



FABRICIO JOSÉ MONTICELLI SICULI

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DO MUNICÍPIO DE
QUARAÍ – RS**

PORTO ALEGRE

2018

FABRICIO JOSÉ MONTICELLI SICULI

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DO MUNICÍPIO DE
QUARAÍ – RS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Msc. Marcos Imério Leão
Supervisor: Prof. Dr. Nelson Amoretti Lisboa

PORTO ALEGRE
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Siculi, Fabricio José Monticelli
Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do município de Quaraí,
RS. / Fabricio José Monticelli Siculi. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.

[93 f.]

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal
do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências.
Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientador: Marcos Imério Leão

1. Hidrogeologia. 2. Hidroquímica. 3. Água-subterrânea. 4. Aquífero.
I. Título.

CDU 556.3

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Sônia Teresinha Duarte de Oliveira CRB 10/2310

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo apoio e compreensão durante a realização deste trabalho e pela oportunidade que me deram de estudar e chegar até aqui.

Aos professores Marcos Imério Leão e Nelson Amoretti Lisboa por aceitarem orientar esse trabalho, pelas inúmeras reuniões realizadas para discutir e aperfeiçoar o trabalho e por todo conhecimento passado por eles.

Aos meus colegas e amigos da Geologia por todos os momentos (bons e ruins) que passamos juntos. Os momentos de tensão nos estudos pré-prova, de estresse ao realizar trabalhos deixados para última hora e de não nos suportamos após 14 dias de campo com certeza não vão deixar saudade, mas serviram para mostrar que criamos uma boa amizade capaz de suportar isso. Já os momentos de conversas que sempre acabavam em besteiras (e sempre fomos bons nisso...), os almoços juntos no RU, os xingamentos gratuitos, as brincadeiras idiotas, os conselhos (muitas vezes errados) e até discussões sobre geologia certamente deixarão saudade.

Aos ex-colegas e ainda amigos que mantenho da Biologia, que não são muitos, mas certamente são os melhores. As aulas de docência no primeiro semestre, segunda-feira, 7h30 da manhã, que de bom só tivemos a oportunidade de começarmos a conversar. As festas que fomos que, boas ou ruins, acabavam sendo boas pois entrávamos sem pagar. As conversas que tivemos no bom e velho lugar de beber da CB. Aos carnavais e ano-novo que passamos bebendo com qualidade e aprendendo que ressaca é causada por bebidas ruins e não pela quantidade bebida. E espero que apesar da “traíragem” a amizade continue por muito tempo.

A todos os professores e professoras que tive ao longo do curso que, de alguma forma, passaram algum aprendizado.

E por fim, ao Instituto de Geociências da UFRGS pelo apoio técnico e logístico, sem o qual não seria possível realizar esse trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar a hidrogeologia e hidroquímica do município de Quaraí, situado na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Embora abundante no planeta, apenas 2,5% da água é doce e dessa porcentagem 30,1% são encontradas em reservas subterrâneas. Com a constante degradação dos recursos hídricos superficiais, por essa região possuir grande parte da água utilizada proveniente de aquíferos da região e por possuir uma forte atividade agropecuária, um detalhamento da hidrogeologia da região contribuirá para futuras captações, gestão e proteção deste recurso. Geologicamente a área de estudo está situada na formação Botucatu e Formação Serra Geral e hidrogeologicamente encontram-se o Sistema Aquífero Serra Geral e o Sistema Aquífero Guarani, sendo que as bacias que abastecem a região são a Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí e Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí. A metodologia deste trabalho consistiu em pesquisa bibliográfica; inventário de novos poços não cadastrados nas pesquisas; utilização de fotos aéreas, imagens de modelo numérico de terreno e Landsat para caracterização da área; trabalho de campo onde foi realizado descrições geológicas, análises de parâmetros físico-químicos, sendo eles condutividade elétrica, temperatura, pH, salinidade e total de sais dissolvidos; e realização de coleta de águas para análise em laboratório afim de complementar as análises já existentes. Como resultados foram obtidos mapas geológico, geomorfológico, da rede de drenagem, hidrogeológico, piezométrico e hipsométrico; classificação hidroquímica das águas do município e utilizando-se dos dados anteriores o mapa de favorabilidade hidrogeológica de Quaraí.

Palavras-Chave: Hidrogeologia; Hidroquímica; Água subterrânea

ABSTRACT

This study aims to characterize the hydrogeology and the hydrochemistry of the town of Quaraí, located in the west frontier of Rio Grande do Sul, Brazil. Although abundant on the planet, only 2.5% of the water is fresh water and out of this percentage, 30.1% is found in underground reservoirs. With the constant degradation of surface water resources, for this region has a large part of the water used from aquifers in the region and it has a strong agricultural and livestock activity, a detailed hydrogeology of the region will contribute to future capture, management and protection of this resource. Geologically, the study area is located in the Botucatu Formation and Serra Geral Formation and, hydrogeologically, the Serra Geral Aquifer System and the Guarani Aquifer System are found within the area, being the basins that supply the region the Quaraí River Basin and the Ibicuí River Basin. The methodology of this study consists of bibliographical research; inventory of new wells not registered in the surveys; use of aerial photographs, digital terrain model images and Landsat to characterize the area; field work where geological descriptions were carried out, analyses of physical and chemical parameters, being: electrical conductivity, temperature, pH, salinity and total dissolved salts; and water collection for analysis in laboratory in order to complement the existing analyses. As results were obtained geological, geomorphological, drainage, hydrogeological, piezometric and hypsometric maps; hydrochemical classification of the waters of the municipality and using the previous data the map of hydrogeological favorability of Quaraí.

Keywords: Hydrogeology; Hydrochemistry; Underground water

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Gráfico representando a porcentagem de água no Planeta Terra (modificado de World Water Assessment Programme (WWAP), 2006) | 17 |
| Figura 2. Mapas de localização da área de estudo (mapas feito a partir de arquivos vetoriais e mapa político-administrativo publicados pelo IBGE)..... | 18 |
| Figura 3. Mapa geológico da Bacia do Paraná com as seis supersequências identificadas (MILANI, 1997)..... | 22 |
| Figura 4. Mapa das unidades litoestratigráficas Mesozóicas do Rio Grande do Sul, contento a Formação Guará (modificado de SCHERER <i>et al.</i> 2000)..... | 23 |
| Figura 5. Distribuição das rochas da Formação Serra Geral na Bacia do Paraná. (Modificado de FRANK <i>et al.</i> , 2006)..... | 25 |
| Figura 6. Tipos de porosidade, tipos de aquíferos e modelos de rochas fraturadas (modificado de KOVALEVSKI <i>et al.</i> 2004). | 27 |
| Figura 7. Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul separado nos seis grupos de aquíferos (Modificado de MACHADO; FREITAS, 2005). | 28 |
| Figura 8. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí (SEMA, 2008) | 31 |
| Figura 9. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí (SEMA, 2008)..... | 32 |
| Figura 10. Mapa de isoietas das precipitações medias anuais no estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005) | 34 |
| Figura 11. Mapa contendo a localização dos poços da plataforma SIAGAS presentes no município de Quaraí (Fonte: elaborado pelo autor)..... | 36 |
| Figura 12. Imagens MNT (A - EMBRAPA e B - SRTM) e Landsat (C) georreferenciadas para serem utilizadas na confecção dos mapas (Compilado de: MIRANDA, 2005).. | 42 |
| Figura 13. Exemplo de uma das fotos aéreas na escala 1:60.000 utilizadas na confecção dos mapas. Acima a esquerda encontra-se a zona urbana do município de Quaraí (Fonte: Biblioteca IGEO) | 43 |
| Figura 14. Na esquerda: anaglifos gerados pelo software Anamaker através da sobreposição de duas fotos aéreas. No centro: lineamentos traçados. Na direita: divisão das unidades Formação Botucatu e Formação Serra Geral (Fonte: elaborado pelo autor). | 44 |
| Figura 15. Disposição dos anaglifos após serem georreferenciados. A região de interesse Cerro do Jarau encontra-se no canto superior esquerdo, o Domo da Boa | |

| | |
|---|----|
| Vista na região central do município e a região aflorante da Formação Botucatu na porção inferior esquerda do município (Fonte: elaborado pelo autor). | 44 |
| Figura 16. Perfil esquemático mostrando a diferença entre a cota topográfica, medidas de nível estático da plataforma SIAGAS e cota piezométrica calculada (Fonte: elaborado pelo autor). | 45 |
| Figura 17. Perfil estrutural de direção Leste-Oeste, baseado em perfis de poços, com extensão de 30km, mostrando o movimento vertical relativo dos blocos morfoestruturais e a cota piezométrica de alguns poços na área de estudo (Fonte: elaborado pelo autor). | 48 |
| Figura 18. Perfil estrutural de direção NW - SE, baseado em perfis de poços, com extensão de 8km, mostrando o movimento vertical relativo dos blocos morfoestruturais e a cota piezométrica de alguns poços na área de estudo (Fonte: elaborado pelo autor). | 49 |
| Figura 19. Mapa demarcando os três níveis de derrames da Formação Serra Geral, marcados como A, B e C (modificado de: MIRANDA, 2005) | 52 |
| Figura 20. Mapa Geológico do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor) | 54 |
| Figura 21. Divisão dos domínios morfoestruturais para o estado do Rio Grande do Sul, com destaque para o Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares e localização da área de pesquisa (modificado de: IBGE, 1986). | 56 |
| Figura 22. Divisão das regiões geomorfológicas do estado do Rio Grande do Sul, com destaque pra Região Geomorfológica do Planalto da Campanha e localização da área de pesquisa (modificado de: IBGE. 1986). | 57 |
| Figura 23. Divisão das unidades geomorfológicas do estado do Rio Grande do Sul, com destaque para a Unidade Geomorfológica do Planalto de Uruguaiana (modificado de: IBGE, 1986). | 57 |
| Figura 24. Mapa Geomorfológico do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor) | 61 |
| Figura 25. Exemplos de texturas de drenagem do tipo treliça de falha (A), textura grossa (B) e textura fina (C) (Fonte: elaborado pelo autor). | 62 |
| Figura 26. Padrão regional de drenagem radial centrifugo, distribuindo os canais a partir do Domo da Boa Vista do Garupá e padrão local radial centrípeto no Cerro do Jarau (Fonte: elaborado pelo autor). | 63 |

| | |
|--|----|
| Figura 27. Mapa da Rede de Drenagem do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor) | 64 |
| Figura 28. Mapa Hidrogeológico do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor) | 66 |
| Figura 29. Mapa Hipsométrico do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor) | 68 |
| Figura 30. Diagrama de Piper com as amostras utilizadas para classificação plotadas. Em verde as amostras de poços que captam água apenas do SASG, em amarelo que captam do SAG, em azul dos dois sistemas de aquíferos e em preto análises sem informação da litologia (Fonte: software QualiGraf). | 71 |
| Figura 31. Diagrama de Schoeller e Berkaloff onde é possível visualizar um padrão de águas do SAG (linhas amarelas), um padrão de águas do SASG (linhas verdes) e um padrão das águas mistas (linhas azuis). A linhas cinza representam poços que não possuem informação litológica (Fonte: software QualiGraf). | 72 |
| Figura 32. Classificação das águas para uso na irrigação (Fonte: software Qualigraf) | 74 |
| Figura 33. Mapa de localização dos novos poços cadastrados (Fonte: elaborado pelo autor). | 74 |
| Figura 34. Ficha de cadastro realizada para os três novos poços encontrados..... | 75 |
| Figura 35. Mapa de Favorabilidade para Água Subterrânea do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor)..... | 77 |

LISTA DE FOTOS

| | |
|--|----|
| Foto 1. Descrição geológica sendo realizada em um talude de um corte de estrada na BR-293 (Foto: Marcos Leão)..... | 37 |
| Foto 2. Sonda multi-parâmetros sendo utilizada para medir parâmetros físico-químicos da água de um dos poços visitados (Foto: Marcos Leão). | 38 |
| Foto 3. Nível estático do poço sendo medido com a sonda a qual possui sensor elétrico que indica o momento em que a ponta toca na água (Foto: Marcos Leão). | 39 |
| Foto 4. Frascos disponibilizados pelos laboratórios para a coleta da água juntamente com as caixas de isopor utilizadas para o armazenamento (Foto: Marcos Leão). | 40 |
| Foto 5. Água sendo coletada em um dos frascos diretamente na saída do poço (Foto: Marcos Leão). | 41 |
| Foto 6. Zona de falha no limite de um bloco morfoestrutural de basalto (Foto: Marcos Leão). | 47 |
| Foto 7. Amostra de arenito fino, bem selecionado, de cor bege esbranquiçada, com grãos arredondados, composição quartzosa e bem cimentado. Rocha pertencente a Formação Guará e encontrada na parte central da estrutura de impacto do Cerro do Jarau (Foto: autor)..... | 50 |
| Foto 8. Marcas de onda no arenito da Formação Botucatu, ressaltadas pelo intemperismo (Foto: Marcos Leão)..... | 51 |
| Foto 9. Afloramento em corte de estrada onde observa-se disjunções colunares que marcam a zona central de derrames basálticos (Foto: Marcos Leão)..... | 53 |
| Foto 10. Amostra de brecha hidráulica basáltica preenchida com calcita. (Foto: autor) | 53 |
| Foto 11. Front de cuesta no Domo da Boa Vista do Garupá, foto tirada do núcleo do domo em direção a SW, onde os pacotes do reverso da cuesta possuem mergulho para SW (Foto: Marcos Leão). | 58 |
| Foto 12. Front de hogback no Cerro do Jarau, foto tirada do núcleo do cerro em direção a NE, onde os pacotes do reverso possuem mergulho para NE (Foto: Marcos Leão). | 58 |
| Foto 13. Planície aluvial do Arroio Garupá, foto tirada do Cerro do Jarau em direção a NW (Foto: Marcos Leão). | 59 |
| Foto 14. Colina baixa, foto tirada nas proximidades do Cerro do Jarau em direção a SE (Foto: Marcos Leão). | 60 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de análises químicas da plataforma SIAGAS, análises disponibilizadas pela Corsan e análises de amostras coletadas em campo.70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| CORSAN | Companhia Riograndense de Saneamento |
| CPRM | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| DNPM | Departamento Nacional de Produção Mineral |
| DRH | Departamento de Recursos Hídricos |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| FUNCEME | Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPH | Instituto de Pesquisas Hidráulicas |
| LIP | <i>Large Igneous Province</i> |
| MNT | Modelo Numérico de Terreno |
| SAG | Sistema Aquífero Guarani |
| SASG | Sistema Aquífero Serra Geral |
| SEMA | Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável |
| SIAGAS | Sistema de Informação de Águas Subterrâneas |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| SRTM | <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> |
| STD | Sólidos Totais Dissolvidos |
| USSL | <i>United States Salinity Laboratory</i> |
| UTM | Universal Transversa de Mercator |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Cadastro de poços SIAGAS encontrados em Quaraí | 85 |
| Anexo 2. Laudos das amostras de água coletadas em campo | 90 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 16 |
| 1.1. Localização da área | 17 |
| 1.2. Caracterização do problema | 18 |
| 2. OBJETIVOS..... | 20 |
| 2.1. Objetivo Geral | 20 |
| 2.2. Objetivos específicos | 20 |
| 3. ESTADO DA ARTE | 21 |
| 3.1. Geologia Regional..... | 21 |
| 3.1.1. Bacia do Paraná..... | 21 |
| 3.1.2. Formação Guará | 22 |
| 3.1.3. Formação Botucatu | 24 |
| 3.1.4. Formação Serra Geral..... | 24 |
| 3.1.5. Sedimentos do Quaternário..... | 25 |
| 3.2. Hidrogeologia Regional..... | 26 |
| 3.2.1. Conceitos básicos | 26 |
| 3.2.2. Hidrogeologia do Rio Grande do Sul..... | 27 |
| 3.2.3. Sistema Aquífero Guarani | 29 |
| 3.2.4. Sistema Aquífero Serra Geral | 29 |
| 3.2.5. Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí..... | 30 |
| 3.2.6. Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí | 31 |
| 3.3. Hidroquímica Regional..... | 32 |
| 3.4. Caracterização da Precipitação | 33 |
| 4. METODOLOGIA | 35 |
| 4.1. Pesquisa Bibliográfica..... | 35 |
| 4.2. Cadastro de Poços..... | 35 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.3. | Trabalho de Campo | 36 |
| 4.4. | Análise química da água | 39 |
| 4.5. | Confecção dos mapas | 41 |
| 5. | RESULTADOS | 46 |
| 5.1. | Geologia da Área | 46 |
| 5.1.1. | Lineamentos e Blocos Morfoestruturais | 46 |
| 5.1.2. | Litologias | 50 |
| 5.2. | Geomorfologia..... | 55 |
| 5.2.1. | Unidades do mapa geomorfológico..... | 58 |
| 5.3. | Rede de Drenagens | 62 |
| 5.4. | Hidrogeologia | 65 |
| 5.5. | Mapa Hipsométrico | 67 |
| 5.6. | Hidroquímica | 69 |
| 5.7. | Novos Poços Cadastrados..... | 74 |
| 5.8. | Mapa de favorabilidade hidrogeológica..... | 76 |
| 6. | CONCLUSÃO | 78 |
| 7. | REFERÊNCIAS | 80 |
| 8. | ANEXOS..... | 85 |
| | Anexo 1. Cadastro de poços SIAGAS encontrados em Quaraí | 85 |
| | Anexo 2. Laudos das amostras de água coletadas em campo | 90 |

1. INTRODUÇÃO

A água é o elemento fundamental para a vida em nosso planeta, sendo ela de extrema importância para todos os seres vivos que habitam o planeta Terra. Estamos tão habituados com a abundante presença da água, que apenas vamos dar conta da sua importância quando nos fizer falta. Essa abundância conduziu as populações para uma exploração da água, levando ao uso não-sustentável deste recurso natural. A escassez de água já é um problema atual em muitos lugares e pode vir a ser em muitos outros, causando grandes problemas ambientais, sociais e econômicos.

Já a água subterrânea não tem sua importância devidamente reconhecida pela grande maioria da população, muito talvez, pelo não entendimento de como funcionam aquíferos, de como a água é armazenada nestes sistemas, da capacidade de armazenamento deles, da influência que fatores externos e antrópicos tem sobre as águas subterrâneas, entre outros. Contudo, devido a constante degradação dos recursos hídricos superficiais, o uso de água subterrânea vem se tornando cada vez mais frequente.

Em função deste aumento do consumo e a falta de reconhecimento da sua importância, a água subterrânea vem sendo submetida a um consumo sem controle que, em alguns casos, tem levado ao esgotamento de aquíferos. Em muitos lugares, a oferta de água superficial não supre a demanda, causando problemas no desenvolvimento de certas regiões, desse modo aumentando muito a procura pela água subterrânea. Essa exploração inadequada pode causar “acomodações” das rochas do aquífero, causando sismos, subsidência e colapso do terreno.

Embora seja abundante, a água doce representa uma pequena porcentagem do total de água do planeta, apenas 2,5%. Dessa pequena parte de água doce, reservas subterrâneas destacam-se por representar 30,1% do disponível no planeta, 0,4% são de águas superficiais, como rios e lagos e 68,7% encontra-se em geleiras (WWAP, 2006) (Figura 1).

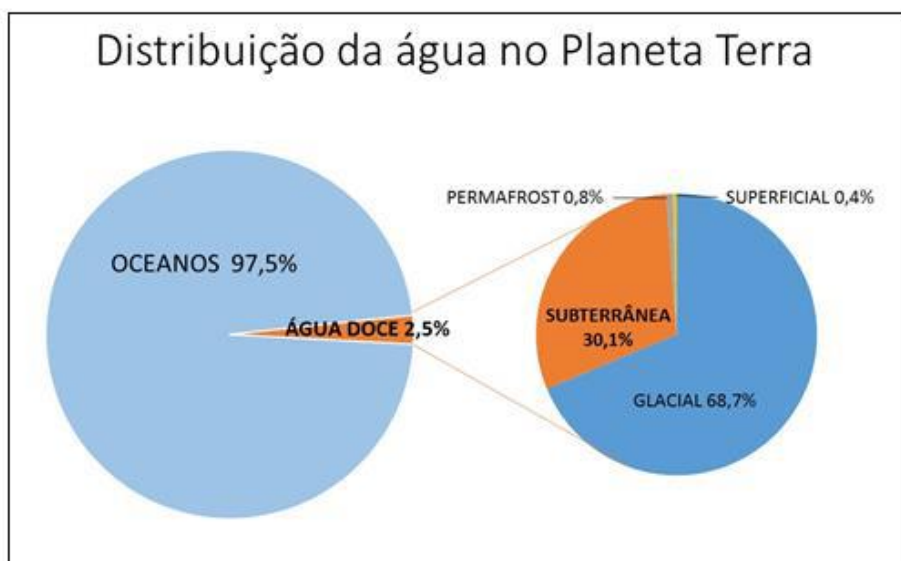


Figura 1. Gráfico representando a porcentagem de água no Planeta Terra (modificado de World Water Assessment Programme (WWAP), 2006)

1.1. Localização da área

A área de estudo está localizada no município de Quaraí, situado na Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Estando em uma altitude média de 112 metros. Possui área de 1.298 Km², população estimada em 22.770 habitantes (censo IBGE) e está limitada a noroeste pelo município de Uruguaiana, ao sul pelo município de Santana do Livramento, a leste pelos municípios de Rosário do Sul e Alegrete e a sudoeste pelo distrito de Artigas, localizada na República Oriental do Uruguai (Figura 2). O município tem como limite oeste o Rio Quaraí, curso de água afluente do rio Uruguai e que marca a fronteira entre Brasil e Uruguai.

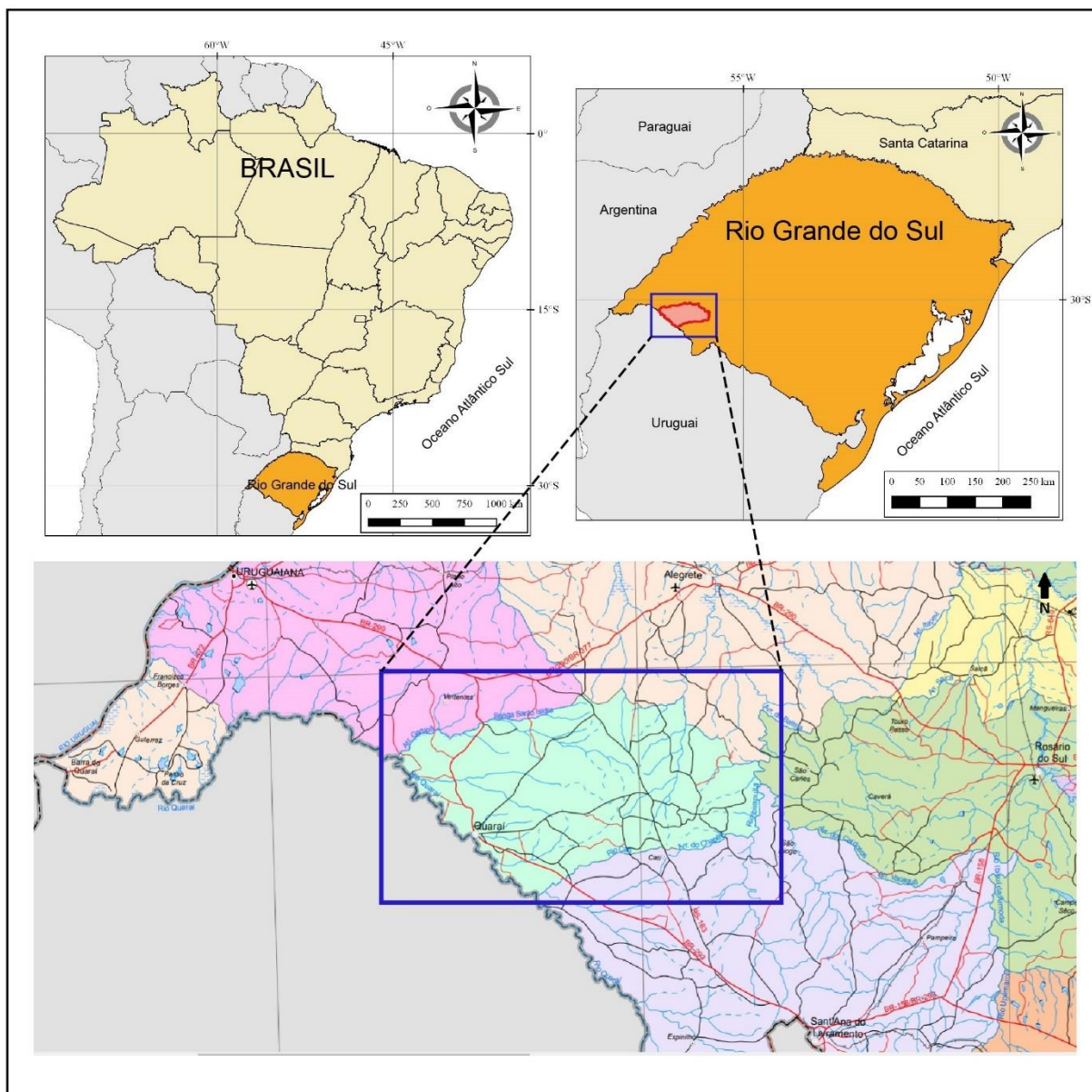


Figura 2. Mapas de localização da área de estudo (mapas feito a partir de arquivos vetoriais e mapa político-administrativo publicados pelo IBGE).

1.2. Caracterização do problema

Na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, os aquíferos vêm sendo intensamente explorados, abastecendo parcialmente ou até totalmente as cidades, entretanto não existe um estudo de detalhes sobre a hidrogeologia e hidroquímica dos mesmos.

A economia do município de Quaraí é fortemente baseada na pecuária, o plantio de arroz também é uma importante atividade econômica da região e ocupa área superior a 8.500 hectares (dados da prefeitura de Quaraí). Sendo essas atividades grandes consumidoras de água, a necessidade de caracterizar com mais detalhes a hidrogeologia da região torna-se cada vez mais necessária.

Em Quaraí encontramos dois importantes aquíferos, o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e o Sistema Aquífero Guarani (SAG). Aquíferos são mostrados na mídia como grandes reservas de água subterrânea, porém entendidos erroneamente na sociedade como um grande mar subterrâneo, com fluxo contínuo e homogêneo. É importante observar que este recurso hídrico não está uniformemente distribuído no subsolo, em uma mesma região, podemos ter grandes variações de vazão de poços em distâncias muito pequenas. O geólogo, como melhor entendedor do substrato, tem o papel de esclarecer o funcionamento dos aquíferos para a sociedade.

O SASG e o SAG ainda não estão caracterizados em toda sua extensão e seu uso ainda é feito sem o conhecimento das consequências que sua exploração pode causar. Os dados de poços, apesar de possuírem bons números, ainda não são centralizados, estando espalhados por órgãos públicos e empresas privadas, dificultando um uso integrado dessas informações. Existem também muitos poços particulares perfurados sem outorga e que não são cadastrados, que podem interferir no nível do aquífero, causando rebaixamento de poços próximos, podendo influenciar na captação de poços regularizados.

Visto a escassez de informações hidrogeológicas da área, que se restringe a trabalhos regionais, detalhar a hidrogeologia de Quaraí, poderá fornecer informações que servirão para o desenvolvimento de atividades como captação, gestão e proteção desse recurso.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é caracterizar a hidrogeologia e hidroquímica do município de Quaraí, RS.

2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Cadastrar novos poços na região, caso sejam encontrados.
- Elaborar mapa geológico, descrever as unidades geológicas, estruturais e morfoestruturais.
- Elaborar mapa geomorfológico e descrever as unidades geomorfológicas.
- Elaborar mapa da rede de drenagem, classificar padrões e texturas da drenagem.
- Elaborar mapa hidrogeológico, analisar a distribuição das linhas isopiezométricas e direções gerais de fluxo.
- Utilizando-se dos dados anteriores, elaborar um mapa prognóstico indicando as zonas de favorabilidade hidrogeológica da região de estudo.
- Classificar hidroquimicamente as águas estudadas.

3. ESTADO DA ARTE

3.1. Geologia Regional

3.1.1. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma ampla região vulcano sedimentar que cobre uma área de aproximadamente 1.500.000 Km² e está localizada em toda porção centro-oriental da América do Sul, estendendo-se para Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai (Figura 3). Possui forma oval com eixo maior na direção Norte-Sul e o seu contorno atual é definido por bordas erosivas relacionadas a geotectônica cenozoica. É uma bacia sedimentar com eventos magmáticos e encontra-se em sua totalidade inclusa na placa sul-americana, não apresentando relacionamento direto com as margens dessa placa, sendo essa a definição básica de bacia intracratônica (MILANI, *et al.*, 2007).

Faccini (1989) compartimentou o pacote Mesozoico da Bacia do Paraná em quatro sequências deposicionais, sendo elas: Sequência I (Formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral), Sequência II (Fm. Santa Maria e porção inferior da Fm. Caturrita), Sequência III (porção superior da Fm. Caturrita ou Arenito da Mata) e Sequência IV (Fm. Botucatu e Fm. Serra Geral).

Milani (1997) dividiu o registro estratigráfico dessa bacia em seis supersequências que representam intervalos de evolução tectônica da bacia. As seis supersequências são: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carvonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico) e Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo). Sendo as três primeiras supersequências representadas por ciclos transgressivo-regressivo relacionado a oscilações do nível relativo do mar no Paleozóico e as demais supersequências correspondem a pacotes de sedimentos continentais associados a rochas ígneas.

As unidades litoestratigráficas identificadas na área de estudo são: Guará, Botucatu, Serra Geral e sedimentos do Quaternário.

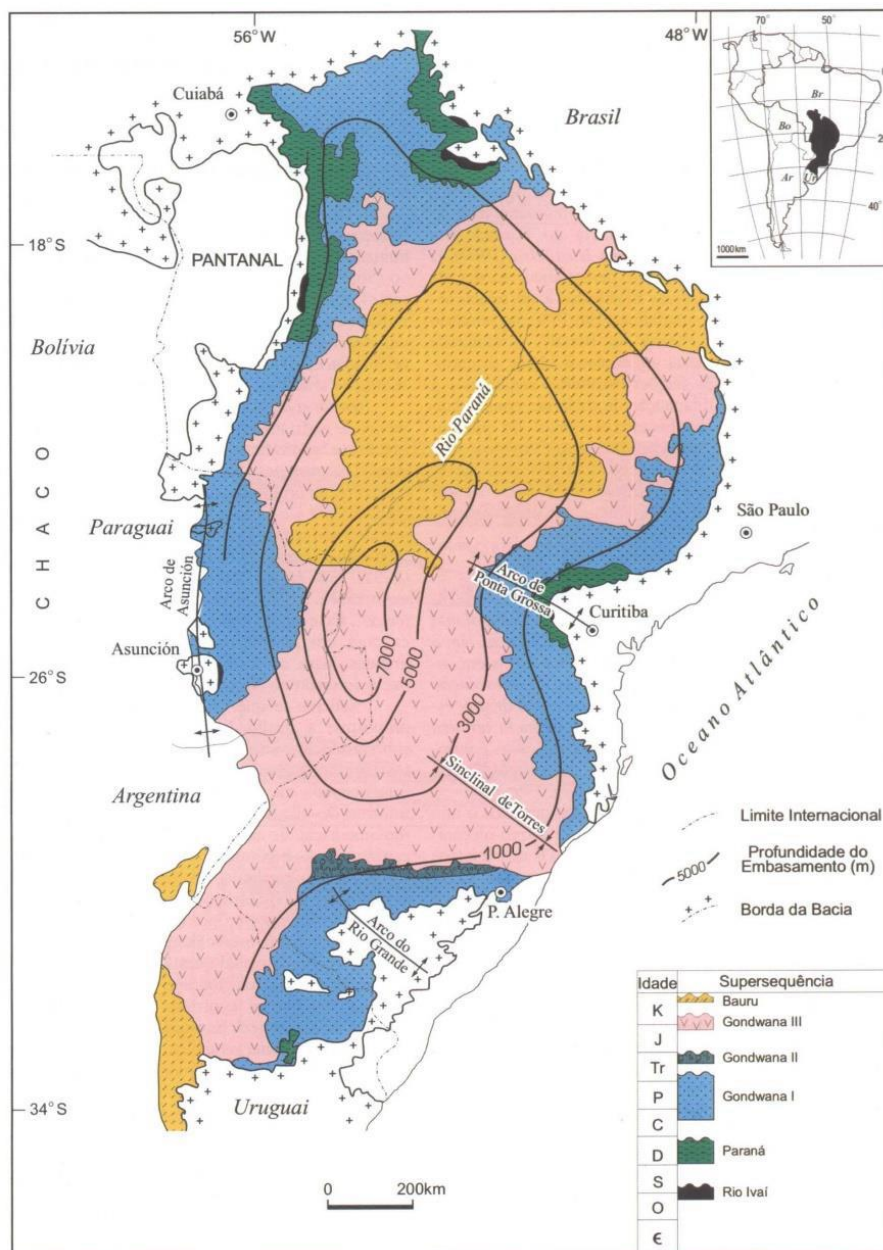


Figura 3. Mapa geológico da Bacia do Paraná com as seis supersequências identificadas (MILANI, 1997).

3.1.2. Formação Guarú

A Formação Guarú foi descrita pela primeira vez como Aloformação Guarú por Scherer e Lavina (1997). Anteriormente a maioria das colunas estratigráficas mostravam a Formação Botucatu como único preenchimento de todo o intervalo

Jurássico. Ela ocorre na margem sul da Bacia do Paraná, na divisa do Rio Grande do Sul com o Uruguai e com a Argentina (Figura 4). Ela é caracterizada por um pacote de arenitos quartzosos esbranquiçados, situado entre as Formações Sanga do Cabral e Botucatu.

A Formação Guarú possui uma mudança de fácies ao longo das faixas aflorantes, ao norte é caracterizada por arenitos grossos a conglomeráticos e pelitos, estes depositados em um sistema fluvial entrelaçado. Ao sul, é caracterizada por arenitos médios a finos, depositados em um sistema eólico (SCHERER *et al.*, 2000).

Scherer e Lavina (2005) dividem a Formação Guarú em quatro associações de fácies distintas, e são elas: arenitos com estratificação cruzada de grande porte, arenitos com estratificações horizontalizadas, pelito laminado com arenito maciço e arenitos médios a muito grossos estratificados. Também acreditam que a formação esteja limitada ao norte por um sistema de falhas de direção NW e que possa atingir até 120m de espessura, possuindo uma espessura média de 60m.

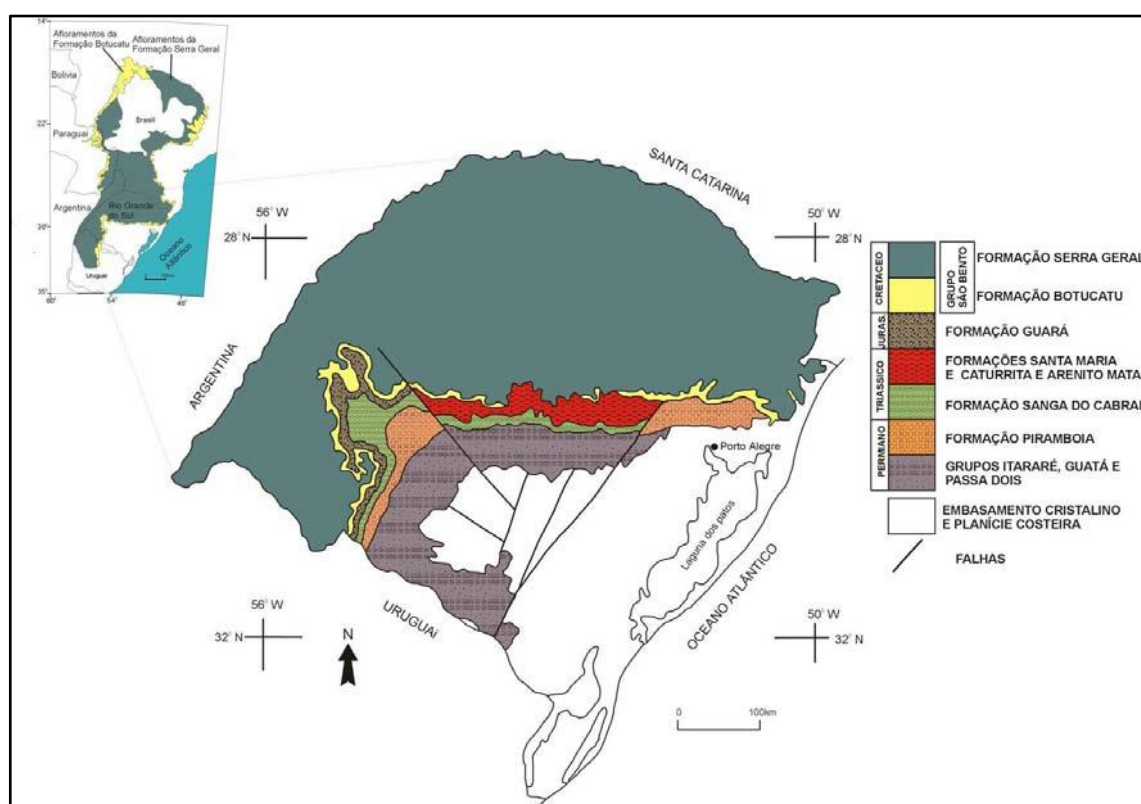


Figura 4. Mapa das unidades litoestratigráficas Mesozóicas do Rio Grande do Sul, contendo a Formação Guarú (modificado de SCHERER *et al.* 2000).

3.1.3. Formação Botucatu

A formação Botucatu descrita pela primeira vez como Grés de Botucatu (GONZAGA DE CAMPOS, 1889) ocupa uma área de aproximadamente 1.500.000 Km² e é constituída, em sua maior parte, por arenitos de coloração rosada, grãos com granulometria de fina a média, e estratificação cruzadas de grande porte. Estas estratificações são vinculadas a migração de dunas eólicas. Também ocorrem arenitos grossos a conglomeráticos, que formam lentes de até 1m e são interpretados como depósitos de lençóis de areia. Ocorre no Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, aflorando ao longo de toda borda da Bacia do Paraná (SCHERER, 1998). Utilizando dados de poços foi verificado que a espessura dos pacotes dessa formação aumenta para a borda norte da bacia (MILANI *et al.*, 2007).

3.1.4. Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral (WHITE, 1908) que abrange toda região centro-sul do Brasil e estende-se para Paraguai, Uruguai e Argentina ocupa uma área de 917.000 km² (FRANK *et al.*, 2009) (Figura 5), sendo considerada a segunda maior LIP (*Large Igneous Province*) do mundo que está associada ao processo de abertura do supercontinente Gondwana (WAICHEL *et al.*, 2006). No Rio Grande do Sul ocupa uma área de aproximadamente 50% do estado (HAUSMAN, 1995).

Na região de Quaraí ocorrem duas fácies da Formação Serra Geral, Fácies Gramado e Fácies Alegrete. A Fácies Gramado é formada por um conjunto de derrames máficos com espessura de até 300m e representam o primeiro vulcanismo sobre os sedimentos arenosos do Botucatu, por estar confinado a paleovales, estes primeiros eventos vulcânicos possuem pequena expressão lateral. Suas rochas são de coloração cinza-escuro a cinza-esverdeado, compostas por derrames basálticos, maciços, com espessura de 15 a 35m, possui com frequência estruturas de fluxo e zonas com vesículas bem desenvolvidas no topo e incipientes na base do derrame. As vesículas são comumente preenchidas por zeolitas, carbonatos e apofilitas. (CPRM, 2010)

A fácies Alegrete é formada por magmatismo intermediário a félsico, varia de andesito a riodacito e possui estruturas de fluxo e autobrechas no topo e na base. Suas brechas de topo são cimentadas por calcita e possuem quantidade subordinada de zeolitas (BERGMANN, 2014).

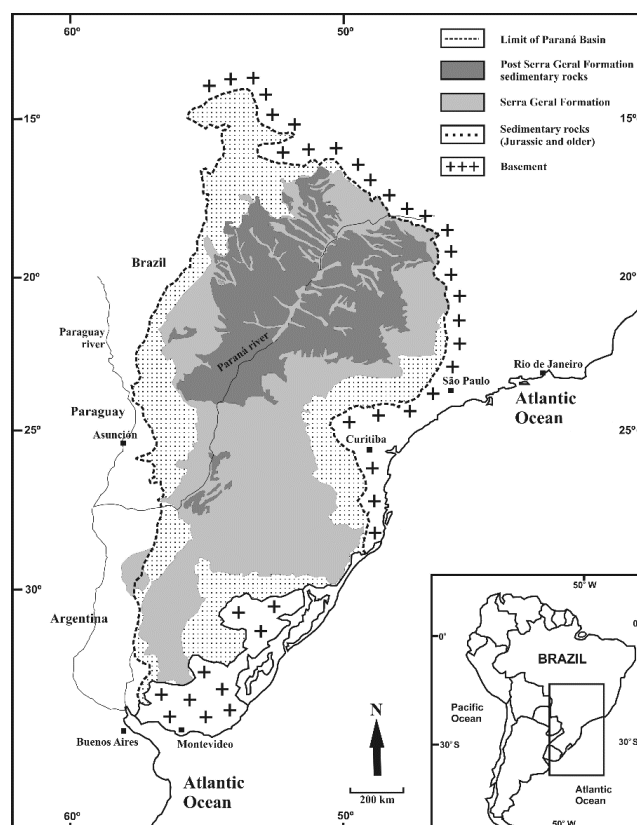


Figura 5. Distribuição das rochas da Formação Serra Geral na Bacia do Paraná. (Modificado de FRANK *et al.*, 2006).

3.1.5. Sedimentos do Quaternário

Os sedimentos do quaternário referem-se aos depósitos aluviais relacionados a barreiras holocênicas. São caracterizados por areia grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-argiloso, depositados em calhas de rios e planícies de inundação (CPRM, 2010).

3.2. Hidrogeologia Regional

3.2.1. Conceitos básicos

Aquíferos são qualquer formação geológica que contém água e permite o movimento dela em quantidades significativas e condições naturais. São classificados de acordo com a pressão da água em suas superfícies limítrofes, sendo o limite superior chamado topo e o limite inferior chamado base. Sua classificação também é em função da capacidade de transmissão de água entre essas superfícies limítrofes. Os tipos de aquífero são: aquíferos livres, onde o limite superior é a superfície de saturação, no qual todo ele se encontra sobre influência apenas da pressão atmosférica; aquíferos confinados, onde a pressão no topo é maior que a pressão atmosférica (CPRM, 2005).

Os aquíferos também podem ser classificados quanto ao tipo de porosidade da rocha armazenadora (Figura 6). Aquíferos fraturados ou fissurais possuem sua porosidade devido a descontinuidades físicas do meio, sua porosidade é secundária, ou seja, é gerada após a formação da rocha. A água nesse tipo de aquífero é armazenada/ transmitida através de fissuras ou fraturas e está diretamente ligado a rochas ígneas, vulcânicas e metamórficas. Porém, também pode ocorrer em rochas sedimentares. Já os aquíferos porosos, ou sedimentares, são aqueles onde o armazenamento e circulação de água se faz nos poros formados entre os grãos constituintes da rocha. A capacidade produtiva destes aquíferos é determinada por seus ambientes deposicionais que irão influenciar em propriedades físicas e químicas como porosidade, permeabilidade, seleção dos grãos e composição mineral (CPRM, 2005).

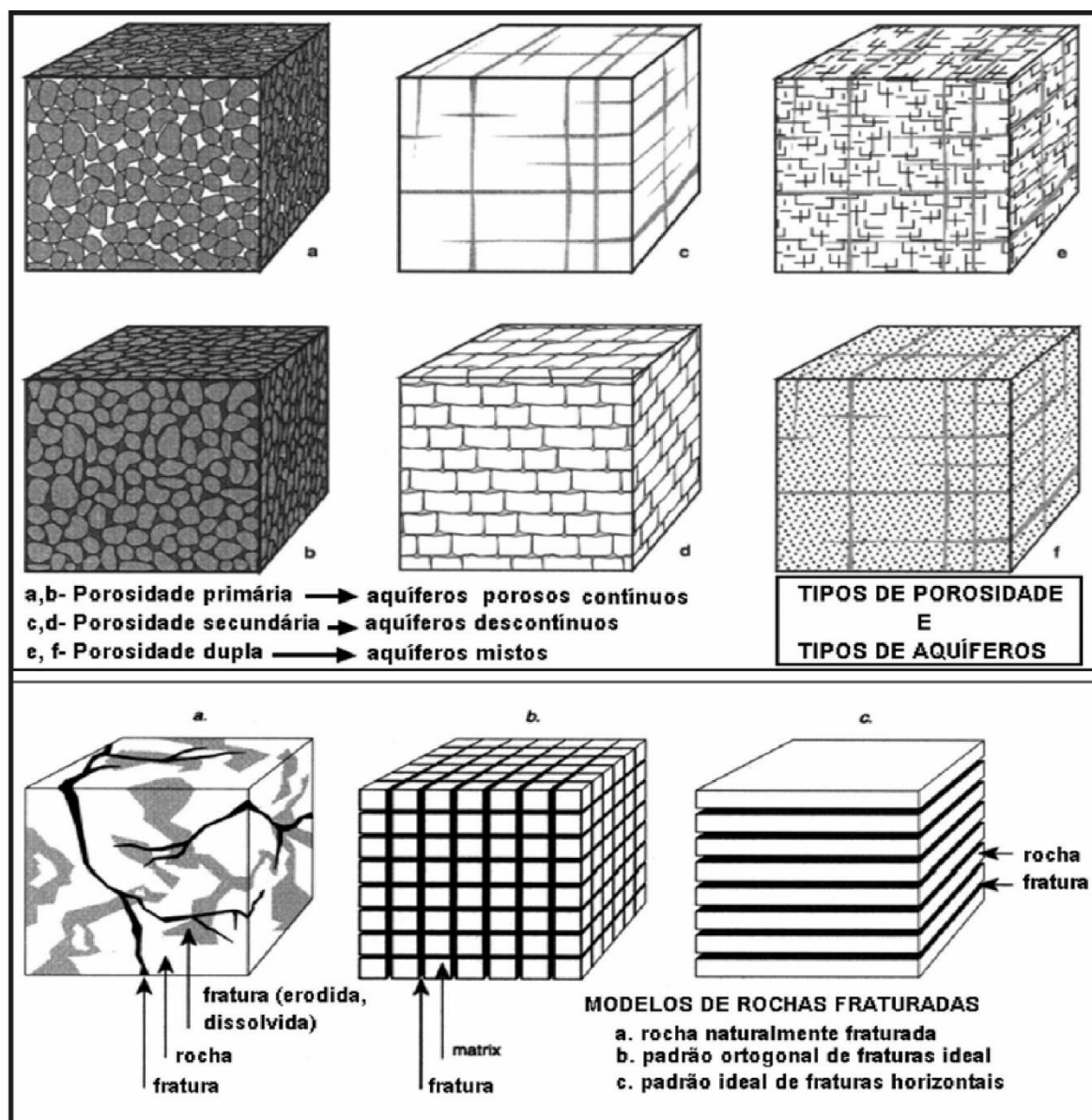


Figura 6. Tipos de porosidade, tipos de aquíferos e modelos de rochas fraturadas (modificado de KOVALEVSKI *et al.* 2004).

3.2.2. Hidrogeologia do Rio Grande do Sul

No ano de 2005 a CPRM em convênio com o Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA-DRH) realizou o Projeto Hidrológico do Rio Grande do Sul (MACHADO; FREITAS, 2005), reunindo informações regionais e locais e produziu o Mapa Hidrológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000. Nesse projeto os aquíferos foram divididos em seis grupos de

acordo com sua porosidade e potencial de ocorrência de água subterrânea (Figura 7). Os grupos foram os seguintes: Grupo 1 - Aquíferos com Alta a Média Possibilidade para Águas Subterrâneas em Rochas e Sedimentos com Porosidade Intergranular; Grupo 2 - Aquíferos com Média a Baixa Possibilidade para Águas Subterrâneas em Rochas e Sedimentos com Porosidade Intergranular; Grupo 3 - Aquíferos com Alta a Média Possibilidade para Águas Subterrâneas em Rochas com Porosidade por Fraturas; Grupo 4 - Aquíferos com Média a Baixa Possibilidade para Águas Subterrâneas em Rochas com Porosidade por Fraturas; Grupo 5 - Aquíferos Limitados de Baixa Possibilidade para Água Subterrânea em Rochas com Porosidade Intergranular ou por Fraturas e Grupo 6 - Aquíferos Praticamente Improdutivos em Rochas com Porosidade Intergranular ou por Fraturas. Os grupos considerados com bom potencial (1 e 3) afloram em 26,8% da área do estado, os grupos com potencial médio (2 e 4) afloram em 39,9% do estado e os grupos de pequeno potencial em 33,3% do estado. (CPRM, 2005). Ocorrendo na área de estudo o Grupo 2 e 3.

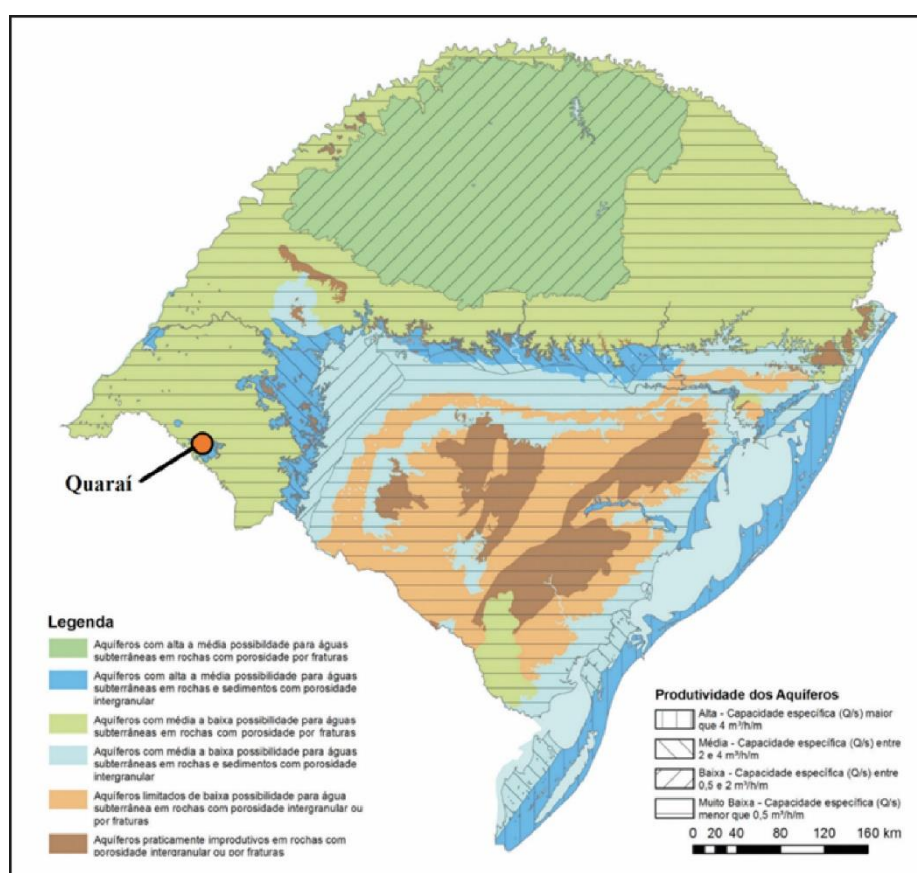


Figura 7. Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul separado nos seis grupos de aquíferos (Modificado de MACHADO; FREITAS, 2005).

3.2.3. Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani é considerado um dos maiores mananciais de água subterrânea do mundo e ocupa aproximadamente 55% da área do Rio Grande do Sul, sendo a principal reserva de água subterrânea do estado. Apenas 10% de sua área é aflorante, estando o restante confinado por derrames basálticos. A espessura média é de 100m, sendo constituído por arenitos eólicos bem selecionados. O SAG é constituído por nove unidades hidroestratigráficas: Botucatu, Guará, Arenito Mata, Caturrita, Alemoa, Passo das Tropas 1 e 2, Sanga do Cabral e Piramboia. A maior distribuição de área confinada pertence a unidade hidroestratigráfica Botucatu, podendo gerar vazões superiores a 500m³/h, motivo pelo qual é o principal aquífero onde são realizados poços profundos. (CPRM, 2010)

A qualidade das águas nas porções confinadas é muito variável e depende do grau de confinamento das unidades hidroestratigráficas. As unidades Botucatu e Guará, na fronteira oeste, apresentam águas doces, com menos de 400 mg/L de sais. Na unidade Botucatu na porção norte do planalto meridional a salinidade é em média 800 mg/L. Na região leste, o Sistema Aquífero Botucatu/ Piramboia contém águas de baixa salinidade, geralmente abaixo de 400 mg/L. A unidade Passo das Tropas 2 é confinada e apresenta valores altos de salinidade e teores de flúor, tornando seu consumo inviável (MACHADO; FREITAS, 2005).

3.2.4. Sistema Aquífero Serra Geral

O Sistema Aquífero Serra Geral é constituído por aquíferos fraturados associados a estruturas presentes em rochas vulcânicas que formam os derrames da Formação Serra Geral e possui forte dependência do controle estrutural que geram as fraturas e falhas (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2003).

Por não apresentar porosidade e permeabilidade primária nas rochas, características importantes para o armazenamento de volumes grandes de água subterrânea, seu armazenamento está associado as descontinuidades físicas da rocha como fraturas, falhas e superfícies interderrames. Devido a essas

características é classificado como um reservatório heterogêneo e anisotrópico (REBOUÇAS, 1988).

O SASG é dividido em três sistemas, sendo eles: Sistema Aquífero Serra Geral 1 – ocorre no centro-oeste do Planalto Sul-Rio-Grandense e ocupa cerca de 27% da área do estado. É composto de rochas basálticas, amigdaloides e fraturadas, capeado por uma camada espessa de solo avermelhado. Devido a sua característica de aquífero fraturado, muitas vezes ocorrem poços com baixa vazão próximo a poços com alta vazão. Suas vazões específicas variam entre 1 e 4 m³/h/m. Geralmente a salinidade é baixa, com média de 200mg/L. Em locais onde é captado águas mais salinas, sódicas e de elevado pH (entre 9 e 10) são poços influenciados por águas que ascendem do Sistema Aquífero Guarani; Sistema Serra Geral 2 – ocorre na porção oeste do estado, no norte está junto ao rio Uruguai, na região central está nas bordas da Depressão Periférica e na região nordeste ocorre no Planalto. As rochas predominantes são riolitos, riodacitos e basaltos, possuem pouca espessura de solo e manto de alteração. A vazão específica normalmente é inferior a 0,5 m³/h/m, porém em zonas mais fraturadas, na base do sistema, pode chegar a vazão de 2 m³/h/m. Apresenta salinidade inferior a 250 mg/L e do mesmo modo que o Sistema Serra Geral 1, pode ser influenciado pelo SAG e apresentar águas com altos valores de pH, salinidade e teor de sódio; Sistema Serra Geral 3 – ocorre nas porções mais elevadas dos derrames da unidade hidroestratigráfica Serra Geral, na região nordeste e em morros isolados no noroeste do estado. Sua litologia é formada por riodacitos e basaltos. Apresenta poços com vazões muito baixas ou secos, e quando presente a água possui baixa salinidade (CPRM, 2010).

3.2.5. Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí

A Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí é constituída pelo Rio Quaraí e pelos arroios Espinilho, Sarandi, Cati, Quaraí Mirim, Gurupá, Vertentes e Caiboaté e abrange uma superfície de aproximadamente 6.500 km² (Figura 8). As águas dessa bacia têm como principal destino a irrigação. Nos meses de menor disponibilidade ocorrem insuficiências hídricas, principalmente nos meses do verão. Outro problema são as grandes demandas para irrigação de plantações de arroz (SEMA, 2008).

Nos municípios de Quaraí e Santana do Livramento existem partes em que ocorrem a exposição do arenito Botucatu, que devem servir como áreas de recarga direta para o SAG, as águas da chuva infiltram-se diretamente no subsolo e abastecem o reservatório (FRANTZ *et al.*, 2004)

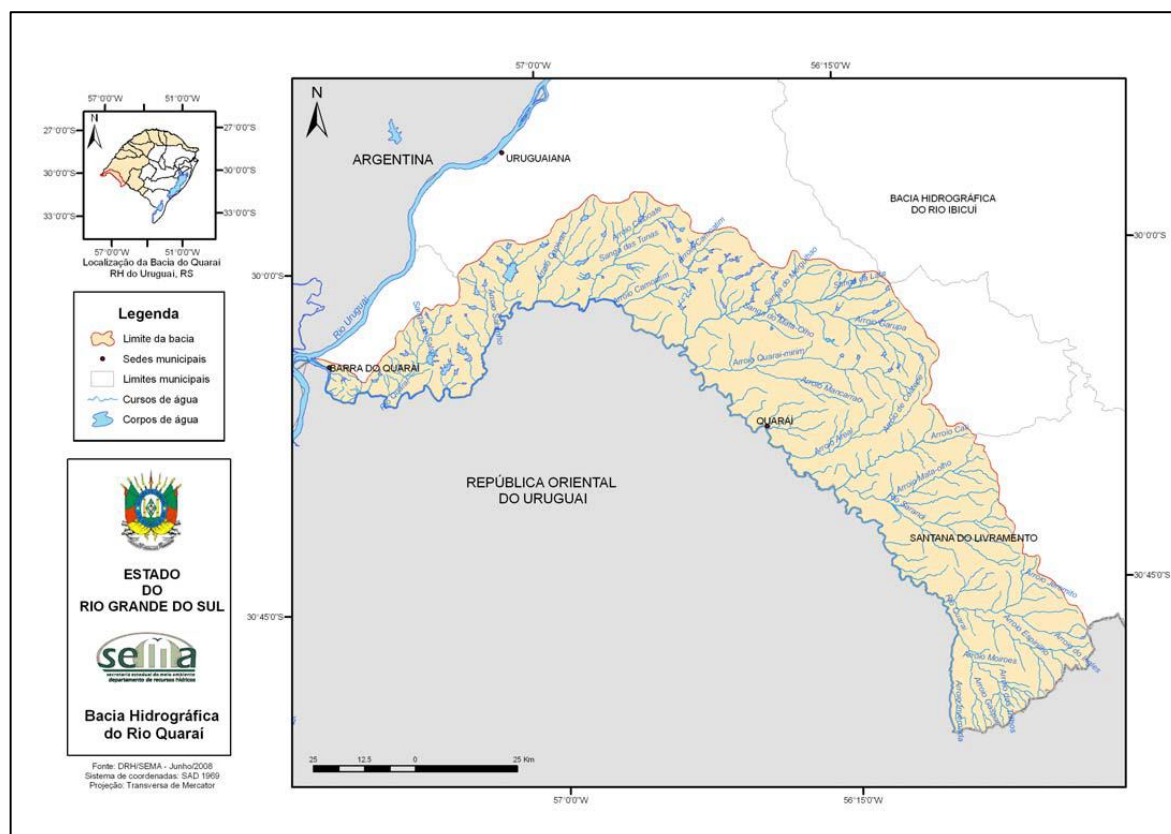


Figura 8. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí (SEMA, 2008)

3.2.6. Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí

A Bacia Hidrográfica do Ibicuí abrange as províncias geomorfológicas Planalto Meridional e Depressão Central. possui área de 35.495,38 km², abrangendo municípios como Alegrete, Júlio de Castilhos, Santana do Livramento, São Pedro do Sul e Uruguaiana (Figura 9). Os principais corpos de água são os rios Ibicuí, Itu, Ibirapuitã, Jaguari e um trecho do rio Uruguai. Nos meses de menor disponibilidade ocorrem insuficiências hídricas, principalmente nos meses do verão. Outro problema são as grandes demandas para irrigação de plantações de arroz (SEMA, 2008).

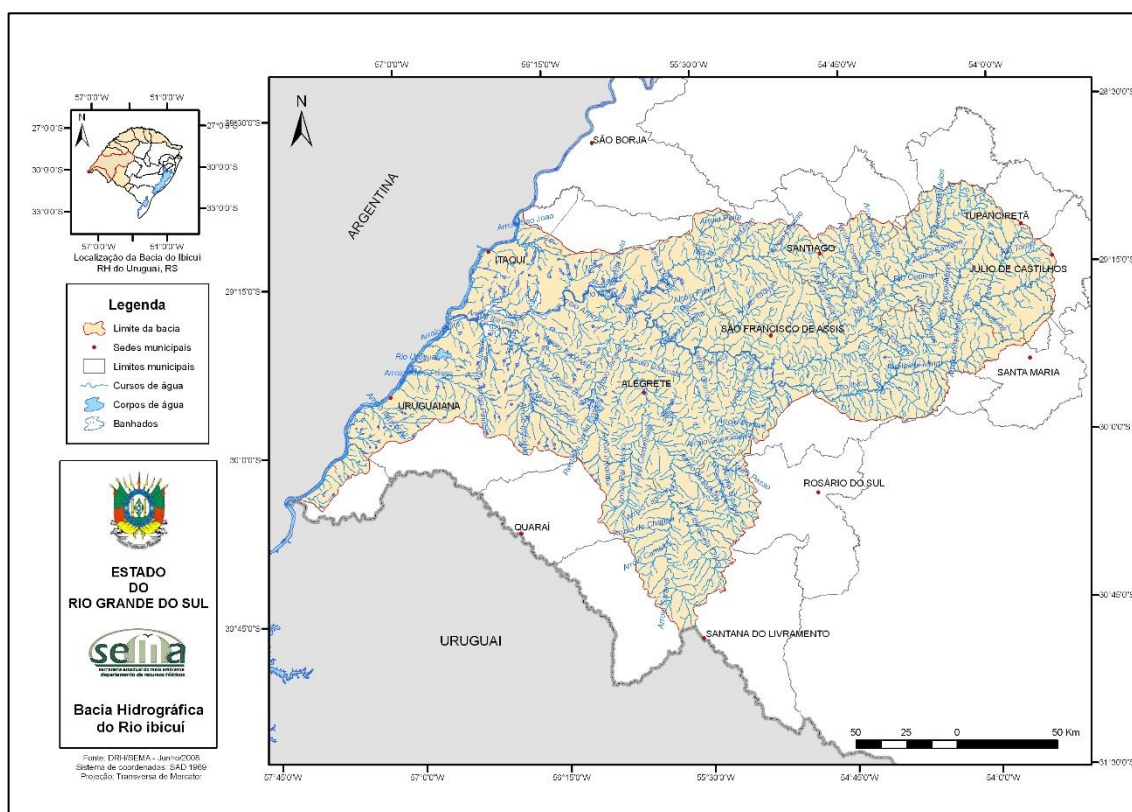


Figura 9. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí (SEMA, 2008)

3.3. Hidroquímica Regional

De acordo com Lisboa (1996), o Sistema Aquífero Serra Geral pode ser dividido em dois campos hidrogeoquímicos: o Campo das Águas Bicarbonatadas Cálcicas e Calcomagnésiana e o Campo das Águas Bicarbonatadas Sódicas. A litologia influencia uma variação nos teores de magnésio e cálcio da água e marca uma estratificação no aquífero.

Para Reginato e Strieder (2006), as águas subterrâneas na região nordeste da Formação Serra Geral são Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnésianas, representando 80,1%, Águas Bicarbonatadas Sódicas, representando 18,4% e Águas Sulfatadas Cálcicas ou Magnésianas, representando 1,4%.

A presença de ferro, manganês e flúor pode afetar a qualidade da água do SASG, que em geral é de boa qualidade. O ferro e manganês estão associados com

processos de decomposição de rochas vulcânicas que possuem em sua composição minerais ferro-magnesianos (HAUSMAN, 1995). Já o flúor pode decorrer da combinação entre recarga ascendente em condições de confinamento e longo tempo de residência da água, associada a área de reduzida recarga meteórica, gerando uma concentração de fluoreto (NANNI, 2008).

3.4. Caracterização da Precipitação

A distribuição das chuvas no estado depende da evolução das massas de ar e a relação dessas massas com o relevo, que é responsável pela distribuição espacial das precipitações. As principais massas de ar que afetam o Rio Grande do Sul são a Tropical Atlântica, Polar Atlântica, Tropical Continental e Equatorial Continental (MONTEIRO, 1968).

A orografia tem grande influência no regime pluviométrico. Em regiões de maiores altitudes as chuvas ocorrem em maiores volumes, pois o relevo obriga a elevação das massas de ar que se resfriam e condensam ocasionando as chuvas. Por esse motivo que nas encostas e borda do Planalto a precipitação é maior e em regiões como o litoral, onde a orografia é menos acentuada, as chuvas ocorrem em menor volume (MORENO, 1961).

De acordo com CPRM (2005), isoietas são linhas que representam locais com igual pluviosidade, definidas para um determinado período e com base em dados de chuva. No Rio Grande do Sul, o litoral é a região com menos chuva, com precipitação máxima anual em torno de 1.400mm, a região da fronteira com Uruguai fica bem próxima as médias do litoral, com precipitação inferior a 1.500mm por ano. Nas áreas mais levadas do escudo, as precipitações são superiores a 1.600mm/ano. A região do Planalto é a mais chuvosa, com precipitação próxima de 1.700mm/ano (Figura 10).

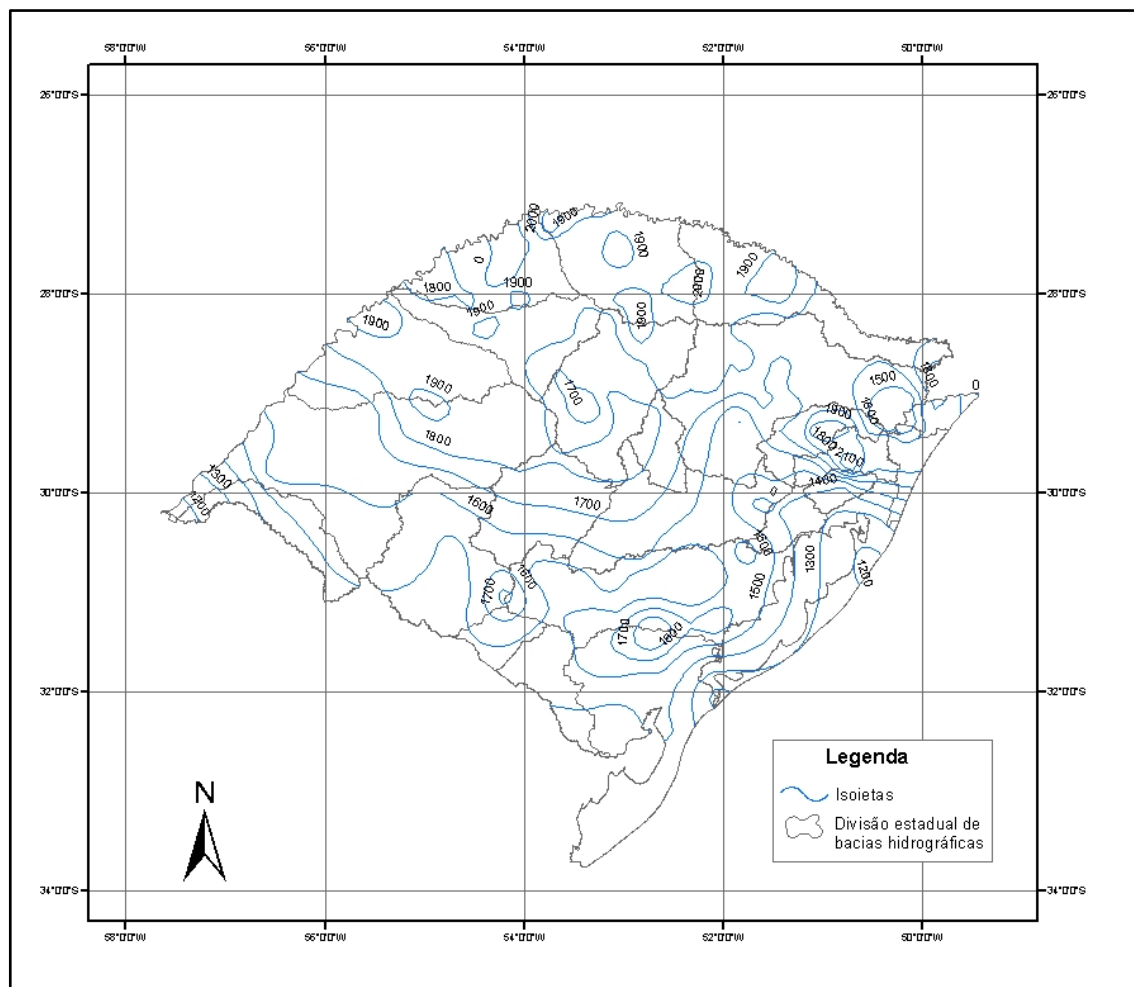


Figura 10. Mapa de isoietas das precipitações medias anuais no estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005)

4. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em três etapas, sendo: etapa pré-campo, etapa de campo e etapa pós-campo. A etapa pré-campo foi constituída principalmente no levantamento de dados já existentes da região. Na etapa de campo foi verificado os dados previamente levantados e adquiridas novas informações. Na etapa pós-campo os dados prévios e coletados em campo foram tratados para gerar os resultados desse trabalho.

4.1. Pesquisa Bibliográfica

Para iniciar o trabalho foi necessário fazer um levantamento de informações já existentes da área de estudo, os assuntos pesquisados estão diretamente ligados a hidrogeologia, geologia, geomorfologia e hidroquímica. Estas informações foram coletadas a partir de livros, artigos, relatórios, dissertações de mestrado, teses de doutorado e órgãos governamentais (como CPRM, SEMA-RS, DNPM e IBGE). Também foi feito um levantamento cartográfico com as Cartas Topográficas de Serviço Geográfico do Exército em escala 1:50.000 que cobrissem o município de Quaraí, as cartas digitalizadas foram retiradas do site da Universidade Federal de Santa Maria. Fotos áreas na escala 1:60.000 e 1:100.000 de áreas de interesse foram retiradas da biblioteca do Instituto de Geociências da UFRGS e escaneadas para serem utilizadas no trabalho. Foram utilizadas imagens MNT e Landsat do CD-Brasil Relevo, confeccionadas pela EMBRAPA na escala 1:25.000.

4.2. Cadastro de Poços

Um cadastro de poços foi feito a partir de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS – CPRM), com os dados dessa plataforma foi possível obter informações como nível estático, nível dinâmico, vazão, perfis

litológicos, algumas análises químicas, coordenadas do poço, dados construtivos, nome do proprietário do local onde o poço se localiza, entre outras. Para o município de Quaraí foram encontrados e cadastrados 154 poços (Anexo 1), estes dados serviram para organizar um diagnóstico prévio da área e guiar o trabalho de campo (Figura 11). O SIAGAS – CPRM permite a exportação destes dados através de uma tabela Excel, sendo esta tabela inserida no software QuantumGis para ser utilizada na confecção dos mapas.

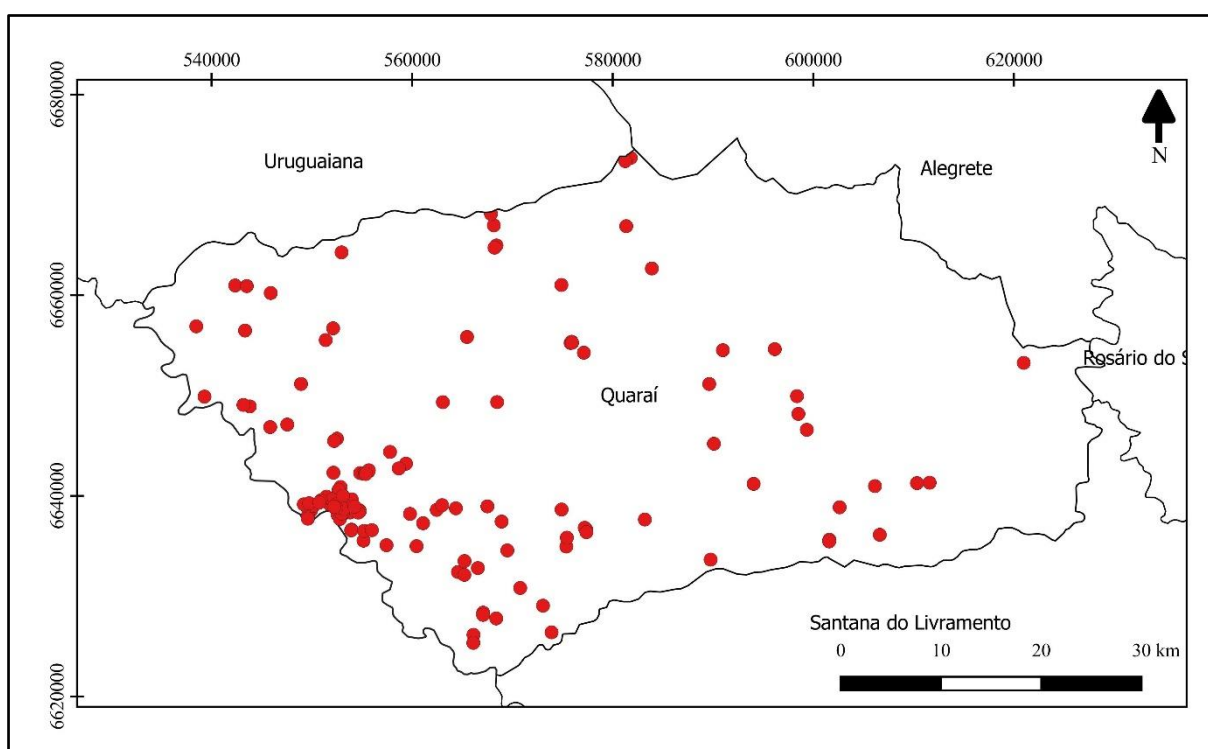


Figura 11. Mapa contendo a localização dos poços da plataforma SIAGAS presentes no município de Quaraí (Fonte: elaborado pelo autor).

4.3. Trabalho de Campo

Nos dias 15, 16, 17 e 18 de maio de 2018 foi realizada a ida ao campo. Previamente ao campo foram selecionados pontos e poços de interesse para serem visitados, estes poços foram escolhidos devido suas litologias e distribuição no município e os pontos para coletar informações principalmente da geologia, afim de caracterizar da melhor forma possível toda a área do estudo.

No campo realizou-se uma descrição geológica da área (Foto 1), observando-se litologias e estruturas para confirmar os dados bibliográficos. Uma breve descrição litológica foi realizada e medidas de direção e mergulho de fraturas foram efetuadas. Para realizar as medidas foi utilizada uma bússola Brunton, também foi realizado um registro fotográfico e obtido a localização através de um GPS Garmin.



Foto 1. Descrição geológica sendo realizada em um talude de um corte de estrada na BR-293 (Foto: Marcos Leão).

Em campo também foi analisado os parâmetros físico-químicos da água dos poços visitados. Os parâmetros analisados foram: condutividade elétrica, temperatura, sólidos totais, salinidade e pH. Para isso foi utilizada a sonda multi-parâmetros Oakton PCSTestr 35 que faz a medição instantânea dos cinco parâmetros. O princípio de medição do pH (potencial hidrogeniônico) utilizado pela sonda é o método do eletrodo de vidro, que possui alcance de 0 a 14 pH, resolução de 0,1 pH e precisão de $\pm 0,1$ pH. Para a condutividade elétrica o princípio utilizado é o método do eletrodo de corrente alternada, que possui um alcance de 0 a 20 mS/cm (miliSiemens por centímetro), resolução de 0,1 mS e precisão de $\pm 1\%$. Para a salinidade e sólidos totais dissolvidos o princípio utilizado pelo aparelho é a conversão

de condutividade, que possui alcance de 0 a 10ppt (parte por trilhão), resolução de 0,1 ppt e precisão de $\pm 1\%$. Para a temperatura o método utilizado é o do termistor, que possui alcance de 0 a 50°C, resolução de 0,1°C e precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Para utilizar a sonda (Foto 2), o recipiente onde a água seria analisada era lavado algumas vezes com a água do próprio poço, afim de não possuir água de outras análises que poderiam influenciar nas medidas. Após utilizada, os sensores da sonda eram lavados com água destilada e os mesmos eram mantidos em água destilada para não perder a calibragem.



Foto 2. Sonda multi-parâmetros sendo utilizada para medir parâmetros físico-químicos da água de um dos poços visitados (Foto: Marcos Leão).

Durante as atividades de campo foram cadastrados três novos poços que não constavam nos cadastros selecionados previamente. Desses três poços, um sendo poço cacimba e dois tubulares. Dos poços tubulares, apenas de um foi possível medir o nível estático com a sonda com sensor elétrico (Foto 3), pois o outro não possuía acesso fácil ao furo, a sonda poderia ficar presa e conseqüentemente danificar o aparelho de medição e a fiação que liga a bomba submersa do poço. Em alguns poços visitados, que já possuíam dados nos cadastros sobre nível estático, foi realizada a medida com a sonda para confirmar as informações.



Foto 3. Nível estático do poço sendo medido com a sonda a qual possui sensor elétrico que indica o momento em que a ponta toca na água (Foto: Marcos Leão).

4.4. Análise química da água

Para classificar quimicamente as águas subterrâneas de Quaraí foi utilizado dados encontrados na plataforma SIAGAS, dados da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e o resultado de três análises coletadas em campo (Anexo 2). Resultados de análises químicas são informações que poucos poços dispõem na plataforma SIAGAS, apenas 14 poços no município possuem. Com a CORSAN foram obtidas seis análises. No total foram utilizadas 23 análises químicas, número suficiente para classificar as águas, pois a grande diferença delas está relacionada ao sistema aquífero do qual elas provêm, sendo eles Guarani, Serra Geral e Guarani-Serra Geral.

Os locais das três coletas de campo foram definidos através da litologia de cada poço, sendo coletadas duas amostras de poços que perfuram apenas basaltos da Formação Serra Geral e uma amostra de poço que perfurou arenitos da Formação Botucatu. A distribuição das coletas foi feita de modo que cobrisse uma área no município onde existem poucas análises e tivessem localizadas próximos de poços de litologia diferente para uma possível comparação.

Os laudos foram realizados pelo Laboratório de Ecologia da UFRGS, que disponibilizou os frascos adequados para cada tipo de análise (Foto 4). Um frasco de plástico para coletar água para analisar alcalinidade, condutividade, cromo hexavalente, fluoreto e nitrato. Um frasco de plástico para analisar metais, sendo este preparado com HNO_3 dentro e um recipiente de vidro para a análise de fosfatos e sulfatos. Para a análise de carbonatos e bicarbonatos foi utilizado um frasco de plástico, sendo este laudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). Todos os frascos foram mantidos em caixas de isopor com gelo até serem entregues para os laboratórios.



Foto 4. Frascos disponibilizados pelos laboratórios para a coleta da água juntamente com as caixas de isopor utilizadas para o armazenamento (Foto: Marcos Leão).

Para realizar a coleta de água nos frascos (Foto 5) era necessário captá-la direto na saída do poço, sem passar por caixa d'água, pois após sair do poço a água sofre mudanças devido as condições físicas e químicas nos aquíferos serem muito diferente das condições fora dele. Também era deixado o poço bombeando água por alguns minutos antes da coleta, afim de renovar a água para a amostra ser representativa do aquífero e não da água que estava parada no poço.



Foto 5. Água sendo coletada em um dos frascos diretamente na saída do poço (Foto: Marcos Leão).

4.5. Confeção dos mapas

Os mapas utilizados foram gerados em ambiente SIG (Geographic Information System) e o software escolhido foi o Quantum Gis nas versões 2.18 e 3.2. Para servirem como base cartográfica, as cartas topográficas do Exército digitalizadas Garupa, Baltazar Brum, Severino Ribeiro, Arroio Pai Passo, Cerro do Chapéu, Cerro das Cacimbas, Quaraí e Quaraí Mirim foram georreferenciadas a partir do sistema de referência UTM-21S, que utiliza a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o datum horizontal utilizado foi o Córrego Alegre – Minas Gerais.

Imagens de Modelo Numérico de Terreno (MNT) Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) e Landsat 7 georreferenciadas do site Brasil em Relevo (Miranda, 2005) também foram utilizadas (Figura12).

Imagens MNT são uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica dada à uma superfície. Elas auxiliaram na divisão das unidades geológicas, principalmente as brechas preenchidas com calcita encontradas no campo bem como a separação de três níveis de derrames sobrepostos, as divisões morfoestruturais e a classificação dos padrões de drenagem. As imagens Landsat

utilizadas resultam de uma composição colorida falsa cor das bandas 4 e 5 (não visível – infravermelho) e bandas 3 (visível – vermelho) e serviram para observar padrões de textura do relevo e drenagem.

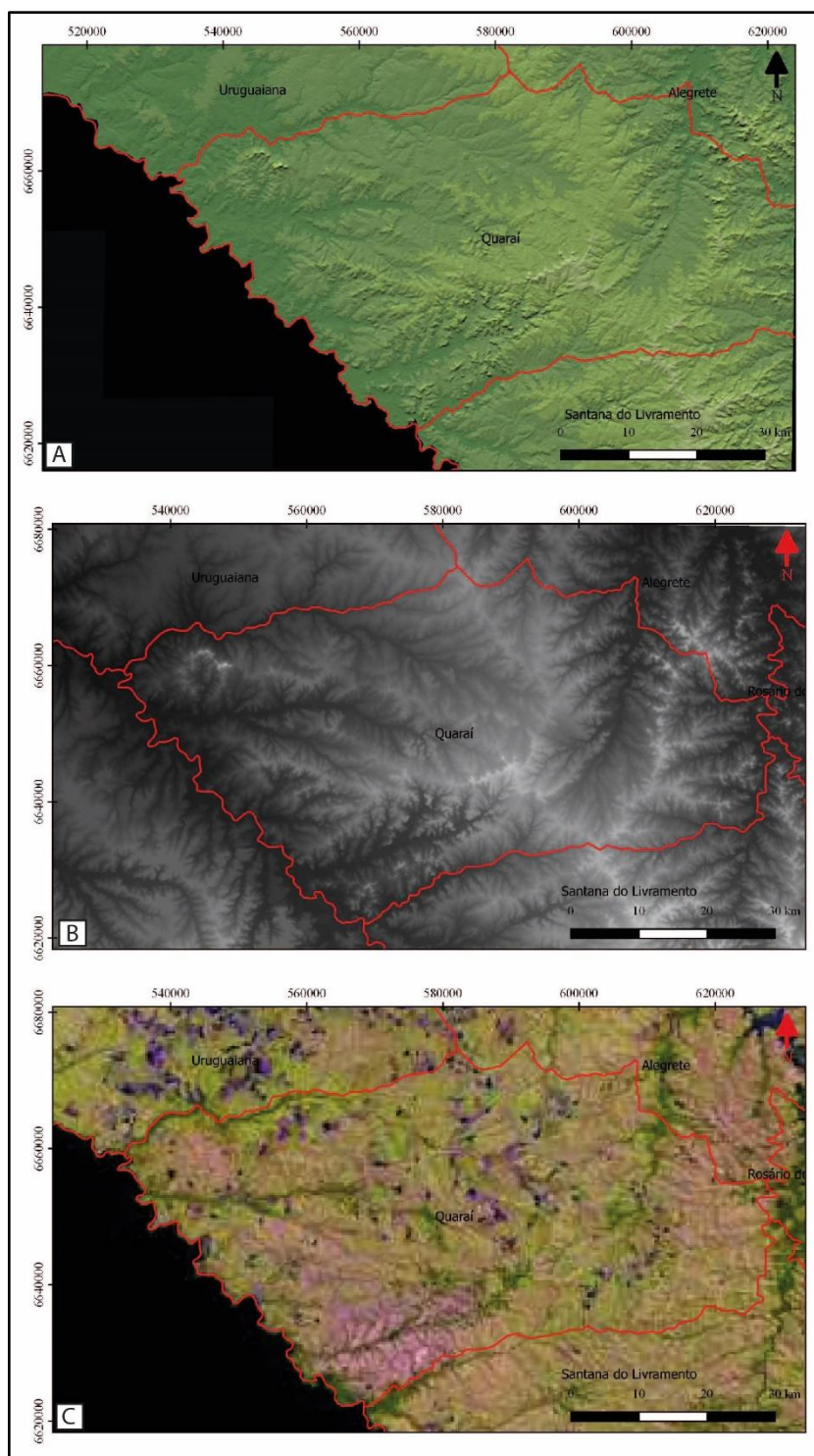


Figura 12. Imagens MNT (A – SRTM com relevo sombreado e B - SRTM) e Landsat (C) georreferenciadas para serem utilizadas na confecção dos mapas (Compilado de: MIRANDA, 2005).

As fotos aéreas nas escalas 1:60.000 (Figura 13) e 1:100.000 foram utilizadas para a confecção de anaglifos com o software Anamaker, que possibilitaram uma visão tridimensional da área. A visualização estereoscópica em um anaglifo consiste em separar as imagens em cores complementares, sendo necessário um óculos com filtro azul e vermelho nas lentes para gerar a impressão de três dimensões. Nos anaglifos foram marcados lineamentos, separação de algumas unidades geológicas e observada morfoestruturas (Figura 14). Após essas imagens foram georreferenciadas para a confecção dos mapas. A utilização das fotos aéreas não cobriu o município todo, apenas algumas áreas de interesse previamente selecionadas, que foram o Domo da Boa Vista do Garupa, o Cerro do Jarau e a região aflorante dos arenitos da Formação Botucatu (Figura 15).

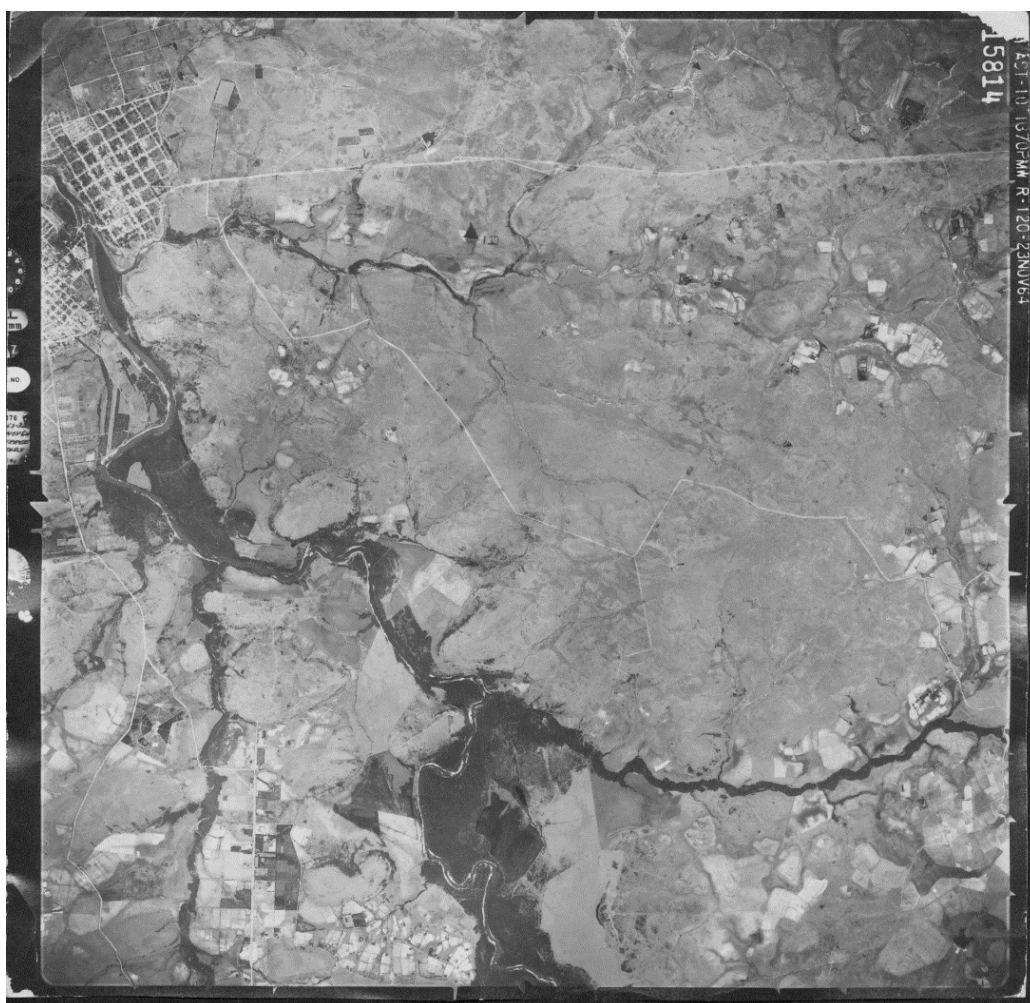


Figura 13. Exemplo de uma das fotos aéreas na escala 1:60.000 utilizadas na confecção dos mapas. Acima a esquerda encontra-se a zona urbana do município de Quaraí (Fonte: Biblioteca IGEO)

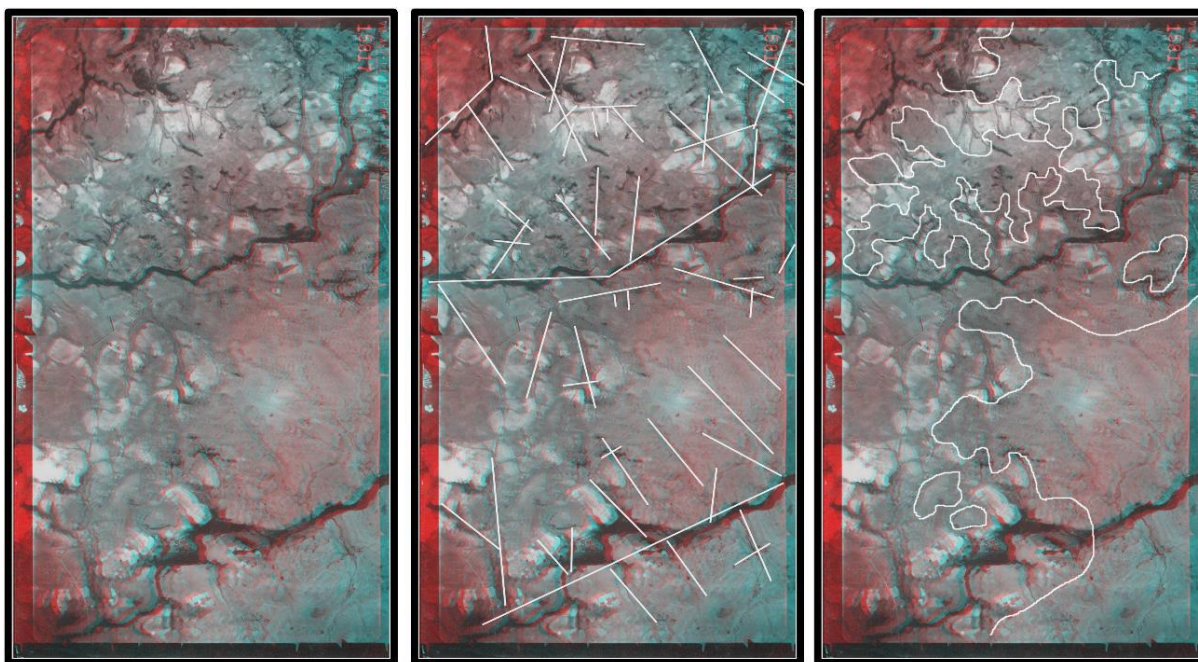


Figura 14. Na esquerda: anaglifos gerados pelo software Anamaker através da sobreposição de duas fotos aéreas. No centro: lineamentos traçados. Na direita: divisão das unidades Formação Botucatu e Formação Serra Geral (Fonte: elaborado pelo autor).

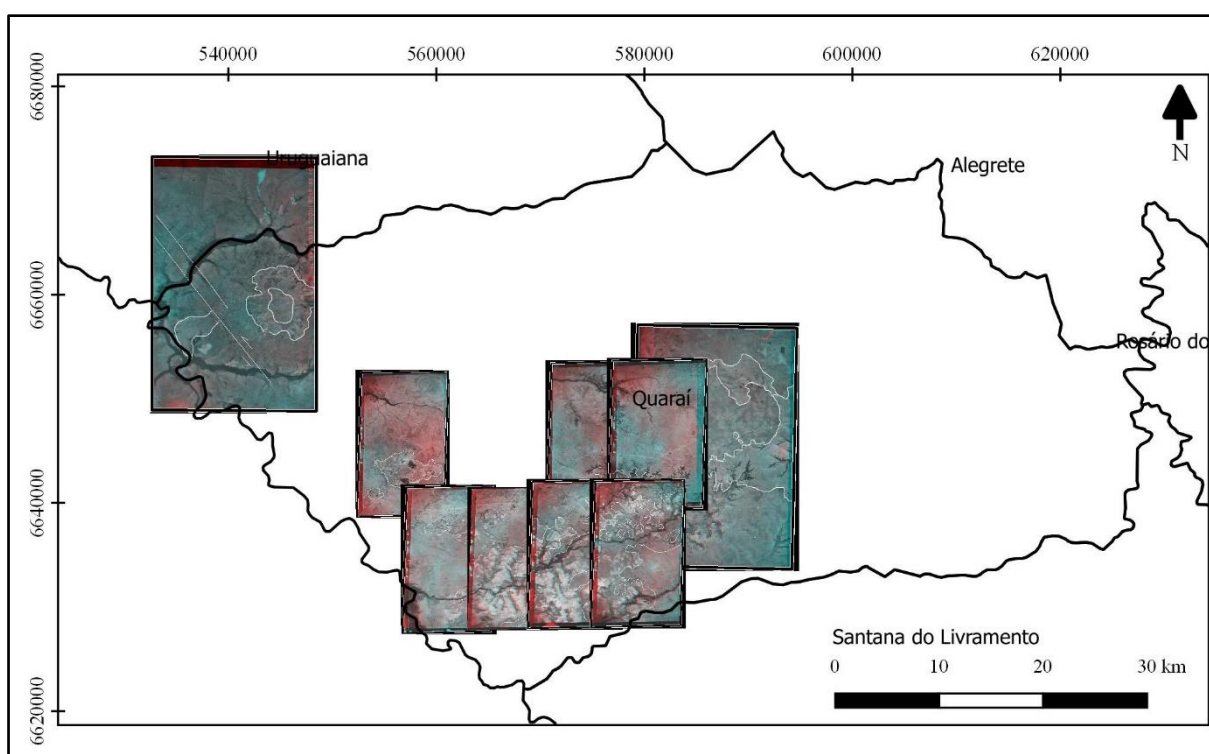


Figura 15. Disposição dos anaglifos após serem georreferenciados. A região de interesse Cerro do Jarau encontra-se no canto superior esquerdo, o Domo da Boa Vista na região central do município e a região aflorante da Formação Botucatu na porção inferior esquerda do município (Fonte: elaborado pelo autor).

Na confecção do mapa piezométrico foram utilizadas as informações de nível estático e a cota topográfica do terreno adquiridas no SIAGAS – CPRM. Para obter a cota piezométrica foi necessário subtrair o valor de nível estático do valor da cota do terreno, pois no SIAGAS a medida de nível estático é referente a superfície topográfica (Figura 16). Após os valores de cotas piezométricas foram interpolados pelo software Quantum Gis 2.18 utilizando o método do inverso da potência das distâncias para gerar o mapa. Para a confecção da piezometria foram utilizados todos poços com medida de nível estático, sem discriminar os aquíferos que o poço atingiu, gerando um mapa piezométrico referente ao SAG e SASG juntos. Foram utilizadas informações de poços dos municípios Uruguaiana, Alegrete, Rosário do Sul e Santana do Livramento para conseguir dar maior precisão na interpolação nos limites de Quaraí.

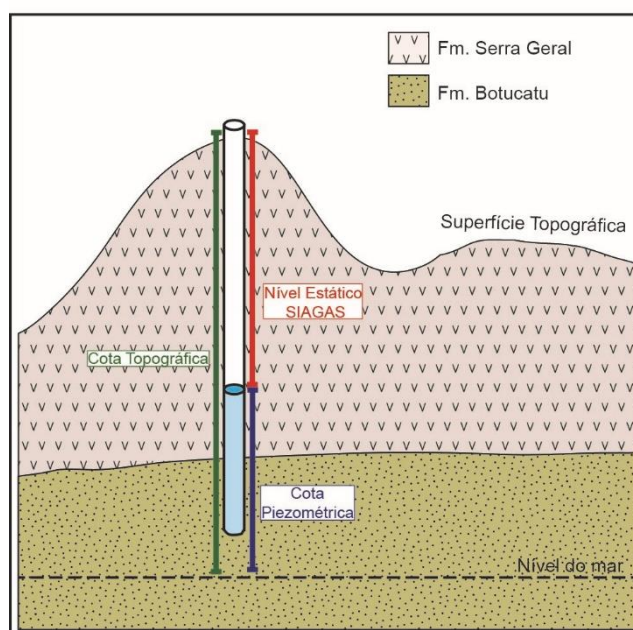


Figura 16. Perfil esquemático mostrando a diferença entre a cota topográfica, medidas de nível estático da plataforma SIAGAS e cota piezométrica calculada (Fonte: elaborado pelo autor).

Após confeccionada a parte vetorial no Quantum Gis os mapas foram finalizados através do software Adobe Illustrator CC 2017.

5. RESULTADOS

5.1. Geologia da Área

5.1.1. *Lineamentos e Blocos Morfoestruturais*

O termo lineamento foi utilizado pela primeira vez por Hobbs (1904) que definiu como simplesmente uma feição retilínea na terra e foi empregado para caracterizar as relações espaciais dos aspectos de paisagens. Essas características eram cristas de cumes, linhas de drenagens, linhas de costa e limites de rochas petrograficamente distintas. Hobbs (1912) reinterpretou seu trabalho anterior e definiu que lineamentos são linhas significativas na paisagem que revelam a arquitetura oculta do embasamento, ou seja, são expressões em superfície de algum elemento presente no substrato. Essa nova definição implicou em uma interpretação genética, pois era necessário saber os processos que criaram aquelas características observadas no terreno. Atualmente, o conceito mais completo de lineamento é:

Lineamento: Um traçado que traz, características lineares simples ou compostas de uma superfície, cujas partes são alinhadas em uma relação retilínea ou ligeiramente curvilínea, e que difere distintamente do padrão de características adjacentes e presumivelmente reflete um fenômeno subsuperficial. (O'LEARY *et al.* 1976, tradução nossa)

Para localizar e caracterizar um lineamento deve-se observar mudanças na altitude do terreno (expressas por feições geomorfológicas negativas), mudança no gradiente do terreno, mudanças no padrão e deslocamento de estruturas. Nas imagens de sensoriamento remoto os lineamentos se manifestam por cristas, escarpas, vales e vegetação alinhada. Modelos de elevação digital são muito utilizados para estudos de lineamentos. Porém, fotografias aéreas possuem uma resolução maior que modelos de elevação comum. Lineamentos são divididos em: grande porte, com mais de 100km, estes associados com limites entre províncias

geológicas; médio porte, lineamentos com extensão entre 10 e 100km, associados a falhas; e lineamentos de pequeno porte, menores que 10km, estes relacionados principalmente a fraturas.

Aquíferos fraturados são condicionados principalmente pelas estruturas lineares que a rocha apresenta, pois, os limites de blocos representam estruturas com baixa coesão entre eles e podem conduzir água.

No município de Quaraí são encontrados lineamentos de pequeno e médio porte. Os lineamentos de médio porte estão, em sua maioria, associados aos principais canais das redes de drenagens, onde os canais apresentam-se encaixados em falhas, verificáveis por dados de campo. A direção preferencial dos lineamentos é NW-SE e NE-SW. Na estrutura de impacto de um corpo celeste no Cerro do Jarau (PHILIPP *et al.* 2010), ocorre um padrão radial de lineamentos e na porção SW do município, onde aflora a Formação Botucatu, ocorre uma maior densidade de lineamentos, possivelmente devido ao soerguimento de blocos dessa região. Evidência do soerguimento de blocos dessa região está na cota em que se encontra o contato entre a Formação Botucatu e a Formação Serra Geral, em perfis litológicos de alguns poços, é possível observar variação de mais de 50m da cota de contato em poços muito próximos. Com as informações desses contatos e lineamentos realizou-se dois perfis estruturais que mostram o movimento vertical relativo dos blocos (Figura 17 e 18). Em campo foram medidas as atitudes das falhas, que variaram suas direções de mergulho de 265° até 320° e ângulo de mergulho de 48° a 85° , estas representadas por zonas de falhas, observadas em afloramentos em corte de estrada (Foto 6).



Foto 6. Zona de falha no limite de um bloco morfoestrutural de basalto (Foto: Marcos Leão).

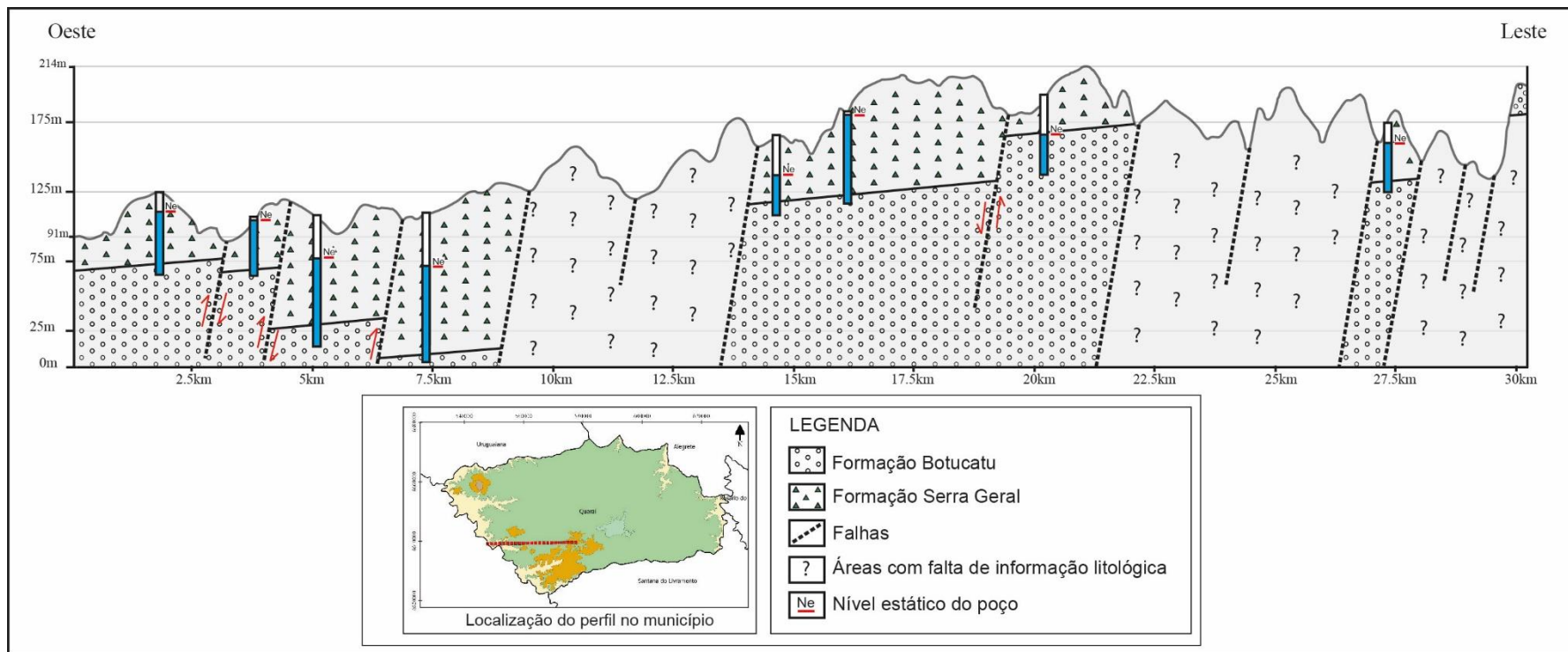


Figura 17. Perfil estrutural de direção Leste-Oeste, baseado em perfis de poços, com extensão de 30km, mostrando o movimento vertical relativo dos blocos morfoestruturais e a cota piezométrica de alguns poços na área de estudo (Fonte: elaborado pelo autor).

Com os perfis litológicos foi possível observar o confinamento do SAG no local, que devido a pressão de água maior ocasionou a elevação dos níveis estáticos nos poços perfurados. Poucos poços da plataforma SIAGAS dispõem da informação da altura de entrada de água, não sendo possível definir se a captação dos poços usados no perfil é exclusiva do SAG ou mista.

5.1.2. Litologias

Na zona central do Cerro do Jarau encontrou-se arenitos da Formação Guará, nesta área predominam arenitos finos, bem selecionados, de cor bege esbranquiçada, grãos arredondados, composição quartzosa e bem cimentados (Foto 7). Foram interpretados como os arenitos depositados em sistema eólico descritos por Scherer *et al.* (2000). Estes arenitos encontram-se muito fraturados e estratigraficamente abaixo da Formação Botucatu e foram expostos muito provavelmente devido ao impacto de um meteorito na porção central do Cerro do Jarau que soergueu o núcleo gerando uma janela estrutural (PHILIPP *et al.*, 2010).



Foto 7. Amostra de arenito fino, bem selecionado, de cor bege esbranquiçada, com grãos arredondados, composição quartzosa e bem cimentado. Rocha pertencente a Formação Guará e encontrada na parte central da estrutura de impacto do Cerro do Jarau (Foto: autor).

No Cerro do Jarau também são encontrados arenitos da Formação Botucatu, com padrão de afloramentos concêntricos na periferia da Formação Guará que forma o núcleo do astroblema. Possuem cor bege a rosada, granulação média, bem selecionado, com grãos arredondados a subarredondados e composição arcósea (quartzo + feldspato com predominância do primeiro). Algumas estruturas de marcas de onda foram encontradas (Foto 8). A geometria da exposição destes arenitos também está relacionada com o impacto do meteorito no cerro.



Foto 8. Marcas de onda no arenito da Formação Botucatu, ressaltadas pelo intemperismo (Foto: Marcos Leão).

Os arenitos da Formação Botucatu também são encontrados na porção SW do município, a exposição destes está relacionada a tectônica e movimentação de blocos de falhas, que causou um soerguimento dos arenitos deixando-os em cotas altimétricas superiores as das rochas vulcânicas.

No restante do município prevalece as rochas da Formação Serra Geral, foram encontradas rochas da fácies Alegrete. Segundo o mapa da CPRM (2010) também existem rochas das fácies Gramado no município, porém estas não foram encontradas em campo e nem diferenciadas em fotos aéreas, imagens MNT e Landsat. Em imagens MNT foi possível identificar três níveis de derrames da Formação Serra Geral (Figura 19). Estes níveis não foram caracterizados

estratigráfica e petrograficamente por não constarem nos objetivos específicos do projeto. Em campo, dentre outras estruturas de derrames, foram encontrados afloramentos com disjunção colunar (Foto 9), que marcam a zona central de derrames basálticos. Ainda na Formação Serra Geral, na região do Domo da Boa Vista do Garupá, foi identificada uma zona onde ocorrem brechas hidráulicas preenchidas com calcitas (Foto 10). Esse tipo de brecha é caracterizado por gerar clastos angulosos, bastante fragmentados e cimentados por uma matriz monominerálica (LIMA *et al.*, 2012).

Com as informações de lineamentos e litologias foi elaborado o Mapa Geológico do município de Quaraí (Figura 20).

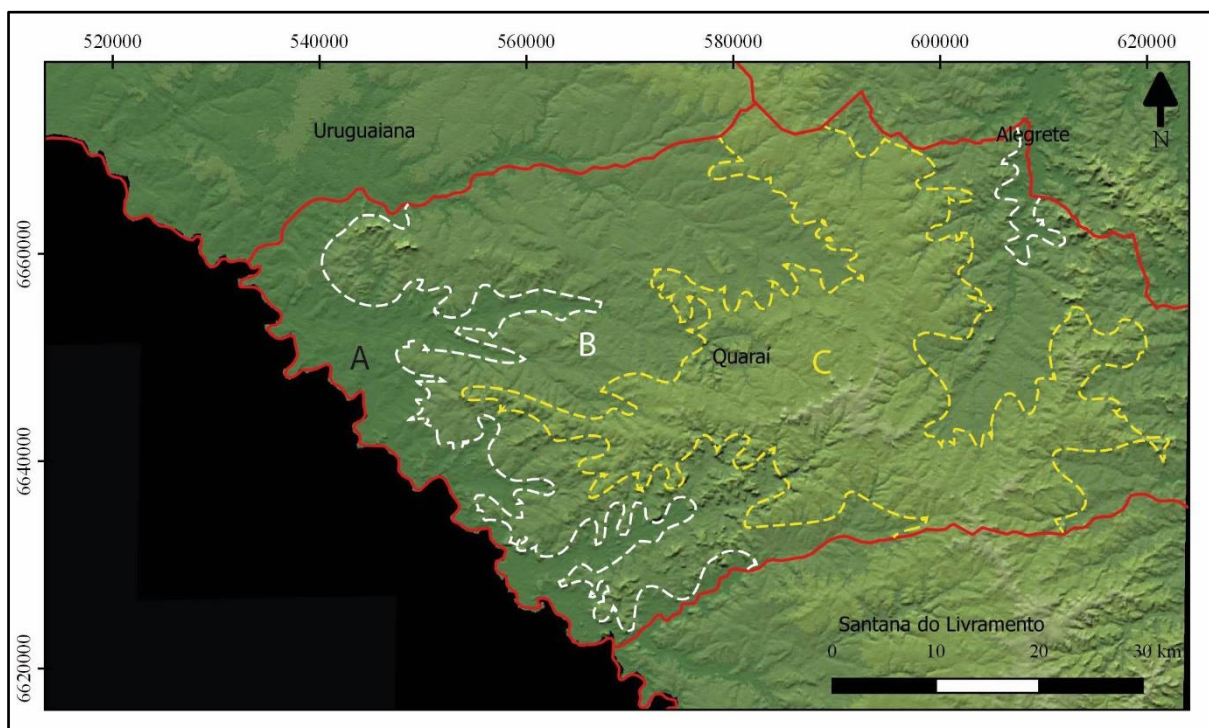


Figura 19. Mapa demarcando os três níveis de derrames da Formação Serra Geral, marcados como A, B e C (modificado de: MIRANDA, 2005)



Foto 9. Afloramento em corte de estrada onde observa-se disjunções colunares que marcam a zona central de derrames basálticos (Foto: Marcos Leão).



Foto 10. Amostra de brecha hidráulica basáltica preenchida com calcita. (Foto: autor)

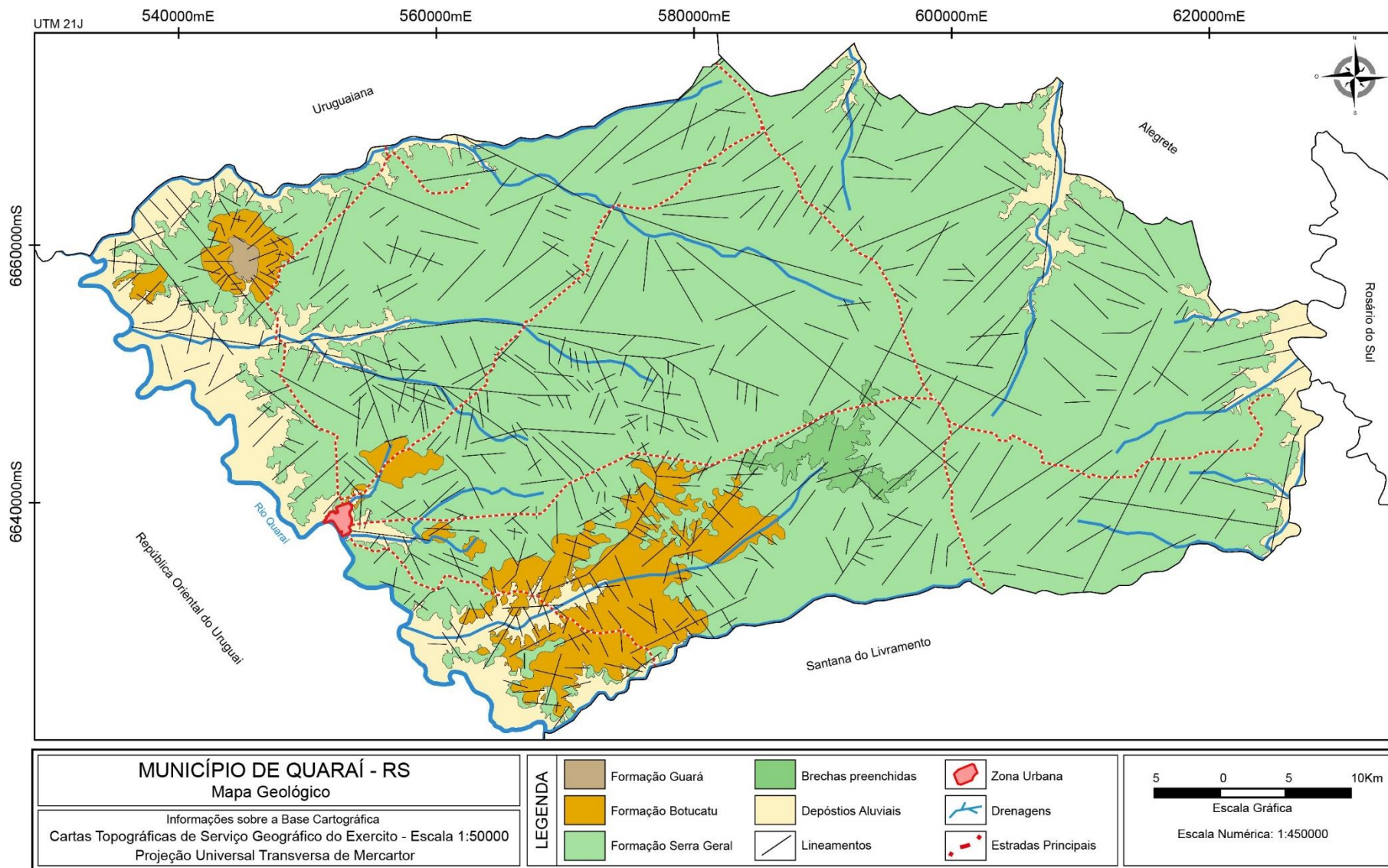


Figura 20. Mapa Geológico do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor)

5.2. Geomorfologia

A compartimentação geomorfológica do Rio Grande do Sul apresenta várias propostas de diversos autores que se utilizam de diferentes critérios, como climáticos, fisiográficos, geográficos, geomorfológicos e estruturais. A classificação utilizada neste trabalho é a mesma utilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1986), sendo essa classificação muito próxima da proposta por Monteiro (1968) e Moreira & Lima (1977) onde os autores se baseiam em critérios morfoestruturais.

Sendo assim, de acordo com IBGE (1986), pode-se dividir a compartimentação geomorfológica do Rio Grande do Sul em três táxons, sendo eles o domínio morfoestrutural (primeiro táxon), que se subdivide em regiões geomorfológicas (segundo táxon) que comporta as unidades geomorfológicas (terceiro táxon). Estando o município de Quaraí localizado no Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares, na Região Geomorfológica do Planalto da Campanha e na Unidade Geomorfológica do Planalto de Uruguiana.

Os domínios são caracterizados segundo o arcabouço geológico, de acordo com a natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas. A área do Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares (Figura 21) é composta predominantemente por litologias referentes ao intenso e extenso vulcanismo fissural do Jurássico e Cretáceo que compõem a Formação Serra Geral, caracterizada predominantemente por basaltos, basalto-andesitos, riolitos e riodacitos. Por apresentar corpos tabulares, essa formação resulta em um grande planalto do tipo monoclinal, decaindo para oeste, na direção do Rio Uruguai, variando sua altimetria de 1200 para 100m.

Para oeste do Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares, encontra-se superfícies fraca a moderadamente dissecadas, formando colinas de topos planos. Nas áreas periféricas, os processos erosivos nas rochas efusivas provocam um recuo da linha de escarpa expondo as litologias sedimentares resultando em formas de relevos convexas, conhecidas como coxilhas. O contato entre a superfície de planalto constituída por rochas efusivas e a região de rochas sedimentares se dá através de escarpas. As principais regiões geomorfológicas que

compreendem os relevos planálticos, desenvolvidos sobre as rochas efusivas, são: Planalto das Araucárias, Planalto das Missões e Planalto da Campanha.

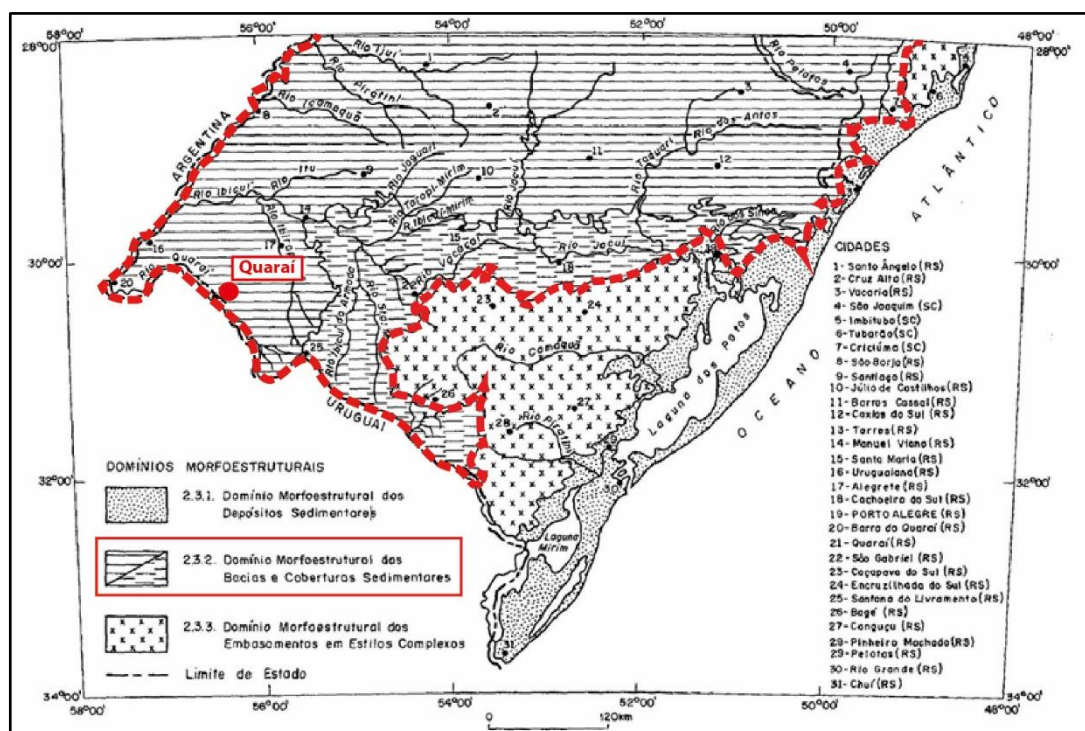


Figura 21. Divisão dos domínios morfoestruturais para o estado do Rio Grande do Sul, com destaque para o Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares e localização da área de pesquisa (modificado de: IBGE, 1986).

No Rio Grande do Sul o termo campanha é utilizado para denominar a região geográfica do sudoeste do estado, que apresenta de modo geral, uma área de relevo plano e cobertura vegetal campestre. O relevo da Região Geomorfológica do Planalto da Campanha, também denominado Planalto de Uruguaiana (Figura 22), é formado primariamente nas rochas básicas da Formação Serra Geral e secundariamente nos arenitos da Formação Botucatu. Os depósitos aluvionares do Holoceno são uma característica dessa região geomorfológica. Quanto a forma de relevo, predominam as superfícies de aplanamento retocadas desnudadas e áreas de dissecação homogênea. Outra característica da região são os escalonamentos de níveis topográficos através de rupturas de declive e a ocorrência de morros testemunhos. Movimentos de massas e erosão causam na região a presença de sulcos, ravinas e voçorocas.

5.2.1. Unidades do mapa geomorfológico

Em Quaraí são encontradas feições geomorfológicas tais como mesas, cuestras e hogbacks. As cuestras (Foto 11) são relevos dissimétricos fracamente inclinados, onde de um lado ocorre um perfil côncavo em declive íngreme (front) e do outro lado um planalto suavemente inclinado (reverso). Já os hogbacks (Foto 12) são relevos dissimétricos que apresentam mergulhos fortes, onde o front e o reverso são mais curtos e inclinados que nas cuestras.



Foto 11. Front de cuestra no Domo da Boa Vista do Garupá, foto tirada do núcleo do domo em direção a SW, onde os pacotes do reverso da cuestra possuem mergulho para SW (Foto: Marcos Leão).



Foto 12. Front de hogback no Cerro do Jarau, foto tirada do núcleo do cerro em direção a NE, onde os pacotes do reverso possuem mergulho para NE (Foto: Marcos Leão).

Ainda é possível uma classificação em um quarto táxon, que individualizam as formas de relevo dentro de cada unidade geomorfológica (ROSS, 1992). De acordo com essa classificação, em Quaraí encontramos as seguintes formas de relevo:

As planícies aluvias (Foto 13), que se caracterizam por apresentar um relevo plano a muito pouco inclinado, são formadas devido ao acúmulo de sedimentos transportados pela erosão a montante dos rios.

As colinas (Foto 14), que possuem elevações de baixa altitude, com formas de topo arredondadas e com fraco declive. Esta unidade foi dividida em colinas baixas, que varia sua elevação de aproximadamente 130 a 190m, e colinas altas que varia de 190 a 250m.

Os morros, que se caracterizam por elevações maiores que das colinas, acima de 250m, formas de topo arredondadas e declives fracos a mais acentuados.

Os cerros (Foto 12), que possuem elevações variando de 190m a mais de 250m, estes, porém, com declives mais fortes e formas de topo mais acentuadas.

Os morros testemunhos, que são colinas de topo plano que foram erodidas por todos lados. São um fragmento do reverso e marcam a antiga posição da cuesta antes do recuo do front.

De acordo com essas classificações foi elaborado o Mapa Geomorfológico do município de Quaraí (Figura 24).



Foto 13. Planície aluvial do Arroio Garupá, foto tirada do Cerro do Jarau em direção a NW (Foto: Marcos Leão).



Foto 14. Colina baixa, foto tirada nas proximidades do Cerro do Jarau em direção a SE (Foto: Marcos Leão).

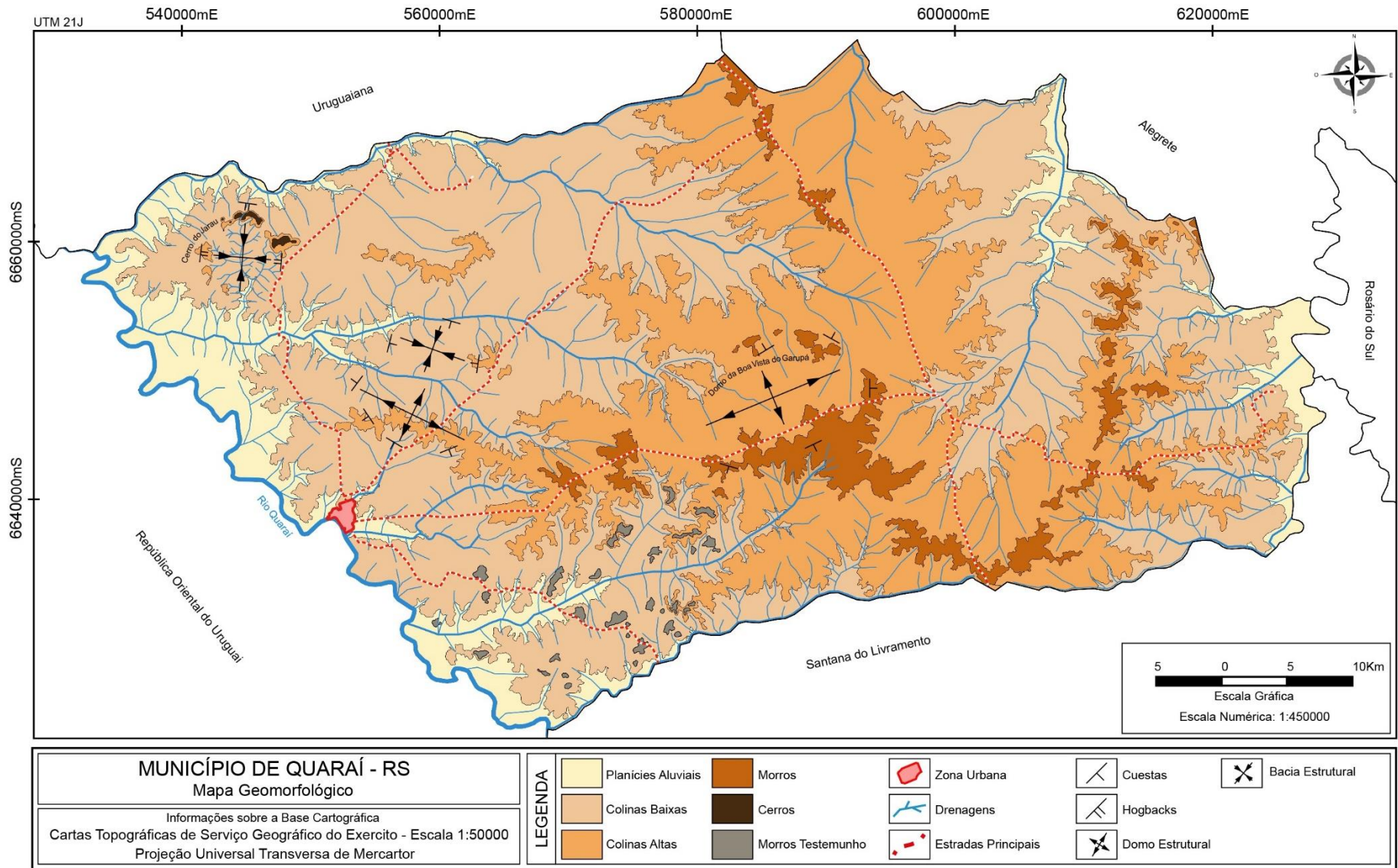


Figura 24. Mapa Geomorfológico do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor)

5.3. Rede de Drenagens

O município de Quaraí está situado na Região Hidrográfica do Uruguai, mais especificamente na Bacia do Rio Quaraí e parte da Bacia do Rio Ibicuí.

Os padrões de drenagem possuem grande importância para a análise e classificação das unidades hidrogeomorfológicas, pois indicam na superfície possíveis padrões estruturais do substrato, bem como o tipo de litologia causador do padrão. Outro aspecto importante é a análise das texturas, pois elas estão associadas a permeabilidade da rocha. Texturas finas (Figura 25.C) são representadas por muitos canais, indicando uma rocha pouco permeável e texturas grossas (Figura 25.B) são representadas por poucos canais, indicando uma rocha mais permeável.

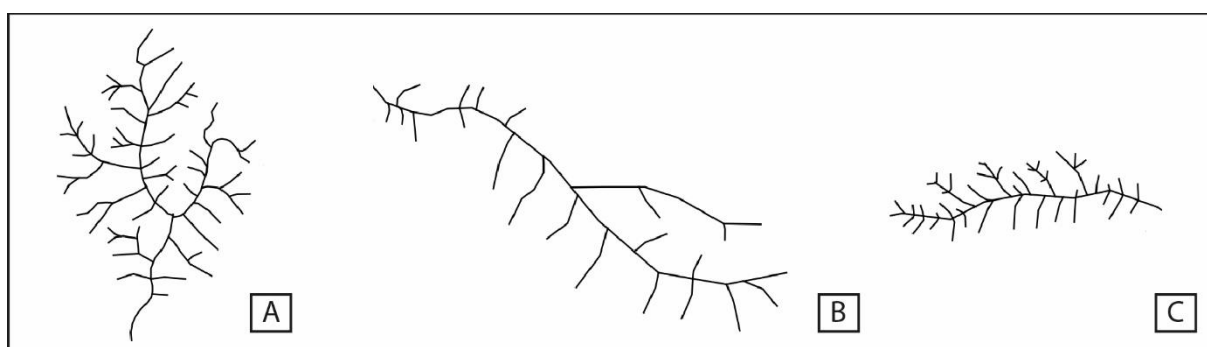


Figura 25. Exemplos de texturas de drenagem do tipo treliça de falha (A), textura grossa (B) e textura fina (C) (Fonte: elaborado pelo autor).

De acordo com a classificação dos padrões de drenagem de Howard (1967), regionalmente podemos classificar o sistema de drenagem que ocorre no município de Quaraí como radial centrífugo. Este padrão é caracterizado por canais multidirecionais que irradiam de uma área central para fora e sua origem está ligada a domos e montanhas. Em Quaraí esta origem é associada ao Domo da Boa Vista do Garupa, estrutura que se encontra no centro do município e distribui para oeste o Rio Cati, Arroio Garupá, Arroio Mancarrão, Arroio Quaraí-Mirim e Arroio Areal, para nordeste o Arroio Inhanduí e Arroio Pai Passo e para leste os afluentes do Rio Ibirapuitã (Figura 26).

Analisando os padrões locais de drenagem, pode-se classificar como treliça de falha (Figura 25.A) com textura fina e grossa. Este padrão é gerado por uma série de falhas ou planos de fraqueza. Os canais são predominantemente retilíneos e possuem o ângulo de junção de agudos a retos, com predomínio de agudos. Localmente no Cerro do Jarau se encontra um padrão radial centrípeto, onde as drenagens correm todas para uma zona central (Figura 26), este padrão foi ocasionado pelo impacto do meteorito (PHILIPP *et al.*, 2010) que alterou a morfologia do relevo na área.

Com as drenagens traçadas e as bacias hidrográficas delimitadas foi gerado o Mapa da Rede de Drenagem (Figura 27).

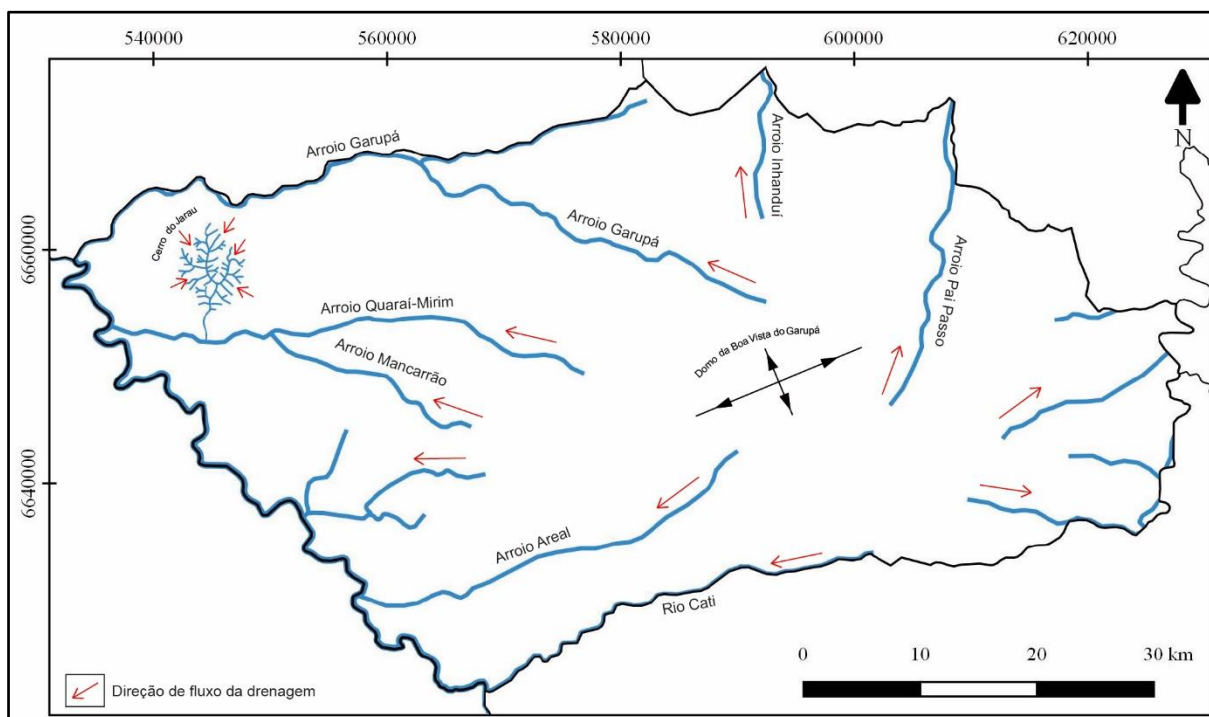


Figura 26. Padrão regional de drenagem radial centrífugo, distribuindo os canais a partir do Domo da Boa Vista do Garupá e padrão local radial centrípeto no Cerro do Jarau (Fonte: elaborado pelo autor).

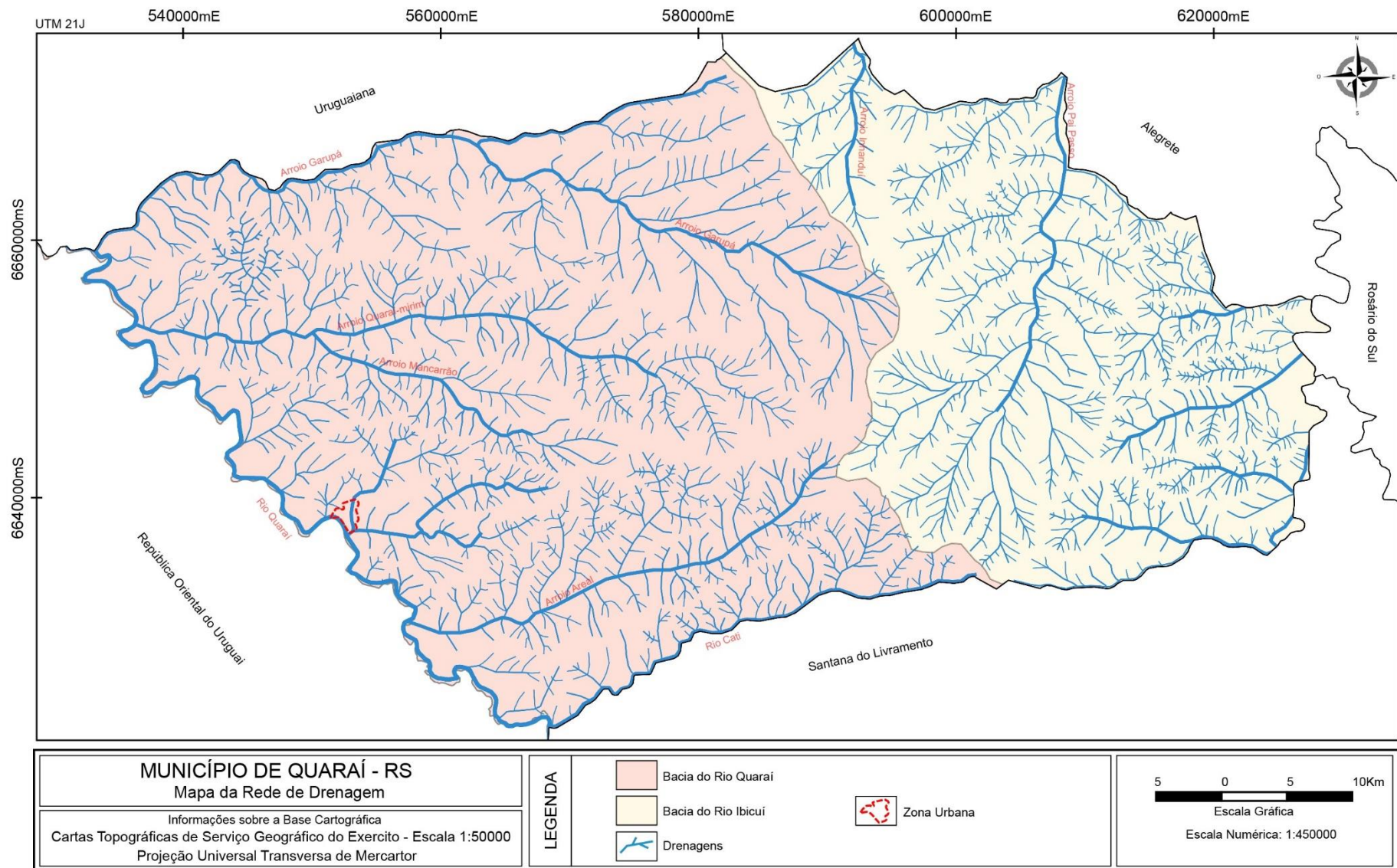


Figura 27. Mapa da Rede de Drenagem do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor)

5.4. Hidrogeologia

De acordo com CPRM, 2010, em Quaraí encontramos dois sistemas aquíferos, o Sistema Aquífero Serra Geral e o Sistema Aquífero Guarani. O SASG é caracterizado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral e possui sua porosidade relacionada ao fraturamento das rochas. O SAG é constituído por nove unidades hidroestratigráficas, Botucatu, Guará, Arenito Mata, Caturrita, Alemoa, Passo das Tropas 1 e 2, Sanga do Cabral e Piramboia. O SAG se encontra confinado pelas rochas da Formação Serra Geral desde a fronteira oeste até a região litorânea do estado.

Na escala de detalhe deste trabalho foi possível a identificação de três sistemas aquíferos em Quaraí. O SASG predomina em área aflorante no município, possui espessura muito variada, chegando até 200m. As espessuras menores estão localizadas na porção oeste do município perto da região aflorante da Formação Botucatu e as espessuras maiores na região central do município, associadas a cotas topográficas mais elevadas. Já o SAG ocorre nas áreas das Formações Botucatu e Guará. Também foi identificado um Sistema Aquífero Quaternário, formado por sedimentos inconsolidados de depósitos aluviais relacionados a barreiras holocênicas, porém não existe nenhum poço cadastrado perfurado nesse sistema, não sendo possível caracteriza-lo.

A piezometria regional foi realizada com os dados dos poços SIAGAS – CPRM sendo possível determinar as linhas de fluxo das águas subterrâneas, onde se observou, de modo geral, um fluxo para oeste, no sentido do Rio Quaraí. Em alguns lugares o fluxo difere do padrão regional, possivelmente devido a fraturas que rebaixam o nível da água localmente e mudam a direção de fluxo.

Utilizando as curvas piezométricas e a divisão dos aquíferos foi gerado o Mapa Hidrogeológico do município de Quaraí (Figura 28).

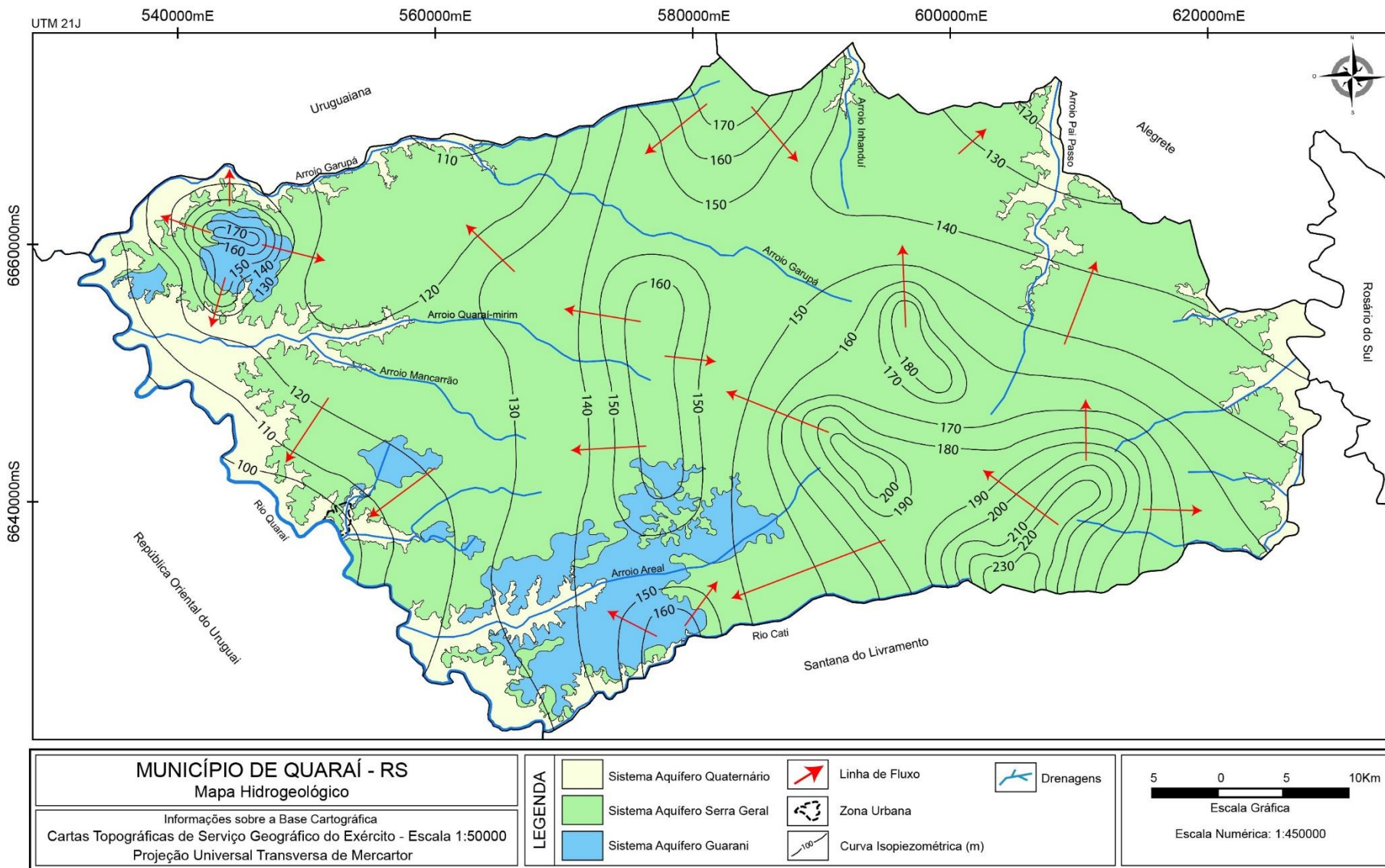


Figura 28. Mapa Hidrogeológico do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor)

5.5. Mapa Hipsométrico

A hipsometria é a técnica de representar a elevação de um terreno através de cores. Nesse trabalho, o mapa hipsométrico (Figura 29) foi feito através da imagem SRTM do município, sendo tratada no Quantum Gis.

Relacionando o mapa piezométrico com o mapa da rede de drenagem é possível observar que as altitudes mais elevadas na porção central do município formam o divisor de águas da Bacia do Rio Quaraí com a Bacia do Rio Ibicuí. As cotas altimétricas mais altas também estão relacionadas com a direção de fluxo das águas subterrâneas, que fluem das áreas mais elevadas para as mais baixas.

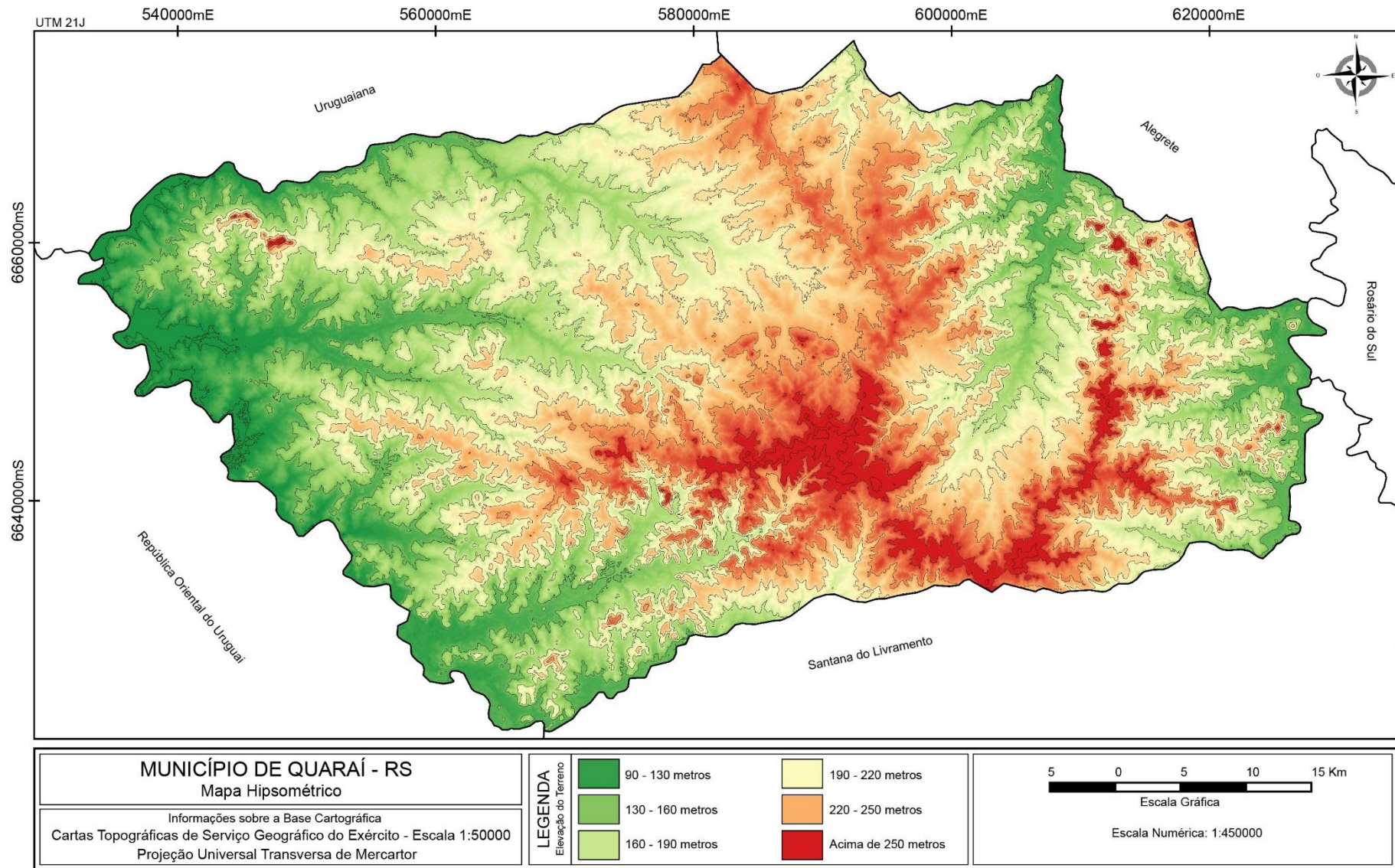


Figura 29. Mapa Hipsométrico do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor)

5.6. Hidroquímica

Os primeiros dados que deram indicações sobre a hidroquímica das águas subterrâneas do município de Quaraí foram as medições realizadas em campo com a sonda multi-parâmetro Oakton PCSTestr 35.

A condutividade elétrica é controlada pelos íons presentes na água e está diretamente associada a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) na água subterrânea. No município de Quaraí os valores variaram de 35 a 662 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De acordo com a literatura, águas de aquíferos confinados, como o Guarani, apresentam maiores quantidades de STD, devido um tempo de interação água-rocha mais longo, gerando valores maiores de condutividade elétrica. Porém, em Quaraí, os poços que captam água apenas do SAG apresentaram os menores valores, de 35 a 103,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esses valores possivelmente sejam devido a zona aflorante do SAG no município ser uma zona de recarga dos aquíferos e possuir águas “novas” com pouco tempo de interação água-rocha. Poços perfurados apenas no SASG tiveram valores médios de condutividade elétrica. Os valores mais altos estão associados a poços que perfuraram os dois sistemas de aquíferos, devido a influência de águas ascendentes do SAG.

Na área de estudo o pH das águas subterrâneas variou de 5,3 até 8,2. Os valores mais baixos estão associados a poços que captam água apenas do SAG, enquanto os valores mais altos associados aos poços com captação mista dos dois aquíferos. Cinco poços apresentaram pH alcalino, superior a 8, valor característico de águas com muito tempo de residência em aquíferos. Sendo desses cinco, dois que captam água apenas do SASG e três de captação mista.

Os valores de salinidade variam de 95,6 a 184 ppm e as temperaturas de 17,5 a 19,8° C, não sendo possível fazer uma correlação segura desses valores com os aquíferos.

O estudo da hidroquímica de Quaraí foi complementado com a coleta de três amostras de campo, utilização de análises do SIAGAS e análises disponibilizadas pela CORSAN (Tabela 1).

Tabela 1. Dados de análises químicas da plataforma SIAGAS, análises disponibilizadas pela Corsan e análises de amostras coletadas em campo.

| | Nome da Amostra | Na (mg/L) | K (mg/L) | Ca (mg/L) | Mg (mg/L) | Cl (mg/L) | CO³+HCO³ (mg/L) | SO⁴ (mg/L) | CE (μS/cm) | pH | Aquífero perfurado |
|-------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|----------------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------------|
| Análises SIAGAS | 4300002739 | 16,8 | 0,7 | 44,1 | 36,8 | 14,2 | 295,2 | 16 | 400 | 7,8 | SASG |
| | 4300009176 | 16 | 1,9 | 4,2 | 8,7 | 8 | 174,4 | 2,9 | 293,7 | 8,1 | SASG |
| | 4300009204 | 5 | 2,4 | 26,4 | 7 | - | 146,4 | 0,5 | 265 | 7,7 | SASG + SAG |
| | 4300009206 | 92 | 2,4 | 31,7 | 5,1 | 60 | 189,1 | 106,4 | 662 | 7,6 | SASG + SAG |
| | 4300009207 | 49 | 3,5 | 52,7 | 9,2 | 38 | 172 | 28,6 | 573 | 8,1 | SASG + SAG |
| | 4300009211 | 13 | - | 37 | 6 | - | 165 | 1,3 | 277 | 8,2 | SASG + SAG |
| | 4300009212 | 14 | 3 | 36 | 8 | 2 | 194 | - | 262 | 7,5 | SASG + SAG |
| | 4300009811 | 50 | 1,5 | 36,5 | 16,6 | 7,5 | - | 1,8 | 407 | 8,1 | SASG |
| | 4300020122 | 2,14 | 4,56 | 1,7 | 0,73 | 0,81 | 18 | 0,15 | 35 | 5,81 | SAG |
| | 4300020533 | 1,9 | 2,07 | 5,12 | 2,28 | 0,54 | 28,8 | 0,31 | 36,1 | 6,35 | SAG |
| | 4300021524 | 11,6 | 6,2 | 34 | 0,001 | 1,5 | - | - | 315 | 7,15 | SASG + SAG |
| | 4300021603 | 0,92 | 2,09 | 3,11 | 1,5 | 3,16 | 12,4 | 0,19 | 42 | 5,52 | SAG |
| | 4300023865 | 0,001 | - | 37 | 6 | - | 165 | 1,3 | 277 | 8,2 | SASG + SAG |
| | 4300025044 | 2,54 | 5,1 | 7,3 | 1,1 | 0,55 | 35,6 | 1,51 | 66,4 | 6,8 | SAG |
| Análises De Campo | PQ-008 | 30,4 | 0,22 | 34,5 | 16,9 | 3,5 | 209,5 | 1,12 | 395 | 7,9 | SASG |
| | PQ-011 | 7,97 | 0,45 | 38,8 | 13,5 | 5 | 132,5 | 3,56 | 375 | 7,3 | SASG |
| | PQ-013 | 1,44 | 3,62 | 4,45 | 2,06 | 4,5 | 4 | 1,12 | 103,8 | 5,3 | SAG |
| Análises CORSAN | 3769 | 15 | - | 35,8 | 9 | 1,3 | 330 | 1,23 | 286 | 7,5 | - |
| | 3772 | 105 | - | 24 | 3,1 | 40,1 | 290,6 | 70 | 612 | 8,1 | - |
| | 3770 | 12,1 | - | 29,3 | 6,6 | - | 281,2 | - | 245 | 7,3 | - |
| | 3774 | 23,9 | - | 35,2 | 6,6 | 1,19 | 218 | 0,85 | 311 | 7,5 | - |
| | 3771 | 11,9 | - | 42 | 5,6 | 1,22 | 197 | - | 293 | 7,9 | - |
| | 3773 | 10 | - | 26,4 | 5,5 | - | 136 | - | 214 | 7,2 | - |

Com o software QualiGraf (FUNCEME, 2014) foram gerados os diagramas para a classificação da água do município. O primeiro diagrama usado foi o Diagrama de Piper (Figura 30).

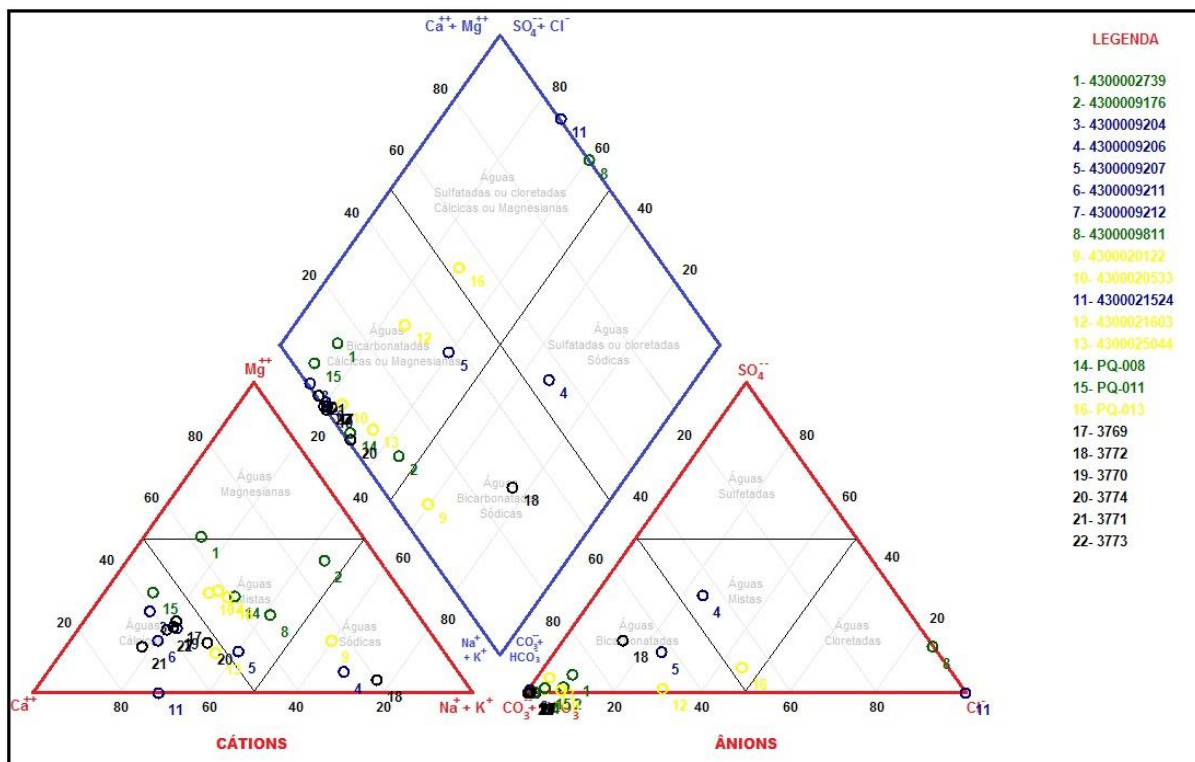


Figura 30. Diagrama de Piper com as amostras utilizadas para classificação plotadas. Em verde as amostras de poços que captam água apenas do SASG, em amarelo que captam do SAG, em azul dos dois sistemas de aquíferos e em preto análises sem informação da litologia (Fonte: software QualiGraf).

Pela classificação de Piper, observa-se que as águas subterrâneas da área de estudo são, em sua maioria, águas bicarbonatadas, ou seja, em relação aos ânions existe um domínio do bicarbonato (HCO_3^-). Em relação aos cátions, as águas encontram-se classificadas entre cálcicas, sódicas e mistas, com predomínio em cálcicas e mistas, isto é, existe uma relação de $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++}$. De acordo com Reginato (2004), águas desse tipo possuem relação com a composição química das litologias que hospedam o aquífero fraturado Serra Geral, onde a fonte dos cátions esta associada com a alteração dos silicatos que compõem a rocha.

Nas amostras se observa que algumas caíram no campo de águas bicarbonatadas sódicas, e segundo Lisboa (1996), águas bicarbonatadas sódicas são

geradas através da mistura das águas do SAG com o SASG. O mesmo acontece para as amostras que foram classificadas como bicarbonatadas mistas.

O Diagrama de Schoeller e Berkaloff (Figura 31) também foi utilizado para a classificação das águas de Quaraí. Nele foi possível observar três assinaturas geoquímicas distintas. Uma de águas de poços que captam água apenas do SAG, outra com águas do SASG e outra assinatura das captações de ambos aquíferos.

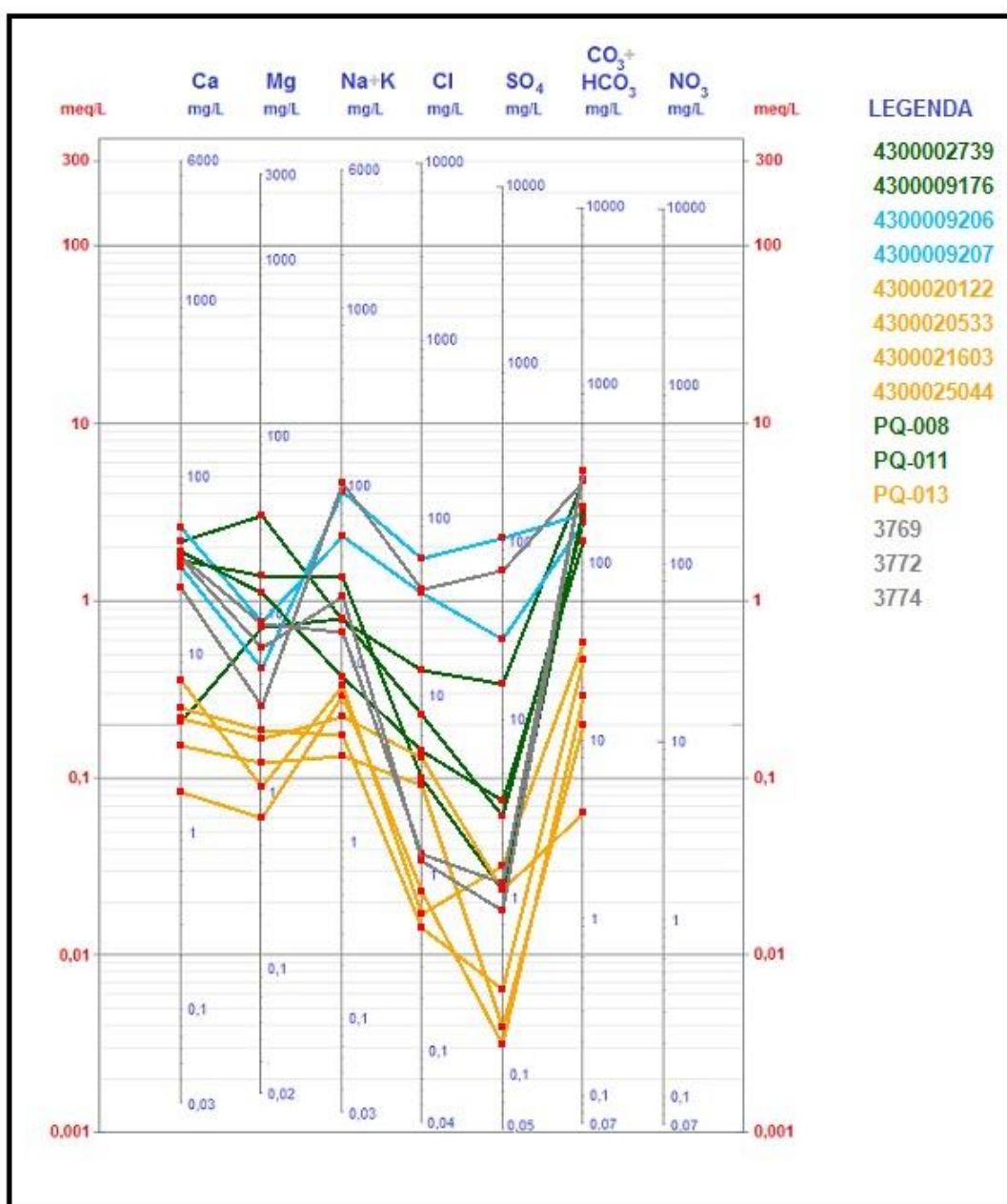


Figura 31. Diagrama de Schoeller e Berkaloff onde é possível visualizar um padrão de águas do SAG (linhas amarelas), um padrão de águas do SASG (linhas verdes) e um padrão das águas mistas (linhas azuis). As linhas cinza representam poços que não possuem informação litológica (Fonte: software QualiGraf).

De modo geral, as águas do aquífero Guarani tendem a ser mais sódicas do que cálcicas, porém, observando-se o Diagrama de Piper, das amostras que captam água apenas das rochas da Formação Botucatu, apenas uma foi classificada como sódica. No Diagrama de Schoeller e Berkaloff, é possível perceber que as amostras de poços do Botucatu possuem as menores quantidades de Na^+ , novamente isso é relacionado ao fato de que a área de exposição da Formação Botucatu é uma área de recarga dos aquíferos, onde a água possui pouco tempo de interação com as rochas. Ainda neste diagrama, percebe outra característica de águas do SAG, o baixo teor de sulfatos.

O Diagrama de Classificação de Águas para Irrigação (Figura 32) utiliza os critérios propostos pela *United States Salinity Laboratory* (USSL), sendo essa classificação umas das mais aceitas atualmente para o uso de água na irrigação. O estudo do efeito da qualidade da água sobre solos irrigados é de grande importância, pois está relacionado as características químicas e físicas do solo e a capacidade produtiva dos cultivos.

Um dos critérios dessa classificação diz respeito a concentração total de sais e está diretamente ligada a condutividade elétrica da água. Pelo diagrama, verificou-se que as águas do município de Quaraí possuem baixa a média salinidade (C1 e C2), pela classificação USSL podem ser usadas sempre que existir um grau médio de lixiviação e sem necessidade de práticas especiais de controle da salinidade.

Outro critério é em relação a adsorção de sódio que expressa a atividade relativa de íons de sódio em reações de trocas catiônicas com o solo. As águas da área de estudo foram classificadas como águas com baixo teor de sódio (S1), de acordo com a USSL podem ser usadas para irrigação em quase todos os solos, havendo pouco perigo de desenvolvimento de problemas de sodificação do solo.

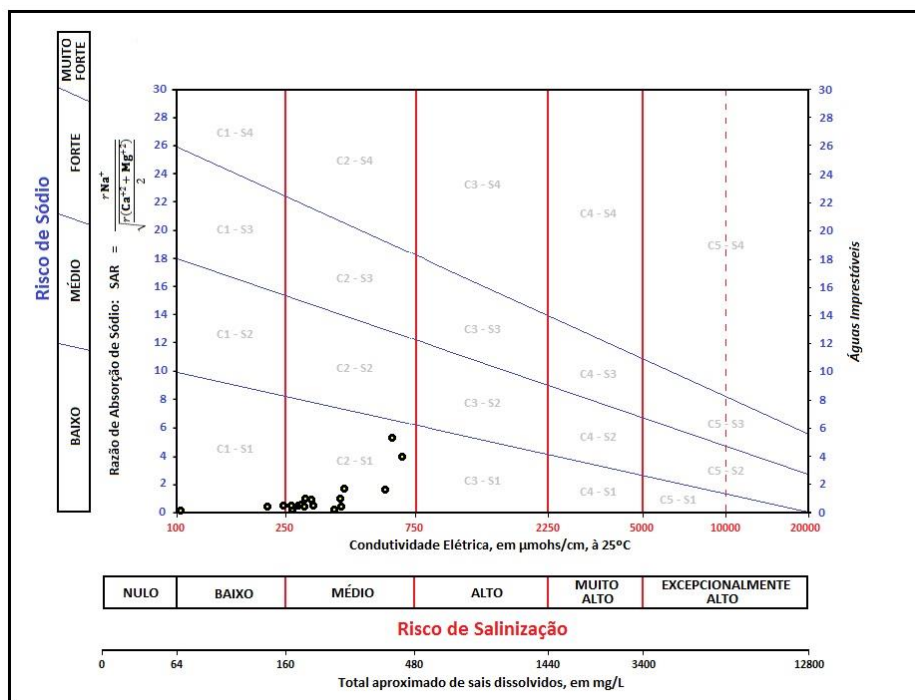


Figura 32. Classificação das águas para uso na irrigação (Fonte: software Qualigraf)

5.7. Novos Poços Cadastrados

No trabalho de campo foram encontrados três novos poços que não constavam no levantamento feito previamente (Figura 33). Estes poços foram inventariados com informações básicas a respeito deles (Figura 34).

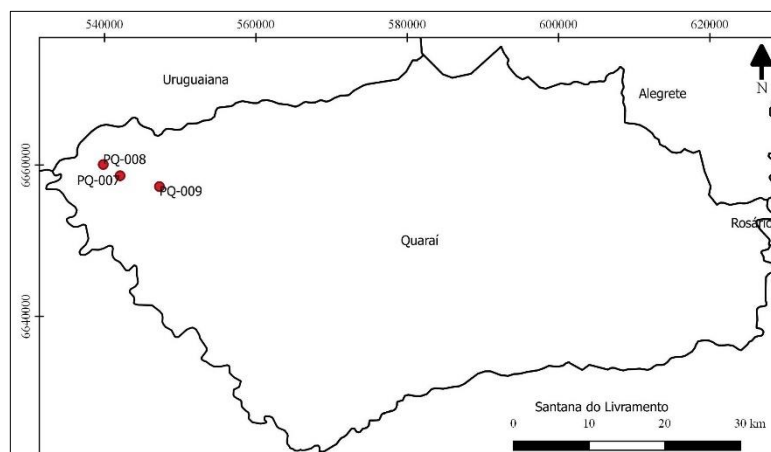


Figura 33. Mapa de localização dos novos poços cadastrados (Fonte: elaborado pelo autor).

| PQ - 007 | |
|---|---|
| UTM 21 J 542050 mE 6658590 mS | Bacia Hidrográfica: Bacia do Rio Quaraí |
| | Local: Cerro do Jarau - Fazenda Santa Isaura do Jarau |
| | Folha do Exército: Garupá |
| Proprietário: João Antônio Bruscato de Lima Gerente da fazenda: Adão Machado | |
| Características Gerais | |
| Tipo de poço: Cacimba Profundidade: 10m Diâmetro: 3,5m Modo de perfuração: Manual | Nível de água: 0,5m (no dia 25/05/2018) Tipo de uso: Consumo doméstico Consumo diário: aprox. 2m ³ Aquífero: Aquífero Guarani |
| Parâmetros Físico-químicos | |
| Condutividade elétrica: 408 µS/cm Temperatura: 18,5 °C Sólidos totais: 279 ppm | Salinidade: 182 ppm pH: 5,4 |
| PQ - 008 | |
| UTM 21 J 539822 mE 6660077 mS | Bacia Hidrográfica: Bacia do Rio Quaraí |
| | Local: Cerro do Jarau - Fazenda Santa Isaura do Jarau |
| | Folha do Exército: Garupá |
| Proprietário: João Antônio Bruscato de Lima | |
| Características Gerais | |
| Tipo de poço: Poço tubular Profundidade: 60m Diâmetro: 6" Modo de perfuração: Roto-pneumática Data perfuração: 2013 | Nível de água: 12,7m (no dia 25/05/2018) Tipo de uso: Consumo doméstico Vazão: 6m ³ /h Aquífero: Aquífero Serra Geral Litologia do poço: Basalto |
| Parâmetros Físico-químicos | |
| Condutividade elétrica: 395 µS/cm Temperatura: 18,2 °C Sólidos totais: 342 ppm | Salinidade: 205 ppm pH: 6,7 |
| PQ - 009 | |
| UTM 21 J 547248 mE 6657159 mS | Bacia Hidrográfica: Bacia do Rio Quaraí |
| | Local: Cerro do Jarau - Fazenda Santa Lucia do Jarau |
| | Folha do Exército: Garupá |
| Proprietário: Guilherme Schmitt | |
| Características Gerais | |
| Tipo de poço: Poço tubular Profundidade: 65m Diâmetro: 6" Modo de perfuração: Roto-pneumática Data perfuração: 2006 | Tipo de uso: Consumo doméstico Aquífero: Aquífero Guarani *Não foi possível medir nível estático pois poço não possuía local para descer a sonda. Também não foi possível análise físico-químicas pois só era possível coletar água após a caixa d'água |

Figura 34. Ficha de cadastro realizada para os três novos poços encontrados.

5.8. Mapa de favorabilidade hidrogeológica

Utilizando-se os dados obtidos nesse trabalho foi elaborado o Mapa de Favorabilidade para Água Subterrânea do Município de Quaraí (Figura 35). Neste mapa são indicados os locais mais propícios para a perfuração de poços para captação de água.

O mapa foi dividido em áreas de favorabilidade para água subterrânea média a baixa, média a alta e alta. Os critérios adotados para essa classificação foram a litologia, a densidade de lineamentos, o comprimento dos lineamentos, o cruzamento de lineamentos e a configuração piezométrica do município.

Na área de favorabilidade média a baixa existe uma densidade de lineamentos menor e a ocorrência apenas de basaltos, estes as com maiores espessuras. Dados de poços mostram o predomínio de vazões entre 0,5 e 2m³/h. Nessa área os locais mais favoráveis para a perfuração de futuros poços são os lineamentos mais extensos (adotado nesse trabalho como critério os com comprimento maior que 10km) e os locais com intersecção de lineamentos. Os locais pouco favoráveis apresentam lineamentos dispersos e com extensão menor que 10km, podendo apresentar poços com vazões baixas e até poços secos.

Na área de favorabilidade média a alta ocorre uma densidade maior de lineamentos e presença apenas de basalto, porém estes com espessuras menores. Os dados de poços mostram vazões de até 100m³/h, essas vazões altas estão associadas as áreas com cota piezométrica entre 90 e 110m no extremo oeste do município e a poços que chegam ao SAG, nesses locais também podem ocorrer a perfuração de poços com surgência. Para essa área é indicado a locação de futuros poços em qualquer lineamento devido a intensidade maior deles e as menores espessuras de basalto que facilitam o poço a captar água do SAG.

Na área de favorabilidade alta está localizado o aquífero poroso, sendo qualquer local indicado para futuros poços, porém esta área representa uma zona de recarga dos aquíferos, sendo recomendado um estudo do balanço hídrico do local para a locação de futuros poços. Este estudo é importante para controlar a disponibilidade da zona de recarga, pois poços nessas áreas captam águas que estão recém entrando no sistema, sendo necessário retirar menos água do que entra nos aquíferos. Os dados dos poços mostram vazões predominantes entre 2 e 10m³/h.

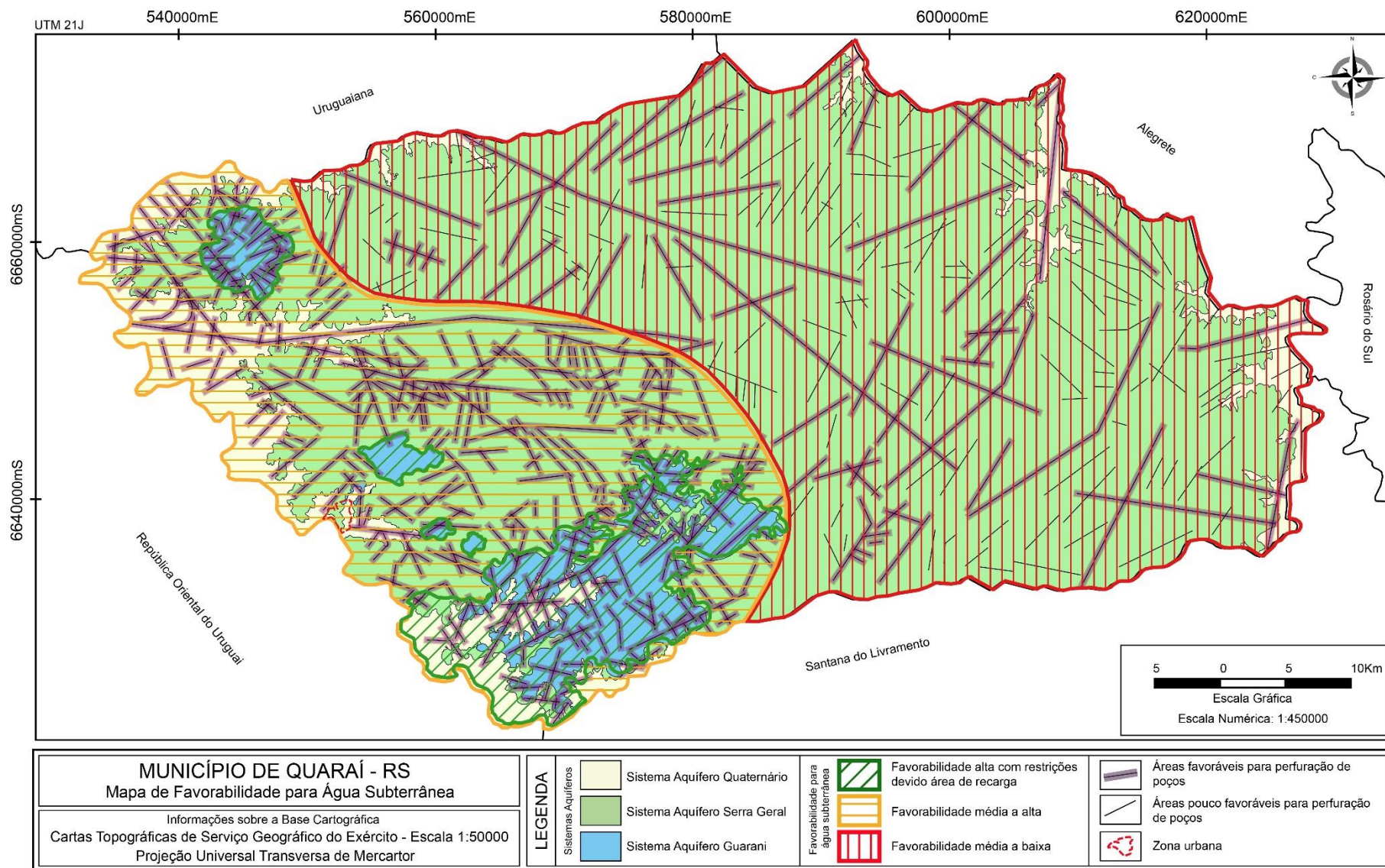


Figura 35. Mapa de Favorabilidade para Água Subterrânea do município de Quaraí - Rio Grande do Sul (Fonte: elaborado pelo autor)

6. CONCLUSÃO

Com a metodologia deste trabalho, que utilizou pesquisa bibliográfica, produtos de sensoriamento remoto, dados de poços tubulares, análises químicas de água e dados obtidos em campo, foi possível realizar uma caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica regional do município de Quaraí, Rio Grande do Sul.

Geologicamente, o município de Quaraí é composto por arenitos da Formação Guará e Botucatu e pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral. A área de estudo também é fortemente afetada por falhas, vistas através do sensoriamento remoto pelos lineamentos e em campo por zonas muito fraturadas. O evento que ocasionou essas falhas também soergueu blocos e expos os arenitos da Formação Botucatu, encontrados estratigraficamente abaixo dos derrames do Serra Geral, gerando características hidrogeológicas distintas no município. O impacto de um meteoro na região do Cerro do Jarau também transformou a região em relação a sua geologia e hidrogeologia.

Neste trabalho também foi possível definir três níveis de derrames basálticos da Formação Serra Geral não abordados em nenhum mapa ou trabalho dos utilizados na bibliografia. Também é possível definir um quarto nível, onde estão as brechas hidráulicas preenchidas com calcita. Estas brechas podem interferir na qualidade da água de poços perfurados na região, pois minerais de preenchimento de fraturas possuem grande influência na composição química da água, principalmente minerais muito solúveis como a calcita, que podem aumentar a dureza da água.

Com o mapa geomorfológico e hipsométrico foi possível realizar uma boa caracterização do relevo de Quaraí. Juntamente com o mapa da rede de drenagem, essas informações podem ser úteis para um planejamento municipal, servindo para estudos do uso e ocupação do espaço.

A área de estudo é caracterizada por dois sistemas de aquíferos, o Sistema Aquífero Guarani e o Sistema Aquífero Serra Geral, em superfície o SASG ocorre na maior área do município estando o SAG associado as áreas de exposição de arenitos. Através das análises químicas foi possível classificar a grande maioria das águas como Bicarbonatadas Cálcicas ocorrendo algumas Bicarbonatadas Sódicas e que ocorre mistura das águas de ambos aquíferos. Também foi possível determinar que,

de acordo com a USSL, as águas do município apresentam boa qualidade para irrigação e oferecem baixo risco de salinização do solo. As análises químicas também mostraram que os blocos soerguidos na porção SW, que expõe a Formação Botucatu, funcionam como área de recarga dos aquíferos. Indicando que são áreas que oferecem maiores riscos de contaminação para os aquíferos. A indicação da direção de fluxo das águas subterrâneas permite prever o comportamento da dispersão de possíveis contaminantes e interpretar dados hidrogeoquímicos em uma escala regional.

No nível de detalhe do trabalho, foi possível delimitar um terceiro sistema de aquífero, relacionado aos sedimentos do quaternário, porém a falta de dados impossibilitou a sua caracterização.

Com os perfis estruturais realizados foi possível observar que a Formação Serra Geral exerce papel de camada confinante para o Sistema Aquífero Guarani, esse confinamento aumenta a pressão no SAG e eleva a cota piezométrica dos poços. Em futuros poços perfurados nos basaltos e que atinjam o SAG podem ocorrer surgência.

Com o mapa de favorabilidade hidrogeológica foi possível determinar áreas com potencial para futuras obras de captação de água subterrânea e estimar as possíveis vazões.

Uma boa caracterização hidrogeológica fornece conhecimentos que podem servir para uma boa gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Nesse trabalho foi realizada uma caracterização a nível regional, porém já fornece dados preliminares para um estudo em uma escala local.

7. REFERÊNCIAS

BERGMANN, M. Distribuição e potencial de aproveitamento econômico dos basaltos amigdalóides a zeolitas do Grupo Serra Geral da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, Brasil. **Metalogenia e exploração mineral no Grupo Serra Geral. IGEO/UFRGS**, Porto Alegre, 2014. 261-275.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: CPRM, v. 3, 2005.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul: Programa Geologia do Brasil**. Porto Alegre: CPRM, 2010.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000**. CPRM. Porto Alegre. 2010.

FACCINI, U. F. **O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, p. 121. 1989.

FRANK, H. T.; GOMES, M. E. B.; FORMOSO, M. L. L. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 36, n. 1, p. 49-57, 2009.

FRANTZ, L. C. et al. **Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera/ Livramento e Quaraí/Artigas**. 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Sul. [S.I.]. 2004.

FREITAS, M. A.; CAYE, B. R.; MACHADO, J. L. F. **Projeto Oeste Santa Catarina: Diagnóstico dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Oeste do Estado de**

Santa Catarina. Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2003.

FUNCEME. **Qualigraf**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2014.

GONZAGA DE CAMPOS, L. F. **Relatório**. Secção geológica. Comissão Geographica e Geológica. São Paulo, p. 21-34. 1889.

HAUSMAN, A. **Províncias hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul, RS**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1995. 127 p. Acta geologica leopoldensia, Série mapas, mapa no. 2.

HOBBS, W. H. Lineaments of the Atlantic Border Region. **Geological Society: American Bulletin**, v. 15, p. 483-506, 1904.

HOBBS, W. H. **Earth Features and Their Meaning**: An Introduction To Geology. Nova Iorque: The MacMillan Company, 1912. 506 p.

HOWARD, A. D. Drainage Analysis in Geologic Interpretation a Summation. **The American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, Novembro 1967.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento de Recursos Naturais**: Folha SH. 22 Porto Alegre e partes das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: IBGE, v. 33, 1986. 796 p.

KOVALEVSKY, V. S.; KRUSEMAN, G. P.; RUSHTON, K. R. **Groundwater studies**: an international guide for hydrogeological investigations. Paris: Educational, Scientific and Cultural Organization. UNESCO, v. 3, 2004. 430 p.

LIMA, E. F. et al. Sucessões vulcânicas, modelo de alimentação e geração de domos de lava ácidos da Formação Serra Geral na região de São Marcos-Antônio Prado (RS). **Geologia Série Científica USP**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 49-64, Agosto 2012.

LISBOA, N. A. **Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do sistema aquífero Serra Geral, na bacia do Paraná, Rio Grande do Sul**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado). Porto Alegre, p. 135. 1996.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. D. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2005.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado). Porto Alegre, p. 255. 1997.

MILANI, E. J. et al. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, maio/novembro 2007.

MINISTÉRIO DO EXERCITO - DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. Laboratório de Cartografia. **UFSM**. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/cartografia/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=47>. Acesso em: 2017.

MIRANDA, E. E. Brasil em Relvo. **Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: Novembro 2017.

MONTEIRO, C. A. D. F. Geomorfologia. In: IBGE, F. **Geografia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Biblioteca Geográfica Brasileira, v. 18, 1968. p. 9-73.

MOREIRA, A. A. N.; LIMA, G. R. Relevo. In: IBGE, F. **Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 5, 1977. p. 1-34.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Secretaria da Agricultura. Porto Alegre, p. 35. 1961.

NANNI, A. S. **O Fluor em Águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado). Porto Alegre, p. 127. 2008.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. **Geological Society: America Bulletin**, v. 87, p. 1463-1469, 1976.

PHILIPP, R. P. et al. A estrutura de impacto do Cerro do Jarau, Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 4, p. 468-483, Dezembro 2010.

REBOUÇAS, A. C. Groundwater in Brazil. **Episodes: Journal of International Geoscience**, v. 11, p. 209-214, 1988.

REGINATO, P. A. R.; STRIEDER, A. J. Integração de Dados Geológicos na Prospecção de Aquíferos Fraturados na Formação Serra Geral. **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 1, p. 1-14, 2006.

REGINATO, P. A.; STRIEDER, A. J. Caracterização Hidroquímica dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. **XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2004. 1-14.

ROSS, J. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

SCHERER, C. M. S. **Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Eocretáceo da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul.** Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado). Porto Alegre, p. 222. 1998.

SCHERER, C. M. S.; FACCINI, U. F.; LAVINA, E. L. **Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná.** Geologia do Rio Grande do Sul. UFRGS-CIGO. Porto Alegre, p. 335-354. 2000.

SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. Aloformação Guará: Uma nova unidade estratigráfica Mesozóica na porção meridional da Bacia do Paraná. **3º Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, Boletim de Resumos**, Barra do Garças, p. 36-37, 1997.

SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. C. Sedimentary cycles and facies architecture of fluvial-aeolian strata of the Upper Jurassic Guará Formation, southern Brazil. **Sedimentology**, v. 52, p. 1323-1341, Dezembro 2005.

WAICHEL, B. L.; LIMA, E. F.; SOMMER, C. A. Tipos de derrame e reconhecimento de estruturas nos basaltos da Formação Serra Geral: terminologia e aspectos de campo. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 33, n. 2, p. 123-133, 2006.

WHITE, I. C. **Relatório sobre as "coal measures" e rochas associadas do sul do Brasil.** Report from Comissão das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro, p. 1-300. 1908.

WWAP (World Water Assessment Programme). **The United Nations world water development report, 2006.** p.180. 2006

8. ANEXOS

Anexo 1. Cadastro de poços SIAGAS encontrados em Quaraí

| Nº POÇO | COTA DO TERRENO | UTME | UTMN | NATUREZA | CONDIÇÃO | TIPO DE FORMAÇÃO | NIVEL DINAMICO | NIVEL ESTÁTICO | VAZÃO ESTABILIZADA |
|------------|-----------------|--------|---------|--------------|-----------|----------------------|----------------|----------------|--------------------|
| 4300000886 | 112 | 551900 | 6639050 | Poço tubular | | Formação Botucatu | 43,5 | 27 | 18 |
| 4300000887 | 202 | 577375 | 6636383 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 36,18 | 30,6 | 3,87 |
| 4300001148 | 238 | 601605 | 6635634 | Poço tubular | | | | 38,6 | |
| 4300001956 | 208 | 581257 | 6673362 | Cacimba | Livre | Formação serra geral | | 12,3 | |
| 4300002350 | 250 | 606153 | 6640973 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 37 | 35 | 0,6 |
| 4300002736 | 145 | 552127 | 6656701 | Poço tubular | Livre | Formação serra geral | | 37 | |
| 4300002737 | 117 | 552966 | 6664269 | Cacimba | Livre | Formação serra geral | | 0,1 | |
| 4300002738 | 125 | 563526 | 6667692 | Cacimba | Livre | Formação serra geral | | | |
| 4300002739 | 145 | 568218 | 6664739 | Poço tubular | Livre | Formação serra geral | | 18 | |
| 4300002740 | 204 | 565477 | 6655838 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 60 | 2,3 |
| 4300002873 | 179 | 543344 | 6656475 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 20,2 | 2 |
| 4300008013 | 229 | 581800 | 6673694 | Poço tubular | | | 22 | 13 | 1 |
| 4300009151 | 117 | 549926 | 6638544 | Poço tubular | | | | 22 | 5 |
| 4300009152 | 115 | 552901 | 6638480 | Poço tubular | | | | 10 | 7 |
| 4300009153 | 116 | 552718 | 6639404 | Poço tubular | | | | 16 | 2 |
| 4300009154 | 118 | 551790 | 6639163 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 43,5 | 27 | 18 |
| 4300009155 | 104 | 551462 | 6639925 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 19,5 | 17,5 | 2 |
| 4300009156 | 129 | 552870 | 6640883 | Poço tubular | | | | 21,25 | 3,6 |
| 4300009157 | 103 | 553190 | 6638708 | Poço tubular | | | | 2,6 | 4,2 |
| 4300009158 | 106 | 553812 | 6638347 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 4,2 | 2,5 |
| 4300009159 | 127 | 552305 | 6639788 | Poço tubular | | | | 20 | 8 |
| 4300009160 | 124 | 552417 | 6639149 | Poço tubular | | | | 3,6 | 2,7 |
| 4300009161 | 127 | 552442 | 6638820 | Poço tubular | | | | 2,5 | 6 |
| 4300009162 | 123 | 552575 | 6638121 | Poço tubular | | | | 24 | 5 |
| 4300009163 | 105 | 554788 | 6638481 | Poço tubular | | | | 0 | 30 |
| 4300009164 | 105 | 552993 | 6638065 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 18 | 12 | 9 |
| 4300009165 | 108 | 554637 | 6638337 | Poço tubular | | | 43 | 0 | 5 |
| 4300009166 | 109 | 549604 | 6638013 | Poço tubular | | | 21 | 19 | 4,38 |
| 4300009167 | 107 | 549603 | 6637728 | Poço tubular | | | | 15,5 | 3,2 |
| 4300009168 | 129 | 549201 | 6639160 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 17 | 14 | 3 |
| 4300009169 | 114 | 550756 | 6639346 | Poço tubular | | | | 3,3 | 2,8 |
| 4300009170 | 114 | 550903 | 6639545 | Poço tubular | | | | 6 | 5 |
| 4300009171 | 121 | 552152 | 6639126 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | | 32,5 | 10,286 |

| | | | | | | | | | |
|------------|-----|---------|---------|--------------|-----------|----------------------|-------|-------|--------|
| 4300009207 | 110 | 552220 | 6638931 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 90,2 | 31,3 | 37,714 |
| 4300009208 | 114 | 552233 | 6638913 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | | 1,7 | 37 |
| 4300009209 | 102 | 554762 | 6638562 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 32,99 | 1,29 | 70,89 |
| 4300009210 | 108 | 554765 | 6638579 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | | | |
| 4300009211 | 126 | 553923 | 6636569 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 79,21 | 35,19 | 21,951 |
| 4300009212 | 126 | 553959 | 6636633 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 77,02 | 38,18 | 41,09 |
| 4300009213 | 109 | 552942 | 6638590 | Poço tubular | | | | 19,8 | 11 |
| 4300009214 | 116 | 553728 | 6638771 | Poço tubular | | | | 15 | 6 |
| 4300009786 | 151 | 564574 | 6632412 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | | 18 | 4 |
| 4300009787 | 132 | 565212 | 6632127 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | | 9 | 8 |
| 4300009788 | 170 | 568385 | 6627786 | Poço tubular | | | | 6,2 | 4 |
| 4300009789 | 185 | 557798 | 6644380 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | | 57 | 2,2 |
| 4300009790 | 151 | 559388 | 6643210 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 37 | 34 | 3 |
| 4300009791 | 164 | 563067 | 6649343 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 72 | 54 | 2,5 |
| 4300009792 | 168 | 568150 | 6666958 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 47 | 0,54 |
| 4300009793 | 152 | 567863 | 6668103 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 75 | 40 | 4 |
| 4300009795 | 221 | 581349 | 6666881 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 35 | 25 | 3 |
| 4300009796 | 184 | 574883 | 6661024 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 46,8 | 4,5 |
| 4300009797 | 203 | 552505 | 6645705 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 11 | 3,5 |
| 4300009798 | 178 | 562456 | 6638607 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | | 68 | 1,2 |
| 4300009799 | 170 | 563898 | 6639412 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | | | |
| 4300009800 | 120 | 559794 | 6638203 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 27 | 19 | 3 |
| 4300009801 | 103 | 561096 | 6637279 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 14 | 10 | 2,4 |
| 4300009802 | 163 | 564362 | 6638760 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 30 | 6 | 0,5 |
| 4300009803 | 161 | 562991 | 6639075 | Poço tubular | | | | 59 | 2,4 |
| 4300009804 | 158 | 567512 | 6638955 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | | 60 | 1,5 |
| 4300009805 | 283 | 590091 | 6645196 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | | 17,8 | 2,1 |
| 4300009806 | 258 | 594055 | 6641200 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 14 | 1,5 |
| 4300009807 | 206 | 596165 | 6654623 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 15 | 2 |
| 4300009808 | 176 | 590989 | 6654519 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 13 | 0,5 |
| 4300009809 | 124 | 5951384 | 6655530 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 8 | 2 |
| 4300009811 | 183 | 598517 | 6648168 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 6,9 | 1,8 |
| 4300009812 | 251 | 611597 | 6641310 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | | 20 | 2 |
| 4300009813 | 180 | 620986 | 6653259 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | | 42 | 3 |
| 4300009814 | 158 | 624964 | 6654468 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | | | |

| | | | | | | | | |
|------------|--------|--------|---------|---------------|-----------|----------------------|------|-------|
| 4300009815 | 267 | 601589 | 6635461 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 5 | 3 |
| 4300009816 | 222 | 602628 | 6638864 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 30 | 1,6 |
| 4300009817 | 289 | 606633 | 6636124 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 20 | 1,5 |
| 4300009818 | 272 | 610339 | 6641272 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 18,9 | 0,6 |
| 4300009819 | 33 | 566106 | 6625349 | Poço tubular | | Formação Botucatu | 1,6 | 5 |
| 4300009820 | 140 | 565759 | 6625296 | Poço tubular | | Formação Botucatu | | |
| 4300009821 | 133 | 566120 | 6626150 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 12 | 5 |
| 4300009822 | 169 | 567074 | 6628137 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 18 | 3 |
| 4300009823 | 188 | 565226 | 6633505 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 11 | 1,2 |
| 4300009824 | 156 | 566555 | 6632806 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 10 | 3 |
| 4300009825 | 173 | 570781 | 6630821 | Poço tubular | | Formação Botucatu | 12 | 2,4 |
| 4300009826 | 208 | 573053 | 6629056 | Poço tubular | | Formação Botucatu | 22 | 2,5 |
| 4300009827 | 174 | 573907 | 6626399 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 20 | 5 |
| 4300009828 | 180 | 575377 | 6634953 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 19 | 2,8 |
| 4300009829 | 211 | 577361 | 6636646 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 45 | 3 |
| 4300009830 | 156 | 558670 | 6642738 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 26 | 4,5 |
| 4300009831 | 174 | 568477 | 6649350 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 3,4 | 2,6 |
| 4300009832 | 145 | 560441 | 6634990 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 31 | 3 |
| 4300009833 | 148 | 555214 | 6636510 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 50 | 5 |
| 4300009834 | 132 | 555988 | 6636581 | Poço tubular | | Formação Botucatu | 8 | 1,5 |
| 4300009835 | 142 | 557449 | 6635083 | Poço tubular | | Formação Botucatu | 30 | 4 |
| 4300009836 | 100 | 553109 | 6638298 | Poço tubular | | Formação Botucatu | 5,5 | 5,4 |
| 4300009837 | 189 | 568923 | 6637440 | Poço tubular | | Formação Botucatu | 50 | 2 |
| 4300009838 | 177 | 583208 | 6637643 | Poço tubular | Livre | Formação serra geral | 5,3 | 2,4 |
| 4300009839 | 182 | 569497 | 6634562 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 26 | 1,2 |
| 4300009915 | 252 | 584425 | 6671823 | Poço tubular | | | | |
| 4300010566 | 157 | 568416 | 6664958 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 24 | 2,5 |
| 4300020122 | 187,31 | 545904 | 6660216 | Monitoramento | Livre | Formação Piramboia | 80,7 | 2,52 |
| 4300020533 | | 569346 | 6631568 | Poço tubular | | | | |
| 4300021448 | | 549480 | 6638920 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 25,8 | 14,14 |
| 4300021449 | | 583907 | 6662661 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 48 | 14 |
| 4300021450 | | 575804 | 6655238 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 140 | 6 |
| 4300021451 | | 599356 | 6646585 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 36 | 8,33 |
| 4300021452 | | 589766 | 6633645 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 61 | 6 |
| 4300021524 | 128 | 552512 | 6639902 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 33,5 | 26,37 |

| | | | | | | | | |
|------------|--------|---------|---------------|-----------|----------------------|--------|-------|--------|
| 4300021603 | 567084 | 6628360 | Monitoramento | Livre | Formação Botucatu | 26,75 | 19,67 | 5,48 |
| 4300022206 | 106 | 555657 | Poço tubular | | | | | |
| 4300022207 | 184 | 598377 | Poço tubular | Confinado | Formação serra geral | 62 | 10 | 2 |
| 4300022208 | 225 | 589626 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 106 | 103 | 2 |
| 4300022209 | 135 | 575430 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 7 | 3,6 | |
| 4300022210 | 171 | 576266 | Poço tubular | | | | | |
| 4300022211 | 147 | 576763 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | | | |
| 4300022212 | 177 | 577206 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 34,1 | 34 | 3 |
| 4300022213 | 135 | 576280 | Poço tubular | | | | | |
| 4300022214 | 154 | 574904 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 23 | 14 | 3 |
| 4300022215 | 138 | 555158 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 29,1 | 29 | 5 |
| 4300023865 | 131 | 553923 | Poço tubular | | Formação Botucatu | 80 | 34,45 | 22 |
| 4300025044 | 110 | 552800 | Poço tubular | Livre | Formação Botucatu | 128,96 | 8,8 | 14,2 |
| 4300026814 | 279 | 631713 | Poço tubular | Livre | Formação Serra Geral | | | |
| 4300026822 | 120 | 552295 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 72,74 | 38,8 | 41,973 |
| 4300026976 | 176 | 603792 | Poço tubular | Confinado | Formação Botucatu | 81,24 | 67,46 | 9,5 |

Anexo 2. Laudos das amostras de água coletadas em campo



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 19 de junho de 2018

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 086/2018-Ág

| | |
|----------------|-----------|
| Requisição n°: | 023/2018. |
|----------------|-----------|

| Dados do Cliente | |
|--------------------------|---------------------------|
| Cliente | Prof. Marcos Imerio Leão. |
| Endereço | IPH. |
| Dados da Amostra | |
| Tipo de Amostra | Água subterrânea. |
| Identificação da amostra | PQ-008 |
| Data do Recebimento | 28/05/2018. |
| Data da Coleta | 24/05/2018. |
| Responsável pela coleta | Fabício Monticelli. |
| Local da Coleta | Quarai/RS. |

| ENSAIOS REALIZADOS | | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|-----------|-------|---|------|
| Parâmetro | Unidade | Resultado | LD | Metodologia | REF. |
| Cloretos | mgCl ⁻ /L | 3,50 | 1,00 | Volumetria de precipitação | 7 |
| Fluoreto | mgF ⁻ /L | 0,63 | 0,10 | Eletrodo de Íon Seletivo | 1 |
| Nitrato | mgNO ₃ ⁻ -N/L | 0,679 | 0,200 | Espectrofotometria UV | 1 |
| *Ortofosfato | mgPO ₄ ⁻ -P/L | 0,020 | 0,010 | Absorciometria com redução do ácido ascórbico | 1 |
| Sulfato | mgSO ₄ ²⁻ /L | 1,12 | 1,00 | Turbidimetria | 1 |

LEGENDA: LD = Limite de detecção
REF. = Referência

Referência

| | |
|---|-----------------------------------|
| 1 | Standard Methods 21 st |
| 7 | NBR 13797/1997 |

Amostras para análise de **Nitrato e Ortofosfato**, referente à Requisição n.º 023/2018, foram entregues no Centro de Ecologia com o prazo de validade vencido para análise.

Antônio César de Amorim Borges
Químico Industrial – CRQ-V: 05201454

*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 Home Page: www.ecologia.ufrgs.br

Relatório de Ensaio 086 - 18 - Prof. Marcos Imerio Leão(1/1)



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 19 de junho de 2018

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 087/2018-Ág

| | |
|----------------|-----------|
| Requisição n°: | 023/2018. |
|----------------|-----------|

| Dados do Cliente | |
|--------------------------|---------------------------|
| Cliente | Prof. Marcos Imerio Leão. |
| Endereço | IPH. |
| Dados da Amostra | |
| Tipo de Amostra | Água subterrânea. |
| Identificação da amostra | PQ-011 |
| Data do Recebimento | 28/05/2018. |
| Data da Coleta | 24/05/2018. |
| Responsável pela coleta | Fabrizio Monticelli. |
| Local da Coleta | Quarai/RS. |

| ENSAIOS REALIZADOS | | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|-----------|-------|---|------|
| Parâmetro | Unidade | Resultado | LD | Metodologia | REF. |
| Cloretos | mgCl/L | 5,00 | 1,00 | Volumetria de precipitação | 7 |
| Fluoreto | mgF/L | 0,50 | 0,10 | Eletrodo de Íon Seletivo | 1 |
| Nitrato | mgNO ₃ ⁻ -N/L | 3,17 | 0,200 | Espectrofotometria UV | 1 |
| *Ortofosfato | mgPO ₄ ⁻ -P/L | 0,065 | 0,010 | Absorciometria com redução do ácido ascórbico | 1 |
| Sulfato | mgSO ₄ ²⁻ /L | 3,56 | 1,00 | Turbidimetria | 1 |

LEGENDA: LD = Limite de detecção
REF. = Referência

Referência

| | |
|---|-----------------------------------|
| 1 | Standard Methods 21 ST |
| 7 | NBR 13797/1997 |

Amostras para análise de **Nitrato e Ortofosfato**, referente à Requisição n.º 023/2018, foram entregues no Centro de Ecologia com o prazo de validade vencido para análise.

Antônio César de Amorim Borges
Químico Industrial – CRQ-V: 05201454

*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 Home Page: www.ecologia.ufrgs.br
Relatório de Ensaio 087 - 18 - Prof. Marcos Imerio Leão(1/1)



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 19 de junho de 2018

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 088/2018-Ág

| | |
|----------------|-----------|
| Requisição n°: | 023/2018. |
|----------------|-----------|

| Dados do Cliente | |
|--------------------------|---------------------------|
| Cliente | Prof. Marcos Imerio Leão. |
| Endereço | IPH. |
| Dados da Amostra | |
| Tipo de Amostra | Água subterrânea. |
| Identificação da amostra | PQ-013 |
| Data do Recebimento | 28/05/2018. |
| Data da Coleta | 24/05/2018. |
| Responsável pela coleta | Fabrizio Monticelli. |
| Local da Coleta | Quarai/RS. |

| ENSAIOS REALIZADOS | | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|--------------|-------|---|------|
| Parâmetro | Unidade | Resultado | LD | Metodologia | REF. |
| Cloretos | mgCl ⁻ /L | 4,50 | 1,00 | Volumetria de precipitação | 7 |
| Fluoreto | mgF ⁻ /L | 0,67 | 0,10 | Eletrodo de Íon Seletivo | 1 |
| Nitrato | mgNO ₃ ⁻ -N/L | 3,93 | 0,200 | Espectrofotometria UV | 1 |
| *Ortofosfato | mgPO ₄ ⁻ -P/L | 0,014 | 0,010 | Absorciometria com redução do ácido ascórbico | 1 |
| Sulfato | mgSO ₄ ²⁻ /L | 1,12 | 1,00 | Turbidimetria | 1 |

LEGENDA: LD = Limite de detecção
REF. = Referência

Referência

| | |
|---|-----------------------------------|
| 1 | Standard Methods 21 ST |
| 7 | NBR 13797/1997 |

Amostras para análise de **Nitrato e Ortofosfato**, referente à Requisição n.º 023/2018, foram entregues no Centro de Ecologia com o prazo de validade vencido para análise.

Antônio César de Amorim Borges
Químico Industrial – CRQ-V: 05201454

*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 Home Page: www.ecologia.ufrgs.br
Relatório de Ensaio 088 - 18 - Prof. Marcos Imerio Leão(1/1)



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 20 de junho de 2018

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 091/2018-AA

| | |
|----------------|-----------|
| Requisição n°: | 023/2018. |
|----------------|-----------|

| Dados do Cliente | |
|--------------------------|---------------------------|
| Cliente | Prof. Marcos Imerio Leão. |
| Endereço | IPH. |
| Dados da Amostra | |
| Tipo de Amostra | Água subterrânea. |
| Identificação da amostra | PQ-008, PQ 011, PQ 013. |
| Data do Recebimento | 28/05/2018. |
| Data da Coleta | 24/05/2018. |
| Responsável pela coleta | Fabrcio Monticelli. |
| Local da Coleta | Quarai/RS. |

| ENSAIOS REALIZADOS | | | | | | | |
|--------------------|---------|-----------|--------|--------|-------|-------------------------|------|
| Parâmetro | Unidade | Resultado | | | LDM | Metodologia | REF. |
| | | PQ 008 | PQ 011 | PQ 013 | | | |
| Cálcio | mg/L | 34,5 | 38,8 | 4,45 | 0,003 | EAA/Chama Ar- Acetileno | 1 |
| Ferro | mg/L | ND | ND | 0,228 | 0,037 | EAA/Chama Ar- Acetileno | 1 |
| Magnésio* | mg/L | 16,9 | 13,5 | 2,06 | 0,007 | EAA/Chama Ar- Acetileno | 1 |
| Potássio | mg/L | 0,22 | 0,45 | 3,62 | 0,110 | EAA/Chama Ar- Acetileno | 1 |
| *Sódio* | mg/L | 30,4 | 7,97 | 1,44 | 0,052 | EAA/Chama Ar- Acetileno | 1 |

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 21ST.

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

A30145

Antônio César de Amorim Borges
Químico Industrial – CRQ-V: 05201454

*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 Home Page: www.ecologia.ufrgs.br
 Relatório de Ensaio n° 091 - 18 - Prof. Marcos Imerio Leão(1/1)