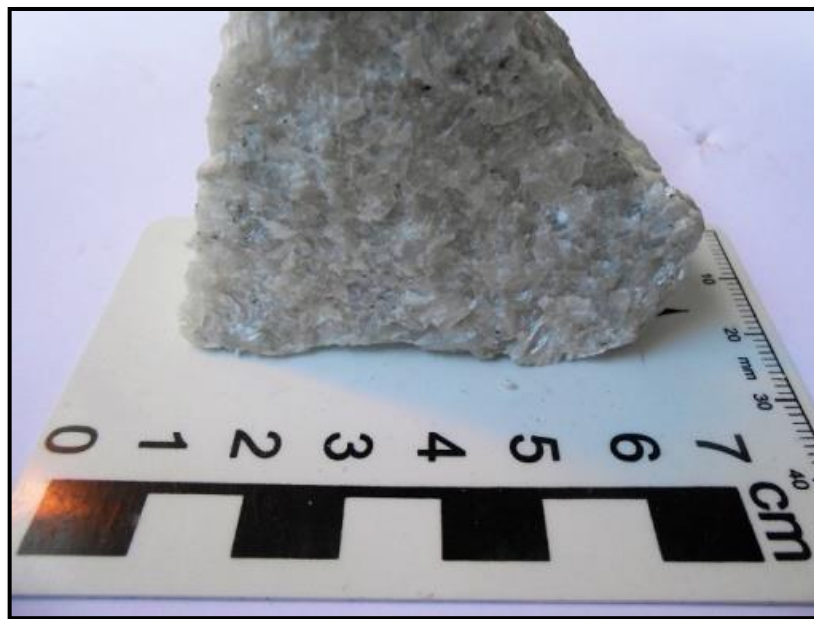
Figura 9 - Diagrama ternário QAP com as proporções modais de quartzo (Q), feldspato alcalino (A) e plagioclásio (P), com base em Le Maitre (2002). *Diorito se o plagioclásio for sódico ($An < 50\%$), gabro se o plagioclásio for cálcico.



Fonte: Autora.

A rocha coletada no ponto referente à Sequência Metamórfica Vacacaí, é maciça, apresenta coloração branca, textura granoblástica média, composta predominantemente por cristais de dolomita, com massas localizadas de mineral esverdeado, possivelmente clorita, talco, serpentina ou outro silicato que não foi possível identificar macroscopicamente. Com base nas características macroscópicas e nas informações da literatura, a rocha foi classificada como um mármore dolomítico impuro (figura 10).

Figura 10 - Amostra coletada na mineradora Dagoberto Barcelos, classificada como mármore dolomítico impuro da Sequência Metamórfica Vacacaí.



Fonte: Autora

No ponto de coleta localizado na mineradora Andrezza, a rocha é maciça, apresenta coloração branca, textura granoblástica fina a média e, composta predominantemente por cristais de calcita. Com base nas características macroscópicas e nas informações da literatura, a rocha foi classificada como um mármore calcítico (figura 11)

Figura 11- Amostra coletada na mineradora Andreazza, classificada como mármore calcítico do Complexo Cambaí.



Fonte: Autora.

7.2 Geoquímica das amostras de rocha

Os resultados das análises para essas amostras foram obtidos através do método analítico ICP-MS como já mencionado, e podem ser verificados nas tabelas 6 e 7.

Na tabela 6 estão especificados os valores para óxidos maiores e menores (% em peso), perda ao fogo (*LOI-Loss on ignition*) e os respectivos limites de detecção (LD). A tabela 7 lista alguns dos elementos traço, juntamente com seus limites de detecção. Além destes, também foram analisados outros elementos traço, porém, não foram utilizados no trabalho por estarem abaixo do limite de detecção do método empregado.

Tabela 6 – Valores de óxidos maiores e menores (% em peso) obtidos para as amostras de rocha com seus respectivos limites de detecção.

Óxido (%)	Amostra ADZ	Amostra DGB	Amostra GRAN	Limite de Detecção (LD)
SiO ₂	3,77	1,4	72,67	0,01
Al ₂ O ₃	1,71	0,46	14,39	0,01
Fe ₂ O ₃ (T)	0,59	0,33	1,83	0,01
MnO	0,019	0,048	0,028	0,001
MgO	0,52	19,04	0,36	0,01
CaO	51,48	31,93	1,01	0,01
Na ₂ O	0,09	0,04	3,04	0,01
K ₂ O	0,27	0,02	5,07	0,01
TiO ₂	0,09	0,004	0,146	0,001
P ₂ O ₅	0,09	< 0,01	0,04	0,01
LOI	40,06	45,29	1,29	-
Total	98,7	98,56	99,86	-

Fonte: Autora

Tabela 7– Valores de elementos traço em partes por milhão (ppm) obtidos para as amostras de rocha com seus respectivos limites de detecção.

Amostra	Sc	Be	V	Ba	Sr	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Tb	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ADZ	2	22	9	123	1299	3	30	< 20	< 1	< 20	< 10	40	2	< 1	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,05	0,2	< 0,01
DGB	< 1	< 1	< 5	26	61	3	17	< 20	< 1	< 20	< 10	40	< 1	< 1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,05	0,1	< 0,01
GRAN	3	2	12	1557	208	10	124	< 20	2	< 20	< 10	40	16	1	0,3	0,3	1,1	0,18	1,3	0,2
LD	1	1	5	2	2	1	2	20	1	30	10	30	1	1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,01

Amostra	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Th	U	As	Rb	Nb	Ag	Sn	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
ADZ	0,7	< 0,1	< 1	0,1	10	0,2	0,5	6	22	1	0,5	< 1	0,7	2,6	4,9	0,58	2,3	0,6	0,16	0,5
DGB	0,4	< 0,1	48	< 0,1	20	< 0,1	< 0,1	< 5	< 2	< 1	< 0,5	< 1	< 0,5	1,2	1,9	0,22	0,9	0,1	0,06	0,2
GRAN	3,8	0,8	3	0,4	37	18,7	2,2	< 5	120	10	0,9	1	3	31,5	45,6	5,58	17,4	2,7	0,53	1,8
LD	0,2	0,1	1	0,1	5	0,1	0,1	5	2	1	0,5	1	0,5	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,53	0,1

Fonte: Autora.

7.3 Geoquímica elemental das amostras de água

Parte das amostras de água foram analisadas por ICP-MS no laboratório SGS Geosol Laboratórios LTDA, onde foram determinadas as concentrações de Ca, Cr, Cu, Mg, Na, Ni, Pb, Si, Tl e Zn em mg/L (tabela 8). Além destes, também foram analisados os elementos: Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, In, K, La, Li, Lu, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pd, Pr, Pt, Rb, Re, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn e Zr, porém, os resultados para estes elementos não foram utilizados por estarem abaixo do limite de detecção.

Tabela 8- Valores (em mg/L) das concentrações de elementos representativos das amostras de água e seus respectivos limites de detecção.

	Ca	Cr	Cu	Mg	Na	Ni	Pb	Si	Tl	Zn
P01	17,39	<0,05	0,02	5,66	6,13	<0,05	<0,08	8,5	0,03	<0,05
P02	<0,05	<0,05	0,05	<0,01	3,2	<0,05	0,1	13,2	0,02	0,1
P03	<0,05	0,14	<0,01	<0,01	3,81	<0,05	<0,08	9,9	<0,02	0,37
P05	52,57	<0,05	0,08	28,63	10,27	0,06	0,09	17,9	<0,02	0,4
P06	14,84	<0,05	0,1	20,81	18,2	0,09	0,11	8,5	<0,02	0,13
P07	7,27	<0,05	0,04	6,24	11,17	<0,05	0,08	26,8	<0,02	0,19
P08	1,12	<0,05	0,05	<0,01	5,36	<0,05	0,09	11,2	<0,02	0,19
LD(mg/L)	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,05	0,08	0,5	0,02	0,05

Fonte: Autora

Na tabela 9 estão especificadas as concentrações dos elementos Ca e Mg em mg/L para algumas amostras, determinadas por absorção atômica no laboratório LAQ-UFSM, para as quais não foram fornecidos os limites de detecção.

Tabela 9 - Valores das concentrações em mg/L de cálcio e magnésio para as amostras analisadas por absorção atômica.

Amostra	Ca	Mg
P04	20,65	24,09
P09	18,7	3,02
P10	34,55	3,47
P11	23	3,2
P12	14,7	3,09
P13	1,62	1,07

Fonte: Autora

7.4 Influência da rocha hospedeira na composição das águas

A partir dos resultados obtidos nas análises composicionais das amostras, buscou-se investigar a existência de correlação entre água-rocha no que tange as concentrações dos elementos analisados. Para uma melhor compreensão desses resultados, a tabela 5 e os mapas das figuras 2, 3 e 5 podem ser usados para conferência da unidade de cada amostra, e as tabelas 6, 7 e 8 para consulta das análises químicas de rocha e água.

7.4.1 Influência dos granitoides na composição química da água

Foram observadas diferenças significativas quanto às composições das águas de poços localizados na Suíte Granítica Caçapava do Sul:

- A amostra P01 possui teores de Ca (17,39 mg/L), Mg (5,66 mg/L), Na (6,13 mg/L) e Si (8,5 mg/L), além de concentrações de Cu (0,02 mg/L) e Tl (0,03 mg/L). Considerando que os biotita granitoides dessa unidade são caracterizados por conterem o plagioclásio mais cálcico (An_{14-32}), e seja pela presença de granada ou pela biotita ser o mineral máfico predominante (Nardi & Bitencourt, 1989), o alto teor de cálcio e considerável teor de magnésio, podem assim ser explicados. Os teores de sódio e silício, são provavelmente derivados dos feldspatos alcalinos (SZIKSZAY, M, 1993), e aqui cabe ressaltar para o caso do Si, que apesar de granitoides serem ricos em quartzo este fornece em geral quantidades traço desse elemento devido à sua alta

resistência ao intemperismo. Os metais pesados Cu e Tl podem estar relacionados à ocorrência de sulfetos hidrotermais.

- As amostras P02 e P03 possuem concentrações de Si (13,2 e 9,9 mg/L) e Na (3,2 e 3,81 mg/L), as quais são atribuídas às mesmas proveniências descritas no P01. Além destes, foram identificados metais pesados na amostra P02 que apresenta teores de Cu (0,05 mg/L), Pb (0,1 mg/L), Tl (0,02mg/L), Zn (0,1 mg/L), e na P03 que contém Cr (0,14 mg/L) e Zn (0,37 mg/L). Os elementos Cu e Pb, podem ser relacionados às mineralizações hidrotermais do Prospecto Faxinal localizado na borda nordeste do granito, descrito por Remus et al. (2000), o qual caracteriza ocorrência de galena e calcopirita. Nesse prospecto também ocorre pirita, o que possivelmente pode explicar as concentrações de tálio, visto que esse elemento raro pode ocorrer em pequenas quantidades nesse mineral (D’ORAZIO, M. et al., 2017).
- A amostra P08 possui ponto de amostragem de rocha próximo (amostra GRAN) , o que permite uma correlação de dados obtidos a partir das análises químicas. Para esse poço, a água apresentou conteúdos de Si (11,2 mg/L), Na(5,36 mg/L), Ca (1,12 mg/L), Zn (0,19 mg/L), Pb (0,09 mg/L) e Cu (0,05 mg/L). Conforme os resultados químicos de rocha apresentados nas tabelas 6 e 7, o elemento de maior abundância na água (Si) é também verificado em maior porcentagem em peso de óxido para a amostra de granada-biotita monzogranito GRAN (72,67% de SiO₂). O sódio em solução na água também possui porcentagem do elemento na rocha com 3,4% de Na₂O, seguido do cálcio com 1,01% de CaO. O chumbo e o zinco presente na rocha (37 e 40 ppm respectivamente) também sugerem fornecimento de quantidades proporcionais desses elementos para a água. Não é possível traçar uma relação entre os conteúdos de Cu, uma vez que o conteúdo desse elemento não foi determinado devido ao limite de detecção. Vale destacar, que apesar da considerável concentração de Al₂O₃ na rocha, o conteúdo de alumínio se mostrou baixo na água, fato que pode ser explicado devido à baixa mobilidade desse elemento na águas naturais (SZIKSZAY, 1993).

7.4.2 Influência dos mármore na composição química da água

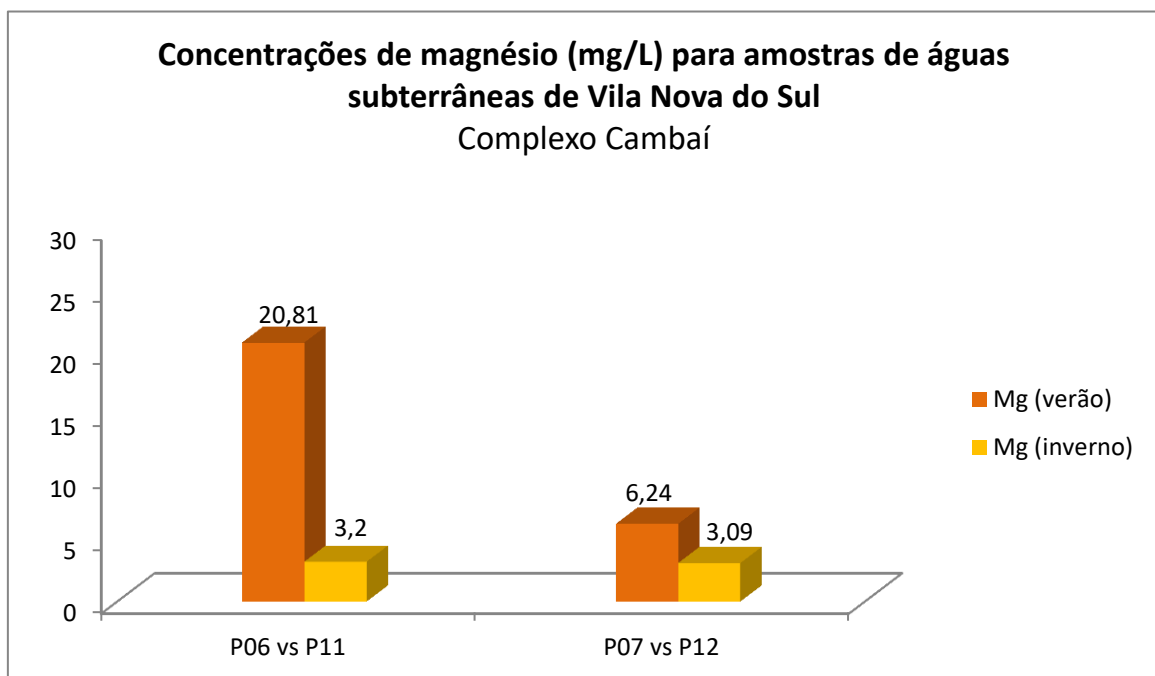
Nesse tópico serão abordadas as correlações, se houverem, entre as composições químicas das amostras de água obtidas em poços situados no Complexo Cambaí e Sequência Metamórfica Vacacaí, e as composições químicas dos mármore dessas unidades.

- A amostra P05 possui conteúdos de Ca (52,57 mg/L), Mg (28,3 mg/L), Si (17,9 mg/L), Na (10,27 mg/L), Cu (0,08 mg/L), Ni (0,06 mg/L), Pb (0,09 mg/L) e Zn (0,4 mg/L). Analogamente à P05, a amostra de mármore dolomítico impuro DGB apresenta altas concentrações de cálcio e magnésio, sendo que estes compreendem mais de 50% dos óxidos da sua composição: CaO (31,93%) e MgO (19,4%). A amostra DGB possui uma concentração de 1,2% de SiO₂, que não explica a alta concentração de silício na água. A origem desse elemento pode estar associada às porções do mármore com maiores conteúdos de impurezas silicáticas, ou até mesmo à Suíte Granítica Caçapava do Sul, uma vez que são comuns as ocorrências de diques e sills contemporâneos à essa unidade.
- As amostras P06 e P07 possuem concentrações significativas de Mg (20,81 e 6,24 mg/L), Ca (14,84 e 7,27 mg/L), Si (8,5 e 26,8 mg/L), Na (18,2 e 11,17), Zn (0,13 e 0,19 mg/L), Pb (0,11 e 0,08 mg/L), Cu (0,1 e 0,04 mg/L), e Ni (0,09 mg/L) restritamente para a amostra P06. A correlação água-rocha entre os elementos cálcio e magnésio são opostas para a amostra P06. A água evidencia maiores valores para o magnésio em relação ao cálcio, sendo que a porcentagem de MgO (0,52%) para a amostra ADZ, é extremamente menor do que o CaO (51,48%). Essa relação evidencia o fato de que as concentrações de Ca não são necessariamente maiores nas águas subterrâneas com influência de mármore calcíticos.

7.5 Comportamento sazonal dos elementos cálcio e magnésio

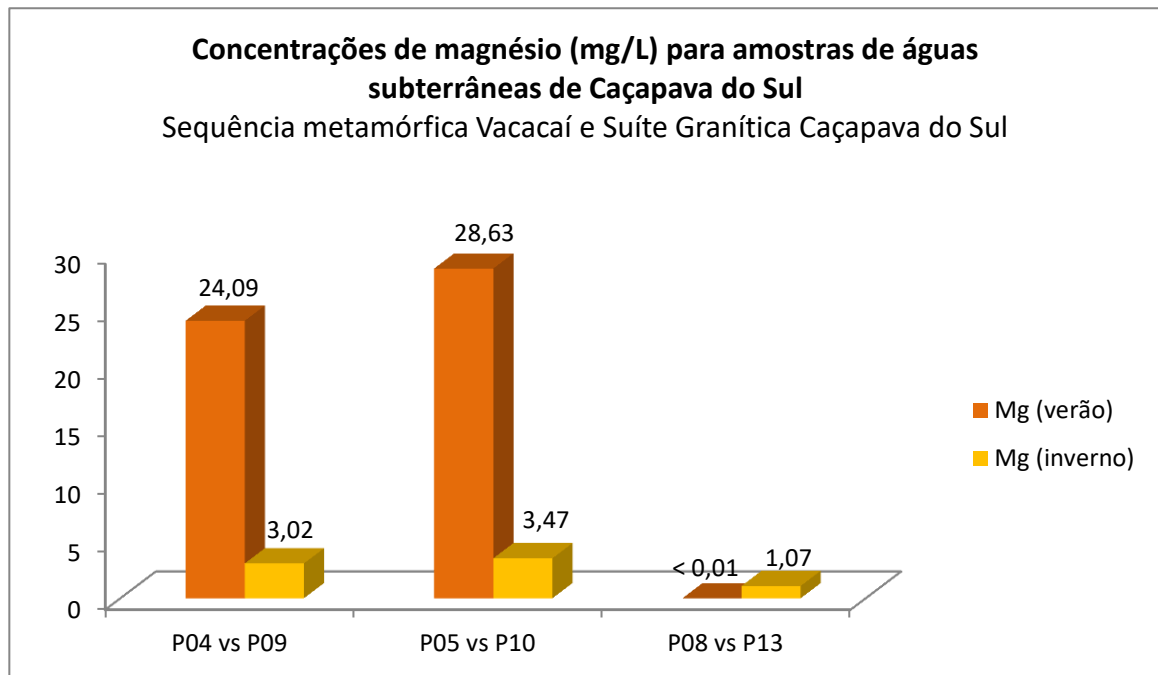
No que concerne às mudanças composicionais de acordo com a sazonalidade, apenas os elementos cálcio e magnésio puderam ser analisados, uma vez que somente estes possuem resultados analíticos para amostras coletadas em duas estações do ano distintas. Nas figuras 12, 13, 14 e 15, estão representados os histogramas de frequências das suas concentrações no verão e no inverno para ambos os municípios.

Figura 12 – Histograma de frequência das concentrações do elemento magnésio de acordo com a sazonalidade no município de Vila Nova do Sul.



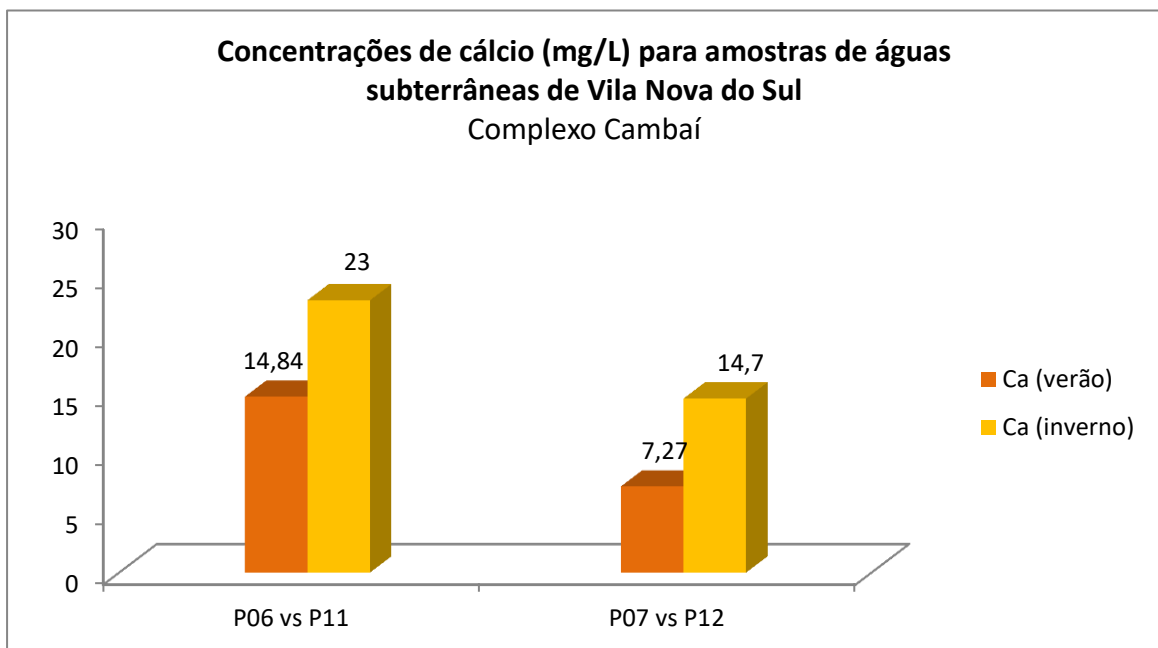
Fonte: Autora.

Figura 13– Histograma de frequência das concentrações do elemento magnésio de acordo com a sazonalidade no município de Caçapava do Sul.



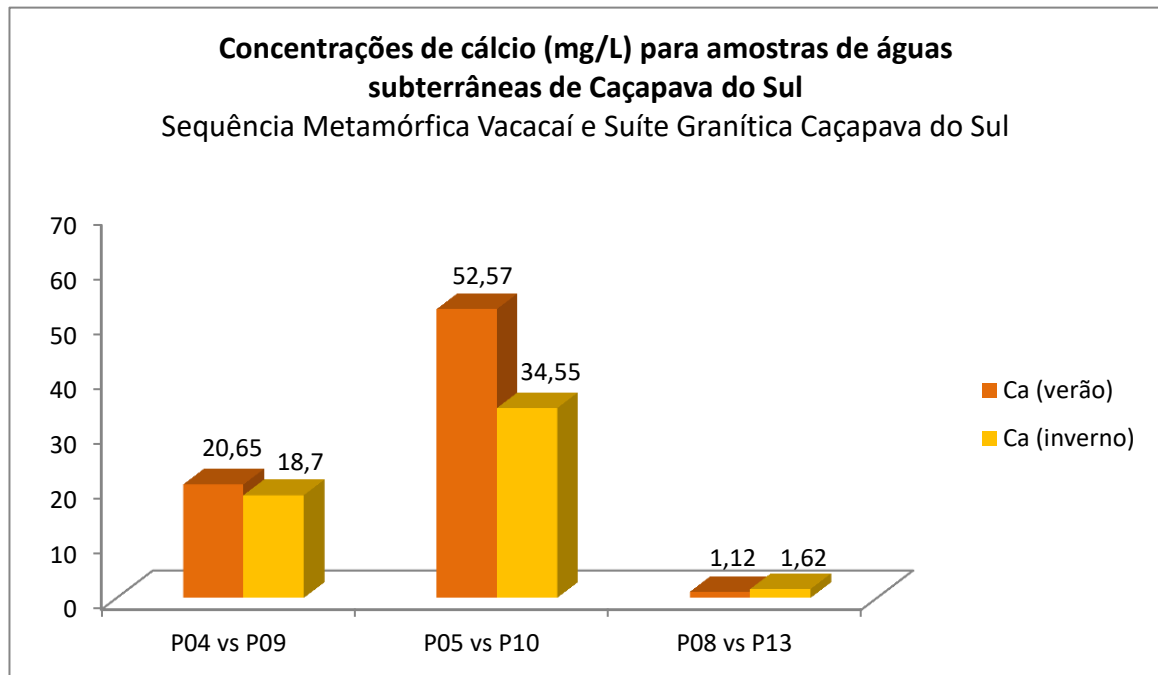
Fonte: Autora.

Figura 14– Histograma de frequência das concentrações do elemento cálcio de acordo com a sazonalidade no município de Vila Nova do Sul.



Fonte: Autora.

Figura 15 – Histograma de frequência das concentrações do elemento cálcio de acordo com a sazonalidade no município de Caçapava do Sul.



Fonte: Autora.

Os histogramas de frequência das figuras 12,13,14 e 15, permitem afirmar que variações sazonais significativas ocorrem entre as estações verão e inverno no que diz respeito as concentrações dos elementos cálcio e magnésio. Para tornar compreensivas essas variações, foram calculadas as diferenças percentuais tomando-se o verão como valores iniciais a serem comparados com os resultados para o inverno.

Foi possível observar que os resultados do elemento magnésio indicam variação sazonal na sua concentração em águas subterrâneas de ambos os municípios. Os valores são em média 67,6% menores no Complexo Cambaí (P6 vs P11 e P07 vs P12) e 87,7% menores na Sequência Metamórfica Vacacaí (P04 vs P09 e P05 vs P10) durante o inverno.

A diferença percentual entre as amostras P08 e P13 da Suíte Granítica Caçapava do Sul, não pôde ser realizada, posto que o resultado analítico do magnésio para o P08 foi abaixo do limite de detecção. Entretanto sabe-se que a concentração desse elemento é maior no inverno para este ponto.

Referente às concentrações do elemento cálcio, observou-se um aumento médio de 41,9% no inverno para amostras do Complexo Cambaí (P06 vs P11). Um comportamento

oposto desse elemento é observado para as amostras localizadas em pontos da Sequência Metamórfica Vacacaí (P04 vs P08 e P05 vs P10), onde há diminuição média de 24,9% da concentração do cálcio no inverno.

Os resultados do elemento cálcio das amostras P08 e P13 da Suíte Granítica Caçapava do Sul, indicam aumento de 30,9% no inverno.

Na tabela 10 Estão resumidas as diferenças percentuais entre amostras e as médias dessas diferenças para as unidades de seus aquíferos.

Tabela 10 – Diferenças percentuais nas concentrações de cálcio e magnésio entre as amostras comparadas, e diferenças médias percentuais para unidade do aquífero.

	Amostras comparadas	Diferenças em % do Mg	Diferenças em % do Ca	Média da unidade para Mg	Média da unidade para Ca
Complexo Cambaí	P06 vs P11	84,6%	35,5%	67,6%	41,9%
	P07 vs P12	50,5%	48,3%	diminuição no inverno	aumento no inverno
Sequência Metamórfica Vacacaí	P04 vs P09	87,5%	9,4%	87,7%	21,9%
	P05 vs P10	87,9%	34,3%	diminuição no inverno	diminuição no inverno
Suíte Granítica Caçapava do Sul	P08 vs P13	-	30,9%	Aumento no inverno	Aumento no inverno

Fonte: Autora.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

À luz dos resultados de concentrações obtidos para os elementos cálcio e magnésio, foi possível constatar variações sazonais significativas entre o verão e inverno nos aquíferos do Complexo Cambaí e Sequência Metamórfica Vacacaí:

- Essas duas unidades apresentam diminuição média de 67,6% e 87,7% respectivamente, para o elemento magnésio durante o inverno.
- Já as concentrações de cálcio revelaram um comportamento sazonal divergente para estes mesmos pontos. Houve um aumento médio de 41,9% no inverno para o Complexo Cambaí e uma diminuição média de 21,9% nesta estação para as amostras da Sequência Metamórfica Vacacaí.

As águas de poços localizados na Suíte Granítica Caçapava do Sul, revelaram aumento nas concentrações dos dois elementos durante o inverno.

De maneira geral, no que diz respeito à interação água-rocha, pode-se afirmar que existe uma correlação entre as assinaturas químicas das águas analisadas e as rochas à elas associadas.

As amostras de água coletadas na Suíte Granítica Caçapava do Sul, demonstraram uma relação direta entre as ocorrências de seus elementos e os óxidos e traço das suas amostras de rocha correlatas. A presença de alguns elementos foi associada às ocorrências minerais derivadas de hidrotermalismo associado à essa unidade.

As amostras de água coletadas nos mármores do Complexo Cambaí e Sequência Metamórfica Vacacaí, demonstraram altos conteúdos de Ca e Mg, que eram resultados esperados devido à influência das rochas carbonáticas do aquífero. Todavia observou-se em determinada amostra do Complexo Cambaí, que generalizações não são cabíveis, visto que a concentração maior do óxido de cálcio na amostra de rocha, não refletiu essa predominância na amostra de água, que apresentou maiores concentrações para o elemento magnésio.

9 REFERÊNCIAS

- BABINSK, M.; CHEMALE JR. F.; HARTMANN L.A.; VAN SCHMUS W.R.; SILVA L.C. Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil. **Geology**, 1996, n. 24, p. 439-442.
- BITENCOURT, M.F. **Geologia, petrologia, e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS**. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.
- BORTOLOTTO, O. J. Petrografia dos Mármore de Caçapava do Sul. Santa Maria: **Ciência e Natura**. Vol. 9. 1987. p.37-65
- CARVALHO, P. F.; Reconhecimento geológico do estado do Rio Grande do Sul, **Boletim do serviço geológico e mineralógico do Brasil**, Rio de Janeiro, n. 66, 1932.
- CHEMALE JR., F. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO- UFRGS, V, 2000. p. 13-52.
- CHEMALE JR., F.; HARTMANN, L.A.; SILVA, L.C. Stratigraphy and Tectonism of Brasiliano Cycle in Southern Brazil. **Communs geol. Surv. Namibia**, v.10, p. 151-166, 1995b.
- D'ORAZIO M., BIAGIONE C., DINI A., VEZZONI S. Thallium-rich pyrite ores from the Apuan Alps. *Mineralium Deposita*. v. 52, pp.687-707. 2017
- DUNNE T., LEOPOLD L. 1978. **Water in Environmental Planning**. New York: W.H. Freeman. 818p.
- FEITOSA, F.A. C., MANOEL FILHO, J., **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2ª edição. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. 391p.
- FERNANDES, L.A.D.; MENEGAT, R.; COSTA, A.F.U.; KOESTER, E.; KRAEMER, G.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C.; RAMGRAB, G.E.; CAMOZZATO, E. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, p. 351-374, 1995b.
- FRAGOSO-CESAR, A.R.S. O Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31 Balneário Camboriú, 1980. **Anais... Florianópolis: SBG**, 1980. V. 5, p.2679-2692.
- FRESCHI, G. P. G.; DAKUZAKU, C. S.; GOMES NETO, J. A. e MORAES, M. **Espectrometria de absorção atômica multielementar simultânea com atomização**

eletrotérmica em forno de grafite: uma revisão da técnica e aplicações. Volume 25. São Paulo: Eclética Química, 2000. 213-226 p.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR, F.; PHILIPP, R. P. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: IANUZZI, R. ; FRANTZ, J. C. (Edit.). **50 anos de Geologia:** Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. 399 p.

HEM, J.D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.** U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, (2254).1-263. (1985)

HOERLLE, G. S. **Interações e reações entre fluidos magmáticos e mármores de Vila Nova do Sul, RS.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2013.

LE MAITRE, R. W. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms. In: **Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks.** Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 252 p.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. Projeto **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: CPRM, 2005. 1 CD-ROM. Mapa color. Escala 1:750.000

MAGALHAES, V. S., **Hidroquímica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas Bacias dos Córregos Água Santa e Palmeiras, Município de Coronel Murta (MG),** Minas Gerais: UFMG, 2006.

M.V.D. Remus et al. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. **Journal of South America Earth Sciences.** Porto Alegre: 2000, n.13, p. 191-216, janeiro de 2000.

NARDI, L.V.S. & BITENCOURT, MF. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências,** 19:153-169. 1989.

NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F. Magmatismo granítico e Evolução Crústal no Sul do Brasil. In: IANUZZI, R. ; FRANTZ, J. C. (Edit.). **50 anos de Geologia:** Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. 399 p.

PHILIPP, R. P.; PIMENTEL, M.; CHEMALE JR. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. **Brazilian Journal of Geology,** 2016, n. 46, p. 83-104, 2016.

POLAND J. F.; LOFGREN B. E.; RILEY F. S. Glossary of selected terms useful in studies in the mechanisms of the aquifer systems and land subsidence due to fluid withdrawal. **U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper**, n. 2025, 1972. 9 p.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. C. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Cachoeira do Sul, Folha SH22-Y-A. Estado do Rio de Grande do Sul. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2000.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R, **Fundamentos de Química Analítica**. Tradução da 8ª edição. Boston: Editora Thomson, 2006.

SZIKSZAY, M; Geoquímica das águas subterrâneas. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, **Boletim IG-USP. Série Didática**; 1993. 165 p.

THOMAS, R. **Practical Guide to ICP-MS**. New York: Marcel Dekker Inc, 2004.

TODD, O.K. (1960) **Ground water hydrology**. 2ª edição. New York: John Wiley. 336p.

ANEXO 1 – Certificado de análises emitido pelo SGS Geosol Laboratórios LTDA.



SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.

CERTIFICADO DE ANÁLISES
GQ1704009
Dados do Cliente**Nome:** BEATRIZ ANDREA DE ALMEIDA MORALES**Attn.:** Beatriz Morales*UNIPAMPA**Endereço:** AV.Presidente Kennedy 1386 Apt 2 96.570-000 RS CACAPAVA DO SUL**Referência do Lote de Amostras****Ref. Cliente:** Pedido 03/11/2017**Produto:** AGUA**Projeto:** Default**Número de Amostras:** 7**Data do Recebimento:** 10/11/2017**Data de Envio:** 29/11/2017**Completado Em:** 29/11/2017**Referência Analítica****ICM00V:** Determinação por Leitura Direta em Licores Diversos - ICP OES / ICP MS**Legenda****L.D.** = Limite de Detecção**BLK** = Branco**REP** = Replicata**DUP** = Duplicata**L.N.R.** = Listado e não Recebido**I.S.** = Amostra Insuficiente**N.A.** = Não Analisado**STD** = Padrão**I.N.F.** = Não reportado devido a interferentes**OVR** = Não Analisado devido ao alto teor


Marcos Filipe Gonçalves Silva
CRQ II 02202046
Responsável Técnico

Os ensaios foram realizados na SGS GEOSOL Laboratórios Ltda. - Rodovia MG 010, Km 24,5 - Bairro Angicos - Vespasiano - MG - Brasil - CEP: 33.200-000
 Telefone +55 31 3045-0261 Fax +55 31 3045-0223 www.sgsgeosol.com.br
 Certificados ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004 (ABS 32982 e ABS 39911)

Os resultados expressos neste Certificado se referem somente ao material recebido. Proibida a reprodução parcial deste documento.



SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.

CERTIFICADO DE ANÁLISES
GQ1704009

Análises	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Ca
	ICM00V MG/L 0,03	ICM00V MG/L 0,5	ICM00V MG/L 0,1	ICM00V MG/L 0,1	ICM00V MG/L 10	ICM00V MG/L 5	ICM00V MG/L 0,1	ICM00V MG/L 0,20	ICM00V MG/L 0,05
P1 - Frigorífico	<0,03	<0,5	<0,1	<0,1	<10	<5	<0,1	<0,2	17,39
P2 - Indústria	<0,03	<0,5	<0,1	<0,1	<10	<5	<0,1	<0,2	<0,05
P3 - Fazenda Ba Hezan	<0,03	<0,5	<0,1	<0,1	<10	<5	<0,1	<0,2	<0,05
P6 - Dagoberto Associação	<0,03	<0,5	<0,1	<0,1	<10	<5	<0,1	<0,2	52,57
P8 - Andrezza	<0,03	<0,5	<0,1	<0,1	<10	<5	<0,1	<0,2	14,84
P9 - Andrezza	<0,03	<0,5	<0,1	<0,1	<10	<5	<0,1	<0,2	7,27
P10 - Fide gran	<0,03	<0,5	<0,1	<0,1	<10	<5	<0,1	<0,2	1,12
* REP P10 - Fide gran	<0,03	<0,5	<0,1	<0,1	<10	<5	<0,1	<0,2	1,02
Análises	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu
	ICM00V MG/L 0,03	ICM00V MG/L 0,05	ICM00V MG/L 0,05	ICM00V MG/L 0,05	ICM00V MG/L 0,05	ICM00V MG/L 0,01	ICM00V MG/L 0,007	ICM00V MG/L 0,005	ICM00V MG/L 0,005
P1 - Frigorífico	<0,03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,02	<0,007	<0,005	<0,005
P2 - Indústria	<0,03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,007	<0,005	<0,005
P3 - Fazenda Ba Hezan	<0,03	<0,05	<0,05	0,14	<0,05	<0,01	<0,007	<0,005	<0,005
P6 - Dagoberto Associação	<0,03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,007	<0,005	<0,005
P8 - Andrezza	<0,03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,10	<0,007	<0,005	<0,005
P9 - Andrezza	<0,03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,04	<0,007	<0,005	<0,005
P10 - Fide gran	<0,03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,007	<0,005	<0,005
* REP P10 - Fide gran	<0,03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,04	<0,007	<0,005	<0,005
Análises	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	In	K
	ICM00V MG/L 0,5	ICM00V MG/L 0,1	ICM00V MG/L 0,007	ICM00V MG/L 0,1	ICM00V MG/L 0,05	ICM00V MG/L 0,01	ICM00V MG/L 0,004	ICM00V MG/L 0,02	ICM00V MG/L 5
P1 - Frigorífico	<0,5	<0,1	<0,007	<0,1	<0,05	<0,01	<0,004	<0,02	<5
P2 - Indústria	<0,5	<0,1	<0,007	<0,1	<0,05	<0,01	<0,004	<0,02	<5
P3 - Fazenda Ba Hezan	<0,5	<0,1	<0,007	<0,1	<0,05	<0,01	<0,004	<0,02	<5
P6 - Dagoberto Associação	<0,5	<0,1	<0,007	<0,1	<0,05	<0,01	<0,004	<0,02	<5
P8 - Andrezza	<0,5	<0,1	<0,007	<0,1	<0,05	<0,01	<0,004	<0,02	<5
P9 - Andrezza	<0,5	<0,1	<0,007	<0,1	<0,05	<0,01	<0,004	<0,02	<5
P10 - Fide gran	<0,5	<0,1	<0,007	<0,1	<0,05	<0,01	<0,004	<0,02	<5
* REP P10 - Fide gran	<0,5	<0,1	<0,007	<0,1	<0,05	<0,01	<0,004	<0,02	<5
Análises	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Nd
	ICM00V MG/L 0,25	ICM00V MG/L 0,04	ICM00V MG/L 0,01	ICM00V MG/L 0,01	ICM00V MG/L 0,01	ICM00V MG/L 0,05	ICM00V MG/L 0,01	ICM00V MG/L 0,05	ICM00V MG/L 0,6
P1 - Frigorífico	<0,25	<0,04	<0,01	5,66	<0,01	<0,05	6,13	0,06	<0,6
P2 - Indústria	<0,25	<0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	3,20	<0,05	<0,6
P3 - Fazenda Ba Hezan	<0,25	<0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	3,81	<0,05	<0,6
P6 - Dagoberto Associação	<0,25	<0,04	<0,01	28,63	<0,01	<0,05	10,27	<0,05	<0,6
P8 - Andrezza	<0,25	<0,04	<0,01	20,81	<0,01	<0,05	18,20	<0,05	<0,6
P9 - Andrezza	<0,25	<0,04	<0,01	6,24	<0,01	<0,05	11,17	<0,05	<0,6
P10 - Fide gran	<0,25	<0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	5,36	<0,05	<0,6
* REP P10 - Fide gran	<0,25	<0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	5,22	<0,05	<0,6

Os ensaios foram realizados na SGS GEOSOL Laboratórios Ltda. - Rodovia MG 010, Km 24,5 - Bairro Angicos - Vespasiano - MG - Brasil - CEP: 33.200-000
 Telefone +55 31 3045-0261 Fax +55 31 3045-0223 www.sgsgeosol.com.br
 Certificados ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004 (ABS 32982 e ABS 39911)

Os resultados expressos neste Certificado se referem somente ao material recebido. Proibida a reprodução parcial deste documento.



SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.

CERTIFICADO DE ANÁLISES
GQ1704009

Análises	Ni	P	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Sb
	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V
	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
Método	0,05	0,01	0,08	0,1	0,015	0,1	0,2	0,1	0,1
Unidade									
Limite Detecção									
P1 - Frigorifico	<0,05	<0,01	<0,08	<0,1	<0,015	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1
P2 - Indulec	<0,05	<0,01	0,10	<0,1	<0,015	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1
P3 - Fazenda Be Hezan	<0,05	<0,01	<0,08	<0,1	<0,015	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1
P6 - Dagoberto Associação	0,06	<0,01	0,09	<0,1	<0,015	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1
P8 - Andrezza	0,09	<0,01	0,11	<0,1	<0,015	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1
P9 - Andrezza	<0,05	<0,01	0,08	<0,1	<0,015	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1
P10 - Fida gran	<0,05	<0,01	0,09	<0,1	<0,015	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1
* REP P10 - Fida gran	<0,05	<0,01	0,09	<0,1	<0,015	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1
Análises	Sc	Se	Si	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te
	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V
	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
Método	0,06	1	0,5	0,010	0,3	0,04	0,05	0,02	0,05
Unidade									
Limite Detecção									
P1 - Frigorifico	<0,06	<1	8,5	<0,01	<0,3	<0,04	<0,05	<0,02	<0,05
P2 - Indulec	<0,06	<1	13,2	<0,01	<0,3	<0,04	<0,05	<0,02	<0,05
P3 - Fazenda Be Hezan	<0,06	<1	9,9	<0,01	<0,3	<0,04	<0,05	<0,02	<0,05
P6 - Dagoberto Associação	<0,06	<1	17,9	<0,01	<0,3	<0,04	<0,05	<0,02	<0,05
P8 - Andrezza	<0,06	<1	8,5	<0,01	<0,3	<0,04	<0,05	<0,02	<0,05
P9 - Andrezza	<0,06	<1	26,8	<0,01	<0,3	<0,04	<0,05	<0,02	<0,05
P10 - Fida gran	<0,06	<1	11,2	<0,01	<0,3	<0,04	<0,05	<0,02	<0,05
* REP P10 - Fida gran	<0,06	<1	10,9	<0,01	<0,3	<0,04	<0,05	<0,02	<0,05
Análises	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb
	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V	ICM00V
	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
Método	0,05	1,25	0,02	0,003	0,01	0,1	0,25	0,05	0,1
Unidade									
Limite Detecção									
P1 - Frigorifico	<0,05	<1,25	0,03	<0,003	<0,01	<0,1	<0,25	<0,05	<0,1
P2 - Indulec	<0,05	<1,25	0,02	<0,003	<0,01	<0,1	<0,25	<0,05	<0,1
P3 - Fazenda Be Hezan	<0,05	<1,25	<0,02	<0,003	<0,01	<0,1	<0,25	<0,05	<0,1
P6 - Dagoberto Associação	<0,05	<1,25	<0,02	<0,003	<0,01	<0,1	<0,25	<0,05	<0,1
P8 - Andrezza	<0,05	<1,25	<0,02	<0,003	<0,01	<0,1	<0,25	<0,05	<0,1
P9 - Andrezza	<0,05	<1,25	<0,02	<0,003	<0,01	<0,1	<0,25	<0,05	<0,1
P10 - Fida gran	<0,05	<1,25	<0,02	<0,003	<0,01	<0,1	<0,25	<0,05	<0,1
* REP P10 - Fida gran	<0,05	<1,25	<0,02	<0,003	<0,01	<0,1	<0,25	<0,05	<0,1
Análises	Zn	Zr							
	ICM00V	ICM00V							
	MG/L	MG/L							
Método	0,05	0,04							
Unidade									
Limite Detecção									
P1 - Frigorifico	<0,05	<0,04							
P2 - Indulec	0,10	<0,04							
P3 - Fazenda Be Hezan	0,37	<0,04							
P6 - Dagoberto Associação	0,40	<0,04							
P8 - Andrezza	0,13	<0,04							
P9 - Andrezza	0,19	<0,04							
P10 - Fida gran	0,19	<0,04							
* REP P10 - Fida gran	0,21	<0,04							