



**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE OSÓRIO, RS**

Alice Dutra Soares

Porto Alegre, 2016

Alice Dutra Soares

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE OSÓRIO, 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 para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Porto Alegre, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Soares, Alice Dutra

Caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas do município de Osório, RS . / Alice Dutra Soares. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016. [117 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es): Pedro Antonio Roehe Reginato

1. Sistema aquífero 2. Quaternário costeiro 3. Serra Geral  
4. Caracterização hidrogeológica I. Título.

CDU 55

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila F. T. Binotto

CRB 10/1743

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE OSÓRIO, RS**, elaborado por Alice Dutra Soares, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

---

Dr. José Luiz Flores Machado

---

Dr. Marcos Alexandre Freitas

---

Dr. Nelson Amoretti Lisboa

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores do curso de Geologia, muito obrigada por dividirem conosco o conhecimento e por terem contribuído com a nossa formação.

Aos colegas que me acompanharam ao longo desses anos de curso e de UFRGS, obrigada pelo convívio, pelo companheirismo, pelas conversas produtivas (e improdutivas também) e por tornarem os trabalhos de campo menos cansativos.

Às amigas que fiz durante o curso de geologia, em especial à Kamila, à Nicoli e aos meus conterrâneos Matheus, Ronei e Felipe, obrigada pelo companheirismo, pelas proveitosas discussões e troca de ideias, pelas risadas e pelo carinho que sempre tiveram comigo.

Ao meu orientador Pedro Antonio Reginato, por me ensinar o “be-a-bá” da hidrogeologia, por toda paciência, pelas explicações, conversas e dedicação. Muito obrigada por tudo!

Aos meus amigos queridos e presentes desde os anos pré-UFRGS. Um agradecimento especial ao Tiago, à Thais e à Deborah que me acompanharam durante toda a caminhada, vocês são fundamentais.

Aos meus pais, Dalva e Antonio Rogério, pelos ensinamentos de vida e apoio incondicional durante todos esses anos. Agradeço também aos meus irmãos Rogério e Rafa e a minha cunhada Patrícia, pelo convívio, pelo carinho, pelo incentivo e auxílio em todos os momentos. Amo vocês!

Aos meus familiares, que de uma maneira ou de outra, participaram desta longa jornada. E por fim, um agradecimento especial ao meu tio, geólogo, Paulo César, pela amizade, pelo convívio, pelas longas e prazerosas conversas, pelos ensinamentos, por ser um exemplo e uma inspiração pra mim.

Muito obrigada, de coração!

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar a caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas do município de Osório, localizado no litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul. Esse estudo envolveu a avaliação de parâmetros hidrodinâmicos, físicos, químicos e dos diagramas de Piper e Stiff dos diferentes sistemas aquíferos da região. O Sistema Aquífero Guarani (SAG) ocorre em profundidade, sendo verificado através de perfis geológicos de poços tubulares. São aquíferos granulares associados às rochas sedimentares da Formação Botucatu e apresentam-se confinados pelas rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral. Embora não seja o principal aquífero explotado, suas águas podem ser uma importante alternativa de abastecimento na região. Suas águas foram classificadas em sulfatadas ou cloretadas sódicas, sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas cálcica ou magnesianas, esta última podendo estar relacionada à mistura de águas do aquífero sobreposto (SASG). Os aquíferos fraturados que fazem parte do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) estão localizados nos derrames básicos da Formação Serra Geral. São aquíferos de baixas produtividades, sendo que predominam vazões inferiores a 5 m<sup>3</sup>/h e capacidades específicas de até 0,1 m<sup>3</sup>/h/m. Suas águas são bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas com concentrações variáveis de cátions e ânions, no entanto, também ocorrem águas do grupo das sulfatadas ou cloretadas sódicas, sugerindo uma possível contribuição das águas do SAG. O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC) consiste em aquíferos porosos localizados em camadas de areia que estão intercaladas por camadas de sedimentos finos. As vazões explotadas nesse sistema são geralmente inferiores a 5 m<sup>3</sup>/h em função do tipo de captação, porém são aquíferos com bons potenciais de produção, visto que os poços tubulares podem atingir vazões de 230 m<sup>3</sup>/h e capacidades específicas de 12,392 m<sup>3</sup>/h/m. Suas águas são bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, sulfatadas ou cloretadas sódicas, sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas sódicas e apresentam diferentes graus de mineralização, indicando a proveniência tanto de aquíferos livres quanto de confinados.

Palavras-Chave: Sistema Aquífero; Quaternário Costeiro; Serra Geral; Caracterização Hidrogeológica.

## ABSTRACT

This study has for objective to present the hydrogeological and hydrochemical characterization of the groundwater from Osório region, located on the north coast of the Rio Grande do Sul State. This study involved the evaluation of hydrodynamic, physico-chemical and Piper and Stiff diagrams of the different aquifer systems of the region. The Guarani Aquifer System occurs in depth, being verified through geological profiles of tubular wells. They are granular aquifers associated with sedimentary rocks of the Botucatu Formation and are confined by the volcanic rocks of the Serra Geral Formation. Although it is not the main aquifer exploited, its waters can be an important alternative of supply in the region. Its waters were classified as sodium sulfated or chlorinated, calcium or magnesium sulfated or chlorinated and calcium or magnesium bicarbonate, the latter being related to the water mixture of the superimposed aquifer (Serra Geral Aquifer System). The fractured aquifers that are part of the Serra Geral Aquifer System are located in the basic Serra Geral Formation. They are low-productivity aquifers, with flows of less than 5 m<sup>3</sup> / h and specific capacity less than 0,1 m<sup>3</sup>/h/m. Its waters are calcium or magnesium bicarbonate with varying concentrations of cations and anions, however, also occur waters of the group of the sodium sulfated or chlorinated, suggesting a possible contribution of the waters of the GAS. The Coastal Quaternary Aquifer System consists of porous aquifers located in layers of sand that are interspersed by layers of fine sediments. The flows operated in this system are generally less than 5 m<sup>3</sup>/h depending on the type of abstraction, but they are aquifers with good production potentials, since the tubular wells can reach flows of 230 m<sup>3</sup>/h and specific capacity of 12,392 m<sup>3</sup>/h/m. Its waters are calcium or magnesium bicarbonate, sodium sulfated or chlorinated, calcium or magnesium sulfated or chlorinated and sodium bicarbonate and present different degrees of mineralization, indicating the provenance of both free and confined aquifers.

Keywords: Aquifer System; Coastal Quaternary; Serra Geral; Hydrogeological Characterization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo no litoral norte – Osório/RS .....	15
Figura 2. Mapa esquemático ilustrando a Bacia Sedimentar do Paraná, em território brasileiro, e Bacia Sedimentar de Pelotas.....	18
Figura 3. Mapa da área de estudo dentro do contexto geológico do Rio Grande do Sul (modificado de CPRM, 2007).....	19
Figura 4. Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Milani, 1997). ....	21
Figura 5. Estruturação de um derrame de lava basáltica (modificado de Wildner et al., 2006).....	24
Figura 6. Localização da Bacia de Pelotas e suas principais feições estruturais (modificado de Urien & Martins, 1978). ....	25
Figura 7. Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, ilustrando os principais sistemas deposicionais (Tomazelli & Villwock, 1996). ....	26
Figura 8. Perfil esquemático na latitude de Porto Alegre e as idades estimadas dos sistemas deposicionais da PCRS (Tomazelli & Villwock, 2000). ....	27
Figura 9. Mapa Hidrogeológico resumido do Estado do Rio Grande do Sul (Modificado de CPRM, 2005). ....	32
Figura 10. Mapa da área de estudo delimitada dentro do contexto hidrogeológico do RS (modificado de Machado & Freitas, 2005). ....	34
Figura 11. Área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani (Hindi, E. C.; 2007). ...	35
Figura 12. Área de ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Sedimentar do Paraná. ....	38
Figura 13. Estereopar das fotografias aéreas (14613-14614) e o anaglífico com os lineamentos traçados. ....	45
Figura 14. Coleta das amostras de água para análise físico-química.....	46
Figura 15. Modelo do Diagrama de Piper.....	47
Figura 16. Modelo do Diagrama de Stiff.....	48
Figura 17. Modelo do Diagrama USSL.....	49
Figura 18. Mapa geológico de Osório, RS (modificado de CPRM, 2008). ....	53
Figura 19. Perfis geológicos de poços cadastrados na plataforma SIAGAS perfurados no município de Osório (modificado de CPRM).....	54



Figura 20. Perfis geológicos de poços cadastrados na plataforma SIAGAS perfurados no município de Osório (modificado de CPRM).....	56
Figura 21. Vista geral do talude inferior da pedreira com detalhe para a zona basal (a) e para a zona intermediária (b). .....	57
Figura 22. Circulação de água no basalto. ....	58
Figura 23. Diagrama de roseta com as direções de fraturas medidas em campo. ...	58
Figura 24. Mapa de lineamentos da Fm. Serra Geral em Osório. ....	59
Figura 25. Diagrama de roseta com direção dos lineamentos traçados. ....	60
Figura 26. Frequência dos comprimentos dos lineamentos traçados. ....	60
Figura 27. Perfil dos depósitos de planície lagunar (a) e solo com concreções ferruginosas (b) referentes ao Sistema Lagunar III. ....	62
Figura 28. Afloramento da Barreira III. Sedimentos praias com icnofósseis de Ophiomorpha (a;b); sedimentos praias com laminação plano-paralela de baixo ângulo (c); contato entre sedimentos praias e sedimentos eólicos (d). ....	63
Figura 29. Depósitos eólicos do Sistema Barreira IV, localizado no Balneário de Atlântida Sul – Osório/RS.....	64
Figura 30. Mapa hidrogeológico e localização dos poços e da fonte natural utilizados para a caracterização hidrogeológica e hidroquímica dos Sistemas Aquíferos (modificado de CPRM, 2005) .....	66
Figura 31. Distribuição dos tipos de poços identificados no município de Osório. ....	67
Figura 32. Poços tubulares cadastrados no município de Osório. ....	68
Figura 33. Poços ponteira perfurados no município de Osório. ....	68
Figura 34. Poços tipo cacimba. ....	69
Figura 35. Principais usos dos recursos hídricos subterrâneos no município. ....	70
Figura 36. Seções hidrogeológicas esquemáticas (A-A' e B-B'). ....	72
Figura 37. Profundidade dos poços que captam água do SASG em Osório. ....	74
Figura 38. Profundidade das entradas de água dos poços do SASG. ....	75
Figura 39. Profundidade do nível estático dos poços do SASG. ....	76
Figura 40. Capacidade específica dos poços em Osório (SASG).....	77
Figura 41. Vazão dos poços em Osório (SASG) .....	77
Figura 42. Relação das vazões médias para cada intervalo azimutal. ....	78

Figura 43. Perfis geológicos de poços cadastrados na plataforma SIAGAS perfurados no município de Osório (modificado de CPRM).....	79
Figura 44. Seções hidrogeológicas esquemáticas (C-C' e D-D'). .....	81
Figura 45. Profundidade dos poços que captam água do SAQC em Osório. ....	83
Figura 46. Profundidade do nível estático dos poços em Osório (SAQC).....	83
Figura 47. Capacidade específica dos poços do SAQC. ....	84
Figura 48. Vazão dos poços do SAQC.....	85
Figura 49. Diagrama de Piper das amostras de água do SAG. ....	87
Figura 50. Diagrama de Stiff das amostras de água do SAG. ....	88
Figura 51. Diagrama do USSL das amostras do SAG.....	88
Figura 52. Distribuição das análises químicas referentes ao ferro, manganês, fluoretos e nitratos das águas do SAG. (*Valor Máximo Permitido). ....	89
Figura 53. Análises de pH e de condutividade elétrica das águas do SASG. ....	90
Figura 54. Diagrama de Piper das amostras de água do SASG.....	91
Figura 55. Diagrama de Stiff das amostras de água do SASG.....	92
Figura 56. Diagrama do USSL das amostras do SASG. ....	93
Figura 57. Distribuição das análises químicas referentes ao ferro, manganês, fluoretos e nitratos das águas do SASG. ....	94
Figura 58. Análises de pH e de condutividade elétrica das águas do SAQC. ....	96
Figura 59. Diagrama de Piper das amostras de água do SAQC. ....	96
Figura 60. Diagrama de Stiff das amostras do SAQC. ....	98
Figura 61. Diagrama do USSL das amostras do SAQC. ....	99
Figura 62. Distribuição das análises químicas referentes ao ferro, manganês, fluoretos e nitratos das águas do SAQC. (*Valor Máximo Permitido).....	100
Figura 63. Sedimentos oxidados encontrados nos depósitos lagunares (a) e nos depósitos eólicos da Barreira III (b; c). ....	101
Figura 64. Classificação da produtividade dos Sistemas Aquíferos.....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela I. Caracterização hidráulica das classes dos aquíferos de acordo com a capacidade específica. ( $q_s$ - capacidade específica; T - transmissividade; K - condutividade hidráulica e Q - vazão). ....	51
Tabela II. Situação atual dos poços identificados na região de estudo.....	69
Tabela III. Distribuição dos dados existentes para cada parâmetro analisado dos poços do SAG no município de Osório. (NE = nível estático; Q = vazão; q = capacidade específica) .....	73
Tabela IV. Distribuição da quantidade de dados existentes para cada parâmetro dos poços do SASG no município de Osório .....	74
Tabela V. Análise estatística da profundidade das entradas de água dos poços. ....	75
Tabela VI. Análise estatística e distribuição da quantidade de dados existentes para cada parâmetro dos poços do SAQC no município de Osório.....	82
Tabela VII. Análise estatística dos parâmetros de pH e CE do SAG. ....	86
Tabela VIII. Análise estatística dos parâmetros de pH e CE do SASG.....	90
Tabela IX. Análise estatística dos parâmetros de pH e CE do SAQC. ....	95
Tabela X. Dados estatísticos referentes às concentrações de Ferro, Manganês, Nitratos e Fluoretos.....	99

# Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	14
1.1. Localização da Área .....	14
1.2. Caracterização do Problema/Hipótese.....	15
1.3. Justificativa .....	16
1.4. Objetivos e Metas .....	17
2. CONTEXTO GEOLÓGICO .....	17
2.1. Bacia do Paraná .....	19
2.1.1. Formação Botucatu .....	22
2.1.2. Formação Serra Geral.....	22
2.2. Planície Costeira do Rio Grande do Sul.....	24
2.2.1. Sistema Depositional de Leques Aluviais .....	27
2.2.2. Sistema Depositional Laguna-Barreira I .....	28
2.2.3. Sistema Depositional Laguna-Barreira II .....	28
2.2.4. Sistema Depositional Laguna-Barreira III .....	28
2.2.5. Sistema Depositional Laguna-Barreira IV .....	29
3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO .....	31
3.1. Sistema Aquífero Guarani.....	34
3.2. Sistema Aquífero Serra Geral .....	37
3.3. Sistema Aquífero Quaternário Costeiro .....	41
4. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO .....	43
4.1 Levantamento Bibliográfico.....	43
4.2 Coleta e Cadastramento dos Pontos de Captação .....	43
4.3 Caracterização Geológica e Estrutural .....	44
4.4. Caracterização Hidrogeológica .....	45
4.5. Caracterização Hidroquímica.....	46

4.6. Avaliação do Potencial Hidrogeológico .....	49
5. RESULTADOS.....	52
5.1. Caracterização Geológica de Osório .....	52
5.1.1. Formação Botucatu .....	54
5.1.2. Formação Serra Geral.....	55
5.1.3. Depósitos dos Sistemas Laguna-Barreira .....	60
5.2. Caracterização Hidrogeológica.....	65
5.2.1. Uso dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Osório .....	67
5.2.2. Caracterização do Sistema Aquífero Guarani (SAG).....	70
5.2.3. Caracterização do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).....	73
5.2.4. Sistema Aquífero Quaternário Costeiro .....	79
5.3. Caracterização Hidroquímica.....	85
5.3.1. Sistema Aquífero Guarani .....	85
5.3.2. Sistema Aquífero Serra Geral .....	89
5.3.3. Sistema Aquífero Quaternário Costeiro .....	95
5.4. Avaliação do Potencial Hidrogeológico .....	101
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	103
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	106
8. ANEXO .....	112

## **1. INTRODUÇÃO**

A utilização das águas subterrâneas para fins de abastecimento público e privado teve um aumento significativo motivado pela carência e pela degradação dos recursos superficiais. Porém, os recursos hídricos subterrâneos também são passíveis de contaminação, sendo que a utilização sem o devido gerenciamento pode provocar problemas na quantidade e na qualidade da água subterrânea.

A água subterrânea na região abrangida pelo Município de Osório – RS é de grande importância, pois é amplamente utilizada como fonte de abastecimento de áreas urbanas e rurais e para o desenvolvimento de atividades industriais, comerciais e agrícolas. A captação é realizada através de poços escavados, ponteiras e tubulares, em aquíferos que estão localizados em diferentes profundidades e litologias (sedimentos e rochas).

Esse trabalho visa desenvolver um estudo hidrogeológico na região do município de Osório, com o objetivo de identificar os principais sistemas aquíferos e avaliar as principais características (hidrodinâmicas, hidroquímicas) dos aquíferos associados aos diferentes sistemas.

### **1.1. Localização da Área**

O município de Osório, com área de 663 km<sup>2</sup>, está localizado no litoral norte do Rio Grande do Sul e faz limite com os municípios de Tramandaí, Cidreira e Capivari do Sul ao Sul; Maquiné e Caraá ao Norte; Imbé e Xangri-lá à Leste e Santo Antônio da Patrulha à Oeste. (Fig. 1)

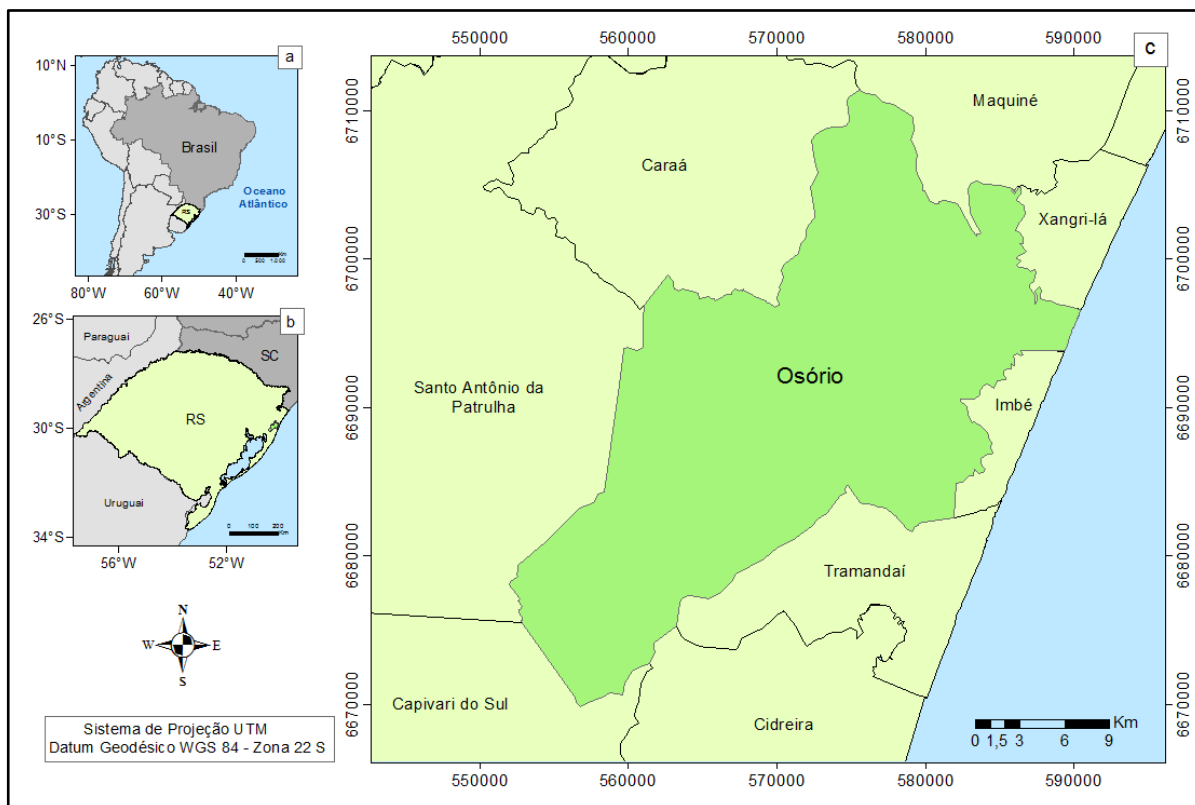


Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo no litoral norte – Osório/RS

## 1.2. Caracterização do Problema/Hipótese

O município de Osório está localizado na porção norte do litoral do Rio Grande do Sul, numa região transicional entre a encosta formada por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Botucatu e áreas mais planas compostas por sedimentos da Planície Costeira (PCRS) que representa a seção superior emersa da Bacia de Pelotas.

Na área de estudo há ocorrência de diferentes tipos de aquíferos e as informações hidrogeológicas dessa região são poucas, restringindo-se a trabalhos regionais como o Mapa Hidrogeológico do RS. Sabe-se que na região há poços tubulares que captam água do Sistema Aquífero Guarani, porém, pelo mapa hidrogeológico, há ocorrência somente dos Sistemas Aquífero Serra Geral e Quaternário Costeiro.

Além disso, o abastecimento de água na zona rural do município é realizado de forma precária, através de poços ponteiras e escavados que captam água subterrânea de aquíferos livres que estão associados a camadas de sedimentos localizados

próximos da superfície. Em função desse tipo de captação e do aquífero há um risco mais elevado da ocorrência de problemas de qualidade e de contaminação da água subterrânea e o seu consumo sem o tratamento adequado, poderá trazer risco a saúde dos consumidores.

O que fundamenta a hipótese desse trabalho é que na região de Osório há ocorrências de diferentes sistemas aquíferos que estão localizados em profundidades variadas, sendo que esses sistemas são formados por aquíferos que podem apresentar diferentes características hidrogeológicas e hidroquímicas (como, por exemplo, a presença de águas subterrâneas com teores de ferro e de manganês acima dos limites de potabilidade e de águas salobras). Dessa forma, a falta de conhecimento da hidrogeologia do município, tanto de dados quantitativos como de dados qualitativos, faz com que os recursos hídricos subterrâneos não sejam bem gerenciados e aproveitados.

### **1.3. Justificativa**

O desenvolvimento desse trabalho justifica-se pela escassez de informações hidrogeológicas na área, restringindo-se a trabalhos regionais. Em função da falta de detalhes e do aumento contínuo do uso da água subterrânea, faz-se necessário que sejam desenvolvidos trabalhos de avaliação detalhada da hidrogeologia da região, procurando identificar os diferentes sistemas aquíferos e as suas características.

Aliado a falta de informações há o fato de que os moradores da zona rural não são abastecidos pelo sistema público (CORSAN) e, em geral, captam água de aquíferos livres através de poços rasos. Essa forma de captação apresenta alta vulnerabilidade à contaminação e, portanto, coloca em risco a saúde da população. Os aquíferos que apresentam águas de baixa qualidade, bem como suas ocorrências, não são conhecidas, fazendo com que muitas perfurações sejam realizadas em áreas que apresentam esses problemas, mas que poderiam ser evitadas.

Dessa forma, há necessidade de desenvolver estudos hidrogeológicos mais detalhados que visam a caracterização desses diferentes aquíferos, pois o conhecimento dos mesmos poderá propiciar melhorias na captação, no gerenciamento e na proteção desses recursos.



## 1.4. Objetivos e Metas

### **Objetivo Geral:**

O objetivo geral consiste na avaliação hidrogeológica do município de Osório, visando identificar e caracterizar os diferentes tipos de aquíferos que ocorrem na região.

### **Objetivos Específicos:**

- Identificar as formas de captação e os principais usos da água subterrânea no município de Osório;
- Identificar e caracterizar os diferentes tipos de aquíferos que ocorrem no município de Osório;
- Avaliar as características hidroquímicas das águas subterrâneas que ocorrem associadas aos diferentes aquíferos;
- Avaliar o potencial hidrogeológico dos diferentes aquíferos.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

O município de Osório situa-se em uma região transicional entre a porção sul da Bacia do Paraná e as áreas mais planas da porção emersa norte da Bacia de Pelotas. (Fig. 2)

A região de estudo é marcada pela ocorrência de unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, representadas pelos arenitos da Formação Botucatu, que não afloram no município, mas em áreas próximas (como em Santo Antônio da Patrulha) e pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, ambas pertencentes ao Grupo São Bento (White, 1908).

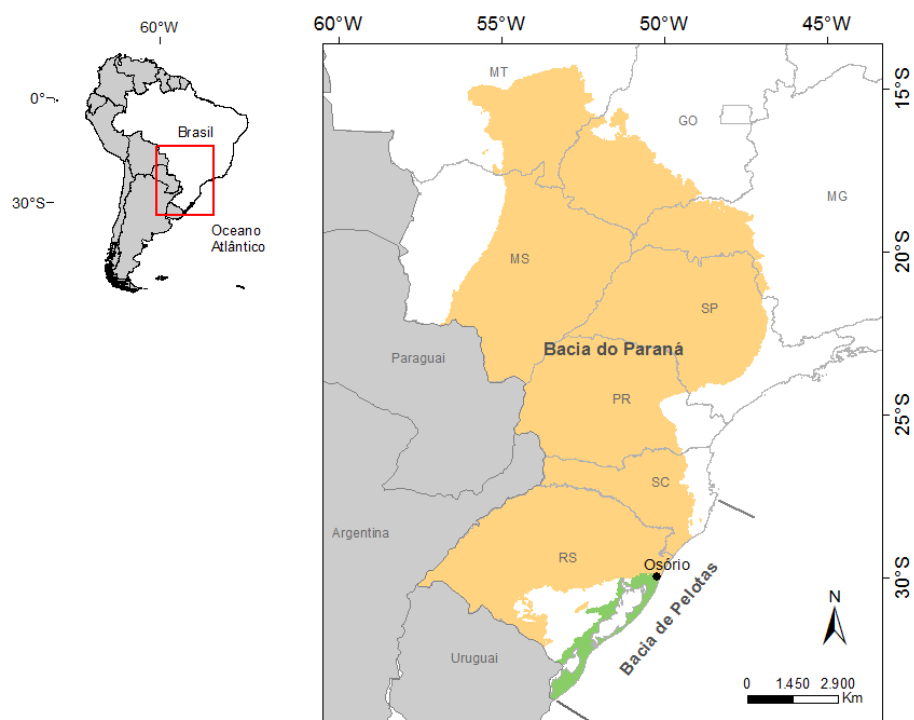


Figura 2. Mapa esquemático ilustrando a Bacia Sedimentar do Paraná, em território brasileiro, e Bacia Sedimentar de Pelotas.

Em maior área, ocorrem os depósitos sedimentares da porção emersa da Bacia de Pelotas, representada por fácies de um sistema de leques aluviais e de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira (Villwock & Tomazelli, 1995) (Fig. 3).

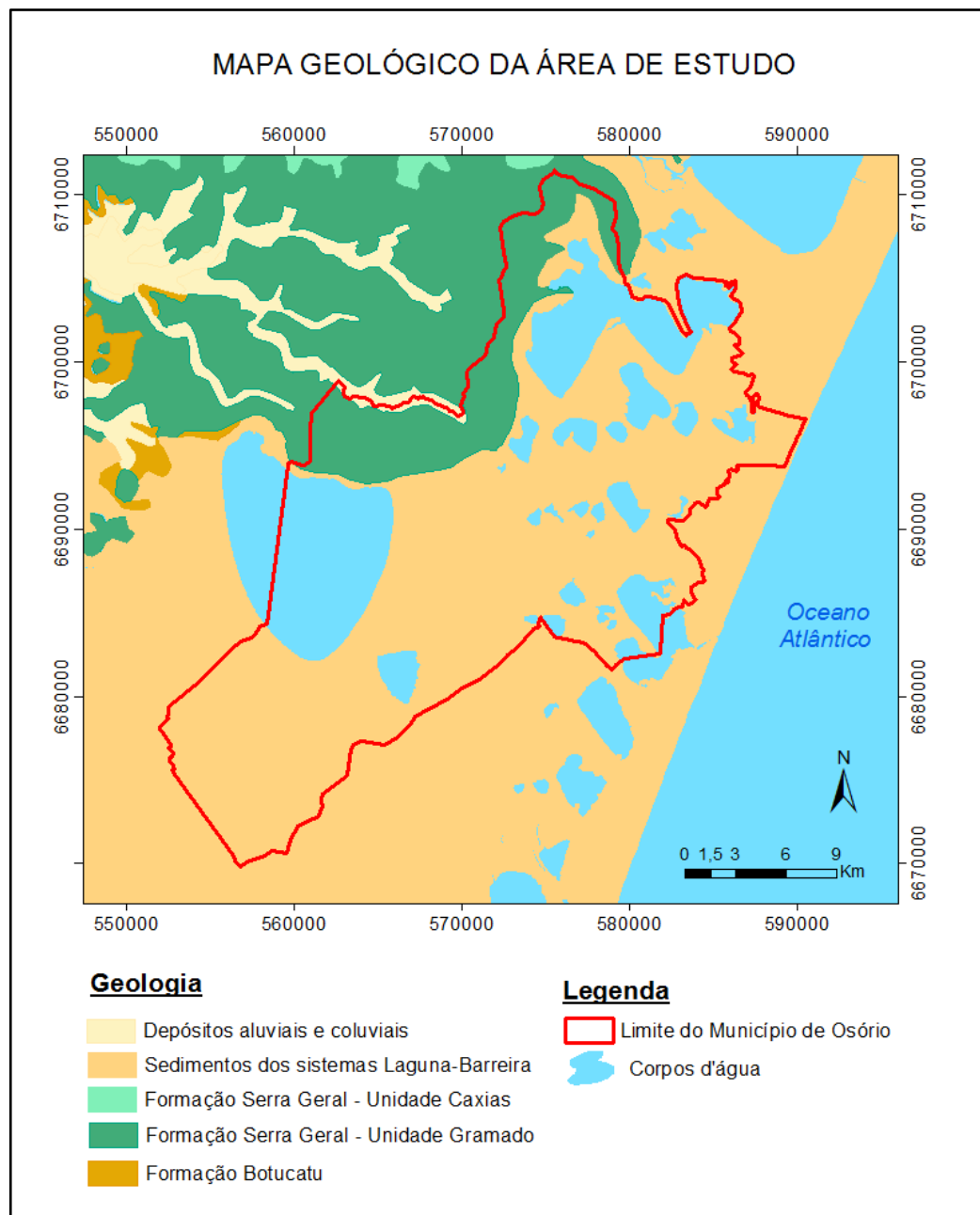


Figura 3. Mapa da área de estudo dentro do contexto geológico do Rio Grande do Sul (modificado de CPRM, 2007).

## 2.1. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná, localizada no centro-leste da América do Sul, recobre cerca de 1.500.000 Km<sup>2</sup> que inclui porções territoriais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai. (Melfi *et al.*, 1988; Milani, 2004). Trata-se de uma bacia sedimentar intracratônica desenvolvida completamente sobre a placa sul-americana e preenchida por uma sucessão sedimentar-magmática (Milani, 2004), que foi governada por um

forte controle estrutural cujos principais lineamentos podem ser divididos em três grupos de acordo com suas orientações NW-SE, NE-SW, E-W (Zalán *et al.*, 1990). No Brasil, a bacia ocupa a maior parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e também algumas regiões de Minas Gerais e Goiás.

A estratigrafia mais utilizada para a Bacia do Paraná é a proposta por Milani (1997), que dividiu o registro estratigráfico em seis superseqüências que representam intervalos temporais de evolução tectono-sedimentar: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As três primeiras correspondem a grandes ciclos transgressivos-regressivos relacionados à variação do nível do mar, enquanto as demais são representadas por pacotes de rochas sedimentares e vulcanismo associado (Fig. 4).

Aliado ao conceito de estratigrafia de seqüências, Faccini (1989), dividiu o pacote Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul em quatro seqüências deposicionais: 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).

Pelas definições de Milani (1997) e de Faccini (1989), as litologias de interesse (Formações Botucatu e Serra Geral) encontram-se na Superseqüência Gondwana III e na Sequência IV.

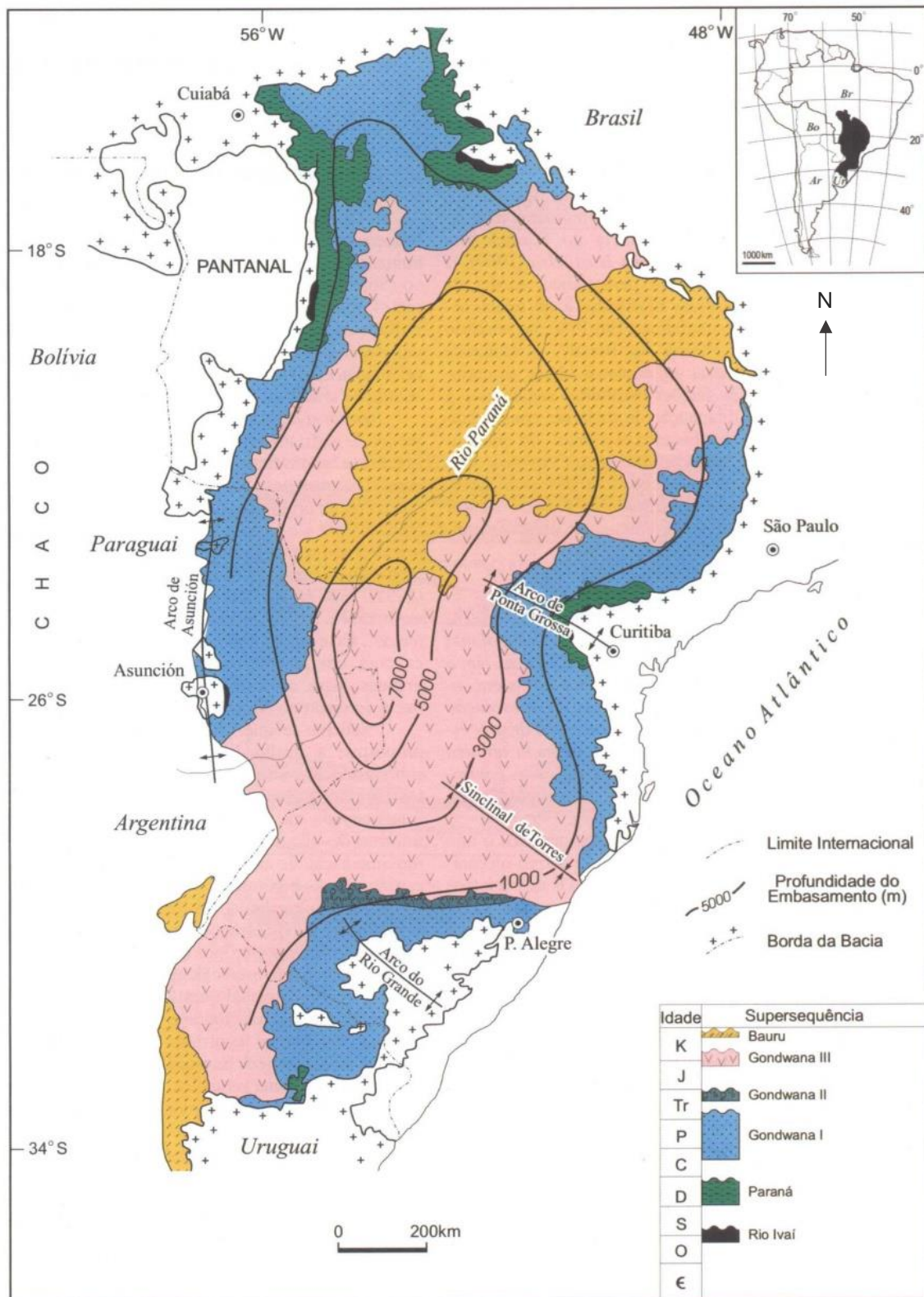


Figura 4. Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Milani, 1997).

### 2.1.1. Formação Botucatu

Inicialmente descritos por Gonzaga de Campos (1889), a Formação Botucatu corresponde a arenitos finos a médios, de coloração avermelhada com estratificação cruzada de grande porte vinculada à migração de dunas eólicas. Tais arenitos ocupam uma área superior a 1.500.000 Km<sup>2</sup>, ocorrendo no Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina e afloram ao longo de toda a borda da Bacia do Paraná (Scherer, 1998).

Scherer (1998) também identificou a ocorrência de arenitos grossos a conglomeráticos formando lentes descontínuas com espessuras de no máximo 1 metro, interpretados como depósitos de lençóis de areia e fluxos torrenciais. Faccini (1989) e Scherer (2000) ressaltaram a ausência de interdunas úmidas, sugerindo um nível freático abaixo da superfície, reforçando que a condição climática era de intensa aridez.

No Rio Grande do Sul, o contato inferior é marcado por uma discordância erosiva regional, na qual os arenitos eólicos recobrem diferentes unidades estratigráficas (Formações Rio do Rasto, Pirambóia, Santa Maria, Caturrita e Guará), enquanto o contato superior é concordante com os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, sendo caracterizado pela intercalação entre essas duas litologias denominados “*intertrapps*”. Devido a esses “*intertrapps*”, definiu-se que o final da sedimentação é contemporâneo ao início do vulcanismo da Fm. Serra Geral (Scherer, 1998), em cerca de 133 Ma (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar; Turner *et al.*, 1994 e Renne, 1993).

### 2.1.2. Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral (White, 1908) representa uma das maiores manifestações vulcânicas da história da Terra, ocupa uma área de aproximadamente 1.200.000 km<sup>2</sup> na América do Sul, distribuídos entre a Argentina, Paraguai, Uruguai e áreas ao sul do Brasil (Roisenberg & Viero, 2000). Constitui um vulcanismo com idades entre 138 e 128 Ma (Renne *et al.* 1992; Turner *et al.* 1994) associado à tectônica distensiva que ocasionou a ruptura do continente gonduânico e a consequente abertura do Oceano Atlântico Sul (Roisenberg & Viero, 2000).

No Rio Grande do Sul, ocupa uma área de 137.000 km<sup>2</sup>, equivalente a cerca de 50% da área do estado (Hausman, 1995) e sua espessura diminui de leste para

oeste, podendo alcançar 1.100 metros próximo a Torres e 100 metros em direção ao vale do Rio Uruguai (Leinz, 1949).

A Formação Serra Geral é caracterizada por três grupos petrograficamente distintos: rochas básicas – intermediárias, que representam cerca de 97% do volume magmático; rochas ácidas do Tipo Palmas (ATP) e as do Tipo Chapecó (ATC) que representam respectivamente 2,5 e 0,5% do volume (Bellieni *et al.*, 1986; Nardy *et al.*, 2002).

Peate *et al.* (1992) propuseram uma divisão dos derrames da Bacia do Paraná considerando suas diferentes características geoquímicas: grupos de baixo Ti, representados por Gramado, Esmeralda e Ribeira e grupos de alto Ti, representados por Paranapanema, Pitanga e Urubici. Wildner (2004) subdividiu o magmatismo Serra Geral em oito fácies distintas relacionadas ao magmatismo máfico (fácies Gramado, Paranapanema-Pitanga, Esmeralda, Campo Erê e Lomba Grande) e ao magmatismo intermediário e félsico (fácies Palmas ou Caxias, Chapecó, Várzea do Cedro e Alegrete).

No Rio Grande do Sul, Roisenberg & Viero (2000) descrevem o vulcanismo básico e intermediário como sendo constituído por basaltos e andesi-basaltos, com derrames de andesitos, latibasaltos e lati-andesitos subordinados que cobrem mais de 50% da área do estado, enquanto o vulcanismo ácido como sendo caracterizado por riolitos, riodacitos e quartzo-latitos.

Um perfil clássico (Fig. 5) que individualiza o caráter interno de um derrame basáltico, pode ser descrito como: zona vítrea basal com disjunções horizontais de pequena espessura ou brechas de fluxo; zona central, e mais expressiva, caracterizada por fortes disjunções verticais ou horizontais e zona vesicular e amigdaloides no topo.

Segundo o levantamento realizado pela CPRM (2008), na região de Osório ocorrem rochas vulcânicas básicas pertencentes a fácies Gramado. Wildner *et al.*, (2008) descreve as rochas dessa fácies como rochas basálticas, de textura granular fina a média, cinza-escuro, estruturadas em derrames que possuem zonas vesiculares e amigdalóides. Seu contato com a Formação Botucatu é concordante e a ocorrência de lentes e camadas de arenitos *intertrapps* mostra uma clara concomitância entre o final da sedimentação eólica e o início dos derrames vulcânicos.

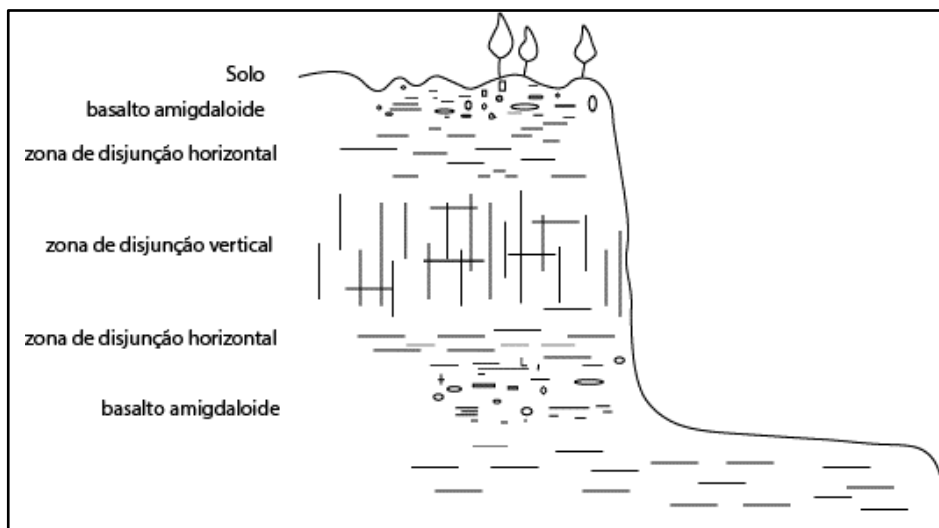


Figura 5. Estruturação de um derrame de lava basáltica (modificado de Wildner *et al.*, 2006).

## 2.2. Planície Costeira do Rio Grande do Sul

Os depósitos sedimentares da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) compõem a seção emersa da Bacia de Pelotas. Localizada no extremo sul da Margem Continental Brasileira, esta bacia é limitada ao norte pela Bacia de Santos (Gamboa & Rabonowitz, 1981) e ao sul pela Bacia de Punta Del Este (Urien & Martins, 1978). Caracteriza-se por uma bacia marginal subsidente preenchida por sequências clásticas continentais e transicionais e sua gênese está relacionada com o rifteamento que marcou a abertura do Atlântico Sul (Asmus & Porto, 1972) (Fig. 6).

A PCRS é delimitada ao norte pelas rochas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Paraná e ao sul pelo Escudo Sul-rio-grandense. Possui uma linha de costa com orientação NE-SW de aproximadamente 620 km de extensão, cobrindo uma área de aproximadamente 33.000 km<sup>2</sup> e podendo alcançar uma largura superior a 80 km, caracterizando-a como a maior planície costeira do Brasil.

Dos trabalhos pioneiros sobre a Geologia da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, destaca-se o de Delaney (1965) que, com ênfase na litoestratigrafia, apresentou o primeiro mapa geológico da planície costeira. Neste trabalho, foram definidas as unidades aflorantes, uma coluna estratigráfica bem como uma proposta da correlação da gênese dessas unidades com as oscilações do nível do mar.



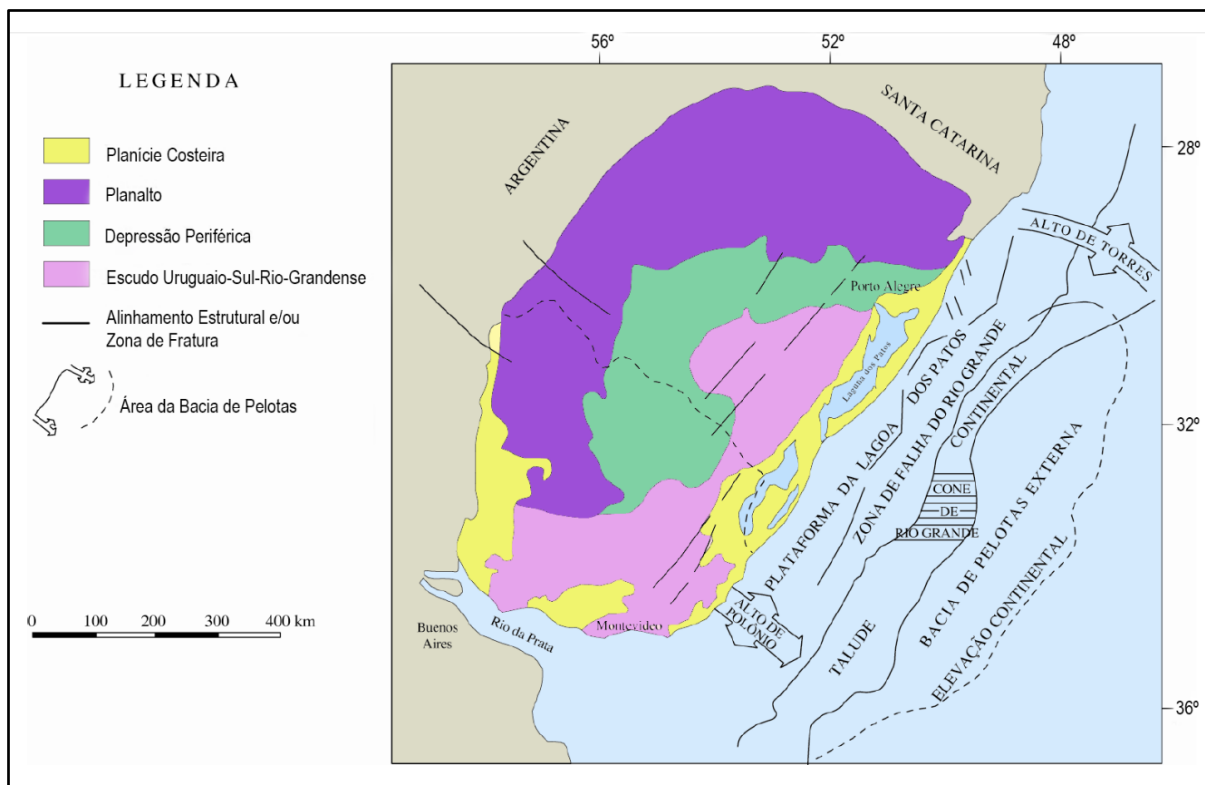


Figura 6. Localização da Bacia de Pelotas e suas principais feições estruturais (modificado de Urien & Martins, 1978).

Aliada a uma mudança metodológica na abordagem litoestratigráfica para cronoestratigráfica nos levantamentos geológicos de terrenos sedimentares quaternários, a equipe de pesquisadores do CECO-IG-UFRGS iniciou, no ano de 1984, um trabalho de mapeamento sistemático da região com o objetivo de proporcionar uma melhor compreensão da evolução da planície costeira. Trabalhos como o de Villwock & Tomazelli (1995) representam essa mudança de paradigma quanto ao entendimento dos depósitos sedimentares, baseado na identificação, correlação e reconhecimento de associações de fácies e sua integração em sistemas deposicionais (Tomazelli & Villwock, 2005).

Utilizando o conceito de Sistema Depositional definido por Fisher & McGowen (1967), ou seja, uma assembleia tridimensional de fácies sedimentares geneticamente conectadas por processos e ambientes ativos ou inferidos, Villwock & Tomazelli (1995) agruparam e descreveram os depósitos constituintes da porção mais superficial e proximal da bacia. Sendo assim, as fácies sedimentares da PCRS foram relacionadas a dois tipos de sistemas deposicionais: Sistemas de Leques Aluviais e

Sistemas do Tipo Laguna-Barreira denominados I, II e III, de idade pleistocênica, e IV, de idade holocênica (Fig. 7 e 8).

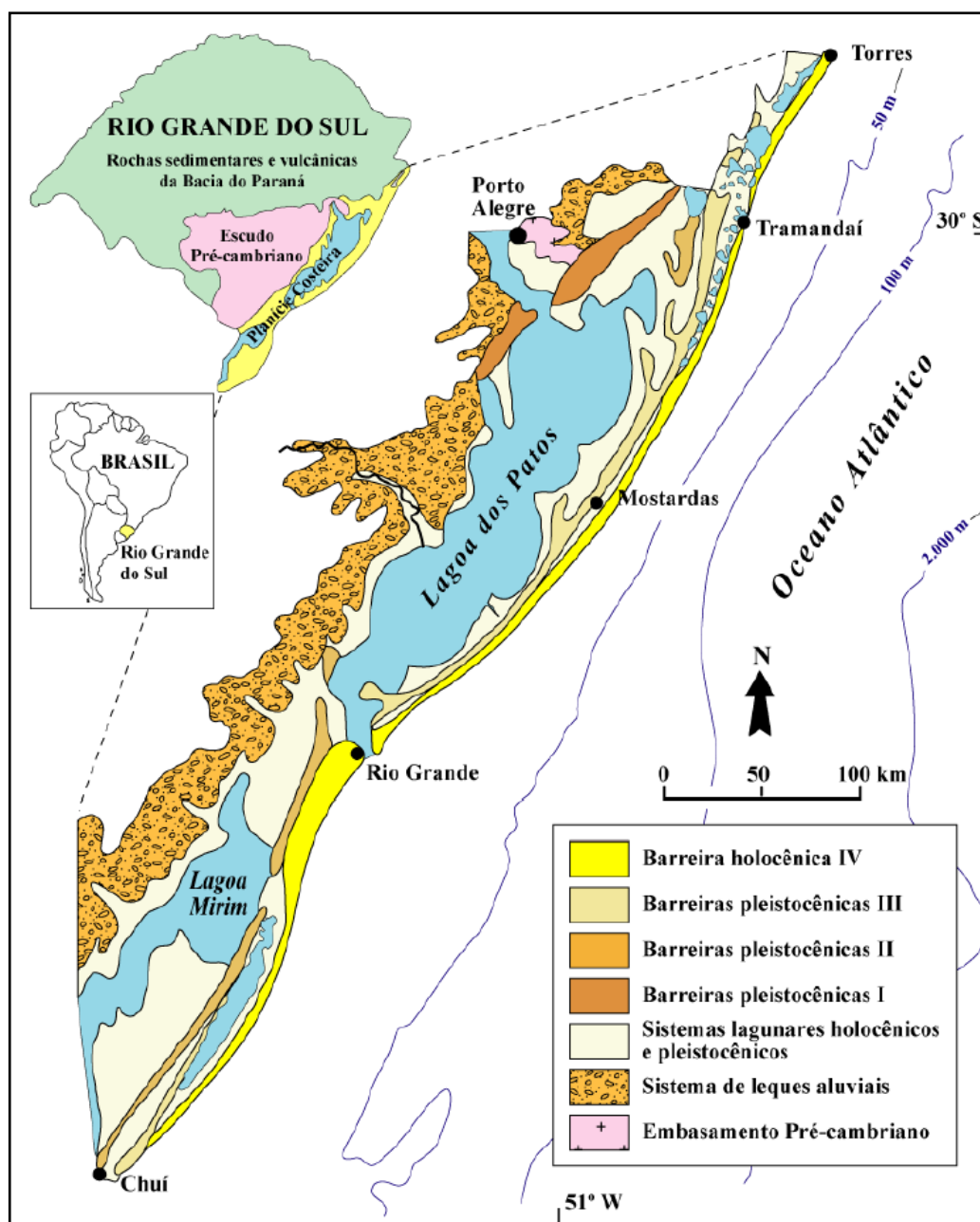


Figura 7. Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, ilustrando os principais sistemas deposicionais (Tomazelli & Villwock, 1996).

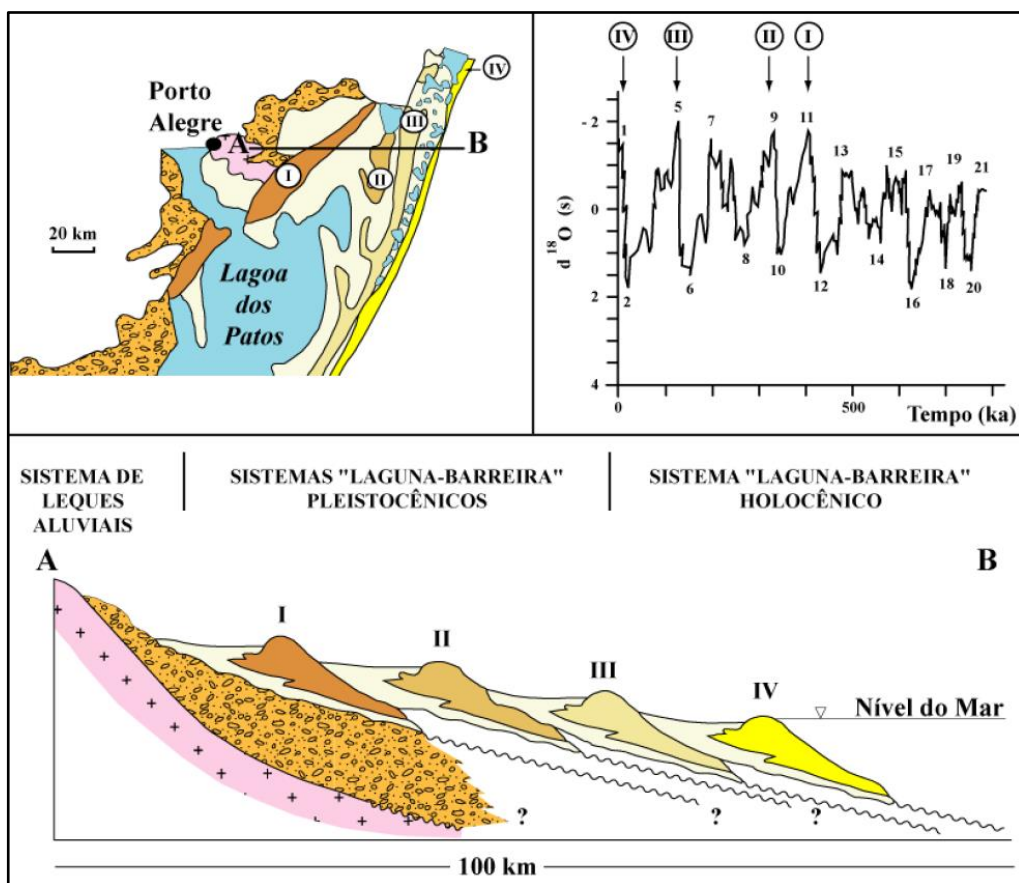


Figura 8. Perfil esquemático na latitude de Porto Alegre e as idades estimadas dos sistemas deposicionais da PCRS (Tomazelli & Villwock, 2000).

### 2.2.1. Sistema Depositional de Leques Aluviais

A implantação desse sistema teve início no final do Terciário e engloba o conjunto de fácies sedimentares resultantes de processos de transporte associados aos ambientes de encosta adjacentes à planície costeira. As fácies incluem, na parte proximal, depósitos resultantes de processos gravitacionais, enquanto que nas partes mais distais, dominam depósitos de correntes trativas. As características composicionais, texturais e estruturais dependem da natureza da área-fonte, incluindo a composição das rochas e a energia do relevo. No setor sul da planície costeira, o sistema de leques é alimentado pelas rochas ígneas e metamórficas do Escudo Sul-rio-grandense e, no setor norte, pelas rochas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Paraná (Villwock & Tomazelli, 1995).

### 2.2.2. Sistema Depositional Laguna-Barreira I

Corresponde ao mais antigo sistema deposicional do tipo laguna-barreira. Possui idade de aproximadamente 400 ka e desenvolveu-se como resultado do primeiro evento transgressivo-regressivo. As fácies sedimentares da Barreira I correspondem a areias quartzo-feldspáticas avermelhadas de granulometria fina a média, bem arredondadas, semi-consolidadas com elevado teor de matriz siltico-argilosa de origem diagenética.

O Sistema Lagunar I ocupa as terras baixas situadas entre a Barreira I e os terrenos mais antigos formados pelas rochas da Bacia do Paraná e pelos terrenos pré-cambrianos da região de Porto Alegre, Viamão e Guaíba. A carga sedimentar trazida pelos rios e retrabalhada pelos sucessivos eventos transgressivos-regressivos, transformou esse ambiente em depósitos aluviais, lagunares, lacustres e paludais de diversas idades (Villwock & Tomazelli, 1995).

### 2.2.3. Sistema Depositional Laguna-Barreira II

Segundo Villwock & Tomazalli (1995), corresponde a um segundo evento transgressivo-regressivo com idade absoluta de aproximadamente 325 ka. Os depósitos praias e eólicos da Barreira II ficaram preservados como um grande pontal arenoso desenvolvido ao leste da Lagoa dos Barros e, ao sul, como um antigo sistema de ilhas-barreira, responsável pelo primeiro isolamento da Lagoa Mirim. As fácies sedimentares correspondem a areias quartzo-feldspáticas, castanho-amareladas, bem arredondadas e envoltas por uma matriz argilosa.

Os depósitos do Sistema Lagunar II, instalados na região de retrobarreira são representados por areias finas, siltico-argilosas, mal selecionadas, esbranquiçadas e com laminação plano-paralela.

### 2.2.4. Sistema Depositional Laguna-Barreira III

Esse sistema está associado a um terceiro evento transgressivo-regressivo e foi responsável pela implantação final do Sistema Lagunar Patos-Mirim (Villwock & Tomazelli, 1995).

Os depósitos relacionados à Barreira III se estende de maneira quase contínua ao longo de toda a Planície Costeira do RS. De acordo com estudos realizados próximo à cidade de Osório, a Barreira III corresponde a uma sequência costeira tipicamente regressiva (progradante) que foi dividida, com base em dados sedimentológicos e paleontológicos, em fácies distintas correlacionadas aos sistemas eólico, praias (*backshore* e *foreshore*) e marinho raso (Tomazelli & Dillenburg, 2007).

Os sedimentos da porção basal são compostos por fácies arenosas de coloração amarela-esverdeada, fina a muito fina com baixo teor de silte e argila, com estruturas cruzada *hummocky*. Também foi identificada a presença de grãos de glauconita, mineral autigênico de origem marinha. Os sedimentos praias são compostos por areias quartzosas esbranquiçadas, finas e bem selecionadas, com estratificação bem desenvolvida que incluem a laminação plano-paralela com truncamentos de baixo ângulo e cruzadas planares e acanaladas. Também é notável a ocorrência de uma grande quantidade de icnofósseis representados por tubos de *Ophiomorfa* além de moldes de conchas de moluscos. Os sedimentos da porção superior da sucessão de fácies, é representado por uma cobertura de areias eólicas finas de coloração marrom-avermelhada, de aspecto predominantemente maciço com alguns horizontes de paleossolos. Algumas vezes apresentam-se bioturbados por vestígios de raízes e de tocas de insetos.

Os depósitos correspondentes ao Sistema Lagunar III, instalados na região de retrobarreira, são compostos por areias finas, siltico-argilosas, mal selecionadas, de coloração creme e com laminação plano-paralela. Concreções carbonáticas e ferruginosas são especialmente comuns nesse sistema.

#### 2.2.5. Sistema Depositional Laguna-Barreira IV

O mais recente e, ainda ativo, sistema deposicional do tipo laguna-barreira da Planície Costeira do Rio Grande do Sul iniciou sua formação há 7 ka, com a migração de uma barreira transgressiva durante os estágios finais da Transgressão Marinha Pós-Glacial (Dillenburg *et al.*, 2000).

A Barreira IV abrange a linha de costa atual do RS e inclui extensos cordões litorâneos, porém ela não evolui de maneira uniforme ao longo dos seus 620 Km. Estudos como o de Dillenburg *et al.* (2000) verificaram que a barreira holocênica

possui uma evolução diferenciada marcada por segmentos em retrogradação, em progradação e estáveis. No Litoral Norte, entre Tramandaí e Torres, a barreira holocênica é do tipo regressiva, enquanto no Litoral Médio, entre Mostardas e Estreito, a barreira é do tipo transgressiva.

Dillenburg et al. (2009) afirma que esse comportamento está associado com o balanço sedimentar, controlado pela topografia antecedente, pelos tipos de sedimentos disponíveis, por fatores climáticos e oceanográficos. Os setores retrogradacionais encontram-se nas projeções costeiras, enquanto que os progradaçãoais encontram-se nos embaiamentos costeiros (Dillenburg *et al.*, 2000 e 2009). Dados de georadar em subsuperfície, ao longo de segmentos da barreira holocênica, corroboram a variabilidade do comportamento regressivos e transgressivos da linha de costa (Barboza *et al.*, 2010).

De acordo com Travessas *et al.* (2005), a barreira holocênica no trecho entre Tramandaí e Cidreira possui um comportamento predominantemente transgressivo, porém foram identificadas diferentes fases evolutivas relacionadas a fatores locais que influenciaram no balanço de sedimentos. Em Tramandaí foi identificada uma relativa estabilidade da barreira durante o Holoceno, enquanto em Cidreira e Jardim do Éden a barreira apresentou um comportamento predominantemente transgressivo.

Além disso, nesse estudo, identificaram basicamente três unidades ao longo do trecho de Tramandaí e Cidreira pertencentes a barreira holocênica. Os leques de sobrelavagem e/ou deltas de maré enchente, ausentes na barreira costeira em Cidreira, são constituídos basicamente por areias quartzosas finas, de coloração variável entre bege, acinzentado e esverdeado, moderadamente selecionados e podendo apresentar finas lâminas ricas em minerais pesados em direção a base na localidade de Tramandaí. Os depósitos praias são constituídos essencialmente por areias quartzosas finas a muito finas de coloração cinza e bege esverdeada, moderadamente selecionadas. Os depósitos eólicos caracterizam-se por areias finas, bem selecionadas, de coloração bege a amarelada, com níveis milimétricos esparsos de coloração cinza, produzidos por concentrações de minerais pesados na localidade de Cidreira. Os registros mais antigos do sistema lagunar holocênico são compostos essencialmente por depósitos de margem e de fundo lagunar. Os depósitos de margem são constituídos por areias quartzosas finas, de coloração cinza a verde claro, moderadamente a mal selecionadas, enquanto que os depósitos de fundo são

marcados pela ocorrência de lamas ricas em matéria orgânica, de coloração variando de cinza a preta, com biodetritos, podendo conter esparsas intercalações de finos intervalos arenosos.

O Sistema Lagunar IV situa-se na região de retrobarreira da Barreira IV e é constituído por um conjunto de ambientes e subambientes deposicionais que incluem corpos aquosos costeiros, sistemas aluviais, deltaicos e paludais (Tomazelli & Villwock, 1995).

### **3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO**

Entre os trabalhos mais aprofundados e pioneiros sobre os aquíferos existentes no Estado do Rio Grande do Sul, destacam-se os de Hausman (1960) e Hausman (1965). Nesses trabalhos foi apresentado um esboço regional da distribuição das águas subterrâneas do estado e definidas as regiões do estado que apresentavam características semelhantes relacionadas à vazão, à captação e à circulação da água subterrânea (províncias hidrogeológicas).

Sanberg (1980) estudou o comportamento das águas subterrâneas nas quatro províncias litológicas do RS. Utilizou métodos de análises estatísticas das variáveis hidrodinâmicas e hidroquímicas que mais influenciam nas condições das águas subterrâneas e, desta forma, obteve agrupamentos de poços com características semelhantes em cada Província Geológica.

Também deve ser mencionado o trabalho de Hausman (1995), no qual fez uma revisão e ampliação de seus trabalhos anteriores e introduziu algumas modificações que foram fundamentadas pelo aumento dos conhecimentos referentes à geologia bem como pelo grande número de poços perfurados até então. O autor caracterizou as províncias hidrogeológicas do estado subdividindo-as em sub-províncias utilizando critérios morfológicos e estratigráficos. Este trabalho resultou no primeiro mapa de Províncias Hidrogeológicas do RS na escala 1:1.000.000.

Lisboa *et. al.* (2004) analisaram as características hidrogeológicas dos principais tipos de materiais, sejam eles consolidados ou inconsolidados, que compõem as camadas litológicas, fornecendo subsídios para a primeira qualificação

generalizada dos principais sistemas de aquíferos existentes no estado do Rio Grande do Sul.

Também em escala regional, Machado & Freitas (2005), em convênio com o Governo do Estado do RS, elaboraram o primeiro Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul na escala 1:750.000, definindo os principais aquíferos do estado e caracterizando suas principais potencialidades qualitativas e quantitativas (Fig. 9).

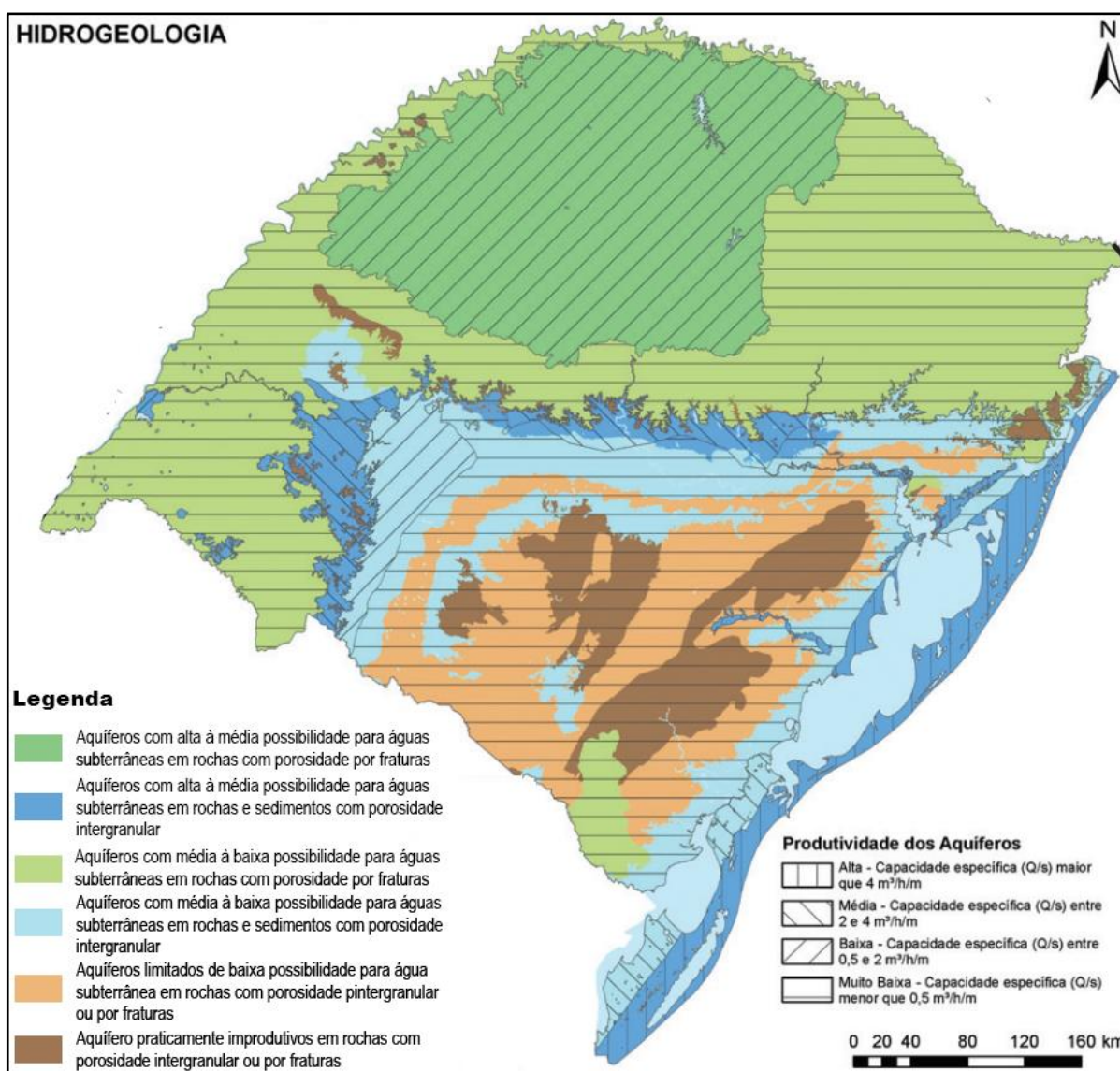


Figura 9. Mapa Hidrogeológico resumido do Estado do Rio Grande do Sul (Modificado de CPRM, 2005).

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM desde o ano de 2009 está implantando a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), que tem como



objetivo ampliar a base de conhecimento hidrogeológico dos aquíferos brasileiros e acompanhar as alterações espaciais e temporais na qualidade e quantidade das águas subterrâneas. De acordo com dados de agosto de 2016, a rede já possui 378 poços cadastrados no país, enquanto no estado do Rio Grande do Sul há um total de 39 poços distribuídos entre os sistemas aquíferos Guarani e Costeiro.

Na primeira fase da implantação da RIMAS, o monitoramento foi direcionado para o Sistema Aquífero Guarani (Freitas & Goffermann, 2010), cujo comportamento hidráulico e hidroquímico são influenciados por extensos sistemas de falhas (Machado, 2005). Já o monitoramento do Sistema Aquífero Costeiro se dá por ser altamente vulnerável à contaminação e por possuir uma grande quantidade de poços do tipo ponteira que captam essas águas (Troian *et al.*, 2014).

Na região do município de Osório, os recursos hídricos subterrâneos estão associados ao Sistema Aquífero Guarani (SAG), ao Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), ao Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC), sendo que o primeiro ocorre em profundidade abaixo do SASG e do SAQC (Fig. 10).

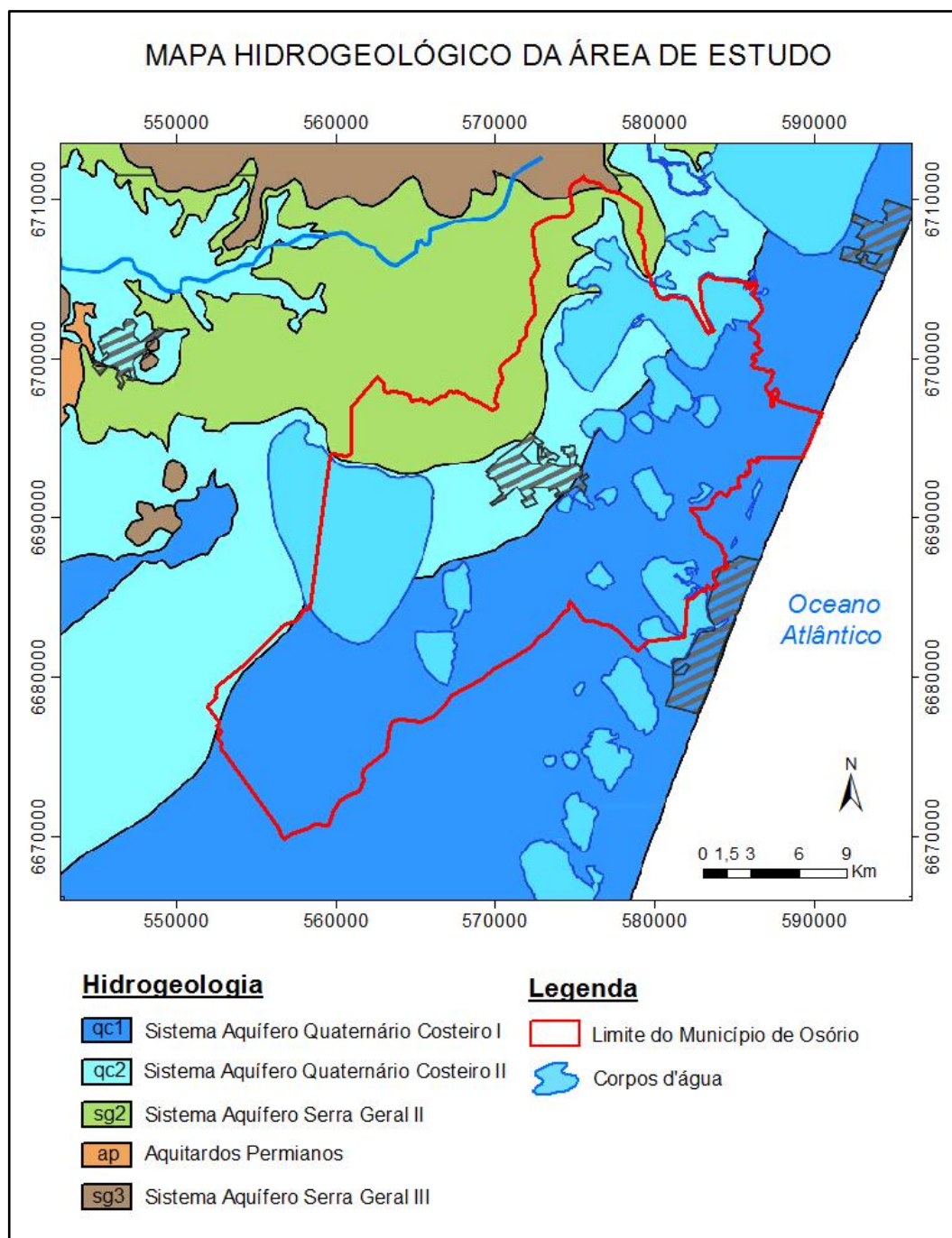


Figura 10. Mapa da área de estudo delimitada dentro do contexto hidrogeológico do RS (modificado de Machado & Freitas, 2005).

### 3.1. Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) possui uma extensão de aproximadamente 1.200.000 Km<sup>2</sup> e representa uma importante reserva de água subterrânea na América do Sul, distribuindo-se pelo Brasil (MT, MS, GO, MG, SP, PR, SC e RS), Paraguai,

Argentina e Uruguai (Fig. 11). Consiste em aquíferos com porosidade, em geral primária, formados por litologias sedimentares predominantemente arenosas.

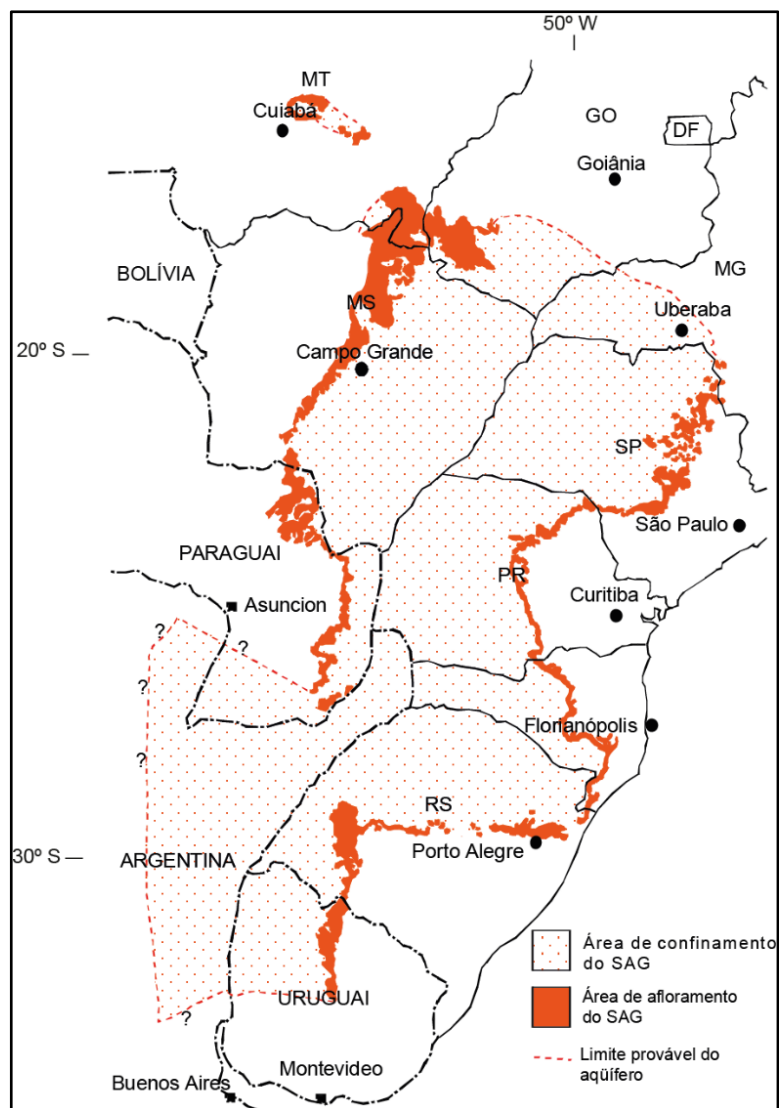


Figura 11. Área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani (Hindi, E. C.; 2007).

Hausman (1995) denominou o SAG, no Rio Grande do Sul, de Província Gondwânica Mesozóica. Sua área aflorante corresponde à depressão central do estado, entre os municípios de Santana do Livramento à oeste e Santo Antônio da Patrulha a leste, enquanto a área confinada pelas rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral ocorre desde a região da *Cuesta do Haedo* na fronteira oeste até a região do litoral norte. Tanto na porção aflorante quanto na confinada são representadas pelas unidades hidroestratigráficas Botucatu, Guará, Arenito Mata, Caturrita, Alemoa, Passo das Tropas, Sanga do Cabral e Pirambóia (Machado, 2005).

A Província Gondwânica foi dividida em três subprovíncias, entre elas, a Subprovíncia Botucatu (Hausman, 1995). Essa subprovíncia compreende o que Machado (2005) denomina de Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, englobando todos os afloramentos contínuos do Arenito Botucatu, estendendo-se abaixo dos derrames da Formação Serra Geral. Conforme Hausman (1995), a produtividade do aquífero pode variar em função do teor de cimento argiloso, da presença ou da ausência de silicificação, da ocorrência de fraturas e do tipo de aquíferos (se livres ou confinados).

Segundo Machado (2005), o SAG no Rio Grande do Sul apresenta descontinuidades influenciadas pelos grandes sistemas de falhas que subdividem o aquífero em quatro compartimentos estruturais. O Compartimento Leste é delimitado pelo Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu, onde ocorrem as Formações Botucatu e Pirambóia, sendo sotopostas pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral e pelos sedimentos cenozóicos da planície costeira; o Compartimento Oeste é delimitado pelo Sistema de Falhas Jaguari – Mata, onde ocorrem as Formações Guará e Botucatu; o Compartimento Norte – Alto Uruguai, está sob influência norte do Sistema de Falhas Terra de Areia – Posadas, onde os arenitos da Formação Botucatu encontram-se confinados por derrames basálticos, e o Compartimento Central – Missões, onde ocorrem as formações triássicas do aquífero.

Segundo Hausman (1995), na porção oeste do RS, os poços apresentam vazões entre 30 e 70 m<sup>3</sup>/h, as capacidades específicas variam entre 0,98 e 6,2 m<sup>3</sup>/h/m. Machado (1988) também cita ocorrência de poços na região, com possibilidade de fornecer vazões superiores a 500 m<sup>3</sup>/h. Na porção leste do estado, as vazões dos poços perfurados na região de Novo Hamburgo são da ordem dos 4 m<sup>3</sup>/h, chegando em Taquara com valores de até 2 m<sup>3</sup>/h e capacidades específicas na ordem dos 0,025 m<sup>3</sup>/h/m. No município de Torres, a vazão é da ordem de 3 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica de apenas 0,056 m<sup>3</sup>/h/m. Em Santo Antônio da Patrulha, os poços que perfuram o arenito em condições livres, apresentam vazões de nulas até 11 m<sup>3</sup>/h e capacidades específicas entre 0,039 e 0,733 m<sup>3</sup>/h/m, porém nos aquíferos confinados, apresentam vazões entre 17 e 60 m<sup>3</sup>/h e capacidades específicas entre 1,20 e 3,35 m<sup>3</sup>/h/m.

Hausman (1995), Machado (1998; 2005) e Reginato *et al.* (2013) também evidenciaram a ocorrência de variações quanto ao padrão químico das águas. Essas

variações são em função do comportamento do aquífero (livre ou confinado) e ao tempo relativo de residência da água no SAG.

As águas bicarbonatadas cálcicas correspondem a águas provenientes do aquífero livre, das áreas aflorantes, são fracamente mineralizadas e com pH ácido. Estas se enriquecem em íons, à medida em que as condições de confinamento aumentam, tornando-se mais sódicas, cloretadas e sulfatadas e de pH mais elevado. No oeste rio-grandense, indicam águas bicarbonatadas cálcicas, enquanto ao leste, são classificadas em cloretadas sódicas (Hausman, 1995; Machado, 2005). Nas regiões de maior confinamento, as águas do SAG tendem a apresentar uma maior concentração de sais com tendências sódicas, podendo evoluir para águas sulfatadas ou cloretadas (Machado, 1998).

Na região nordeste do estado, o SAG está associado às rochas sedimentares da Formação Botucatu e confinado pelos derrames da Formação Serra Geral. Nessa região, segundo Reginato *et al.* (2013), há ocorrência de três grupos distintos de águas que podem estar associadas aos diferentes graus de confinamento. As águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas ocorrem nas regiões onde a espessura do aquífero confinante é inferior a 80 metros. Tal comportamento pode ser influenciado pelas zonas de fraturas, que podem promover a recarga e a mistura de águas com o SASG que possui a tipologia química bicarbonatada cálcica ou magnesiana. No entanto, nas regiões onde a espessura do aquífero confinante supera os 100 metros, há ocorrência de águas bicarbonatadas sódicas e sulfatadas ou cloretadas sódicas. Essas águas apresentaram pH entre 7,9 e 9,6 e condutividade elétrica entre 270 e 686  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Esses valores mais elevados podem estar relacionados com uma circulação mais lenta, favorecendo o enriquecimento de elementos químicos como sódio, bicarbonatos e carbonatos, cloretos e sulfatos.

### **3.2. Sistema Aquífero Serra Geral**

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) possui grande importância hidrogeológica no sul do Brasil. É constituído por aquíferos fraturados que estão associados a diferentes estruturas presentes nas rochas vulcânicas que formam os derrames da Bacia do Paraná (Fig. 12).

Devido as suas características litológicas, não apresentam porosidade e permeabilidade primárias importantes para o armazenamento de grandes volumes de água subterrânea, logo a exploração de suas zonas aquíferas está relacionada a descontinuidade física da rocha como fraturas, falhas geológicas e superfícies interderrames. Tais características, classifica-o como um reservatório heterogêneo e anisotrópico (Rebouças, 1978).

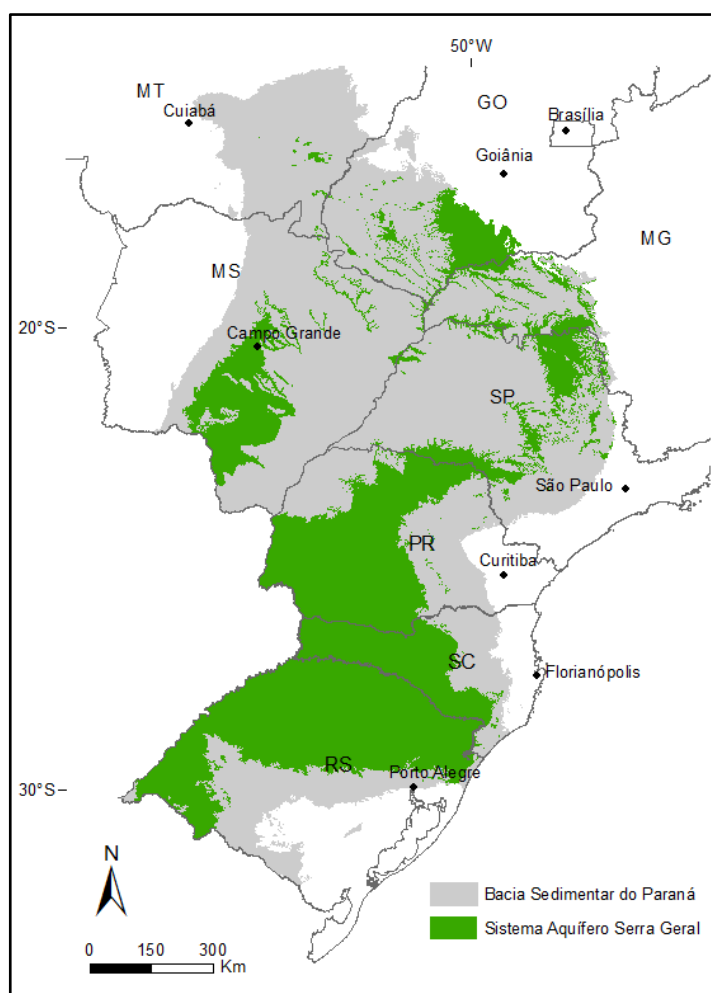


Figura 12. Área de ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Sedimentar do Paraná.

No Rio Grande do Sul, os aquíferos fraturados da Formação Serra Geral, foram denominados de Província Basáltica por Hausman (1995). Segundo o autor, esses aquíferos são livres, podendo desenvolver condições de aquífero confinado.

No contexto de prospecção de aquíferos fraturados na região nordeste do estado, Reginato (2003) identificou que os poços tubulares possuem profundidade

média de 110 metros, sendo que foram identificadas até quatro entradas de água, localizadas principalmente entre 10 e 70 metros de profundidade e nível estático localizado em profundidades inferiores a 20 metros (82,8%). As transmissividades e capacidades específicas médias são de 0,493 m<sup>2</sup>/h e de 0,395 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente. Além disso, nesse trabalho, identificou que os poços com vazões de 10 a 20 m<sup>3</sup>/h estão predominantemente correlacionados com lineamentos de direção nordeste, enquanto nos de direção noroeste os poços apresentam vazões maiores do que 20 m<sup>3</sup>/h.

Machado & Freitas (2005), identificaram na região de Osório a ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral II. Esse sistema aquífero ocupa a parte oeste, além de extensa área ao nordeste do Estado. Em geral, os poços desse sistema aquífero apresentam capacidades específicas inferiores a 0,5 m<sup>3</sup>/h/m, porém em algumas áreas mais fraturadas ou com arenitos confinados na base do sistema, os valores podem ser superiores a 2 m<sup>3</sup>/h/m.

Freitas *et al.* (2012) separam o SASG no noroeste do Rio Grande do Sul em quatro zonas, em ordem decrescente, quanto os potenciais hidrogeológicos: muito boa, boa, regular e ruim. A zona muito boa é a que apresenta melhor potencial, onde é possível obter as melhores vazões atingindo até 80 m<sup>3</sup>/h. A zona boa são previstas vazões médias entre 5 e 50 m<sup>3</sup>/h. A zona regular apresenta poços nulos ou de pequenas vazões. Já a zona pobre é uma área potencialmente ruim para ocorrência de água subterrânea, com expectativa de vazões de no máximo 2 m<sup>3</sup>/h.

Na região de Carlos Barbosa, Bortolin (2014) identificou que a maior parte dos poços possuem profundidades entre 50 e 150 metros e que as entradas de água estão associadas às fraturas de orientação preferencial noroeste, sendo que foram identificadas a ocorrência de uma a três entradas de água por poço, localizadas em profundidades entre 50 e 100 metros. Os poços possuem vazões que variam entre 5 a 20 m<sup>3</sup>/h e capacidades específicas entre 0,1 e 0,5 m<sup>3</sup>/h/m.

No contexto hidroquímico do SASG, destacam-se alguns trabalhos regionais como de Hausman (1995), Lisboa (1996), Reginato (2003; 2013), Machado & Freitas (2005), Nanni (2008) e Freitas *et al.* (2012).

Hausman (1995) relacionou as variações hidroquímicas existentes à profundidade, ao tempo de circulação e ao tipo de mineralização secundária existentes nas fraturas. O autor também correlacionou os valores de pH com as

profundidades de entradas de água, sendo que, em poços com entradas de até 150 metros foram encontrados valores de pH entre 6,5 e 7,9, enquanto que em poços com entradas mais profundas (próximo dos 200 metros), os valores encontrados foram em torno de 9, podendo alcançar até 10,6.

Lisboa (1996), realizou um estudo da hidrogeoquímica e seus controladores geológicos no Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul. Nesse trabalho, concluiu que o sistema está condicionado por três unidades morfotectônicas: Fachada Atlântica, Abóboda Central e Abóboda Oeste. Nesse estudo, o autor também reconhece que as águas subterrâneas do SASG são predominantemente bicarbonatadas cálcicas, apresentando uma relação onde  $Ca > Mg > Na$ . Segundo Machado e Freitas (2000), esse padrão está associado à evolução geoquímica das águas que circulam no SASG. Bittencourt *et al.* (2003) afirmam que as águas bicarbonatadas cálcicas estão diretamente ligadas à mineralogia do aquífero, sendo o cátion  $Ca^{+2}$  proveniente dos plagioclásios e dos minerais ferromagnesianos dos basaltos.

Conforme, Reginato (2003) e Reginato *et al.* (2013), as águas desse aquífero são caracterizadas por três tipos: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas sódicas e sulfatadas cálcicas ou magnesianas. As bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas são relacionadas à composição química das rochas vulcânicas, que apresentam um tempo de residência menor, com recarga relacionada às precipitações pluviométricas através do manto de intemperismo. Enquanto as duas últimas estão relacionadas ao maior grau de confinamento ou à existência de misturas de águas do SAG com o SASG. Lisboa (1996) e Freitas *et al.* (2012) também associaram o campo das bicarbonatadas sódicas a uma intercomunicação entre diferentes aquíferos. Além disso, Reginato *et al.* (2013) identificaram que, em geral, valores de pH inferiores a 7,5 e de condutividade elétrica menores que 200  $\mu S/cm$  estão associados a poços rasos, enquanto que pH mais elevados (entre 7,5 e 9,9) e de condutividade elétrica entre 200 e 498  $\mu S/cm$  estão associados a poços mais profundos.

Na região noroeste do estado, além das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas sódicas, Freitas *et al.* (2012) também identificaram ocorrências do grupo das águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas magnesianas e sulfatadas ou cloretadas sódicas, sendo essa última, com elevado teor de flúor.



Machado & Freitas (2005) identificaram que há um predomínio do ânion bicarbonato e cátions cálcio e mistos (cálcio, magnésio e sódio), porém também identificaram águas mais enriquecidas em sódio. Quanto à salinidade, as concentrações geralmente são baixas, em média 250 mg/L, podendo ser maiores quando influenciado pelas águas do Sistema Aquífero Guarani.

Nanni (2008) também definiu seis fácies hidroquímicas no SASG no estado do Rio Grande do Sul: bicarbonatadas cálcicas; bicarbonatadas sódicas; bicarbonatadas e sulfatadas com flúor; sulfatadas sódicas; sulfatadas sódicas fluoretadas. O autor menciona que, em algumas áreas onde o SASG é mais espesso e as águas são oriundas de aquíferos profundos, as águas são enriquecidas em fluoretos.

### **3.3. Sistema Aquífero Quaternário Costeiro**

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC) representa uma importante reserva de água subterrânea no litoral do Rio Grande do Sul. É caracterizado por ser um típico aquífero de porosidade intergranular, com comportamento livre, semi-confinado ou confinado, associado a diferentes camadas de sedimentos pleistocênicos e holocênicos da planície costeira.

Foi definido por Hausman (1995) de Província Litorânea e dividido, segundo as condições de captação e de qualidade da água, em subprovíncias denominadas Oceânica, Lagunar Externa, Lagunar Interna (norte e sul), Itapuã e Guaíba.

Na região da PCRS, há aquíferos localizados em camadas de areias ou arenitos fracamente cimentados ou em multicamadas de várias origens que podem atingir grandes extensões laterais e verticais e apresentar condições livres, semi-confinadas a confinadas. Freitas *et al.* (2004) denominaram esses aquíferos de "Aquíferos Porosos Cenozóicos Costeiros". Segundo Lisboa *et al.* (2004), os aquíferos dessa região formam o Sistema Aquífero Cenozóico da Planície Costeira, sendo considerado o de maior potencial para abastecimento.

Machado & Freitas (2005) descreveram a ocorrência de aquíferos porosos na região da planície costeira, classificando-os em diferentes sistemas: Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (SAQC I) e II (SAQC II).

O SAQC I estende-se desde Torres até o Chuí, é caracterizado por uma sucessão de fácies arenosas inconsolidadas de granulometria fina a média,

esbranquiçadas, intercaladas com camadas siltico-arenosas e argilosas. Os poços desse sistema possuem capacidades específicas geralmente altas, ultrapassando 4 m<sup>3</sup>/h/m. Quanto à salinidade, as concentrações são inferiores a 400 mg/L, porém também são encontradas águas cloretadas com maior teor salino associadas a áreas de recarga. Esse sistema possui uma alta vulnerabilidade à contaminação nas porções mais superficiais devido, principalmente, aos altos valores de porosidade, de permeabilidade e de vazão nos poços. O SAQC II desenvolve-se desde Torres até Santa Vitória do Palmar, é caracterizado por uma sucessão de areias finas inconsolidadas, esbranquiçadas e argila cinza, sendo que, no topo, predominam camadas pelíticas bastante cimentadas. Os poços desse sistema apresentaram capacidades específicas entre 0,5 e 1,5 m<sup>3</sup>/h/m. Os sólidos totais dissolvidos variam entre 600 e 2.000 mg/L. Machado & Freitas (2005), classificaram as águas para esse tipo de aquífero como bicarbonatadas a cloretadas sódicas.

Na região do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul, Reginato *et al.* (2009) caracterizaram a hidroquímica das águas subterrâneas associadas a esse sistema. Foram identificados diferentes tipos de poços (tubulares, ponteira, cacimba ou escavados) com profundidades variáveis entre 3 e 132 metros e com nível estático localizado entre 2 e 25 metros. Nesse estudo, constatou-se que há um predomínio de águas bicarbonatadas sódicas, entretanto algumas análises apresentaram tipologias químicas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e sulfatadas ou cloretadas sódicas. Além disso, essas águas, se forem utilizadas na irrigação, apresentam risco de salinidade médio a alto e risco de sódio médio, forte e muito forte.

Bobsin (2013), com base nos poços ponteira, caracterizou as águas subterrâneas na zona urbana do município de Osório-RS. Nesse trabalho, o autor constatou que os aquíferos associados ao Sistema Laguna-Barreira III apresentam comportamentos hidrodinâmico e físico-químicos distintos. O Sistema Lagunar III possui uma vazão de até 2,8 m<sup>3</sup>/h, porém com águas de baixa qualidade, incluindo a presença excessiva de ferro. Já os poços associados ao Sistema Barreira III apresentam vazões menores, entre 1,0 e 2,0 m<sup>3</sup>/h e águas de melhor qualidade, porém nem sempre propícias para o consumo humano.

Troian *et al.* (2014), em estudo realizado no litoral norte do estado, através dos dados obtidos dos piezômetros pertencentes à RIMAS e dos poços cadastrados no SIAGAS, classificaram as águas do aquífero costeiro como bicarbonatadas a

cloretadas sódicas. Além disso, as análises indicaram que a maioria das amostras apresentam concentrações de ferro acima do limite de potabilidade estabelecido na resolução CONAMA 396/2008.

#### **4. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO**

A realização desse trabalho, envolveu o desenvolvimento de diferentes atividades que foram agrupadas em seis principais etapas, que são apresentadas a seguir.

##### **4.1 Levantamento Bibliográfico**

O levantamento bibliográfico foi realizado com base em artigos científicos, teses, dissertações e relatórios de estudos com o objetivo de gerar um conhecimento básico sobre a geologia e hidrogeologia do estado do Rio Grande do Sul, bem como da Planície Costeira, na qual o município de Osório está inserido.

##### **4.2 Coleta e Cadastramento dos Pontos de Captação**

A pesquisa de dados sobre pontos de captação existentes na área de estudo foi realizada a partir da consulta ao banco de dados geológicos e hidrogeológicos de poços cadastrados através do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS, programa operado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, assim como dados cedidos pela Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, por empresas de perfuração como a HidroGeo Perfurações e a Poços Artesianos e Água Subterrânea (PAAS) e pela Prefeitura Municipal de Osório.

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, também foram utilizadas informações do Projeto Lagoas Costeiras 3 (UCS/UFRGS) adquiridas durante o cadastramento de campo. Posteriormente, realizou-se o levantamento de campo que teve como objetivo identificar novos pontos de captação (poços e fontes), visando aumentar o número de informações hidrogeológicas para a área de estudo.

O objetivo dessa etapa foi a formação de um banco de dados contendo informações sobre os poços existentes na região e dados sobre a localização (coordenadas geográficas e UTM), tipos de captação, usos da água subterrânea, características construtivas, geologia (perfil geológico dos poços) e sobre a hidrogeologia (parâmetros hidrodinâmicos e hidroquímicos) dos diferentes aquíferos.

Os dados obtidos nessa etapa, foram transcritos, interpretados e organizados em planilhas Microsoft Office Excel e divididos em três grupos que correspondem aos diferentes sistemas aquíferos (SAG, SASG e SAQC) da região.

### **4.3 Caracterização Geológica e Estrutural**

A caracterização geológica regional foi realizada com base nas interpretações do mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), em escala 1:750.000 e dos mapeamentos realizados pelo Centro de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da UFRGS.

O levantamento de campo foi realizado na região do município de Osório, com o objetivo de identificar os diferentes tipos de sedimentos e rochas, bem como as estruturas associadas. Nessa etapa, foram visitados afloramentos em cortes de estradas, pedreiras e áreas de extração de areia.

Além disso, também foram selecionados perfis de poços tubulares disponibilizados pela CPRM, pela CORSAN e pela HidroGeo Perfurações que permitiram uma avaliação geológica mais detalhada. A análise e interpretação desses perfis, permitiu a identificação das diferentes camadas e granulometrias dos sedimentos pertencentes à planície costeira e das litologias que ocorrem em subsuperfície.

A caracterização estrutural foi realizada com objetivo de identificar a ocorrência de estruturas lineares que são os principais condicionantes dos aquíferos fraturados. Essas feições foram traçadas através da aerofotointerpretação com auxílio do *software ArcGis 10.3*, onde posteriormente foram extraídos os dados azimutais e de comprimento.

As fotografias aéreas de escala 1:60.000 foram adquiridas junto à biblioteca do Instituto de Geociências da UFRGS. A área de estudo compreende três estereopares de fotos (14612-13, 14613-14 e 22636-37). Com o auxílio do *software Anaglyph*

Maker, foram gerados três anaglífos que serviram para demarcar os lineamentos (Fig. 13).

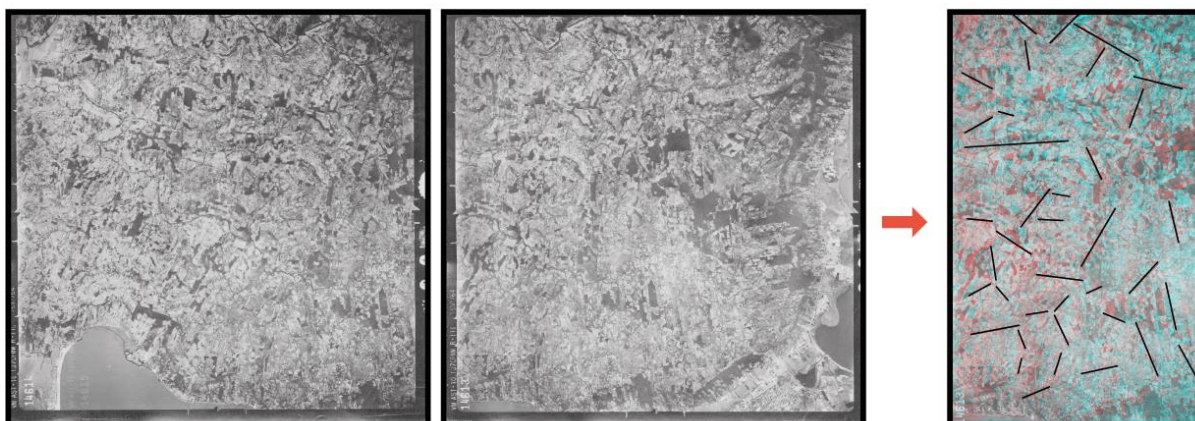


Figura 13. Estereopar das fotografias aéreas (14613-14614) e o anaglifo com os lineamentos traçados.

Além disso, com os dados azimutais dos lineamentos traçados nas fotografias aéreas e dos planos de fraturas medidos em campo, foram gerados dois diagramas de roseta através do *software Stereo 32*, onde foi possível comparar as orientações preferenciais dessas estruturas.

#### 4.4. Caracterização Hidrogeológica

A caracterização hidrogeológica regional foi realizada com base nos dados obtidos do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM-2005) e de estudos que foram publicados em artigos científicos, teses ou relatórios.

A avaliação hidrogeológica dos diferentes sistemas aquíferos foi realizada com base na interpretação dos dados disponíveis para os poços cadastrados na etapa da coleta e cadastramento de dados. Nessa etapa, foram analisados diferentes parâmetros como os principais usos e diferentes formas de captação da água subterrânea e a situação dos poços, bem como profundidade perfurada, profundidade das entradas de água, nível estático, vazão e capacidade específica. Com esses parâmetros, foi realizado um estudo estatístico com o objetivo de caracterizar os diferentes sistemas aquíferos existentes na região.

Além disso, a análise e interpretação dos perfis geológicos permitiu a elaboração de seções hidrogeológicas esquemáticas, onde foi possível estimar as

profundidades e espessuras dos aquíferos. No entanto, algumas características como geometria e continuidade foram mais limitadas em função dos poucos poços que atingiram o Sistema Aquífero Guarani.

#### 4.5. Caracterização Hidroquímica

A caracterização hidroquímica foi feita com base na interpretação dos laudos das análises físico-químicas disponíveis para os poços cadastrados na região e dos laudos das análises realizadas nas amostras de água subterrânea coletadas em campo. Além disso, durante a etapa de campo, com o objetivo de aumentar as informações hidroquímicas para os aquíferos em estudo, foram feitas 3 coletas de amostras de água subterrânea, sendo que uma delas foi coletada de uma fonte natural (Fig. 14).

A coleta foi realizada na saída da tubulação do poço, visando assim, obter uma amostra representativa. No caso dos poços que não estavam sendo bombeados no momento da coleta, as bombas foram ligadas e permaneceram em funcionamento durante, pelo menos, 10 minutos, evitando a coleta de amostras de água que estão paradas na tubulação e que não seriam representativas do aquífero.



Figura 14. Coleta das amostras de água para análise físico-química.

As amostras foram coletadas em frascos de plástico, acondicionadas em caixas de isopor, refrigeradas e enviadas para o laboratório de análises físico-químicas do Centro de Ecologia da UFRGS, onde foram realizadas as análises dos seguintes

elementos: cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, alcalinidade, sulfato, ferro, manganês e fluoreto. Para as medições dos parâmetros como pH e condutividade elétrica (CE) foi utilizado, durante a coleta das amostras, uma sonda multiparâmetro EUTECH.

Os resultados das análises químicas foram tratados no *software* livre Qualigraf (Mobus, 2002), programa disponível para download no site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), que possibilitou a elaboração dos diagramas de Piper, Stiff e USSL.

O Diagrama de Piper (Fig. 15) foi utilizado para classificar e representar graficamente o tipo químico da água subterrânea, de acordo com os íons dominantes ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  e  $\text{Cl}^-$ ), cujas concentrações são expressas em meq/L. Esse diagrama possui dois triângulos que representam o campo dos cátions e outro dos ânions, e um losango ao centro, onde o vértice corresponde a 100% da concentração do íon. O cruzamento do prolongamento dos dois pontos (campo dos cátions e campo dos ânions) no campo dos resultados define sua posição e, com isso, a classificação da amostra de acordo com a sua composição química.

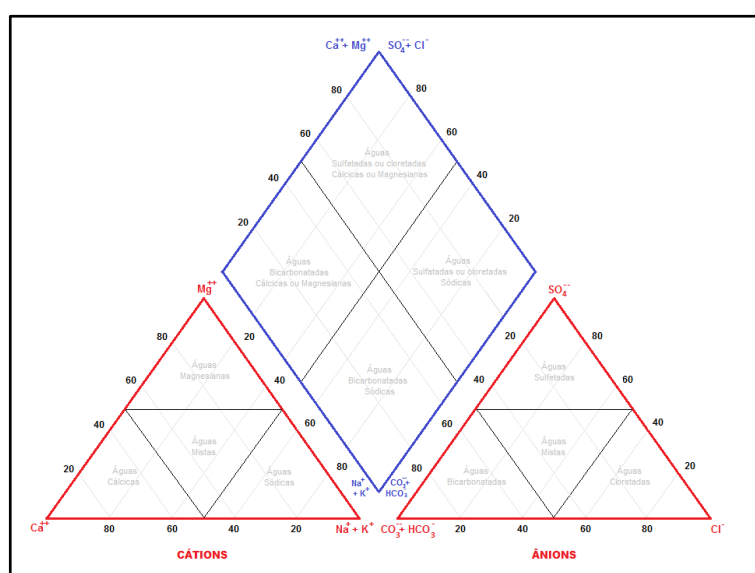


Figura 15. Modelo do Diagrama de Piper.

O Diagrama de Stiff (Fig. 16) é representado em forma radial no qual as concentrações iônicas em meq/L são representadas por linhas horizontais dispostas à esquerda (cátions) e à direita (ânions) de uma linha vertical, que representa o valor

zero. Em função das figuras geométricas formadas, esses diagramas são úteis para a comparação rápida entre os diferentes tipos de águas.

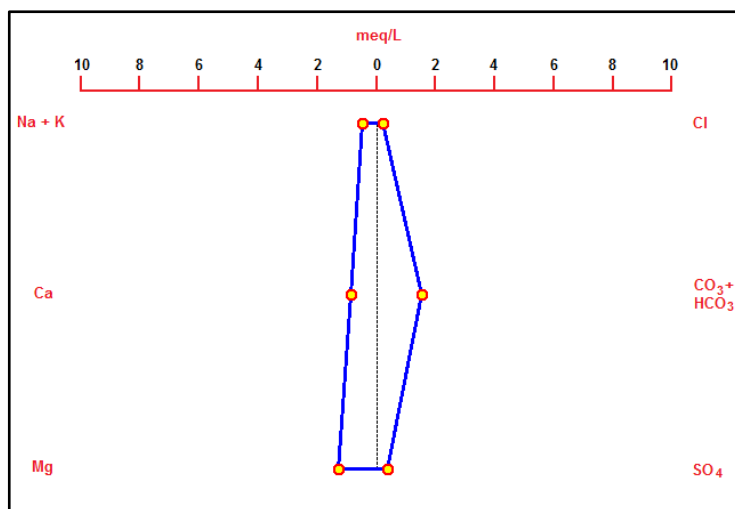


Figura 16. Modelo do Diagrama de Stiff.

A avaliação da qualidade da água para fins de irrigação foi feita pela aplicação do diagrama que relaciona a razão de adsorção de sódio (RAS) com a condutividade elétrica da água. Dentre os critérios de classificação, um dos mais aceitos atualmente é a proposta pelo United States Salinity Laboratory (USSL).

No diagrama USSL (Fig. 17), o risco de sódio é indicado no eixo vertical em quatro classes de risco: baixo, médio, forte e muito forte. Enquanto o risco de salinidade é indicado no eixo horizontal em seis classes de risco: nulo, baixo, médio, alto, muito alto e excepcionalmente alto. Os campos definidos pela intersecção dessas classes definem se essa água é adequada ou não para irrigação.



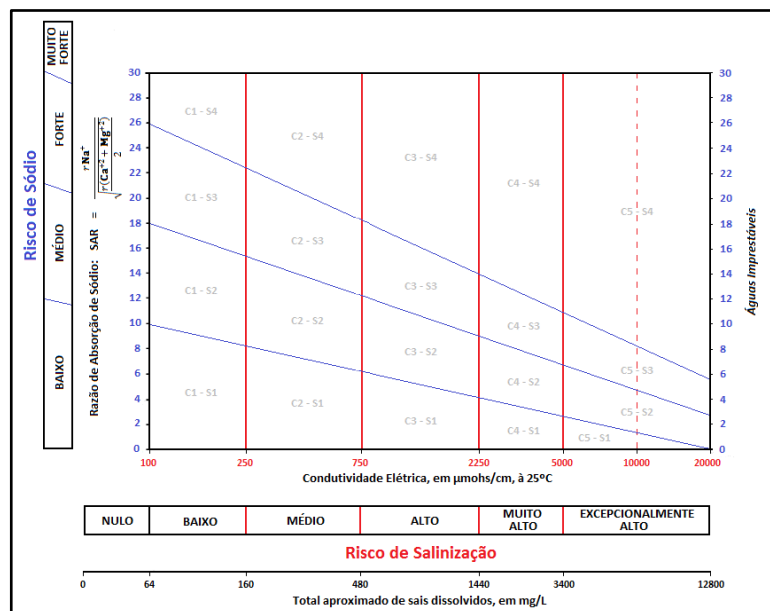


Figura 17. Modelo do Diagrama USSL.

Por fim, para verificar a qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, os valores obtidos nas análises físico-químicas foram comparados aos valores de referência decretado pela Portaria MS 2914/2011, que define os Valores Máximos Permitidos (VMP) de diferentes parâmetros orgânicos, inorgânicos, agrotóxicos e microorganismos da água. Nesse estudo, foram avaliados a presença de substâncias como ferro, manganês, fluoretos e nitratos nos diferentes sistemas aquíferos, onde foi possível identificar os principais problemas de qualidade de água existentes na região de estudo.

#### 4.6. Avaliação do Potencial Hidrogeológico

Visando identificar o potencial de cada sistema aquífero, foi realizado uma integração e interpretação dos dados obtidos na caracterização hidrogeológica e na avaliação hidroquímica.

A produtividade dos aquíferos foi baseada na classificação proposta por Struckmeier & Margat (1995) modificada em Diniz (2012) (Tab. I), contudo com algumas simplificações. A metodologia classifica a produtividade em seis classes de acordo com o intervalo da capacidade específica do aquífero. Trata-se de um critério

para classificação aquífera, o qual se constitui na base da metodologia de cartografia geológica implementada pela CPRM em seus mapeamentos de caráter nacional.

Entretanto, nesse presente trabalho, em função da ausência de dados hidrodinâmicos como capacidade específica ( $qs$ ), transmissividade ( $T$ ) e condutividade hidráulica ( $K$ ) em grande parte dos poços cadastrados, foram utilizados apenas os dados de vazões para essa avaliação.

Tabela I. Caracterização hidráulica das classes dos aquíferos de acordo com a capacidade específica. (qs - capacidade específica; T - transmissividade; K - condutividade hidráulica e Q - vazão).

qs (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /s)	K (m/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Produtividade	Classe
≥4,0	≥10 <sup>-2</sup>	>10 <sup>-4</sup>	≥100	<b>Muito Alta:</b> Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquífero que se destaquem em âmbito nacional.	(1)
2,0 ≤ qs < 4,0	10 <sup>-3</sup> ≤ T < 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-5</sup> ≤ K < 10 <sup>-4</sup>	50 ≤ Q < 100	<b>Alta:</b> Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.	(2)
1,0 ≤ qs < 2,0	10 <sup>-4</sup> ≤ T < 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup> ≤ K < 10 <sup>-5</sup>	25 ≤ Q < 50	<b>Moderada:</b> Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.	(3)
0,4 ≤ qs < 1,0	10 <sup>-5</sup> ≤ T < 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-7</sup> ≤ K < 10 <sup>-6</sup>	10 ≤ Q < 25	<b>Geralmente baixa, porém localmente moderada:</b> Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais consumo privado.	(4)
0,04 ≤ qs < 0,4	10 <sup>-6</sup> ≤ T < 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-8</sup> ≤ K < 10 <sup>-7</sup>	1 ≤ Q < 10	<b>Geralmente muito baixa, porém localmente baixa:</b> Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.	(5)
< 0,04	< 10 <sup>-6</sup>	< 10 <sup>-8</sup>	< 1,0	<b>Pouco produtiva ou não aquífera:</b> Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimentos restritos ao uso de bombas manuais.	(6)
<b>Fonte: Struckmeir &amp; Margat – Modificado por Diniz (2012)</b>					

## **5. RESULTADOS**

### **5.1. Caracterização Geológica de Osório**

A partir dos dados bibliográficos, dos perfis geológicos de poços tubulares disponibilizados pela CPRM (SIAGAS), pela CORSAN e pela HidroGeo Perfurações, bem como do levantamento geológico de campo realizado, foram distinguidas a ocorrência de duas rochas na região: arenitos da Formação Botucatu, vulcânicas básicas da Formação Serra Geral e, considerando a compartimentação proposta por Villwock (1972), sedimentos dos Sistemas Laguna-Barreira II, III e IV. Foram visitados diferentes afloramentos (como pedreiras, cortes de estrada e áreas de extração de areia) que permitiram realizar o levantamento de dados geológicos e caracterizar as diferentes unidades geológicas existentes no município.

Na figura 18 é apresentado o mapa geológico do município. Salienta-se, pela análise do mapa, que na superfície há ocorrência de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e de depósitos de sedimentos do sistema laguna-barreira. As rochas sedimentares da Formação Botucatu só ocorrem em profundidade, sendo identificadas em perfis geológicos de poços, por isso não estão representadas no mapa.

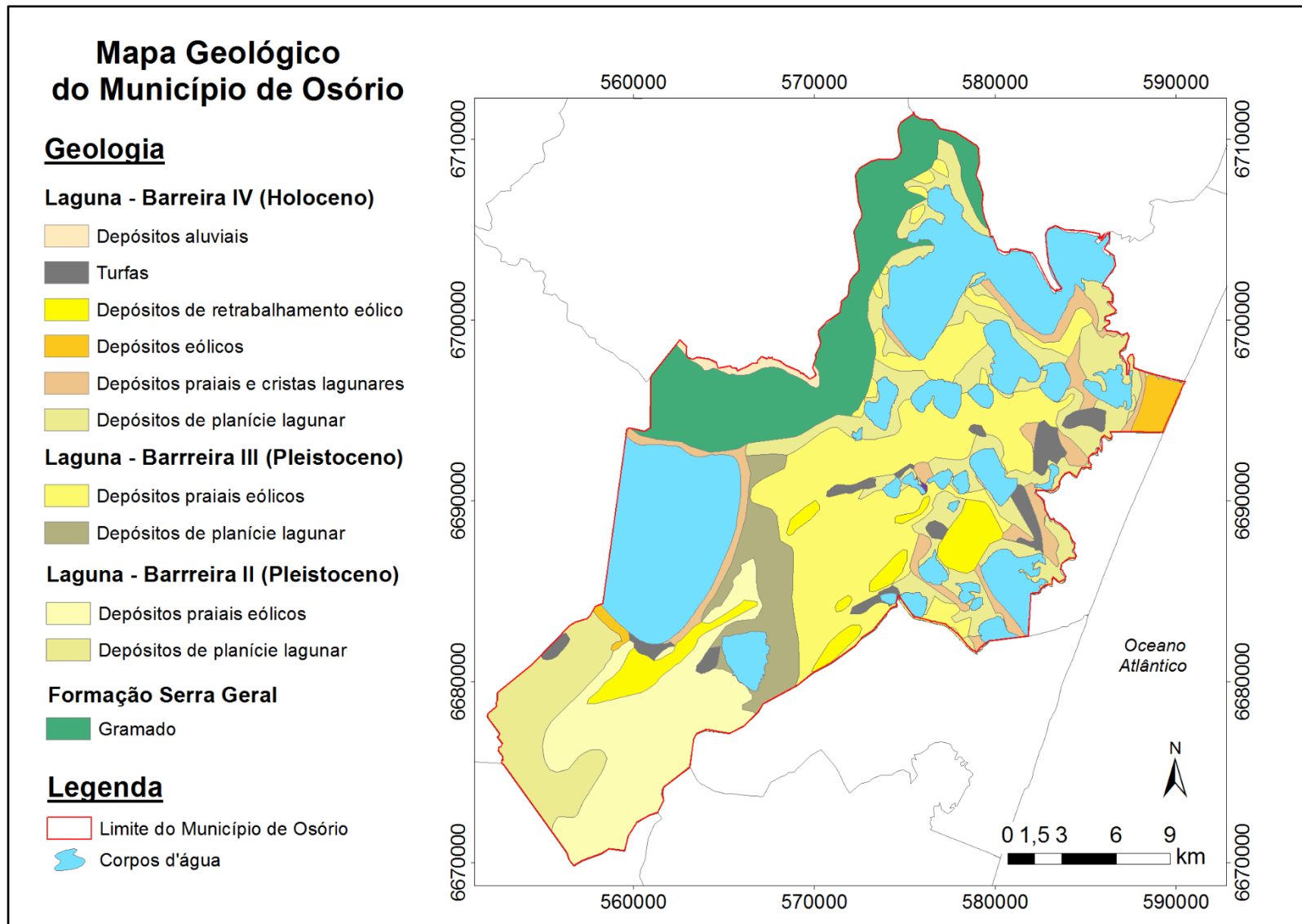


Figura 18. Mapa geológico de Osório, RS (modificado de CPRM, 2008).

### 5.1.1. Formação Botucatu

As rochas sedimentares da Formação Botucatu no município são recobertas pelos derrames da Formação Serra Geral, sendo constituídas por arenitos quartzo feldspáticos de granulometria fina a média, bem selecionados, de cores rosadas que apresentam estratificações cruzadas acanaladas de grande porte. Embora não tenha afloramento no município, essa unidade ocorre em profundidade, sendo identificada através dos perfis geológicos das perfurações de poços tubulares.

A figura 19 mostra o perfil construtivo e geológico de três poços perfurados no município. Observa-se que nesses perfis, há presença dos sedimentos da planície costeira no topo, indicando que os poços estão localizados em altitudes mais baixas (12 e 17 m) e que a Fm. Botucatu pode ser encontrada em altitudes negativas (entre -54 e -83 m). Nota-se, em um dos perfis, uma feição de *intertrapp* indicativos de que o final da sedimentação eólica foi contemporâneo ao início do vulcanismo da Fm. Serra Geral, como já relatado por Scherer (1998).

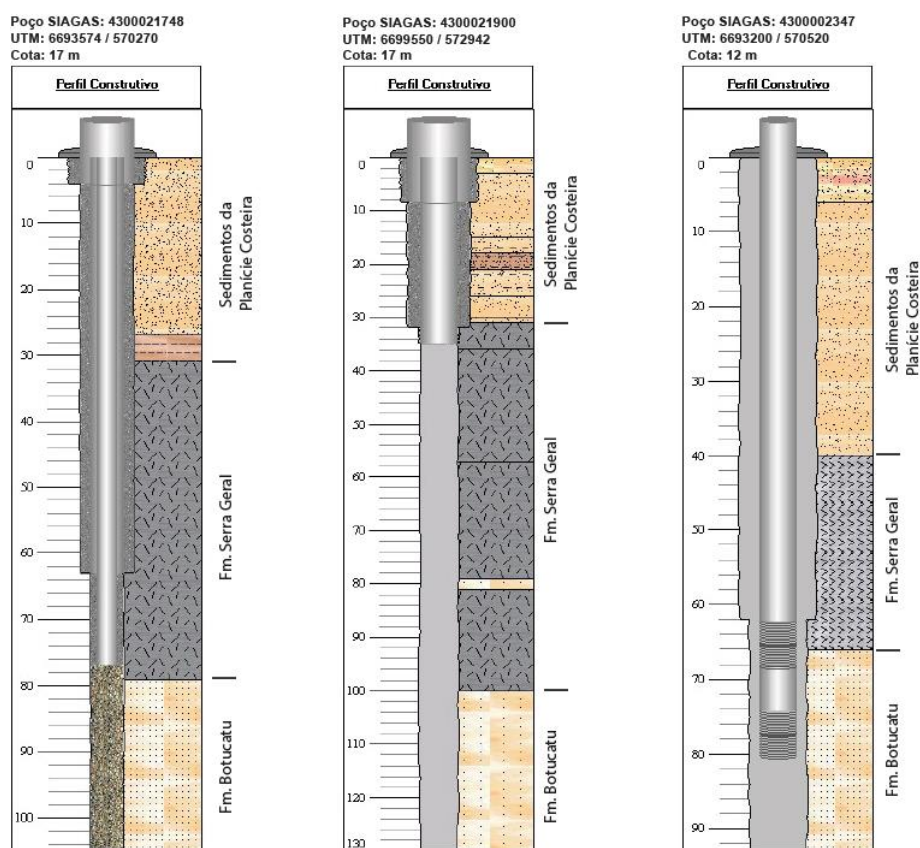


Figura 19. Perfis geológicos de poços cadastrados na plataforma SIAGAS perfurados no município de Osório (modificado de CPRM).

Embora os poços não sejam totalmente penetrantes na Formação Botucatu, pode-se observar pelos perfis, que as espessuras dos arenitos variam entre 26 e 30 metros. Além disso, observa-se que o pacote de rochas vulcânicas, que ocorre sobreposto aos arenitos, apresenta espessuras variáveis, entre 26 e 69 metros.

#### 5.1.2. Formação Serra Geral

No levantamento de campo, identificou-se que as rochas vulcânicas existentes na região estão associadas aos derrames da Formação Serra Geral. Essas rochas pertencem a Unidade Gramado que são representadas por basaltos de coloração castanha a cinza escuro, de textura fanerítica muito fina a afanítica dispostos em mais de um derrame de lava. Essas rochas apresentam estruturas tectônicas (fraturas e zonas de fraturas) e estruturas de resfriamento (disjunções verticais, zonas maciças e vesiculares).

Na figura 20 estão representados perfis construtivos e geológicos de dois poços perfurados no município de Osório. O pacote de rochas vulcânicas, encontrado nestes poços, apresentam diferentes espessuras que são decorrentes à topografia da área. Nota-se que, em altitudes mais baixas, o topo da Fm. Serra Geral encontra-se a aproximadamente 28 metros abaixo dos sedimentos da planície costeira, enquanto que, em altitudes mais altas, o topo desta formação está a alguns centímetros abaixo do manto de alteração proveniente do intemperismo.

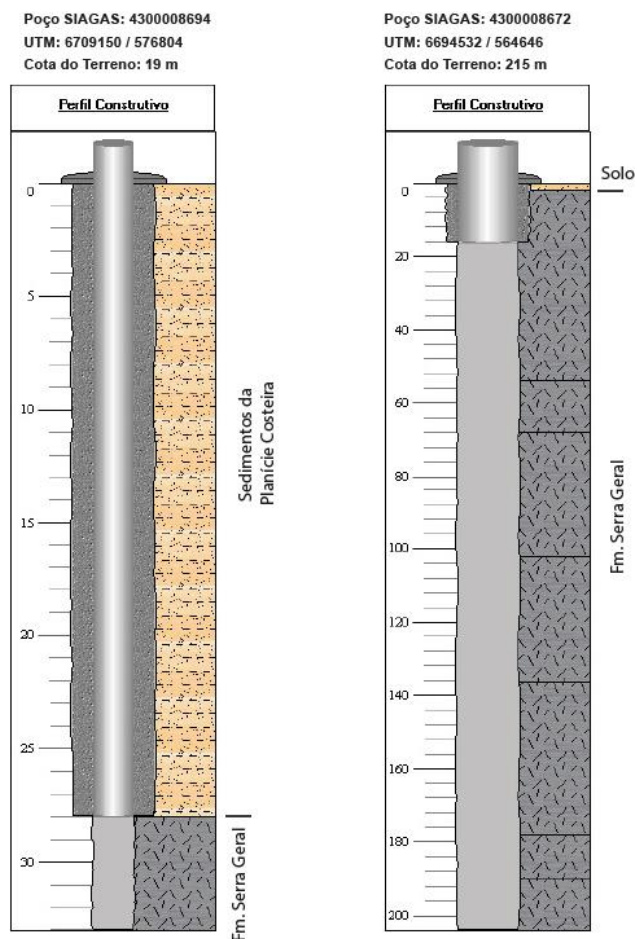


Figura 20. Perfis geológicos de poços cadastrados na plataforma SIAGAS perfurados no município de Osório (modificado de CPRM).

Um dos pontos onde foi realizado o trabalho de campo constituiu de uma pedreira (Fig. 21), sendo que seu talude inferior possui aproximadamente 8 metros de altura sendo caracterizado por três diferentes zonas: zona basal; zona intermediária e zona superior.



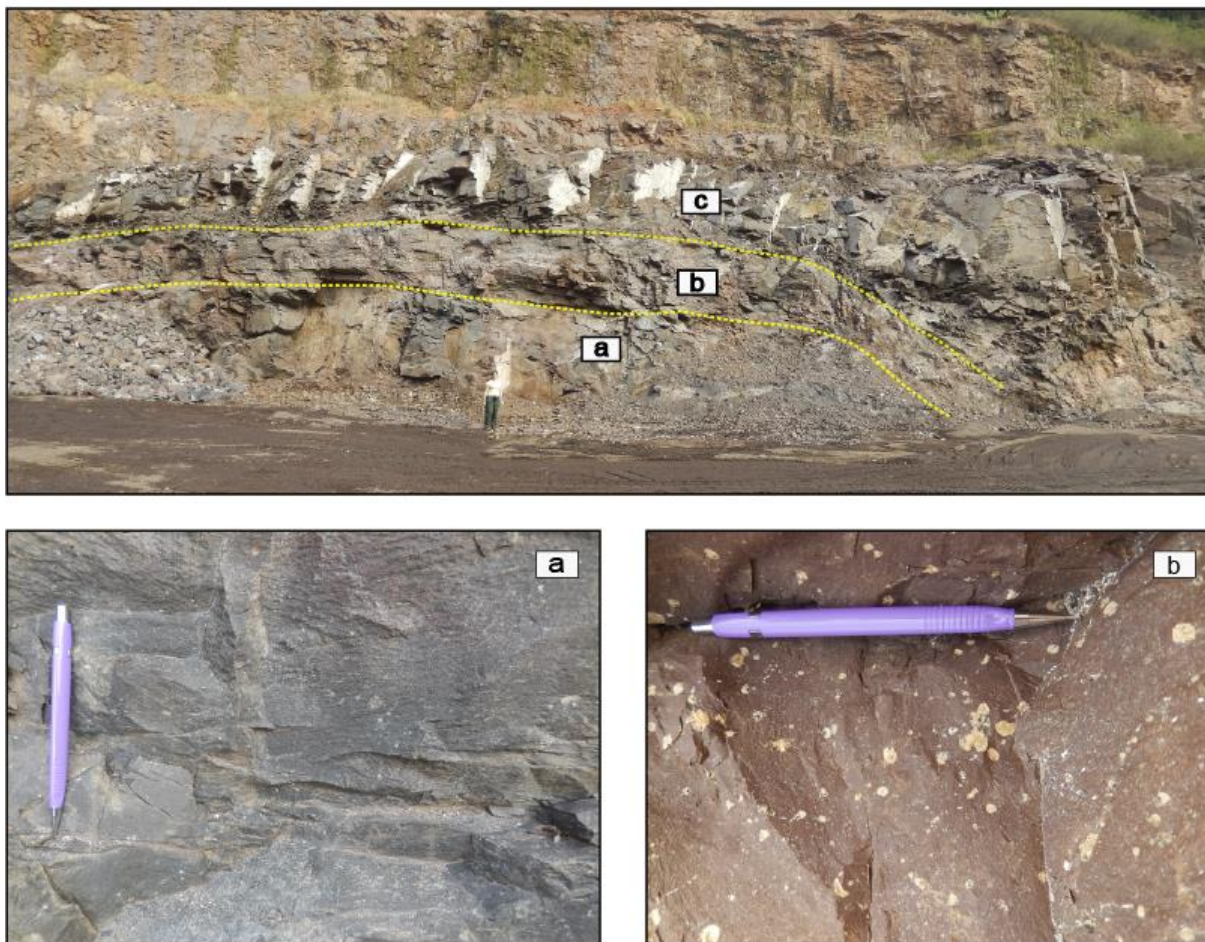


Figura 21. Vista geral do talude inferior da pedreira com detalhe para a zona basal (a) e para a zona intermediária (b).

A zona basal (21a) é caracterizada por basaltos com menor grau de fraturamento. A zona intermediária (21b) possui uma espessura aproximada de 2,5 metros, sendo caracterizada por um horizonte de basaltos com vesículas e amígdalas de tamanhos centimétricos a milimétricos. A zona superior (21c) é caracterizada por basaltos que apresentam, em alguns locais, disjunções horizontais. Além disso, essa camada é cortada por mais de uma dezena de fraturas verticais a sub-verticais que apresentam planos preenchidos por minerais. A zona basal e intermediária representam um derrame de lavas, sendo que a zona superior marca, provavelmente, o início de um segundo derrame.

Na extremidade norte da pedreira, a camada superior do talude se torna mais espessa, sendo representada por basaltos de coloração cinza, que apresentam estruturas horizontais cortadas por fraturas verticais. Em função da estruturação e do fraturamento da rocha, há surgência de água em alguns locais (Fig. 22).



Figura 22. Circulação de água no basalto.

Através da medida de planos de fraturas realizadas em campo, identificou-se que a maior frequência das medidas está situada em dois quadrantes do diagrama de rosetas (Fig. 23). No quadrante NW, a maior parte dos planos de fraturas possuem orientações entre o intervalo N30-40W, seguido pelos intervalos N10-20W e N40-50W. Nota-se, também, que os planos de fraturas compreendidos nesse quadrante, são normalmente mineralizados por zeolitas. Já no quadrante NE, predominam planos de fraturas N30-40E, seguido por N40-50E e N70-80E.

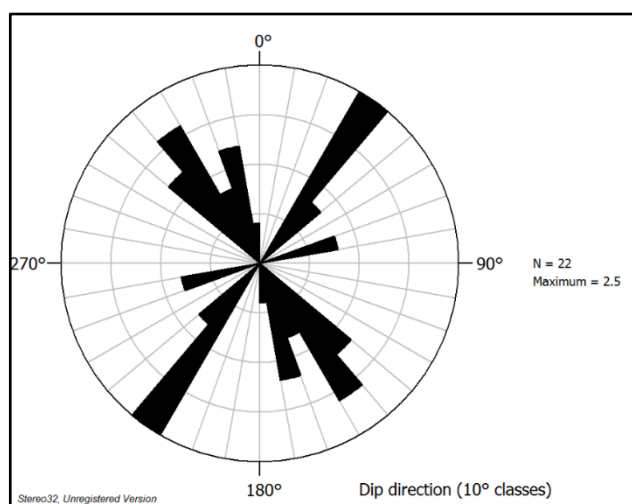


Figura 23. Diagrama de roseta com as direções de fraturas medidas em campo.

O levantamento realizado com a interpretação das fotografias aéreas (1:60.000) permitiu a identificação de 96 lineamentos (Fig. 24), a partir dos quais foram extraídos dados de orientação e comprimento.

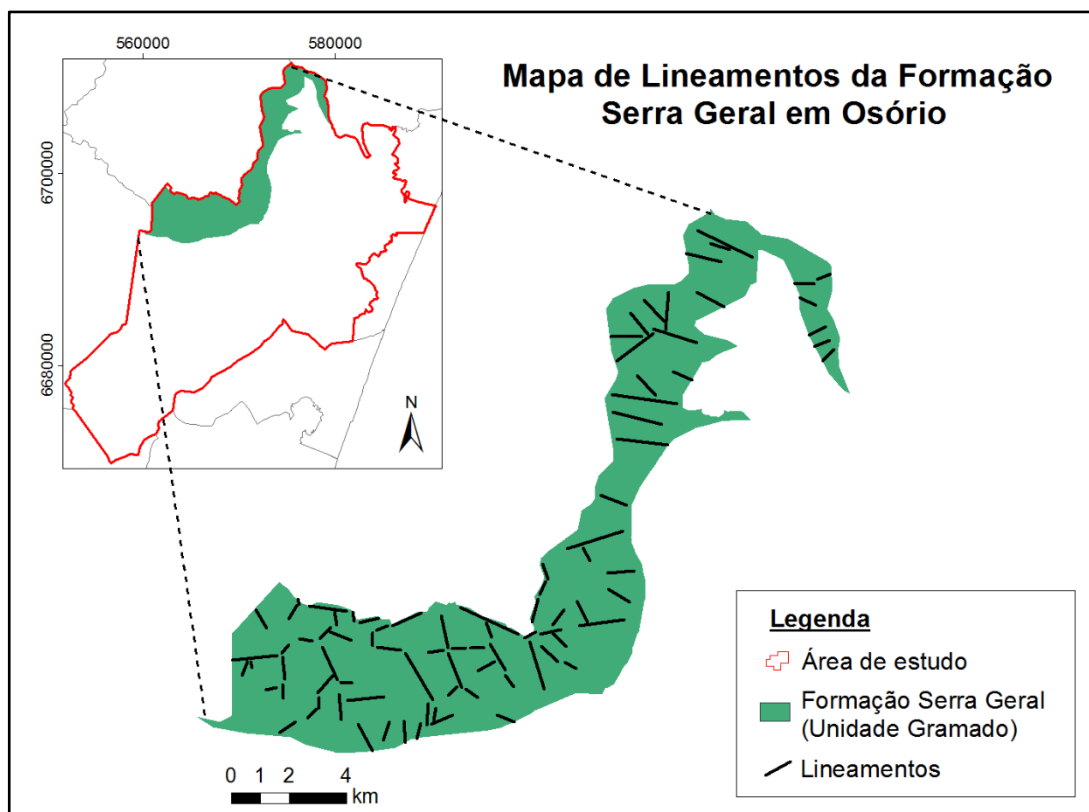


Figura 24. Mapa de lineamentos da Fm. Serra Geral em Osório.

Com a análise do diagrama de roseta da figura 25, constatou-se que os lineamentos da área se concentram na orientação NW (N20-30W; N0-10W; N60-70W; N80-90W; N10-20W), porém, existem orientações subordinadas NE (N60-70E; N80-90E; N10-20E; N20-30E; N30-40E; N50-60E; N70-80E). Nota-se que há uma grande frequência de orientações no quadrante NW tanto nos lineamentos traçados, quanto nas fraturas medidas em campo.

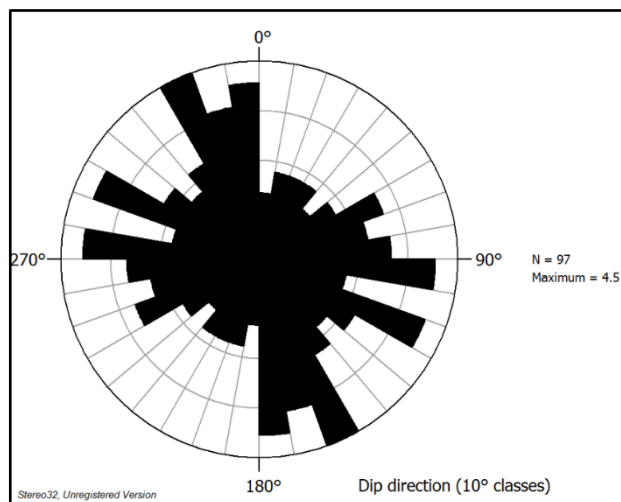


Figura 25. Diagrama de roseta com direção dos lineamentos traçados.

O gráfico da figura 26 mostra que o intervalo de maior frequência do comprimento dos lineamentos está entre 250 e 750 m (50%). Também há percentuais significativos entre 750 e 1.000 m (24%) e percentuais não tão significativos para comprimentos entre 1.000 e 1.250 m (11%), entre 1.250 e 1.500 m (5%), superiores a 1.500 m (9%) e para comprimentos inferiores a 250 m (1%).

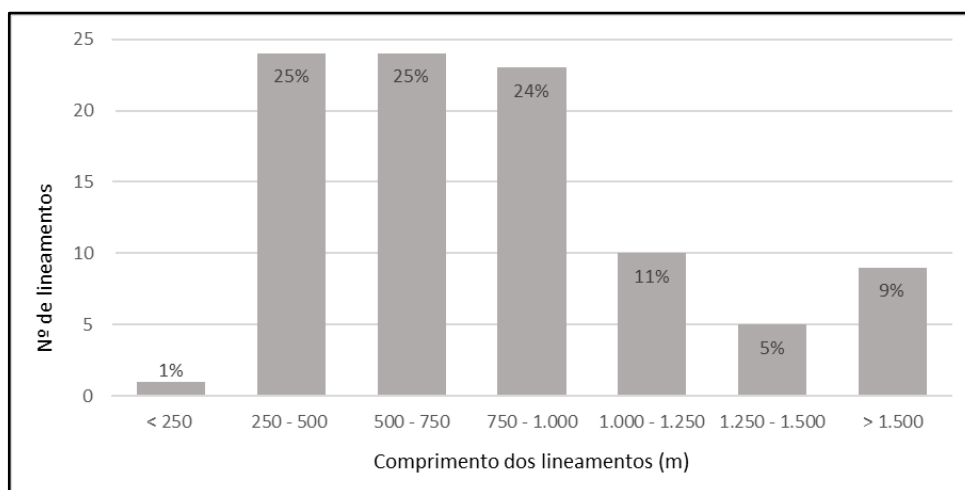


Figura 26. Frequência dos comprimentos dos lineamentos traçados.

### 5.1.3. Depósitos dos Sistemas Laguna-Barreira

Dos quatro Sistemas Laguna-Barreira identificados na Planície Costeira do RS, na área em estudo foram reconhecidos apenas três, sendo os depósitos

pleistocênicos laguna-barreira II e III e os depósitos holocênicos laguna-barreira IV. O primeiro e o segundo sistema estão representados por depósitos de planície lagunar e praias eólicas. Já o último sistema está representado por depósitos de planície lagunar, praias e cristas lagunares, eólicas, de retrabalhamento eólico e de turfeira.

### Sistema Laguna-Barreira II

Os depósitos de planície lagunar representam a fácies do Sistema Lagunar II e são constituídos por areias quartzosas, mal selecionadas, com granulometria que variam de fina a média de cores amarelo-acastanhadas, maciças ou com laminação plano-paralela incipiente. Nestes depósitos é comum a ocorrência de concreções carbonáticas ou ferruginosas. Suas características litológicas são muito semelhantes às dos depósitos de planície lagunar do Sistema Laguna-Barreira III.

Os depósitos praias eólicas do Sistema Barreira II estão preservadas a leste da Lagoa dos Barros e correspondem a areias quartzo-feldspáticas, castanho-amareladas, bem arredondadas e envoltas em uma matriz siltico-argilosa de natureza diagenética.

### Sistema Laguna-Barreira III

A figura 27(a) ilustra um perfil de 0,90 metros associado aos depósitos de planície lagunar do Sistema Lagunar III. A porção inferior com, aproximadamente, 0,40 metros de espessura, é constituída principalmente por areias fina, siltico-argilosas de coloração creme com intercalações de lama orgânica e níveis oxidados. A zona intermediária possui uma espessura aproximada de 0,25 metros e é constituída basicamente por areia rica em matéria orgânica, enquanto a porção superior é constituído por um solo bastante argiloso, de coloração marrom-escuro.

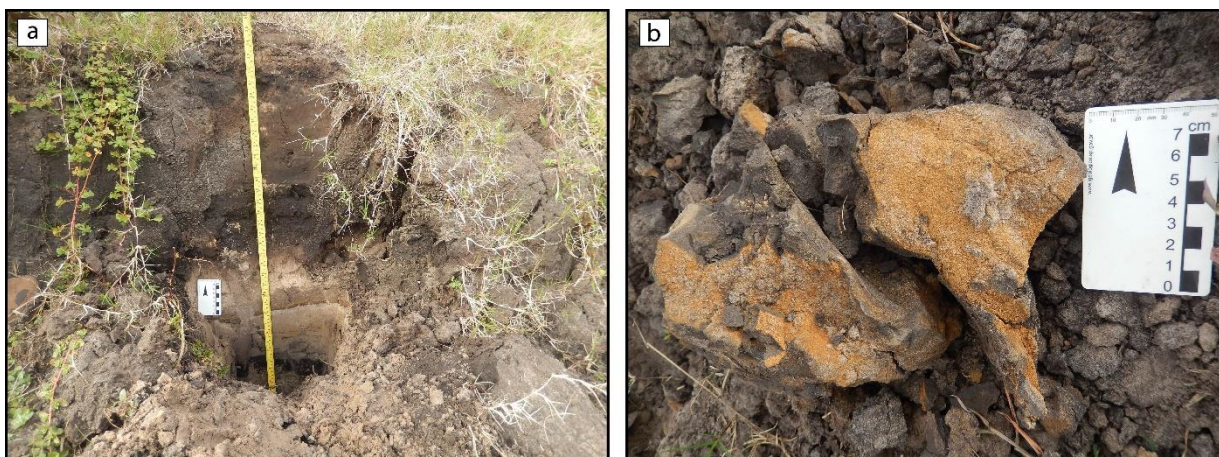


Figura 27. Perfil dos depósitos de planície lagunar (a) e solo com concreções ferruginosas (b) referentes ao Sistema Lagunar III.

O afloramento associado aos depósitos praias eólicos do Sistema Barreira III está localizado em uma área de extração de areia pertencente à jazida Transareia, no município de Osório. Nele foi possível identificar as fácies relacionadas ao sistema eólico, praias (*backshore* e *foreshore*) e marinho raso (Fig. 28). Os sedimentos praias são compostos por areias finas, esbranquiçadas, bem selecionadas, com estratificações bem desenvolvidas que incluem a laminação plano paralela de baixo ângulo (Fig. 28c). Além disso, também foi observada a ocorrência de icnofósseis representados por tubos de *Ophiomorpha* (Fig. 28a e 28b). As areias eólicas possuem coloração marrom avermelhada, de aspecto maciço e comumente bioturbadas por raízes (Fig. 28d).

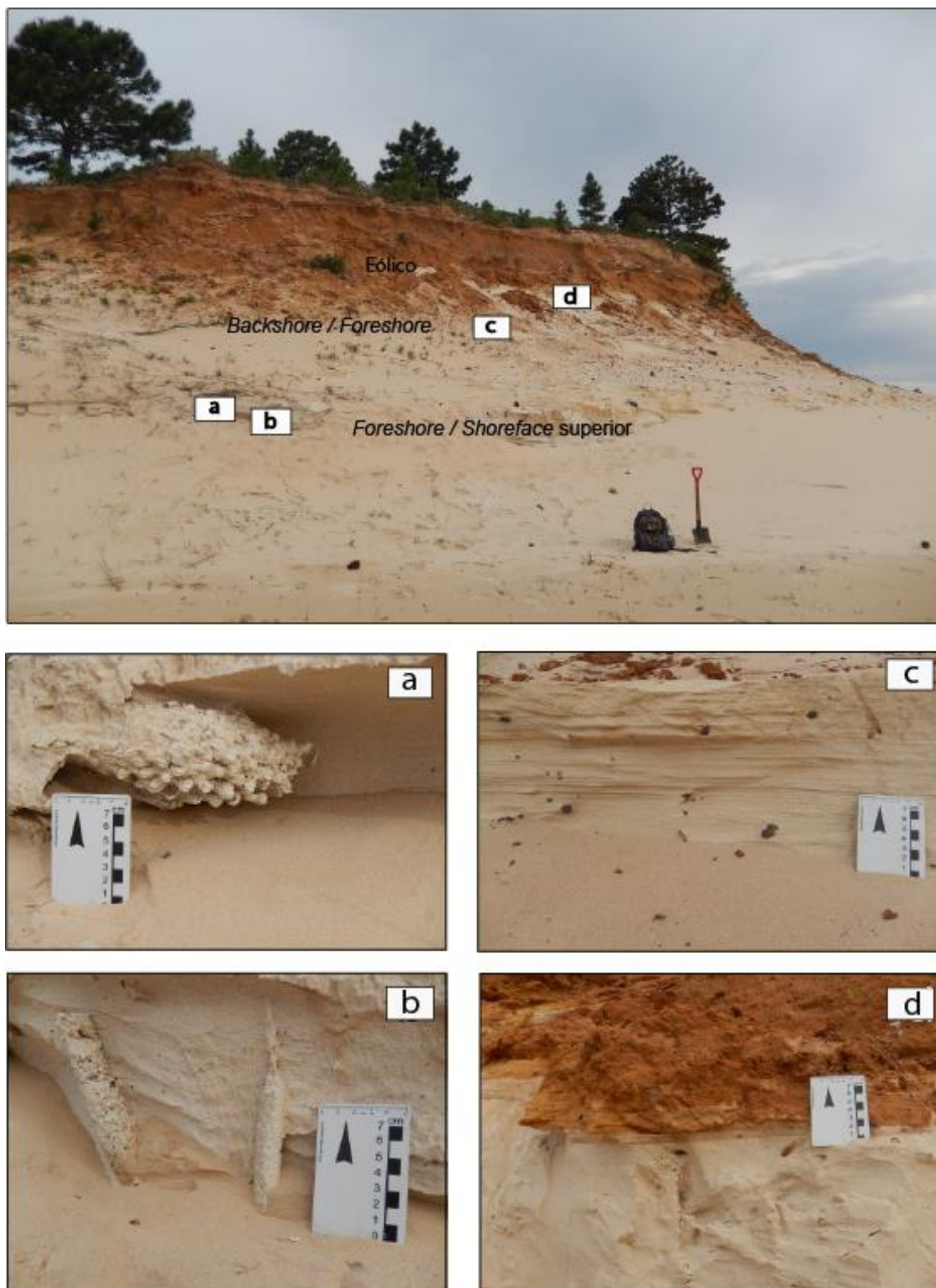


Figura 28. Afloramento da Barreira III. Sedimentos praias com icnofósseis de *Ophiomorpha* (a;b); sedimentos praias com laminação plano-paralela de baixo ângulo (c); contato entre sedimentos praias e sedimentos eólicos (d).

### Sistema Laguna-Barreira IV

O Sistema Lagunar IV, desenvolvido no espaço de retrobarreira da Barreira IV, engloba depósitos associados a fácies de planície lagunar e a fácies turfáceas. O depósito de planície lagunar, normalmente, contém areias finas, síltico-argilosas de cores claras, pobremente selecionadas, com laminação plano-paralela incipiente e concreções carbonáticas e ferruginosas. Os depósitos de turfas são heterogêneos intercalados ou misturados com areia, silte e argila.

Na região, o Sistema Barreira IV é correlacionado aos sistemas praias e eólicos. Os depósitos praias e cristas lagunares se encontram próximos às margens lagunares atuais e são constituídos, principalmente, por areia quartzosa fina a muito fina, bem selecionada.

Os depósitos de retrabalhamento eólico são constituídos, normalmente por areia quartzosa fina a média, bem arredondadas, com laminação plano-paralela e estratificação cruzada. Já os depósitos eólicos são marcados pela presença de dunas frontais (Fig. 29) com altura em torno de 4 metros e são constituídos por areias quartzosas finas, esbranquiçadas, bem selecionadas e de baixo grau de compactação.



Figura 29. Depósitos eólicos do Sistema Barreira IV, localizado no Balneário de Atlântida Sul – Osório/RS



## **5.2. Caracterização Hidrogeológica**

Conforme o mapa da figura 30, os recursos hídricos subterrâneos na área de estudo estão associados a três sistemas aquíferos denominados Sistema Aquífero Guarani (SAG), Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC). Esses sistemas estão associados a diferentes litologias e estruturas, podendo apresentar aquíferos com comportamento livre ou confinado.

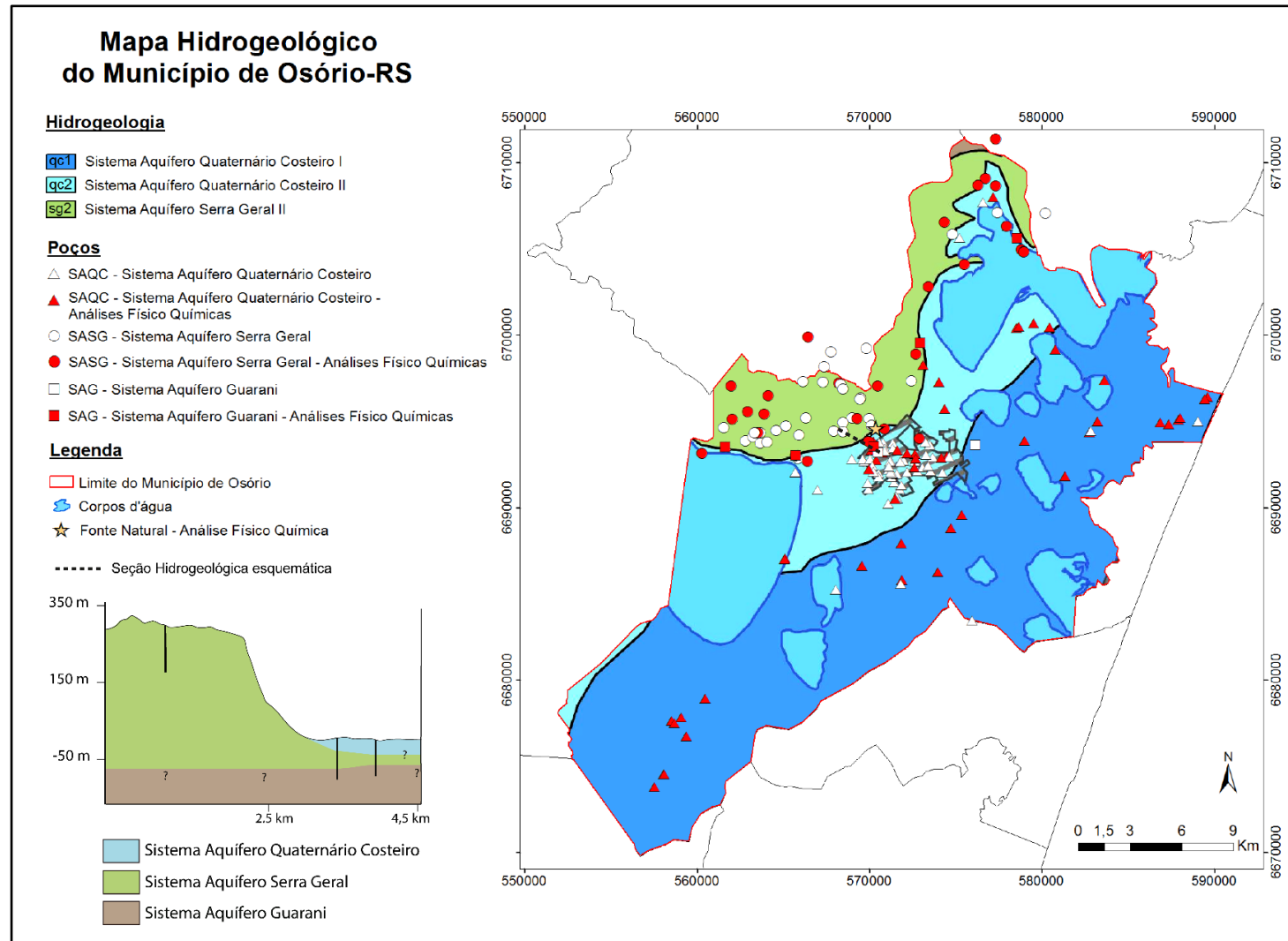


Figura 30. Mapa hidrogeológico e localização dos poços e da fonte natural utilizados para a caracterização hidrogeológica e hidroquímica dos Sistemas Aquíferos (modificado de CPRM, 2005)

### 5.2.1. Uso dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Osório

As águas subterrâneas da área de estudo são captadas por meio de poços tubulares, ponteiros, cacimba ou escavados e por fontes naturais localizadas nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Com as informações obtidas a partir da plataforma do SIAGAS, de relatórios técnicos da CORSAN, da Prefeitura municipal de Osório e de empresas privadas de perfuração, bem como durante as etapas de campo, foram identificados 181 poços e uma fonte natural.

Quanto as formas de captação, desses 181 poços, 51% são tubulares, 47% são do tipo ponteira e 2% são cacimbas (Fig. 31).

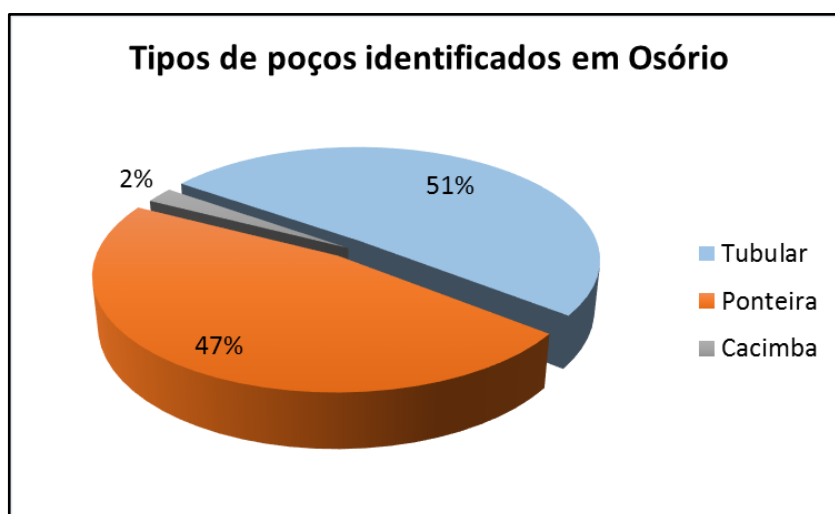


Figura 31. Distribuição dos tipos de poços identificados no município de Osório.

No caso dos poços tubulares (Fig. 32), observa-se uma grande ocorrência desse tipo de captação na região, que pode ser explicado devido a ocorrência de aquíferos fraturados associados às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. A captação da água desses aquíferos só pode ser feita através de poços tubulares. Além disso, a prefeitura municipal possui um programa de perfuração de poços tubulares para atender comunidades da zona rural, onde não há rede de abastecimento de água.



Figura 32. Poços tubulares cadastrados no município de Osório.

A captação por poços ponteira (Fig. 33) é feita em função da facilidade e do baixo custo de perfuração nos sedimentos inconsolidados, sendo a principal forma de captação de água subterrânea pelos moradores. Esses poços são pouco profundos, captam água do aquífero livre e são pouco produtivos, sendo, em geral, utilizados para abastecimento doméstico ou pequenas comunidades.



Figura 33. Poços ponteira perfurados no município de Osório.

A captação por meio de poços cacimba (Fig. 34) é utilizada pela população da zona rural, onde não há sistema público de abastecimento. São sistemas construídos manualmente em solos e em depósitos sedimentares pouco consolidados, são pouco profundos, possuem profundidades inferiores a 10 metros, podendo ser revestidos por concreto.



Figura 34. Poços tipo cacimba.

A distribuição geral da situação dos poços cadastrados na região está discriminada na tabela II. A maioria dos poços perfurados em Osório se encontram em condições de uso (91,5%), porém 90% deles estão em operação e 1,5% estão equipados, mas ainda sem funcionamento. Do percentual restante, 8% estão abandonados e 0,5% ainda não possuem o sistema de bombeamento instalado.

Tabela II. Situação atual dos poços identificados na região de estudo.

<b>Situação atual dos poços</b>	
Produtivos	163 (90%)
Abandonados	14 (8%)
Equipados	3 (1,5%)
Não instalado	1 (0,5%)

Quanto ao tipo de uso das águas, os poços foram categorizados em cinco classes de abastecimento: doméstico e comunitário; comércio-indústria; urbano; monitoramento e sem informação. Conforme o gráfico da figura 35, o maior percentual de poços é destinado ao abastecimento doméstico e comunitário (82%). Na zona rural, além dos poços domésticos (individuais) também há poços de abastecimento comunitário, perfurados pela Prefeitura Municipal, que são destinados às famílias, bem como às escolas e aos postos de saúde.

Na zona urbana, também há poços domésticos, porém, a categoria “urbano” abrange as perfurações destinadas ao abastecimento realizado pela CORSAN, que utiliza tanto os recursos hídricos superficiais (lagoas), quanto os recursos hídricos

subterrâneos. Dos poços identificados no município, apenas 4% são destinados ao abastecimento urbano.

Cerca de 5% dos poços são fontes de abastecimento para o desenvolvimento de atividades industriais e comerciais, 1% pertence a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) e os 8% restantes não possuem informação.

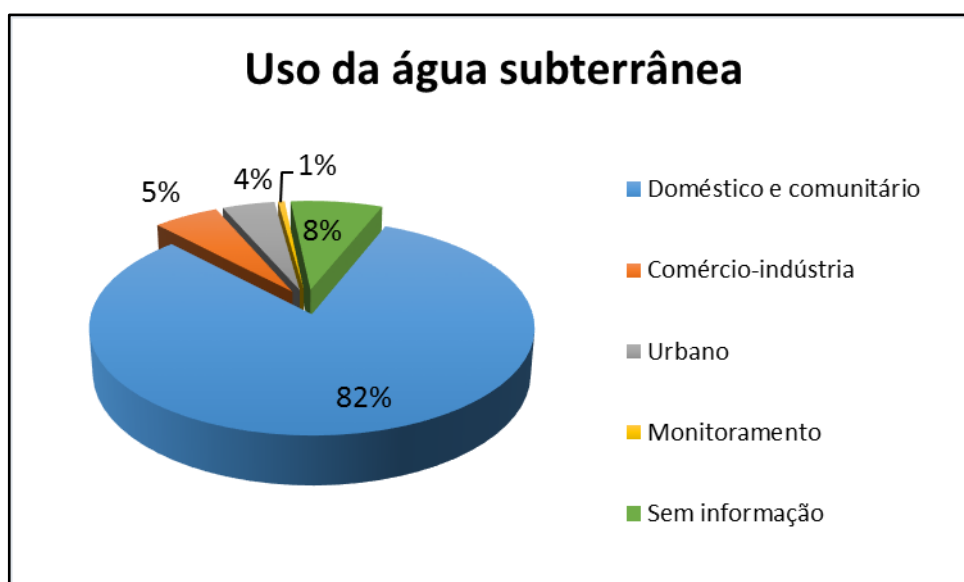


Figura 35. Principais usos dos recursos hídricos subterrâneos no município.

### 5.2.2. Caracterização do Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Na região em estudo, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) está confinado pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Trata-se de um aquífero granular associado às rochas sedimentares da Formação Botucatu, na qual a circulação de água se dá através dos poros formados entre os grãos. É constituído predominantemente, por arenitos quartzosos, de granulometria fina a média e localmente grossa e de coloração rósea, bege e castanha.

Com o auxílio de poços locados no município de Caraá, localizado ao norte de Osório, foram desenhadas duas seções hidrogeológicas esquemáticas com o objetivo de mostrar a ocorrência do SAG na área de estudo e sua relação com o sistema sobreposto. Conforme analisado na figura 36, o SAG comporta-se como um aquífero

confinado pelas litologias que compõem o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e, dessa forma, sua captação só é possível através de poços tubulares profundos.

Em altitudes mais baixas, como onde estão locados os poços PT-21748, PT-2347 e PT-21900, é aconselhado a construção de poços com profundidades da ordem de 80 m. Em altitudes mais elevadas, como onde está locado o poço PT-8683, são aconselhados a construção de poços com profundidades superiores a 350 m. Cabe ressaltar que não há dados suficientes de poços que atingem o SAG, portanto não foi possível caracterizar, com precisão, a sua espessura, a sua geometria, bem como a sua continuidade no município.

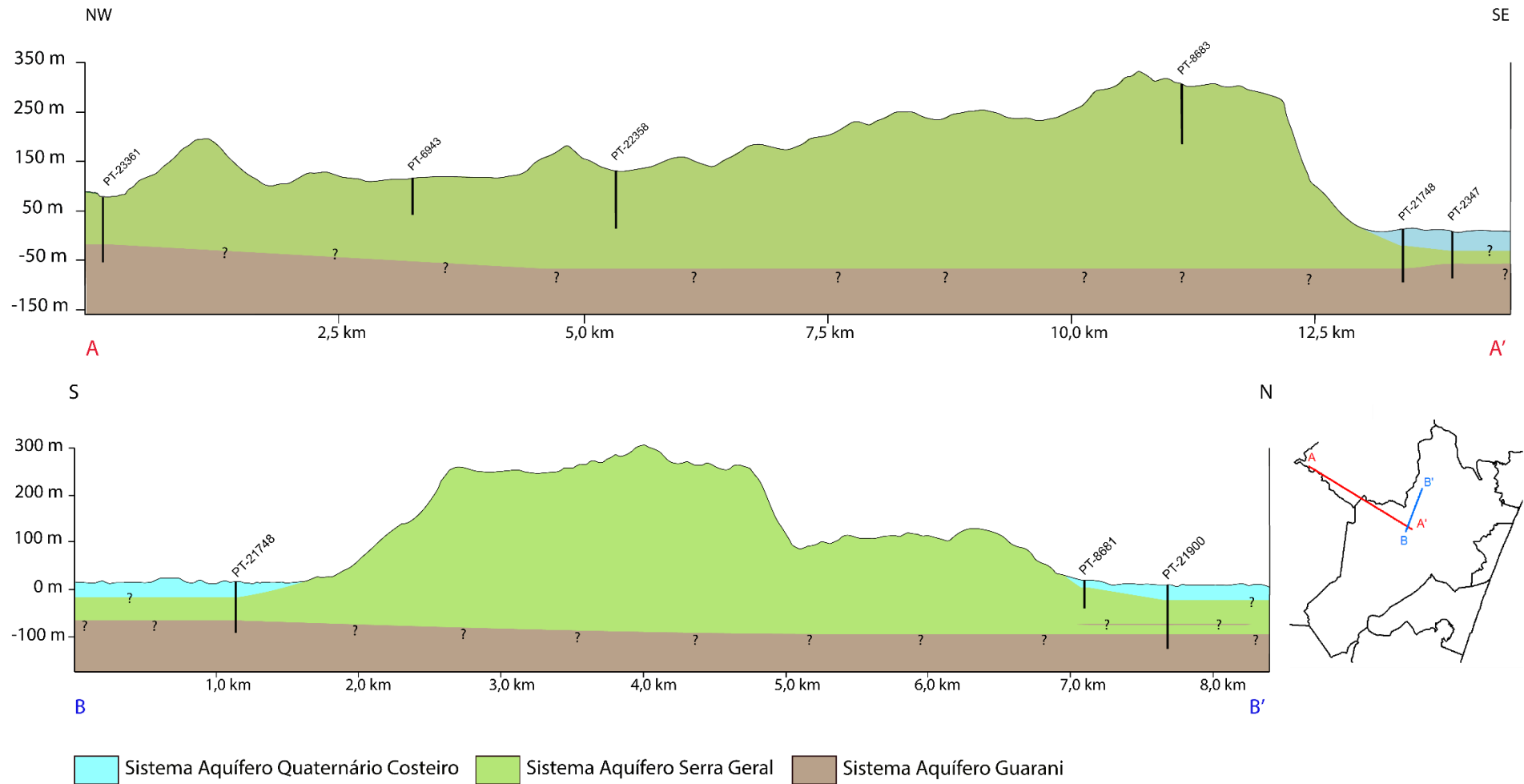


Figura 36. Seções hidrogeológicas esquemáticas (A-A' e B-B').



Para a caracterização hidrodinâmica do SAG foram analisados sete pontos de captação, sendo que apenas dois apresentam dados completos de profundidade perfurada, nível estático, vazão e capacidade específica (Tab. III).

Tabela III. Distribuição dos dados existentes para cada parâmetro analisado dos poços do SAG no município de Osório. (NE = nível estático; Q = vazão; q = capacidade específica)

Poço	UTM N	UTM E	Prof. do poço (m)	NE* (m)	Q* (m <sup>3</sup> /h)	q* (m <sup>3</sup> /h/m)
<b>PT-08JDB</b>	6705635	578569	336	-	10	-
<b>PT-O2</b>	6693017	565747	-	-	-	-
<b>PT-21900</b>	6699550	572942	130	4,4	12,85	0,996
<b>PT-21748</b>	6693574	570270	105	3,58	5	0,804
<b>PT-25DAT</b>	6693540	561631	164	-	3,5	-
<b>PT-01PDVZ</b>	6693641	576153	84	8,5	30	-
<b>PT-2347</b>	6693200	570520	93	4	10,29	-

As profundidades dos poços tubulares que atingiram as rochas sedimentares e que captam água do SAG, variam entre 84 e 336 m. O nível estático mais superficial encontra-se aos 3,58 m, enquanto o mais profundo, aos 8,50 m.

Os dados de capacidade específica foram limitados a apenas dois poços com valores de 0,996 e 0,804 m<sup>3</sup>/h/m, indicando uma baixa potencialidade hidrogeológica. As vazões captadas variam de um mínimo de 3,5 m<sup>3</sup>/h e um máximo de 30 m<sup>3</sup>/h.

### 5.2.3. Caracterização do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O SASG é caracterizado pela ocorrência de aquíferos fraturados que estão associados às estruturas presentes nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Seus condicionantes estão relacionados às estruturas tectônicas (fraturas e zonas de fraturas) e às estruturas de resfriamento (diáclases, zonas vesiculares e amigdaloides). No entanto, na zona de alteração dessas rochas, em locais onde há espessura, porosidade e permeabilidade suficientes, também pode ocorrer a formação de um aquífero granular livre (freático).

Para esse sistema, foram identificados 59 poços, sendo 56 tubulares, 2 do tipo ponteira e um cacimba. As quantidades de dados disponíveis para cada parâmetro

estão descritas na tabela IV, porém, cabe ressaltar, que esses dados são relacionados somente aos poços tubulares.

Tabela IV. Distribuição da quantidade de dados existentes para cada parâmetro dos poços do SASG no município de Osório

	<b>Prof. dos poços (m)</b>	<b>NE (m)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>q (m<sup>3</sup>/h/m)</b>
Valor médio	140	36,3	7,2	0,288
Valor máx.	402	340	25	1,29
Valor mín.	12	0,5	0,5	0,008
Desvio Padrão	86,2	78,3	5,9	0,382
Nº de dados	54	31	46	14

A média da profundidade dos poços perfurados é de 140 metros, sendo que o conjunto de poços analisados apresenta um desvio padrão de 86,2 metros. A profundidade mínima dos poços é de 12 m e a máxima de 402 m.

Identificou-se que a maioria dos poços possui profundidade dentro do intervalo de 50 a 100 m (33%), seguido pelo intervalo de 100 a 150 m (28%), como mostra o gráfico na figura 37.

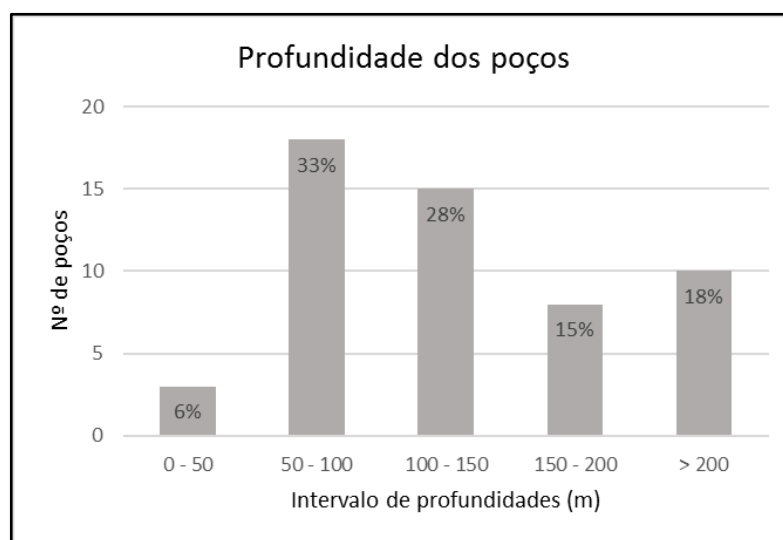


Figura 37. Profundidade dos poços que captam água do SASG em Osório.

A análise dos poços existentes na região permitiu identificar que há ocorrência de uma a três entradas de água por poço, localizadas em diferentes profundidades

(Tab. V). Dos 7 poços que possuem essa informação, temos 4 com 2 entradas (57%), 2 com 3 entradas (29%) e 1 com apenas uma entrada (14%).

Tabela V. Análise estatística da profundidade das entradas de água dos poços.

<b>Dados estatísticos</b>			
Nº de entradas de água	1 (14%)	2 (57%)	3 (29%)
Profundidade média (m)	61		
Profundidade mínima (m)	12		
Profundidade máxima (m)	157		
Desvio padrão (m)	48		

A profundidade média das entradas de água é de 61 m, sendo que a entrada mais profunda está a 157 m e a entrada mais superficial encontra-se a 12 m de profundidade. O gráfico da figura 38 permite analisar que a maioria das entradas de água estão situadas entre 10 e 100 m de profundidade (73%). Isso demonstra que a circulação da água subterrânea é mais comum nesse intervalo e que em profundidades maiores que 100 metros são mais difíceis de serem encontradas, visto que a ocorrência de fraturas abertas tendem a diminuir em níveis mais profundos em função da pressão exercida pelo maciço rochoso.

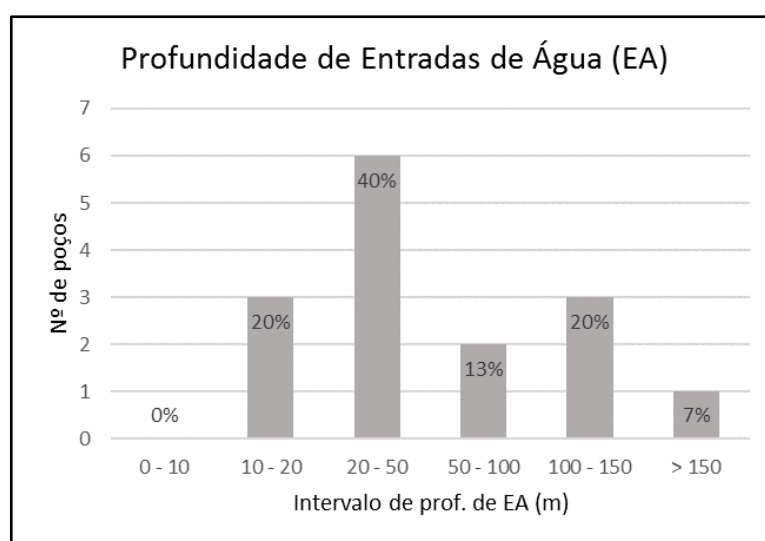


Figura 38. Profundidade das entradas de água dos poços do SASG.

Com relação ao nível estático, obteve-se uma média de 36,3 m, com um desvio padrão de 78,3 m. A profundidade mínima e máxima do nível d'água encontrado foi de 0,5 e 340 m, respectivamente.

O nível estático (NE) está associado a diferentes profundidades, sendo na maior parte dos casos, localizado entre o intervalo de 5 a 10 m (52%), seguido pelo intervalo de 10 a 20 m (26%), como apresenta no gráfico da figura 39. Tais dados demonstram que, as águas desse aquífero encontram-se sob pressão, visto que, em geral, os níveis de água estão acima das profundidades das entradas de água.

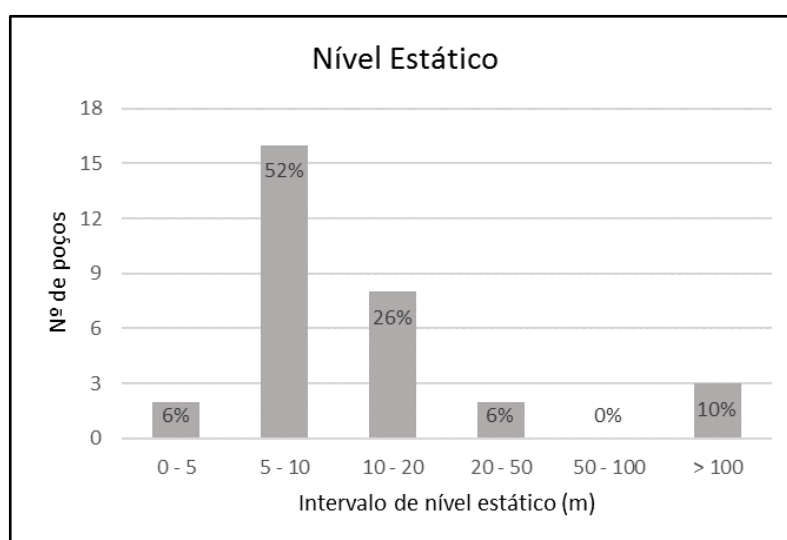


Figura 39. Profundidade do nível estático dos poços do SASG.

Em média, a capacidade específica dos poços analisados em Osório é de 0,288  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , o menor valor registrado para este parâmetro foi de 0,008  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$  e o maior valor foi de 1,29  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Essa variação demonstra que esse sistema possui um comportamento hidrodinâmico anisotrópico, típico dos aquíferos fraturados.

A capacidade específica dos poços analisados (Fig. 40) são predominantemente inferiores a 0,3  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$  (72%). Esses valores estão de acordo com os encontrados por Machado & Freitas (2005), que indicam que o Sistema Aquífero Serra Geral II possui valores, em geral, inferiores a 0,5  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ .

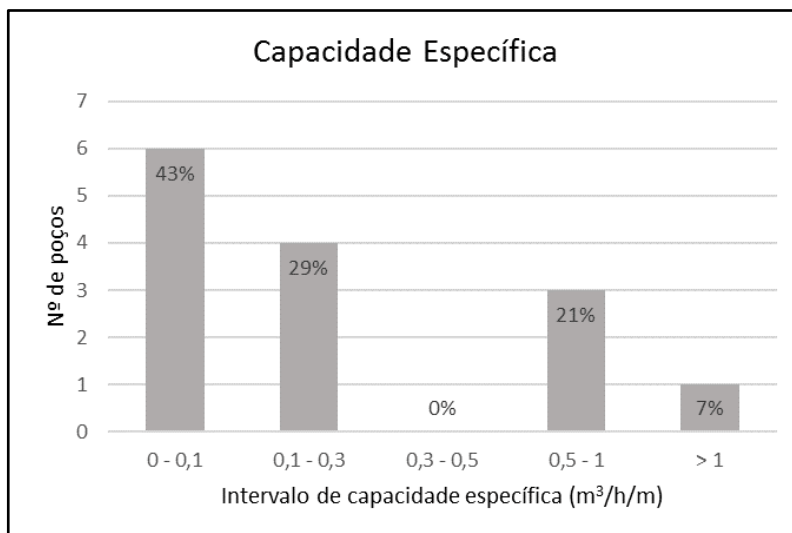


Figura 40. Capacidade específica dos poços em Osório (SASG).

As vazões dos poços variam de 0,5 a 25 m<sup>3</sup>/h, apresentando uma média de 7,2 m<sup>3</sup>/h e um desvio padrão de 5,9 m<sup>3</sup>/h. Essa variação na produtividade indica que, apesar da baixa potencialidade hidrogeológica, é possível encontrar poços com melhores vazões nesta área. Conforme o gráfico da figura 41, 50% das vazões são inferiores a 5 m<sup>3</sup>/h, seguidas pelo intervalo entre 5 e 10 m<sup>3</sup>/h com 26%. Também há vazões significativas entre 10 e 20 m<sup>3</sup>/h com 22% e pouco significativas para vazões superiores a 20 m<sup>3</sup>/h com 2%.

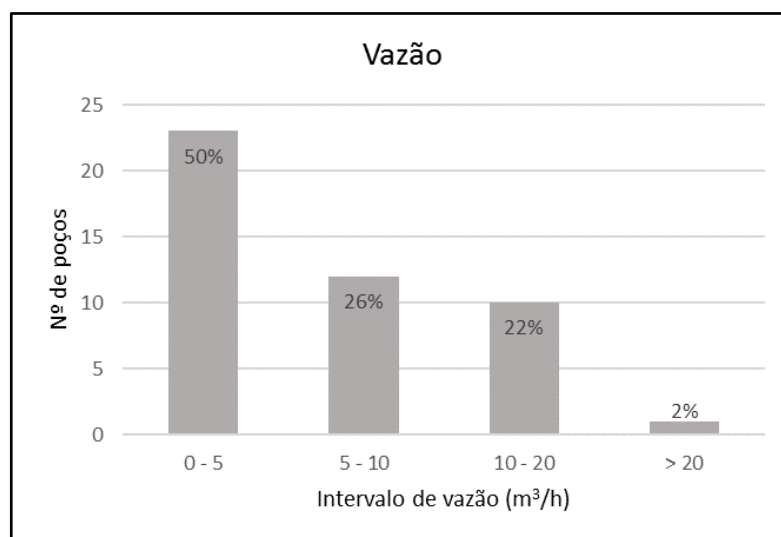


Figura 41. Vazão dos poços em Osório (SASG)

Porém, cabe ressaltar que poços locados e perfurados distantes dos lineamentos ou com deficiências construtivas aliado ao pouco conhecimento desse meio aquífero, também podem colaborar com as baixas vazões encontradas.

Para avaliar a correlação entre os lineamentos e os poços associados foi considerado, para a seleção dos poços, uma distância de até 400 metros dos lineamentos. O gráfico da figura 42 mostra a relação entre as vazões médias ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) e os intervalos azimutais.

Em geral, os poços locados próximos às estruturas NW apresentam uma maior produtividade em relação às estruturas NE. Das estruturas NE, os lineamentos com orientações N60-90E apresentaram vazão média maiores ( $4,93 \text{ m}^3/\text{h}$ ), enquanto os lineamentos com orientações N0-30E foram o que apresentaram os valores mais baixos de vazão média ( $2,40 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Das estruturas NW, os poços situados próximos do intervalo N30-60W foram os que apresentaram vazão média mais alta ( $13,50 \text{ m}^3/\text{h}$ ), enquanto os intervalos N60-90W e N0-30W com vazões médias mais baixas de  $10,81$  e  $6,35 \text{ m}^3/\text{h}$ , respectivamente.

É importante ressaltar que optou-se por trabalhar com os dados de vazão dos poços em função da menor quantidade de dados de capacidade específica. Além disso, percebeu-se que os valores de capacidade específica de alguns poços foram calculados a partir de ensaios hidrodinâmicos com diferentes intervalos de duração.

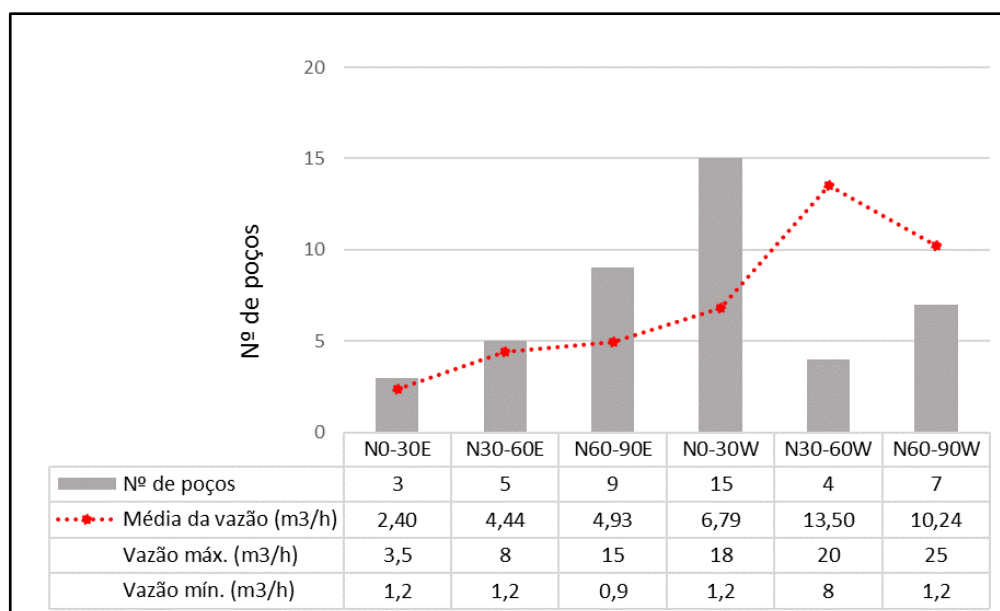


Figura 42. Relação das vazões médias para cada intervalo azimutal.

#### 5.2.4. Sistema Aquífero Quaternário Costeiro

Com a análise dos perfis construtivos de poços tubulares perfurados no Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC), identificou-se que esse sistema é caracterizado por diferentes litologias que estão associadas aos ambientes de sedimentação marinha, praias, eólico, lagunar e fluvial. Nos perfis construtivos da figura 43, pode-se observar que, além da diversidade litológica, as camadas possuem uma grande variação nas suas espessuras. Isso demonstra que o SAQC é bastante heterogêneo e que podem apresentar diferentes características tanto na produtividade, quanto na qualidade das águas desses aquíferos.

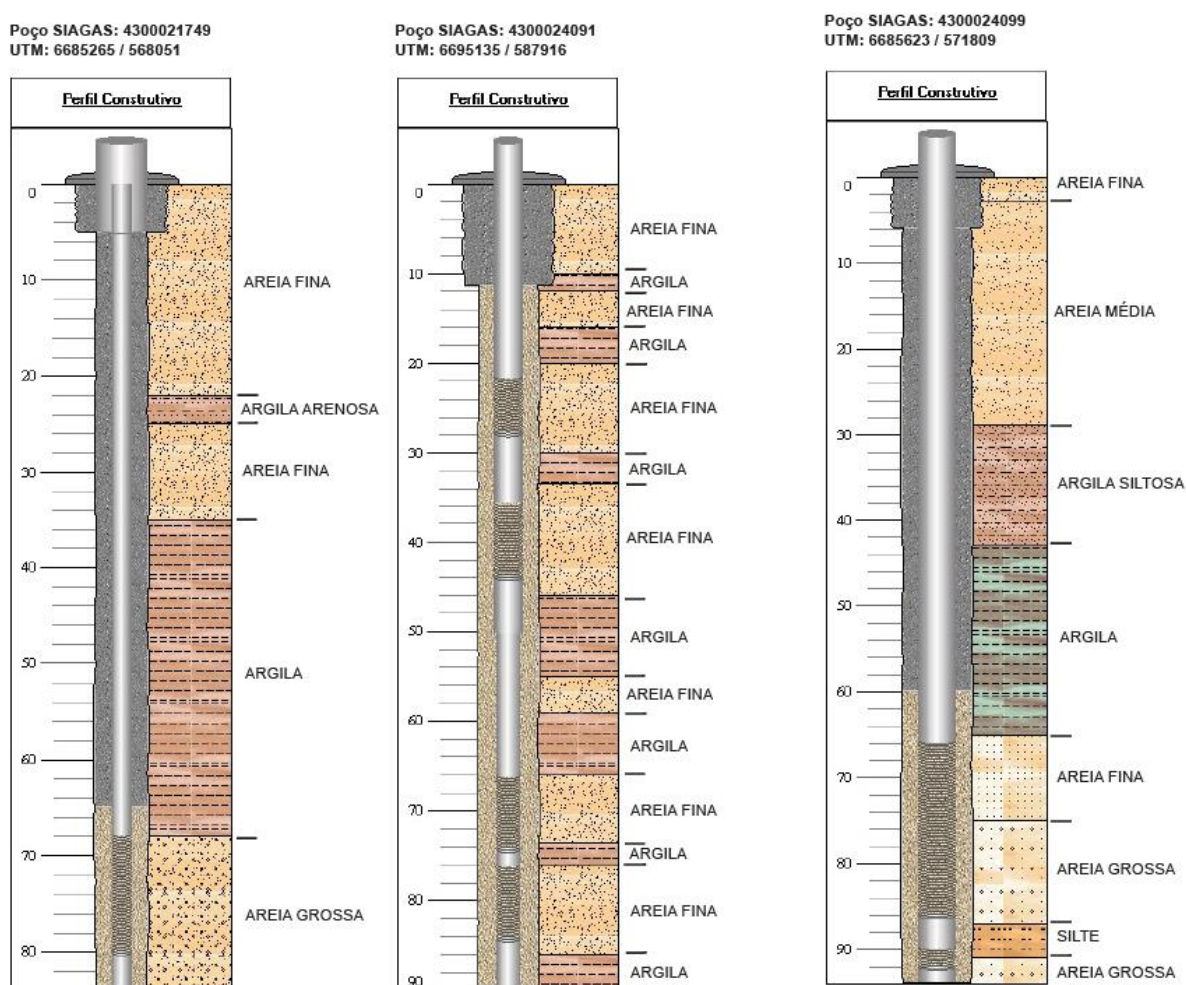


Figura 43. Perfis geológicos de poços cadastrados na plataforma SIAGAS perfurados no município de Osório (modificado de CPRM).

Com base na análise dos perfis geológicos dos poços, observa-se que o SAQC possui uma intercalação de sedimentos arenosos e argilosos. As camadas arenosas, que dão origem aos aquíferos porosos, são compostas por areia fina a grossa (algumas contendo fragmentos de conchas) e por areia-argilosa subordinada, de colorações variadas (cinza, bege, amarelo, castanho). Essas camadas arenosas ocorrem em diferentes profundidades, estando intercaladas com camadas de sedimentos mais finos (argila, silte, argila siltosa, entre outros).

Em geral, os aquíferos localizados próximo à superfície (até cerca de 30 m de profundidade) comportam-se como livres ou semi-confinados, sendo esse último em função da ocorrência de lentes ou camadas de argila. Porém, ressalta-se que em alguns locais essa profundidade pode variar. Em profundidades maiores que 30 metros, há ocorrência de camadas argilosas mais espessas, proporcionando assim, a formação de aquíferos confinados.

Com o auxílio de poços locados no SAQC, foram desenhadas duas seções esquemáticas (Fig. 44) com o objetivo de mostrar a ocorrência desses diferentes aquíferos.



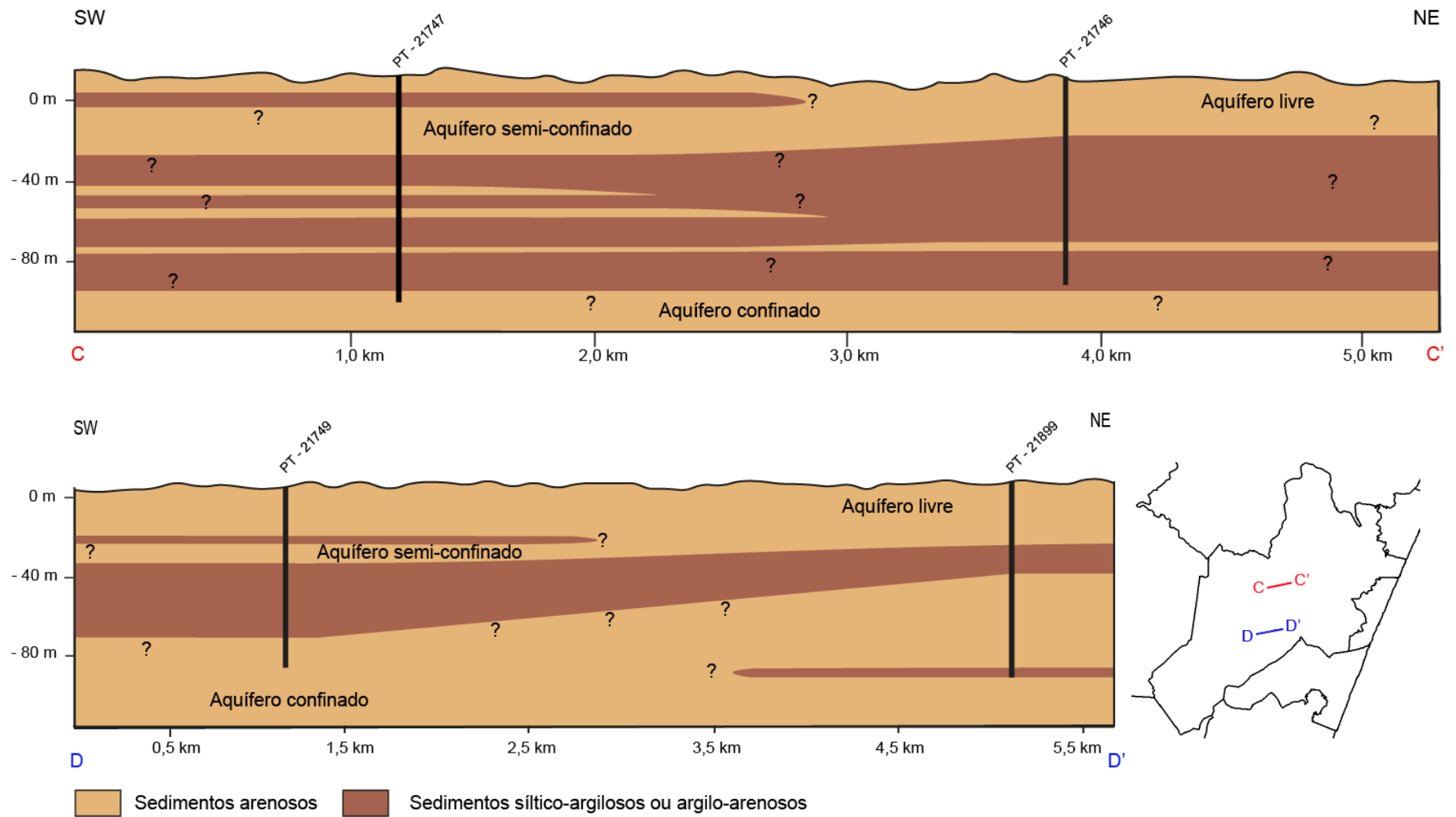


Figura 44. Seções hidrogeológicas esquemáticas (C-C' e D-D').

Identificou-se 115 pontos de captação no SAQC, sendo 83 poços ponteiras, 29 poços tubulares e 3 poços cacimba. Foram analisados dados como profundidade, nível estático, vazão e capacidade específica, sendo esse último apenas para poços tubulares. Na tabela VI é descrita a análise estatística e a quantidade de dados disponíveis para cada parâmetro que foi utilizado para a caracterização desse sistema.

Tabela VI. Análise estatística e distribuição da quantidade de dados existentes para cada parâmetro dos poços do SAQC no município de Osório.

	<b>Prof. dos poços (m)</b>	<b>NE (m)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>q (m<sup>3</sup>/h/m)</b>
Valor médio	36,9	4,33	17,0	5,481
Valor máx.	180,0	24,7	230,0	12,392
Valor mín.	6,0	0,44	1,0	0,114
Desvio Padrão	36,4	3,6	46,2	4,062
Nº de dados	106	79	82	17

A profundidade média dos poços perfurados é de 36,9 m, com uma variação de 6 e 180 m e um desvio padrão de 36,4 m. A média calculada possui um valor relativamente baixo, pois, nesse sistema aquífero, os poços do tipo ponteira, que possuem profundidades pequenas (em geral, inferiores a 20 metros), se constituem nas principais formas de captação da água subterrânea.

Conforme analisado no gráfico da figura 45, 74% dos poços possuem profundidades de até 30 metros. Isso indica que as águas captadas nesse intervalo possivelmente são provenientes de aquíferos livres a semi-confinados que ocorrem nesse intervalo de profundidade. As águas extraídas de poços com profundidades superiores a 30 metros podem ser provenientes de aquíferos confinados, mas também de aquíferos livres, pois alguns poços possuem mais de uma seção filtrante localizadas em diferentes profundidades, conectando assim os diferentes aquíferos.

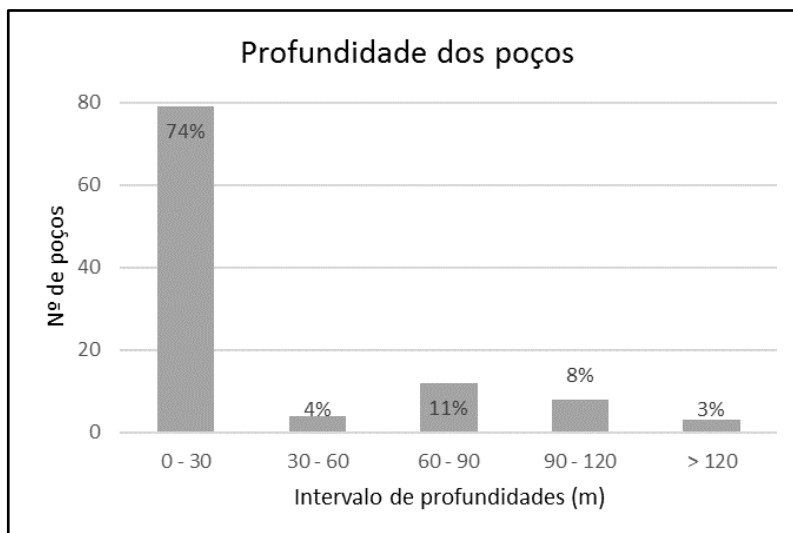


Figura 45. Profundidade dos poços que captam água do SAQC em Osório.

O nível estático (NE) médio calculado foi de 4,33 m, tendo um desvio padrão de 3,6 m. A profundidade do nível de água mais superficial é de 0,44 m, enquanto a mais profunda é de 24,7m. Essa variação demonstra que os níveis de água estão associados a aquíferos localizados em diferentes profundidades que estão submetidos a diferentes condições de pressão.

O gráfico da figura 46, ilustra que os níveis estáticos de 77% dos poços, estão em profundidades de até 5 m, seguido pelas profundidades entre 5 e 10 m com 17%. Com ocorrências mais restritas, estão as profundidades entre 10 e 20 m com 5% e superiores a 20 m com 1% dos casos.

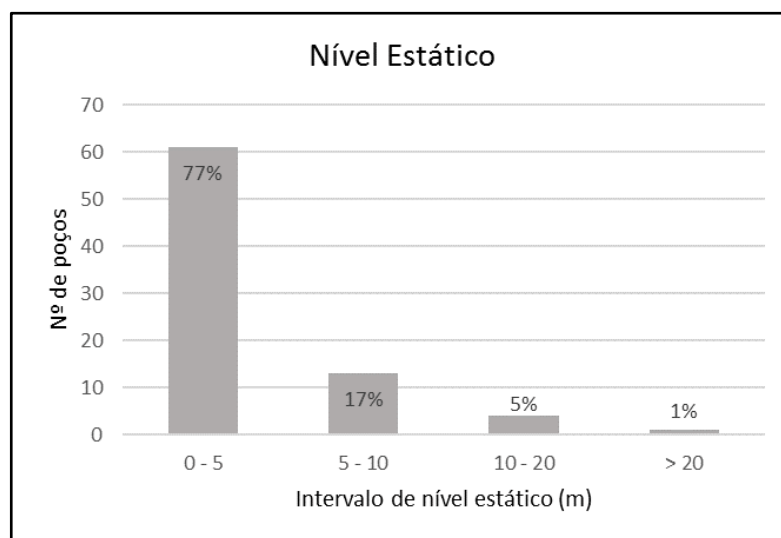


Figura 46. Profundidade do nível estático dos poços em Osório (SAQC).

A capacidade específica média calculada foi de 5,481 m<sup>3</sup>/h/m, tendo um desvio padrão de 4,062 m<sup>3</sup>/h/m. O menor valor registrado para este parâmetro foi de 0,114 m<sup>3</sup>/h/m, enquanto o maior foi de 12,392 m<sup>3</sup>/h/m. Tais dados demonstram que esse sistema possui potenciais hidrogeológicos bem distintos, como já observado por Machado e Freitas (2005) que indicam o SAQC I e II possuem, respectivamente, uma baixa e uma alta produtividade.

No gráfico da figura 47, observa-se que 35% das capacidades específicas são inferiores a 2,5 m<sup>3</sup>/h/m. O segundo intervalo de maior frequência está entre 7,5 e 10,0 m<sup>3</sup>/h/m com 23%.

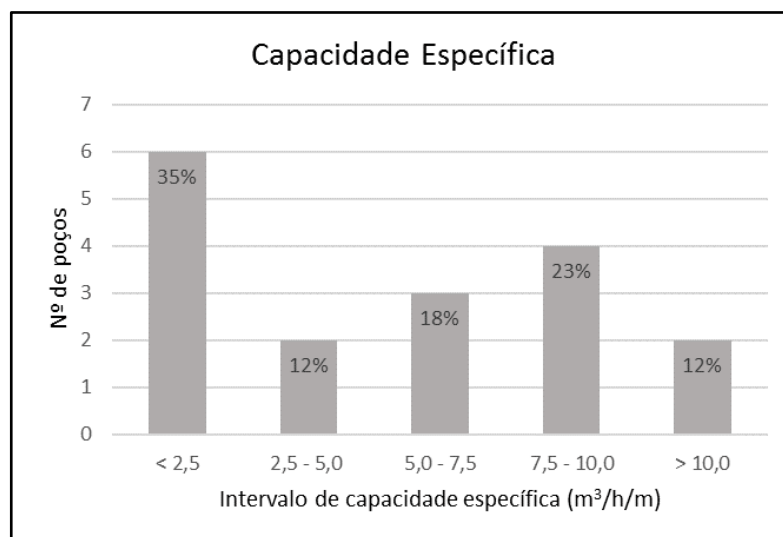


Figura 47. Capacidade específica dos poços do SAQC.

A vazão média dos poços que captam água do SAQC é de 17,0 m<sup>3</sup>/h, com um desvio padrão de 46,2 m<sup>3</sup>/h. O menor valor registrado foi de 1,0 m<sup>3</sup>/h, enquanto o maior foi de 230 m<sup>3</sup>/h.

No gráfico da figura 48, observa-se que 77% dos poços possuem vazões de até 5 m<sup>3</sup>/h. Nesse intervalo, as vazões são obtidas principalmente por poços ponteira, entretanto também há ocorrências de poços tubulares com baixa produtividade.

Vazões entre os intervalos de 5 e 10 m<sup>3</sup>/h e de 10 e 20 m<sup>3</sup>/h são poços com produtividades baixas e muito baixas, porém são importantes para suprir abastecimento doméstico.

Entre as vazões superiores a 20 m<sup>3</sup>/h, destacam-se poços tubulares com ótimas produtividades que, em geral, são poços utilizados para suprir demandas

industriais ou urbanas. Como exemplo, um poço de propriedade da CORSAN com 99 metros de profundidade apresentou uma vazão de 230 m<sup>3</sup>/h e uma capacidade específica de 9,8 m<sup>3</sup>/h/m.

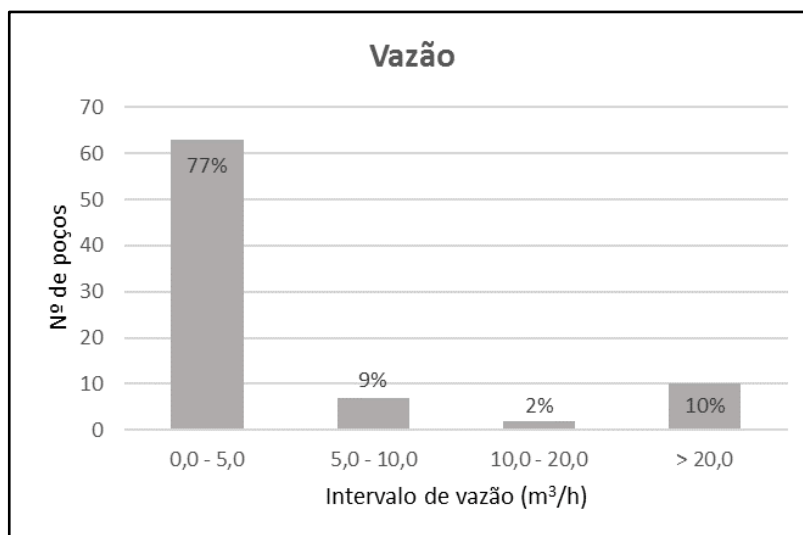


Figura 48. Vazão dos poços do SAQC.

### 5.3. Caracterização Hidroquímica

#### 5.3.1. Sistema Aquífero Guarani

Na tabela VII são apresentados os dados estatísticos dos parâmetros de potencial hidrogeniônico (pH) e de condutividade elétrica (CE) das análises físico-químicas de 6 poços que captam águas do SAG.

Os valores para pH variam de 6,93 e 8,37, com média de 7,7 e um desvio padrão de 0,59. Isso indica que as águas explotadas por esses poços são predominantemente alcalinas.

A condutividade elétrica está relacionada à quantidade de sais dissolvidos na água sob a forma de íons. Quanto às medidas mínima e máxima de CE obtidas para esses poços, foram de 249,2 e 598,0 µS/cm, respectivamente. A média calculada foi de 424,2 µS/cm, indicando águas subterrâneas com maiores concentrações de sais dissolvidos.

Tabela VII. Análise estatística dos parâmetros de pH e CE do SAG.

Dados	pH	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )
Valor médio	7,7	424,2
Valor máx.	8,37	598,0
Valor mín.	6,93	249,2
Desvio Padrão	0,59	142,2
Nº de dados	6	6

A avaliação da classificação das águas subterrâneas do SAG foi realizada com base na análise das amostras provenientes de 4 poços tubulares. Conforme ilustrado no diagrama de Piper (Fig. 49), as águas são classificadas em três grupos principais: sulfatadas ou cloretadas sódicas, sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatada cálcica ou magnesianas.

O grupo predominante corresponde às águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, sendo que pela análise dos ânions, observa-se a ocorrência de águas mistas sódicas. Em uma das amostras apresenta uma concentração maior de sulfatos, enquanto a outra apresenta uma maior concentração de carbonatos e bicarbonatos e por isso essa amostra foi plotada próxima aos limites dos campos das águas sulfatadas ou cloretadas com as bicarbonatadas.

Apenas uma ocorrência está associada ao grupo das águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas. Entre os cátions principais, observa-se que essas águas são mistas com uma relação  $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} > \text{Mg}^{+2}$ . Com relação aos ânions, observa-se que essas águas também são mistas, porém com uma relação  $\text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{-2} > \text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-}$ .

As águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas são típicas do Sistema Aquífero Serra Geral, bem como ocorrem no Sistema Aquífero Guarani nas áreas onde o aquífero é do tipo livre. No entanto, na região de Osório, o SAG é um aquífero confinado pelas rochas vulcânicas onde está localizado o SASG. Dessa forma, uma explicação para essa ocorrência, pode estar relacionada a mistura de águas entre os sistemas aquíferos que ocorrem sotopostos e sobrepostos. Com base na análise do perfil construtivo do poço amostrado, observa-se que a porção penetrante nos basaltos não é totalmente isolada pelo revestimento, podendo ocorrer uma possível conexão entre as duas unidades, favorecendo assim a mistura das águas. Entre os

cátions principais, observa-se que essas águas são mistas com uma relação  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} \approx \text{Na}^{+}$

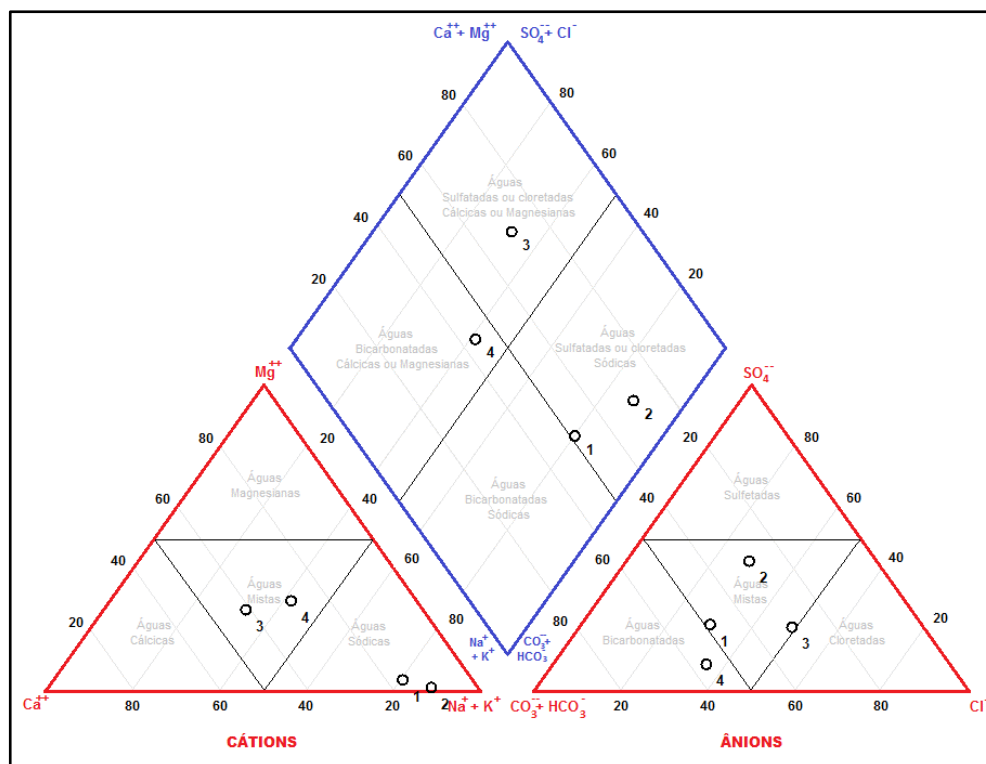


Figura 49. Diagrama de Piper das amostras de água do SAG.

Na figura 50 é apresentado o diagrama de Stiff, onde pode ser observado os padrões geométricos das quatro amostras analisadas. As amostras SAG 1 e SAG 2 apresentam geometrias semelhantes, pois pertencem ao grupo das águas sulfatadas ou cloretadas sódicas. Ambas são águas mistas, porém a diferença existente entre as formas está relacionada a uma maior concentração de carbonato e bicarbonato (SAG 1) e de sulfato (SAG 2). A amostra SAG 3, com base no diagrama de Piper, foi classificada como águas mistas do grupo das sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas, porém sua geometria mostra uma tendência cloretada cálcica. Já a amostra SAG 4, com base no diagrama de Piper, foi classificada como água bicarbonatada mista, porém sua geometria mostra uma tendência bicarbonatada sódica.

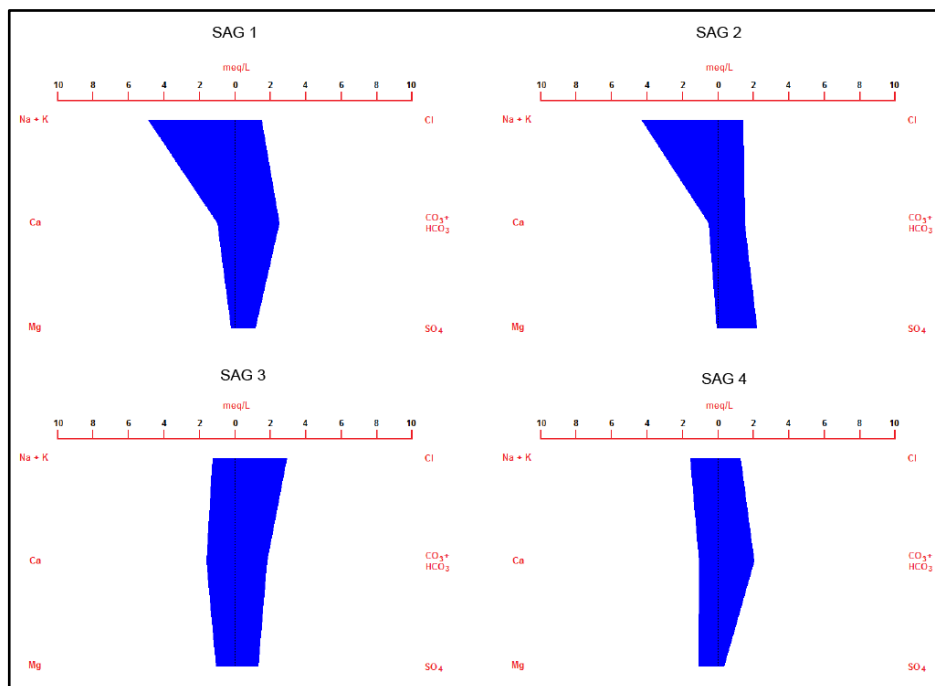


Figura 50. Diagrama de Stiff das amostras de água do SAG.

O diagrama do USSL da figura 51 mostra a qualidade das águas para fins de irrigação utilizando as amostras coletadas nos poços. Observou-se que as águas apresentam médio risco de salinidade e de baixo a médio risco com relação ao sódio.

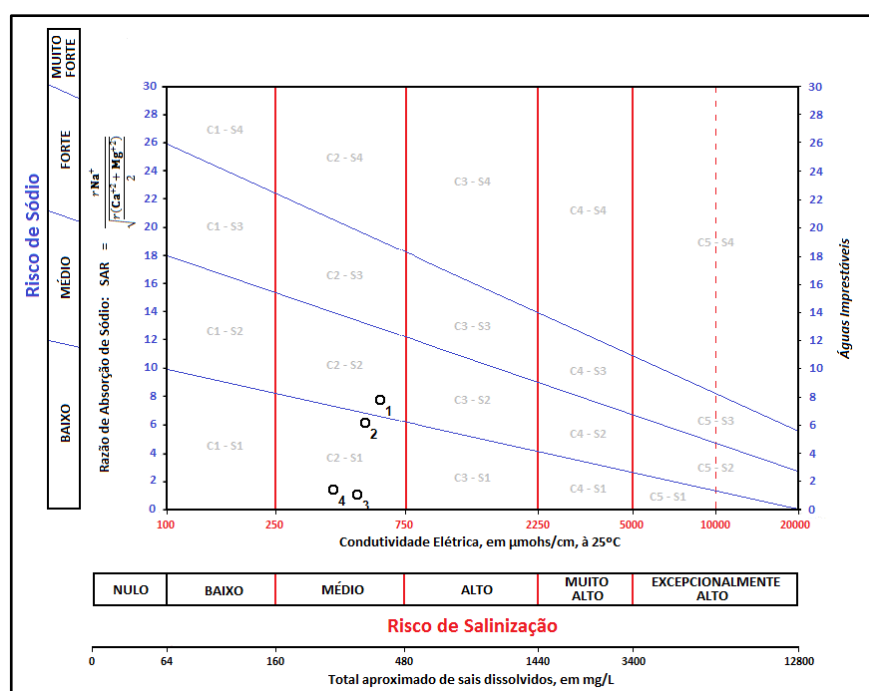


Figura 51. Diagrama do USSL das amostras do SAG.



### Padrões de Potabilidade das águas do SAG

A quantidade de poços que captam águas do Sistema Aquífero Guarani no município é bastante restrita e, além disso, as análises químicas relacionadas ao ferro, manganês, fluoretos e nitratos também foram limitadas. Conforme o gráfico da figura 52, não foi identificada nenhuma concentração acima dos padrões estabelecidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011), que determina valores máximos de 0,3 mg/L para ferro, de 0,1 para manganês, de 1,5 mg/L para fluoretos e 10 mg/L para nitratos.

Em relação ao ferro, foram detectadas concentrações que variam entre 0,001 e 0,08 mg/L, enquanto que para o manganês, foi observado a ocorrência em uma amostra cujo valor foi de 0,001 mg/L.

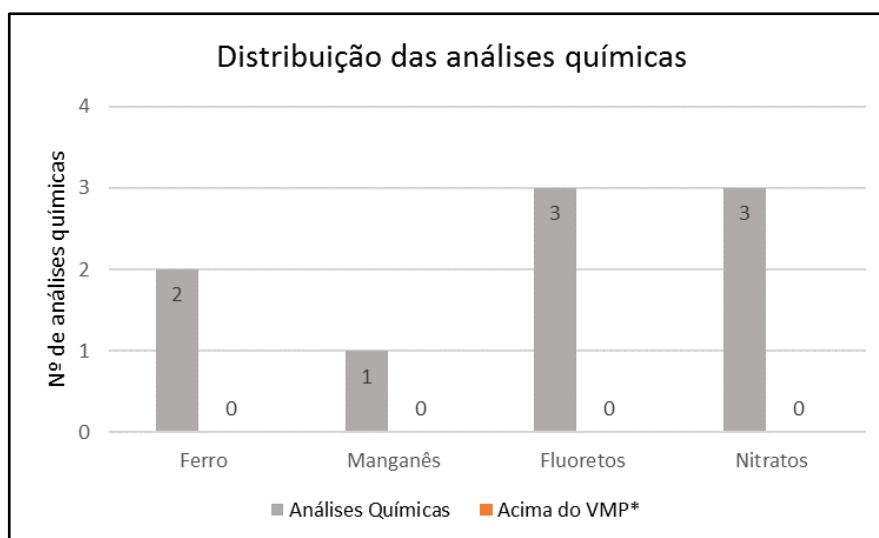


Figura 52. Distribuição das análises químicas referentes ao ferro, manganês, fluoretos e nitratos das águas do SAG. (\*Valor Máximo Permitido).

#### 5.3.2. Sistema Aquífero Serra Geral

Na tabela VIII são apresentados os dados estatísticos dos parâmetros de potencial hidrogeniônico (pH) e de condutividade elétrica (CE) das análises físico-químicas de 41 poços que captam águas do SASG e uma fonte localizada na encosta do morro da Borússia.

Tabela VIII. Análise estatística dos parâmetros de pH e CE do SASG.

Dados	pH	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )
Valor médio	7,2	272,3
Valor máx.	8,86	945
Valor mín.	6,0	74,2
Desvio Padrão	0,73	187,6
Nº de dados	42	42

Os valores de pH apresentados pelas águas do SASG variam de 6,0 e 8,86, com média de 7,2 e um desvio padrão de 0,73. As medidas de condutividade elétrica variam de 74,2 e 945  $\mu\text{S/cm}$ , com uma média de 272,3  $\mu\text{S/cm}$  e um desvio padrão de 187,6  $\mu\text{S/cm}$ .

Em geral, as águas associadas às entradas mais profundas possuem um tempo de residência maior no aquífero, contribuindo positivamente com os processos de mineralização das águas. Em função disso, há um aumento no pH, na condutividade elétrica e nos sólidos totais dissolvidos.

Conforme o gráfico da figura 53, as maiores frequências de pH estão situadas entre os intervalos de 6,0 e 7,0 e apresentaram a menor média de condutividade elétrica. Tal fato pode indicar que a maioria dos poços que captam águas do SASG, na região, estão associados as entradas mais superficiais.

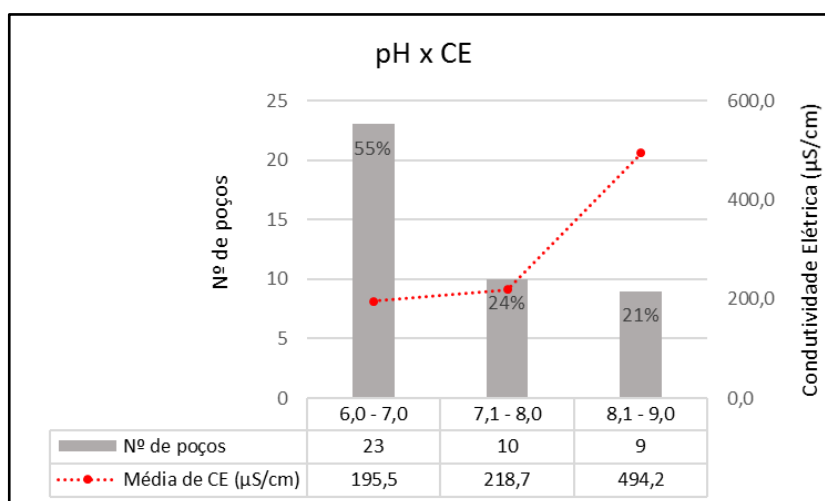


Figura 53. Análises de pH e de condutividade elétrica das águas do SASG.

Cabe ressaltar que poucos poços possuem as informações de profundidades de entradas de água, por isso não foi possível realizar uma análise mais aprofundada para avaliar a relação entre a profundidade das entradas de água (fraturas) e as variações da composição química.

A avaliação da classificação das águas subterrâneas do SASG foi realizada com base na análise das amostras provenientes de 8 poços tubulares e de uma fonte natural. Conforme ilustrado no diagrama de Piper (Fig. 54), as águas são classificadas em dois grupos principais: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e sulfatadas ou cloretadas sódicas.

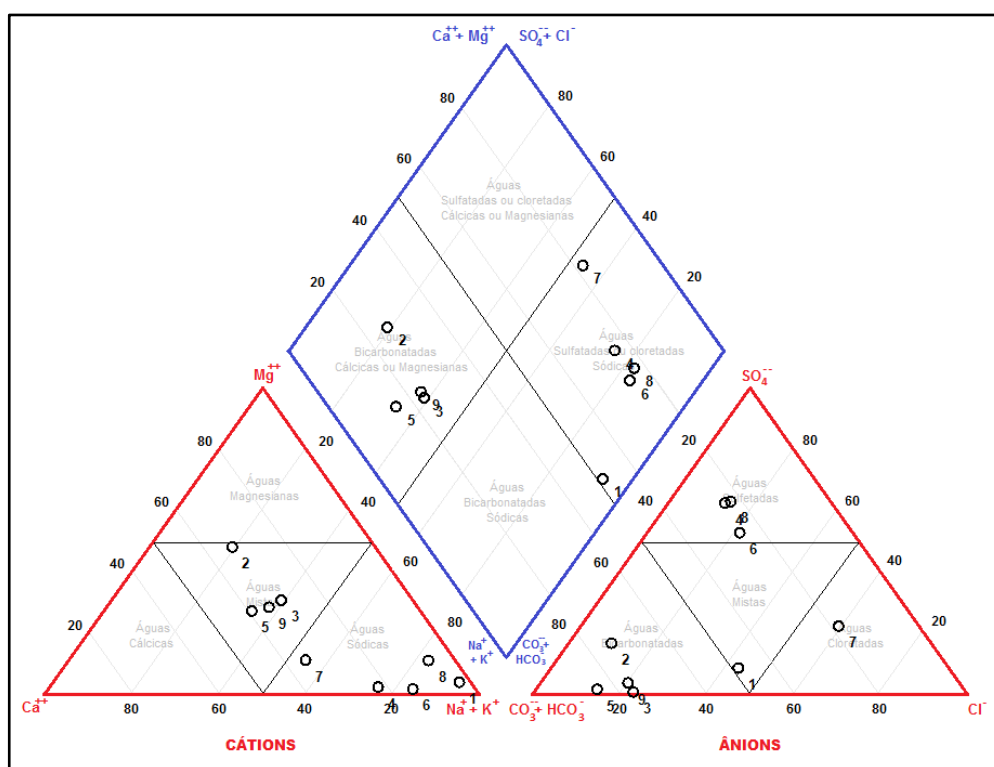


Figura 54. Diagrama de Piper das amostras de água do SASG.

As águas do grupo das bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas estão relacionadas com a composição mineralógica das rochas da Formação Serra Geral. Pela distribuição dos cátions desse grupo, identificou-se a existência de águas mistas com relação  $Ca^{+2} + Mg^{+2} > Na^{+} + K^{+}$ .

As águas do grupo das sulfatadas ou cloretadas sódicas não possuem relação com a composição química do SASG. Nesse caso, essa ocorrência pode estar relacionada a contribuição das águas do SAG e/ou dos aquíferos Pré-SAG, que são mais ricas em sulfato, cloreto e sódio. Conforme a distribuição dos ânions, nota-se um

predomínio de águas sulfatadas, seguido por águas cloretadas e por águas mistas, sendo a última com relação  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  (e por isso foi plotada próximo ao limite entre o campo das águas mistas com o das águas bicarbonatadas).

Na figura 55 é apresentado o diagrama de Stiff, onde pode ser observado os padrões geométricos de 6 amostras analisadas. As geometrias encontradas para as amostras SASG 2, SASG 3, SASG 5 e SASG 9 são típicas do aquífero fraturado, apresentam concentrações variadas de cálcio, magnésio e sódio e pequenas concentrações de cloretos e sulfatos. Essa variação é explicada em função da circulação e tempo de residência da água, bem como pelos minerais que formam as rochas, que preenchem as amígdalas e fraturas.

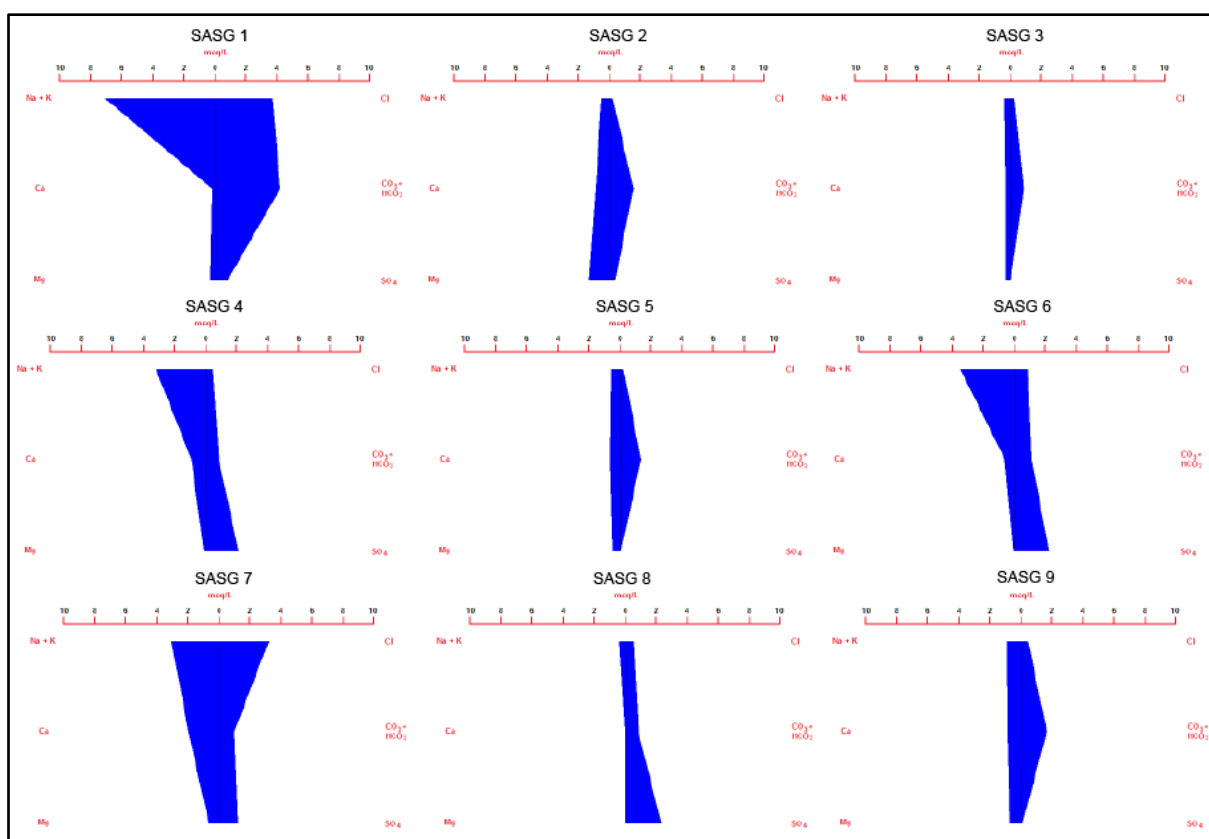


Figura 55. Diagrama de Stiff das amostras de água do SASG.

As demais amostras (SASG 1, SASG 4, SASG 6 e SASG 7), em geral, apresentam um aumento na concentração de sódio e potássio, de cloretos e de sulfatos. Comparando os diagramas das amostras SASG 1 e SASG 7 com o da amostra SAG 1 (Fig. 50), bem como os diagramas das amostras SASG 4 e SASG 6

com o da amostra SAG 2 (Fig. 50), percebe-se uma geometria semelhante, sugerindo uma mistura de águas dos dois sistemas aquíferos.

O diagrama da amostra SASG 8 apresentou uma geometria diferenciada das demais, mostrando-se pouco enriquecida em sódio e potássio, cálcio e magnésio, porém com maiores concentrações de sulfato. Essa ocorrência pode ser proveniente da mistura de águas com o SAG ou aquíferos pré-SAG ou estar relacionada a alguma contaminação da superfície. Nesse poço amostrado não há dados do perfil construtivo, logo não foi possível fazer uma análise mais detalhada.

O diagrama do USSL da figura 56 mostra a qualidade das águas para fins de irrigação utilizando as amostras coletadas nos poços. Verificou-se que, em sua maioria, as águas possuem de baixo a médio risco com relação à salinidade e baixo risco com relação ao sódio. Apenas uma amostra apresentou alto risco de salinidade e forte risco de sódio em função dos valores elevados de condutividade elétrica e alta concentração de sódio.

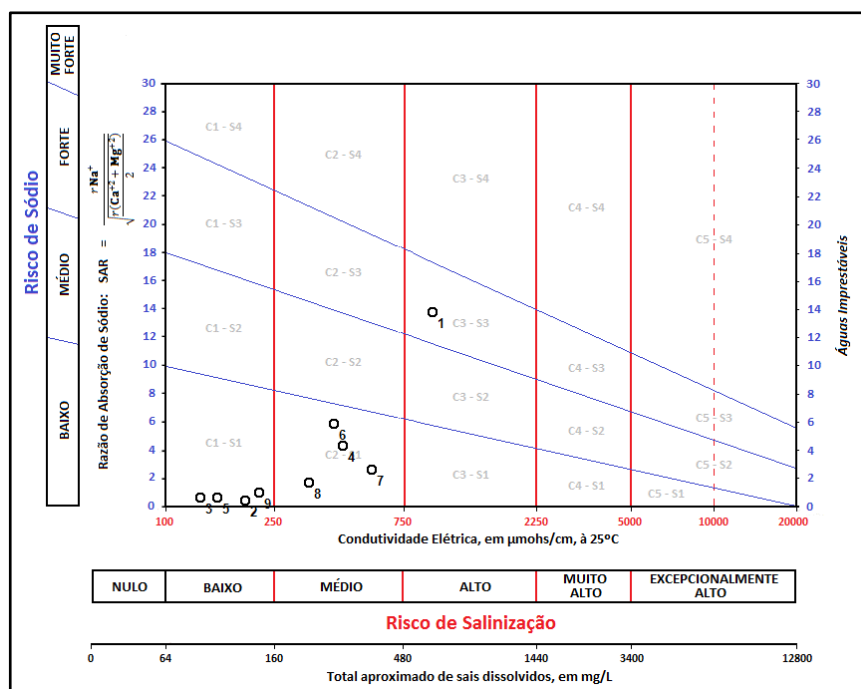


Figura 56. Diagrama do USSL das amostras do SASG.

### Padrões de Potabilidade das águas do SASG

Segundo Hausman (1995), as ocorrências de ferro e de manganês nas águas subterrâneas é comum nos aquíferos fraturados do SASG, sendo sua origem associada às reações de intemperismo dos minerais ferro-magnesianos das rochas vulcânicas. Embora tenham sido avaliadas poucas análises (Fig. 57), identificou-se um poço com concentrações de 3,6 mg/L de ferro que são consideradas acima do VMP (0,3 mg/L) estabelecido pela Portaria MS 1429/2011 (Brasil, 2011), enquanto que os demais, apresentam concentrações entre 0,026 e 0,077 mg/L.

A presença do nitrato nas águas naturais é comum em pequenas quantidades, porém em maiores concentrações podem indicar uma possível contaminação antrópica (efluentes industriais, agrícolas e domiciliares e aterros sanitários). Entre os poços amostrados, um apresentou valor de 19,1 mg/L de nitrato que está acima do VMP (10 mg/L) para o consumo humano.

Segundo a Portaria MS 1429/2011, o teor máximo permitido de manganês e fluoretos em águas subterrâneas é 0,1 mg/L e 1,5 mg/L, respectivamente. Apenas um poço amostrado apresentou a ocorrência de manganês (0,021 mg/L), enquanto que os fluoretos estão presentes em concentrações de 0,100 a 1,200 mg/L, logo, estão abaixo dos limites de potabilidade.

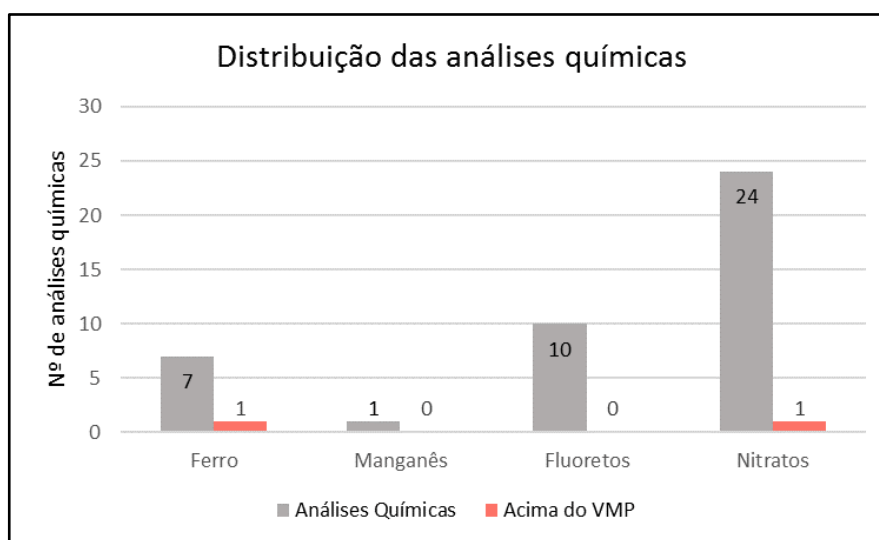


Figura 57. Distribuição das análises químicas referentes ao ferro, manganês, fluoretos e nitratos das águas do SASG.

### 5.3.3. Sistema Aquífero Quaternário Costeiro

Na tabela IX são apresentados os dados estatísticos dos parâmetros de potencial hidrogeniônico (pH) e de condutividade elétrica (CE) das análises físico-químicas dos poços (tubulares, ponteira e escavados) que captam água do SAQC.

Tabela IX. Análise estatística dos parâmetros de pH e CE do SAQC.

<b>Dados</b>	<b>pH</b>	<b>CE (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>
Valor médio	6,43	289,25
Valor máx.	8,3	1580
Valor mín.	3,84	35,6
Desvio Padrão	1,09	305,08
Nº de dados	54	49

Os valores de pH apresentados pelas águas do SAQC variam de 3,84 a 8,3, com média de 6,43 e um desvio padrão de 1,09. As medidas de condutividade elétrica variam de 35,6 a 1.580  $\mu\text{S/cm}$ , com uma média de 289,25  $\mu\text{S/cm}$  e um desvio padrão de 305,08  $\mu\text{S/cm}$ .

O gráfico da figura 58 mostra que há predomínio (63%) de águas ácidas a levemente ácidas com valores médios de condutividade elétrica inferiores a 200  $\mu\text{S/cm}$ . Os baixos valores de pH e de CE podem ser explicados pela presença de águas provenientes dos aquíferos livres, que possuem pouco tempo de circulação, sendo, portanto, pouco mineralizadas.

As águas de caráter mais alcalino (37%) apresentaram valores médios de CE mais elevados. A explicação para essa ocorrência pode estar relacionada com uma circulação mais lenta das águas nos aquíferos confinados ou a uma possível contaminação por intrusão salina.

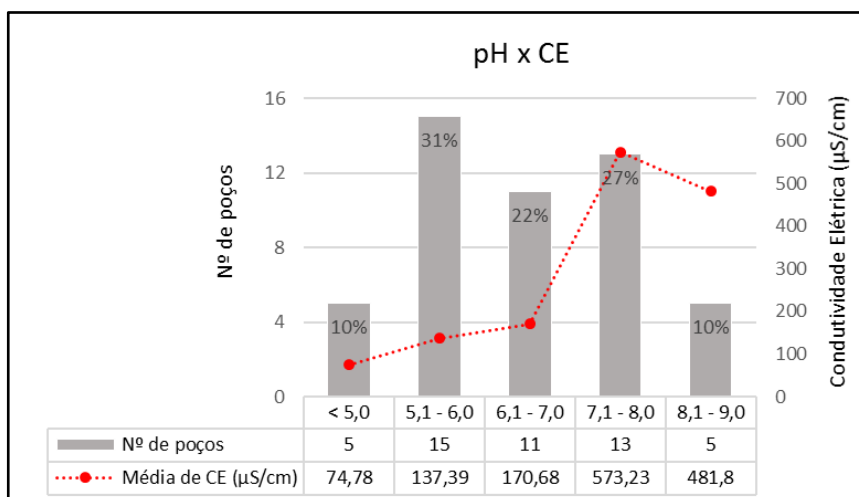


Figura 58. Análises de pH e de condutividade elétrica das águas do SAQC.

A avaliação da classificação das águas subterrâneas do SAQC foi realizada com base na análise das amostras provenientes de 15 poços. Conforme ilustrado no diagrama de Piper (Fig. 59), as águas são classificadas em 4 grupos principais: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, sulfatadas ou cloretadas sódicas, sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas sódicas.

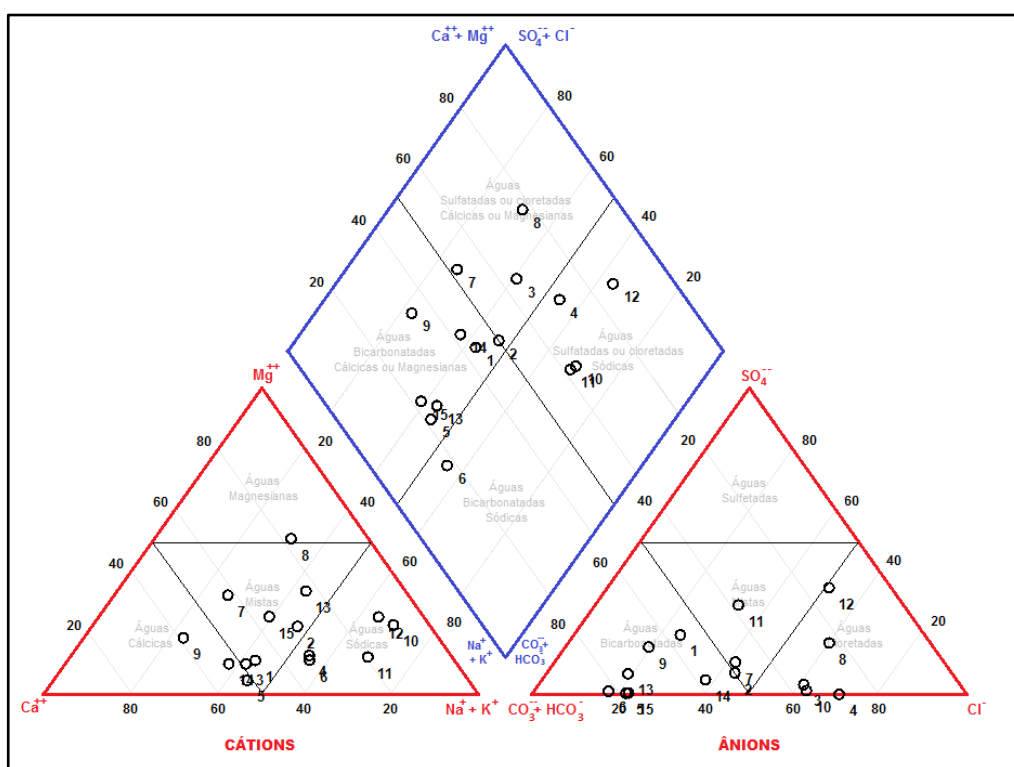


Figura 59. Diagrama de Piper das amostras de água do SAQC.



No grupo das bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, há ocorrências de águas cálcicas e de águas mistas. Nas águas mistas predominam cálcio e magnésio, porém algumas com maior teor de sódio e potássio (plotadas próximo ao campo das águas sódicas).

No grupo das sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas há ocorrências de águas cloretadas magnesianas, de águas cloretadas mistas e de águas mistas. Pela análise dos principais cátions, nas águas cloretadas mistas há uma relação  $Ca^{+2} + Mg^{+2} > Na^{+} + K^{+}$ . No grupo das águas mistas a relação entre os cátions é variável de uma amostra para outra não evidenciando uma relação principal entre elas, enquanto que para os ânions há um predomínio de carbonatos e bicarbonatos e por isso foram plotadas próximo ao limite entre as águas bicarbonatadas e as sulfatadas ou cloretadas.

No grupo das sulfatadas ou cloretadas sódicas há um predomínio de águas cloretadas e poucas águas mistas, sendo nessa última, uma relação  $SO_4^{+2} + Cl^{-} > CO_3^{-} + HCO_3^{-}$ . As águas bicarbonatadas sódicas são mais restritas, tendo ocorrido em apenas uma análise.

Na figura 60 mostra a representação da composição química de 6 poços amostrados no SAQC. As geometrias encontradas para as amostras SAQC 1 e SAQC 7 apresentam um baixo grau de mineralização, pois são águas típicas de aquíferos livres. Os demais diagramas apresentam um aumento nas concentrações iônicas que pode estar relacionada ao maior tempo de residência da água subterrânea nos aquíferos ou a uma possível contaminação devido à intrusão salina.

As geometrias apresentadas nas amostras SAQC 3 e SAQC 4 são indicativas de águas cloretadas mistas e de cloretadas sódicas, respectivamente. Nesses dois casos, observam-se altas concentrações de cloreto que pode ser explicada por influência marinha, visto que esses poços estão localizados no Balneário de Atlântida Sul.

As amostras SAQC 13 e SAQC 15 são águas bicarbonatadas que apresentam uma baixa variação nas concentrações de cátions. Porém, quanto aos ânions, observa-se teores mais elevados de carbonatos e bicarbonatos que podem estar associados às camadas com fragmentos de conchas ou ao grau de confinamento.

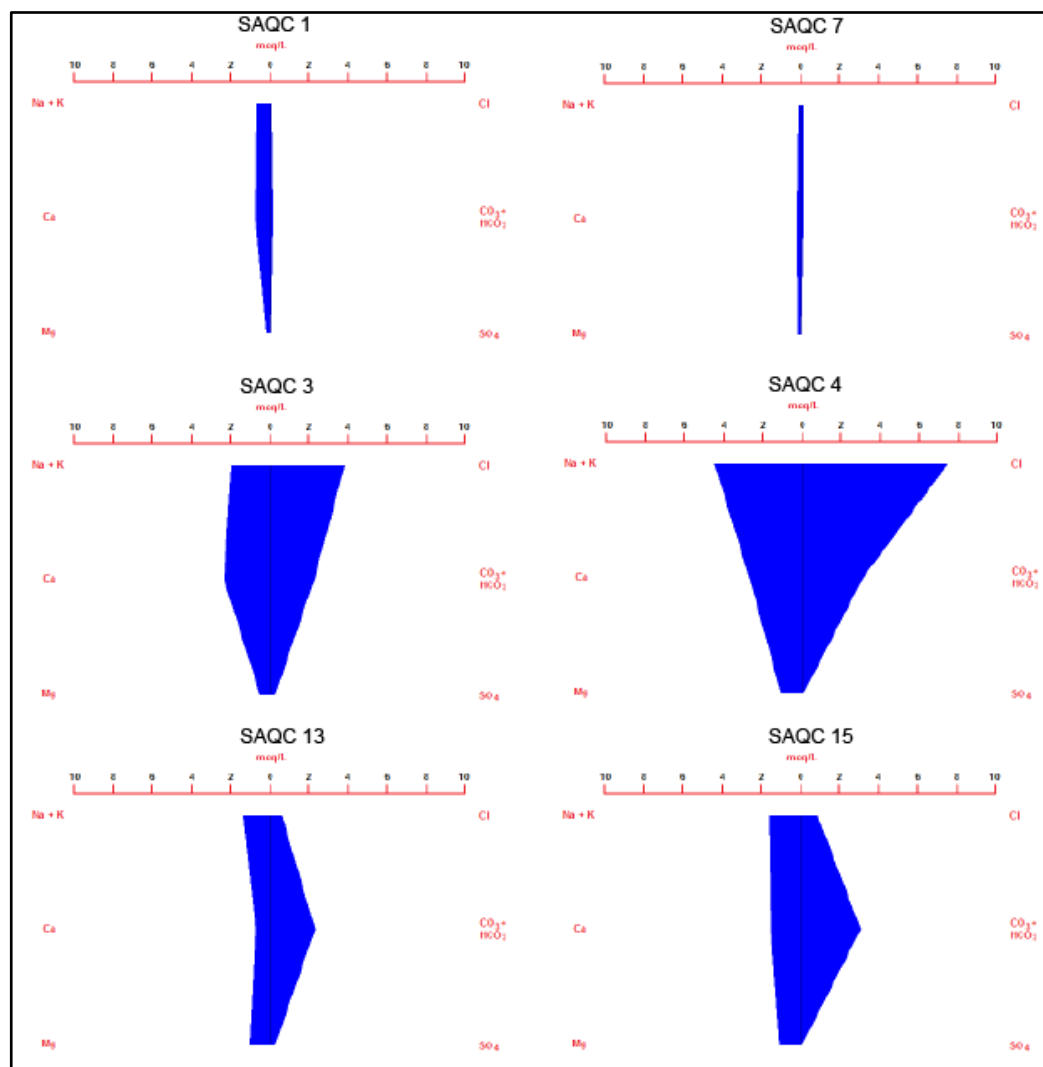


Figura 60. Diagrama de Stiff das amostras do SAQC.

Na classificação das águas para fins de irrigação, observa-se na figura 61 o predomínio de águas que possuem de baixo a médio risco com relação à salinidade e baixo risco com relação ao sódio. Apenas uma amostra apresentou alto risco de salinidade em função dos valores elevados de condutividade elétrica.

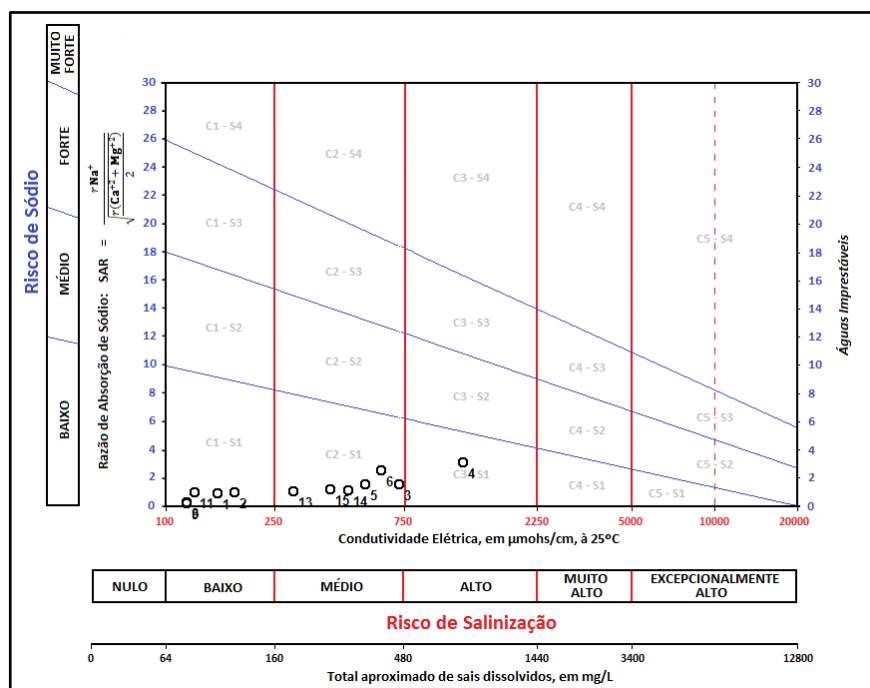


Figura 61. Diagrama do USSL das amostras do SAQC.

### Padrões de Potabilidade das águas do SAQC

Através da análise dos dados obtidos, foram identificados poços com presença de Ferro, Manganês, Nitratos e Fluoretos. Os cálculos estatísticos, bem como o valor máximo permitido (VMP), estabelecido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, para cada parâmetro estão descritas na tabela X. Nota-se que, em média, as concentrações de Ferro e Manganês para as águas do SAQC apresentam teores acima do VMP e que as concentrações de nitratos e fluoretos ficaram abaixo desses valores.

Tabela X. Dados estatísticos referentes às concentrações de Ferro, Manganês, Nitratos e Fluoretos.

	<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>Manganês (mg/L)</b>	<b>Nitratos (mg/L)</b>	<b>Fluoretos (mg/L)</b>
<b>Valor médio</b>	1,060	0,575	1,436	0,437
<b>Valor máx.</b>	9,91	6,08	16,1	3,02
<b>Valor mín.</b>	0,001	0,01	0,03	0,03
<b>Desvio Padrão</b>	2,224	1,306	2,798	0,775
<b>VMP</b>	0,3	0,1	10,0	1,5

O gráfico da figura 62, mostra que entre os poços analisados, 16 indicaram ocorrência de ferro e 14 com manganês acima dos valores máximos permitidos. Essas ocorrências podem ser de origem natural, visto que os aquíferos estão localizados em diferentes profundidades e sistemas deposicionais distintos.

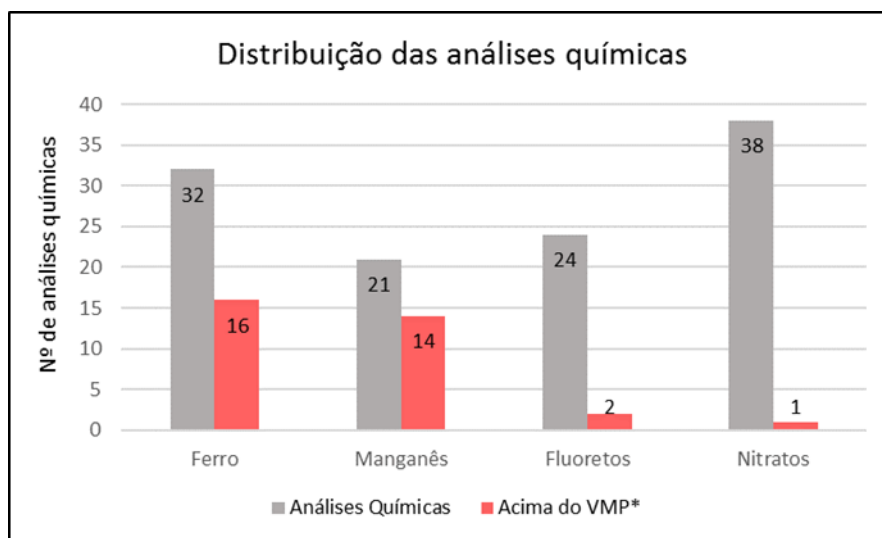


Figura 62. Distribuição das análises químicas referentes ao ferro, manganês, fluoretos e nitratos das águas do SAQC. (\*Valor Máximo Permitido).

Durante a etapa de campo foram identificados depósitos lagunares com níveis oxidados e depósitos eólicos avermelhados da barreira III, sendo que esses podem ser as possíveis fontes desses elementos na água subterrânea (Fig. 63). Bobsin (2013) também identificou a presença excessiva de ferro nas águas associadas ao depósito lagunar III.

Dentre os poços analisados, 2 apresentaram ocorrência de fluoretos e 1 apresentou nitratos acima dos valores máximos permitidos. Os teores mais elevados de nitrato podem indicar contaminação orgânica (esgotos, fertilizantes, aterros sanitários) decorrente de problemas construtivos dos poços ou contaminação do aquífero.

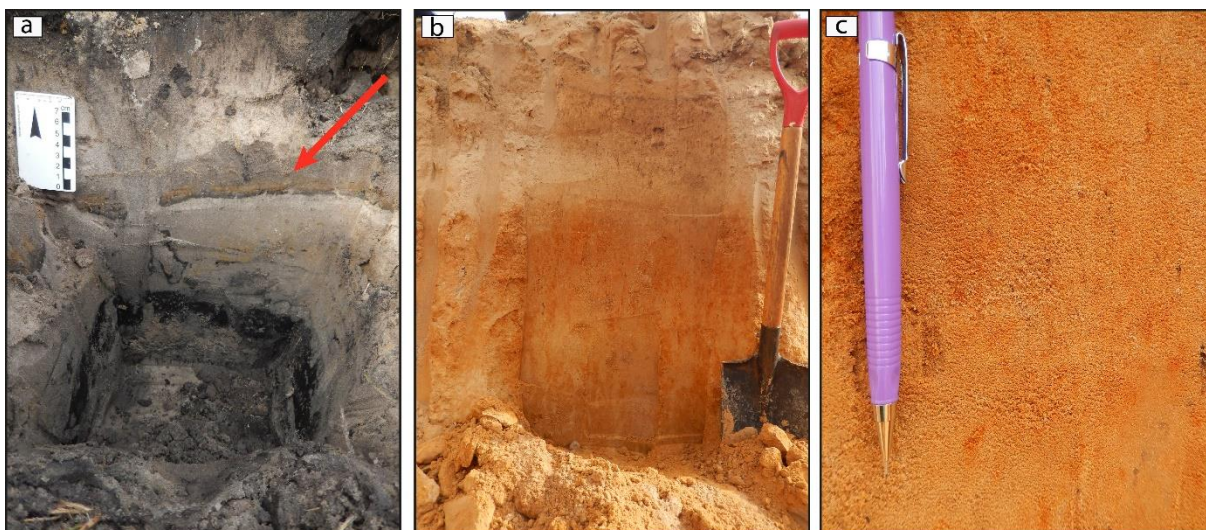


Figura 63. Sedimentos oxidados encontrados nos depósitos lagunares (a) e nos depósitos eólicos da Barreira III (b; c).

#### 5.4. Avaliação do Potencial Hidrogeológico

As produtividades dos sistemas aquíferos foram classificadas de 1 a 6 (Fig. 64) conforme os intervalos definidos por Struckmeier & Margat, (Tab. I do item 3.6). Como parâmetro de avaliação da produção dos poços, considerou-se os valores de vazão (Q) em função dos poucos dados de capacidade específica ( $q_s$ ).

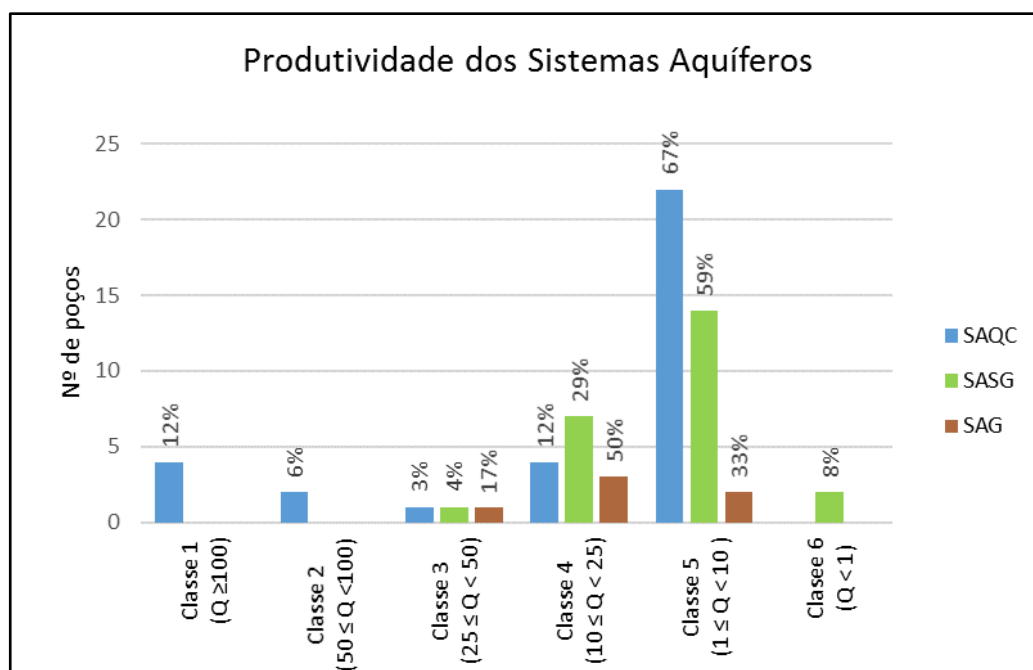


Figura 64. Classificação da produtividade dos Sistemas Aquíferos.

O pouco número de perfurações que atingiram o SAG, não permitiu uma interpretação mais detalhada relacionada ao seu potencial hídrico. Nesse sistema há predomínio de produtividade geralmente baixa, porém localmente moderada (classe 4) e geralmente muito baixa, porém localmente baixa (classe 5), mas que podem ser importantes para o abastecimento local. Quanto à qualidade, o SAG mostrou-se um importante aquífero devido ao seu caráter confinado, estando protegido de contaminações antrópicas. No entanto, deve-se destacar que esse aquífero, em função do confinamento, também pode apresentar concentrações maiores de elementos como sódio, cloreto, sulfato e fluoreto, fato esse já observado em estudos realizados em outras regiões do estado do Rio Grande do Sul, como na depressão central do estado (Silva *et. al.*, 2002).

O potencial de produção do SASG está diretamente relacionado às estruturas presentes nas rochas vulcânicas. A produtividade dos poços que captam água do SASG pode ser classificada como geralmente muito baixa, porém localmente baixa (classe 5) e como geralmente baixa, porém localmente moderada (classe 4). Nesse segundo caso, os volumes mais significativos extraídos são dos poços tubulares que estão situados próximos aos lineamentos NW, onde destacam-se vazões de 18, 20 e 25 m<sup>3</sup>/h que podem ser consideradas importantes para suprir demandas domésticas, comerciais e industriais do município.

Apesar de terem sido avaliados poucas amostras e poucos parâmetros (ferro, manganês, nitrato e fluoretos), a qualidade dessas águas mostrou-se próprias para consumo humano, porém com algumas restrições relativas aos poços que obtiveram concentrações de ferro e de nitrato acima do valor máximo permitido.

O SAQC apresenta um predomínio de poços com produtividades muito baixa, porém localmente baixa (classe 5). Essas baixas vazões são obtidas, principalmente, de poços ponteiras que, embora não contam com vazões significativas, são importantes para abastecimento doméstico ou comunitário da região. Além disso, também é importante destacar, a ocorrência de produtividades alta (classe 2) e muito alta (classe 1) onde há ocorrência de poços tubulares com vazões entre 60 e 230 m<sup>3</sup>/h, indicando que esses aquíferos apresentam um elevado potencial para aproveitamento no abastecimento público.

Quando à qualidade das águas do SAQC, é importante ressaltar que os aquíferos livres são muito vulneráveis à contaminação podendo apresentar problemas que limitam o uso das águas para o consumo humano. Além disso, é comum a ocorrência de águas com altos teores de ferro e de manganês que podem acarretar diversos problemas como alterações organolépticas, incrustações nas tubulações dos poços, entre outros.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Constatou-se que, no município de Osório, as principais formas de captação da água subterrânea são através de poços tubulares e de poços ponteira. Esses recursos são utilizados, principalmente, para abastecimento doméstico e comunitário, porém também foram identificados outros usos como para abastecimento urbano e para o desenvolvimento de atividades comerciais e industriais.

Além disso, os recursos hídricos subterrâneos estão associados a diferentes sistemas: Sistema Aquífero Guarani (SAG), ao Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e ao Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC).

O Sistema Aquífero Guarani está associado às rochas sedimentares da Fm. Botucatu e encontra-se confinado pelas rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral. Apesar dos poucos dados de poços, verificou-se que a profundidade dos poços que captam água desse sistema varia entre 84 e 336 metros e nível estático entre 3,58 e 8,50 metros. Apenas dois poços possuem dados de capacidade específica com valores de 0,996 e 0,804 m<sup>3</sup>/h/m e as vazões variam de 3,5 a 30 m<sup>3</sup>/h.

As análises químicas obtidas do SAG, indicam águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatada cálcica ou magnesianas e apresentam médio risco de salinidade e de baixo a médio risco com relação ao sódio. Quanto a potabilidade para o consumo humano, não foram detectados nenhum valor acima do máximo permitido estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 em relação ao ferro, manganês, fluoretos e nitratos, porém cabe ressaltar que, em função da pequena quantidade de poços perfurados neste sistema aquífero, não foi possível fazer uma avaliação mais precisa da qualidade das águas.

Os aquíferos fraturados na região fazem parte do Sistema Aquífero Serra Geral. Estão localizados nas rochas vulcânicas básicas (basaltos) pertencentes a fácies

Gramado, sendo caracterizados pela ocorrência de diferentes estruturas de resfriamento (diáclases, zonas vesiculares e amigdalóides) que são cortadas por fraturas. A profundidade média dos poços que captam água do SASG é de 140 metros, podendo alcançar um máximo de 402 metros, porém a maioria dos poços possuem entre 50 e 100 metros de profundidade. Em relação ao nível estático, obteve-se uma média de 36,3 metros, porém o intervalo entre 5 e 10 metros foram mais frequentes. Vazões e capacidades específicas inferiores a  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  e inferiores a  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  ocorrem com mais frequência, caracterizando-o como um sistema de baixo potencial para exploração. Vazões médias entre 6,79 e  $13,50 \text{ m}^3/\text{h}$  estão predominantemente correlacionados com lineamentos de direção NW, enquanto vazões médias entre 2,40 e  $4,93 \text{ m}^3/\text{h}$ , com lineamentos de direção NE.

As águas que circulam pelos aquíferos fraturados, foram classificadas em bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e sulfatadas ou cloretadas sódicas, sendo o primeiro relacionado à composição mineralógica das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, enquanto o segundo pode estar relacionado a uma possível conexão entre as águas do SAG e do SASG.

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro é caracterizado por aquíferos porosos localizados nas camadas arenosas e intercalados por sedimentos finos. Em geral, os aquíferos livres e semi-confinados localizam-se em profundidades próximas dos 30 metros, enquanto os confinados, em profundidades superiores a 30 metros. A maioria dos poços alcançam até 30 metros de profundidade, porém são encontrados poços tubulares de até 180 metros. O nível estático está localizado, predominantemente, em profundidades de até 5 metros, tornando mais fácil a captação através de poços rasos, porém com grandes chances de apresentarem águas contaminadas em função da alta vulnerabilidade desses aquíferos. Predominam vazões de até  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ , principalmente, em função dos poços ponteiras, porém foram obtidos valores de até  $230 \text{ m}^3/\text{h}$  em poços tubulares. Capacidades específicas inferiores a  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  são mais comuns com 35% das ocorrências, porém podem chegar até  $12,39 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Dentro do aspecto de produtividade, esse sistema se destaca como uma importante reserva de águas subterrâneas para a região, desde que a construção dos poços seja de forma criteriosa para garantir produtividades satisfatórias.

As análises químicas indicam águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, sulfatadas ou cloretadas sódicas, sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas



e bicarbonatadas sódicas. A variação nas concentrações iônicas (águas mais ou menos mineralizadas) são decorrentes principalmente ao tipo de aquífero e de litologia por onde as águas circulam. Em relação à qualidade, as águas do SAQC foram as que apresentaram maiores restrições quanto aos padrões de potabilidade estabelecidos Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, tendo apresentado teores de ferro e de manganês acima dos valores máximo permitido para consumo humano.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASMUS, H. E., & PORTO, R. 1972. **Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas.** In Congresso Brasileiro de Geologia (Vol. 26, pp. 67-90).

BARBOZA, E. G., & ROSA, M. 2014. **Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul.** Nuevas miradas a la Problemática de los ambientes costeros Sur de Brasil, Uruguay y Argentina. 1º ed. Montevideo: DIRAC Facultad de Ciencias, 1, 83-98.

BARBOZA, E. G., ROSA, M. L. C. C., DILLENBURG, S. R., & TOMAZELLI, L. J. 2010. **The holocene coastal barrier of Rio Grande do Sul (southern Brazil): an evaluation based on GPR data.** In 2010 Meeting of the Americas. Eos Trans. AGU, Meet. Am. Suppl (Vol. 91).

BELLIENI, G., COMIN-CHIARAMONTI, P., MARQUES, L. S., MELFI, A. J., NARDY, A. J. R., PAPANRECHAS, C. & STOLFA, D. 1986. **Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships.** Journal of Petrology, 27(4), 915-944.

BITTENCOURT, A. V. L., ROSA FILHO, E. D., HINDI, E. C., & BUCHMANN FILHO, A. C. 2003. **A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do rio Piquiri, Paraná-BR.** Águas Subterrâneas, 17(1).

BOBSIN, C. 2013. Caracterização Hidrogeológica do município de Osório-RS.

BORTOLIN, T. A. 2014. **Padrões hidroquímicos e isotópicos do sistema aquífero serra geral do Município de Carlos Barbosa, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul.**

BRASIL. 2011. Ministério da Saúde. **Portaria nº2.914**, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

CAMPOS, L. D. (1889). **Seção geológica São Paulo.** Relatório de comunicação geográfica e geológica da Província de São Paulo, 21-34.

DELANEY, P. 1965. **Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul** Publicação Especial. Escola de Geologia, UFRGS. Porto Alegre, n.6, 195p.

DILLENBURG, S. R., BARBOZA, E. G., TOMAZELLI, L. J., AYUP-ZOUAIN, R. N., HESP, P. A., & CLEROT, L. C. (2009). **The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul.** In **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil** (pp. 53-91). Springer Berlin Heidelberg.

DILLENBURG, S. R., ROY, P. S., COWELL, P. J., & TOMAZELLI, L. J. 2000. **Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM)**. Journal of Coastal Research, 71-81.

DINIZ, J. 2012. **Proposta Metodológica para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos**. CPRM–Serviço Geológico do Brasil.

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

Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997. MILANI, E. J. 2004. **Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná**. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, CDR, 265-291. Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca Produções Culturais, 2004. 265-279.

FISHER, W.L., & MCGOWEN, J.H. (1967). **Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas**. Trans., Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.; (United States), 17.

FREITAS, M. A., BINOTTO, R. B., NANNI, A. S., RODRIGUES, A. L. M., & BORTOLI, C. R. **Avaliação do Potencial Hidrogeológico, Vulnerabilidade Intrínseca e Hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**.

FREITAS, M. A., e GOFFERMANN, M. 2010. **Rede Básica Nacional de Monitoramento Integrado das Águas Subterrâneas-RIMAS no Estado do Rio Grande do Sul**. Águas Subterrâneas.

FREITAS, M. A.; BINOTTO, R. B.; NANNI, A.S.; RODRIGUES, A. L. M.; BORTOLI, C. R. **Avaliação do potencial hidrogeológico, vulnerabilidade intrínseca e hidroquímica do Sistema Sistema Aquífero Serra Geral no noroeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2012. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, RBRH, Porto Alegre, RS, v. 17, n. 2, p. 31-41, 2012.

FREITAS, M. D., MACHADO, J. L., VIERO, A. C., TRAININI, D. R., GERMANO, A. D. O., GLUGLIOTTA, A. P. & DA SILVA, P. R. R. 2004. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: Um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado**. In XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (ABAS). Cuiabá, MT (pp. 1-14).

HAUSMAN, A. 1960. **Estudo das possibilidades de água subterrânea do Rio Grande do Sul**. Boletim da Sociedade brasileira de Geologia, 1, 31-41.

HAUSMAN, A. 1995. **Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul**. Acta Geologica Leopoldensia. Série Mapas. São Leopoldo, RS.

HINDI, E.C. 2007. **Hidroquímica e hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná**. Curitiba, 2007, 153p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) Departamento de Geologia, UFPR.

LEINZ, V. 1949. **Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil**. USP-Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras-Departamento de Geologia e Paleontologia.

LISBOA, N. A. 1996. **Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul**.

LISBOA, N. A., DANI, N., REMUS, M. V., & CASTRO, J. 2004. **Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul**. In XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

MACHADO J. L. F. 1988. **Estimativa das características geohidráulicas de alguns poços tubulares da fronteira oeste do RS**. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 25, Anais, v. 6. p.2611-2621.

MACHADO J.L.F. 1998. **Hidroestratigrafia Química Preliminar dos Aquíferos da Região Central do Rio Grande do Sul**. In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 10, Anais, 7p.

MACHADO, J. L. F. 2005. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do sistema aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**.

MACHADO, J. L. F., & FREITAS, M. D. 2005. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final**. Porto Alegre: CPRM, 1.

MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A.J.R. Geological and magmatic aspects of the Parana Basin: an introduction. In: PICCIRILLO E.M. e MELFI, A.J. (Eds.). **The Mesozoic Flood Volcanism of the Parana Basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo: USP, p. 1-14. 1988.

MILANI, E. J. 1997. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade

MOBUS, G. 2002. **Qualigraf: programa para análise da qualidade da água**. Fortaleza: FUNCENE.

NANNI, A. S. **O Flúor em águas do Sistema aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico**./ Arthur Schmidt Nanni. – Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2008. [127 f.]. il. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR,2008.

NARDY, A. J. R.; OLIVEIRA, M. A. F. de; BETANCOURT, R. H. S.; VERDUGO, D. R. H., MACHADO, F. B. **Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral**. Revista Geociências, v. 21, n 2, p. 15-32, 2002.

PEATE, D. W.; HAWKESWORT, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. **Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution**. Bulletin of Volcanology, Berlin, v. 55, p. 119-139, 1992.

PICCIRILLO, E. M., & MELFI, A. J. 1988. **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico.

REBOUÇAS, A. C. (1978). **Potencialidade hidrogeológica dos basaltos da Bacia do Paraná no Brasil**. In Congresso Brasileiro de Geologia (Vol. 30, pp. 2963-2976).

REGINATO, P. A. R. 2003. **Integração de dados geológicos para prospecção de aquíferos fraturados em trecho da bacia hidrográfica Taquari-Antas (RS)**. Tese de Doutorado em Engenharia. Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 254p.

REGINATO, P. A. R., Ahlert, S., e Schneider, V. E. 2013. **Caracterização hidroquímica do sistema aquífero Serra Geral na região nordeste do Rio Grande do Sul**. Águas Subterrâneas, 27(1).

REGINATO, P. A. R., Brancher, L., Schafer, A. E., & Lanzer, R. M. 2009. **Água Subterrânea utilizada para irrigação na Planície Costeira do Rio Grande do Sul e seu risco a salinização**. Águas Subterrâneas, 1.

RENNE, P. R.; ERNESTO, M.; PACCA, I. G.; COE, R. S.; GLEN, J.; PRÉVOT, M.; PERRIN, M. **Rapid eruption of the Paraná flood volcanism, rifting of Southern Gondwanaland and the Jurassic-Cretaceous boundary**. Science, Washington, v. 258, p. 975-979, 1992.

ROISENBERG, A., & VIERO, A. P. 2000. **O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul**. Geologia do Rio Grande do Sul, 355-374.

SANBERG, J. R. D. 1980. **Estudo hidrogeológico nas províncias litológicas do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1 v).

SCHERER, C. M. S. 1998. **Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Cretáceo Inferior da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul**. Unpublished PhD thesis.

SILVA, J. L. S., HIRATA, R. C. A., DE MORAES FLORES, E. L., & DRESSLER, V. L. (2002). **Novas hipóteses sobre a origem do flúor no Sistema Aquífero Guarani na Depressão Central Gaúcha, Brasil**. In Anais do XXII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis (Vol. 1).

TOMAZELLI, L. J., & DILLENBURG, S. R. (2007). **Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil**. *Marine Geology*, 244(1), 33-45.

TOMAZELLI, L. J., & VILLWOCK, J. A. 2000. **O Cenozóico no Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira**. *Geologia do Rio Grande do Sul*, 2, 375-406.

TOMAZELLI, L. J., & VILLWOCK, J. A. 2005. **Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul**. *Gravel*, 3(1).

TOMAZELLI, L. J., AND DILLENBURG, S. R. 2007. **Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil**. *Marine Geology*, 244(1), 33-45.

TOMAZELLI, L. J., AND VILLWOCK, J. A. 1996. **Quaternary geological evolution of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil**. *Anais da Academia brasileira de Ciências*, 68(3), 373-382.

TRAVESSAS, F.A., DILLENBURG, S. R., ECLEROT, L. C. P. 2005. **Estratigrafia e evolução da Barreira Holocênica do Rio Grande do Sul no trecho Tramandaí-Cidreira**. *Bol Paranaense Geoc* 57:57-73

TROIAN, G. C., GOFFERMANN, M., & DE FREITAS, M. A. 2015. **Monitoramento Quali-Quantitativo do Aquífero Costeiro no litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul**. *Águas Subterrâneas*.

TURNER, S. P.; REGELORES, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. **Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision 40 Ar - 39 Ar geochronology**. *Earth and Planetary Science Letters*, Amsterdam, v. 121, p. 333-348, 1994.

URIEN, C. M., & MARTINS, L. R. 1978. **Structural and physiographic map of eastern South America and western South Africa**. CECO/UFRGS. Série Mapas, 3.  
VILLWOCK, J. A. (1972). **Contribuição a Geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul-Brasil**.

VILLWOCK, J. A., & TOMAZELLI, L. J. 1995. *Geologia costeira do Rio Grande do sul*. *Notas técnicas*, 8, 1-45.

WHITE, I.C. 1908. **Relatório Final Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. Rio de Janeiro. v.1, 300p.

WILDNER, W. 2004. **Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná–Conceitos básicos e divisão faciológica**. *Anais da reunião aberta da Comissão Brasileira de Estratigrafia*. SBG. UFRGS. Porto Alegre, 62-78.

WILDNER, W., RAMGRAB, G. E., LOPES, R. D., & IGLESIAS, C. D. F. 2008. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM.

WILDNER, W.; ORLANDI FILHO, V.; GIFFONI, L.E. 2006. **Itaimbezinho e Fortaleza, RS e SC – Magníficos Cânions Esculpidos nas Escarpas Aparadas da Serra do Planalto Vulcânico da Bacia do Paraná.** Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil.

ZALÁN, P. V., WOLFF, S., CONCEIÇÃO, J. D. J., MARQUES, A., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., & ZANOTTO, O. A. 1990. **Bacia do Paraná. Origem e evolução das bacias sedimentares.** 135-168.





Identificação	UTM N	UTM E	Tipo	Prof. (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	qs m <sup>3</sup> /h/m	NE (m)	pH	CE (μS/cm)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	Ca <sup>+2</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Mg <sup>+2</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	Cl (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	Fe <sup>+2</sup> (mg/L)	F <sup>-</sup> (mg/L)	Mn (mg/L)
SASG23	6697235	568271	Tubular	51	12	0,8	10	7,07	116	8,48	10	1,15	4,83	ND	-	60	8,5	0,592	0,043	0,11	ND
SASG24	6695228	566321	Tubular	336	12	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG25	6694490	564600	Tubular	204	1,7	0,013	16	6,84	146,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG26	6697350	572463	Tubular	102	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG27	6694454	567953	Tubular	100	8	-	-	6,97	171,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG28	6692854	565867	Tubular	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG29	6694744	565175	Tubular	192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG30	6697180	568360	Tubular	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG31	6695218	569016	Tubular	60	18	0,514	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG32	6694962	568493	Tubular	117	0,5	0,008	40	6,6	117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG33	6695189	570013	Tubular	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG34	6696363	569516	Tubular	60	-	-	-	6,5	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG35	6694339	563352	Tubular	192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG36	6694353	563691	Tubular	186	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG37	6693767	563678	Tubular	222	1,6	0,009	12	6,9	214	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG38	6694113	563255	Tubular	135	3,5	0,032	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG39	6699908	566483	Tubular	100	3,5	-	-	6,76	113,4	16,3	-	-	-	-	-	-	6,8	0,2	-	-	-
SASG40	6695194	569299	Tubular	180	20	-	15	7,1	168,2	25,3	-	-	-	-	-	-	8,3	0,4	-	-	-
SASG41	6694357	563542	Tubular	160	1,2	0,013	26	6,36	74,2	10,4	-	-	-	-	-	-	3,9	0,4	-	-	-
SASG42	6695451	563916	Tubular	120	1,2	-	-	6,74	99	13,7	-	-	-	-	-	-	11,1	0,1	-	-	-
SASG43	6696496	564142	Tubular	125	3,5	-	-	6,26	83,7	16,3	-	-	-	-	-	-	19,3	0,1	-	-	-
SASG44	6695589	562978	Tubular	125	1,8	-	15	6,81	115,4	15	-	-	-	-	-	-	7,2	0,2	-	-	-
SASG45	6697056	561991	Tubular	348	10	-	220	8,43	461,6	82,3	-	-	-	-	-	-	8,4	0,4	-	-	-
SASG46	6695146	562071	Tubular	68	3,5	-	10	6,28	110,2	12,3	-	-	-	-	-	-	6,13	0,4	-	-	-
SASG47	6693156	560306	Tubular	-	-	-	-	6,96	356,4	30,8	-	-	-	-	-	-	16,6	0,6	-	-	-
SASG48	6693841	569975	Tubular	92	11,82	-	6,16	6,60	270,00	-	-	-	-	-	-	-	24,3	0,08	-	-	-
SASG49	6693875	562819	Tubular	66	1,5	-	10	7,80	336,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG50	6694774	570155	Tubular	51	5	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG51	6696905	568497	Tubular	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SASG52	6693015	565747	Tubular	200	10	-	-	8,37	519,3	114,9	-	-	-	-	-	-	72,8	0,8	-	-	-
SASG53	6694593	570902	Tubular	252	12	-	8	7,92	387	73,4	-	-	-	-	-	-	25,5	0,5	-	-	-
SASG54	6706575	574384	Tubular	202	10	-	-	8,28	383,5	79	-	-	-	-	-	-	29,3	0,2	-	-	-
SASG55	6709123	576764	Tubular	33	3	0,167	6	6,8	145,8	11,5	10,7	1,18	5,76	ND	-	68	7,5	1,39	0,077	0,59	ND
SASG56	6708667	577341	Tubular	66	12	-	6	6,8	196,8	19,7	-	-	-	-	-	-	11,9	0,4	-	-	-
SASG57	6706313	577991	Tubular	86	3,5	-	8	8,08	481,8	99,1	-	-	-	-	-	-	31,3	0,4	-	-	-
SASG58	6704962	578825	Tubular	72	10	-	15	6	290,5	24,1	-	-	-	-	-	-	12,4	19,1	-	-	-
SASG59	6704841	578977	Ponteira	-	-	-	-	7,5	244,5	25,6	-	-	-	-	-	-	8,4	0,9	-	-	-

Identificação	UTM N	UTM E	Tipo	Prof. (m)	Q (m³/h)	Qs (m³/h/m)	NE (m)	pH	CE (µS/cm)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Mg (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	F <sup>-</sup> (mg/L)	Mn (mg/L)
SASG60	6704123	575522	Tubular	-	-	-	6	8,11	450,5	103,8	-	-	-	-	-	-	22,9	0,1	-	-	-

Identificação	UTM N	UTM E	Tipo	Prof. (m)	Q (m³/h)	Qs (m³/h/m)	NE (m)	pH	CE (µS/cm)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Mg (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	F <sup>-</sup> (mg/L)	Mn (mg/L)
SAQC1*	6687060	565115	Tubular	88	2,01	1,844	5,38	7,3	155	14,23	14,47	2,033	2,17	0,32	9,39	-	2,34	0,03	0,843	0,03	0,106
SAQC2*	6695207	588051	Tubular	144	200	2,14	2,56	6,8	178,7	15	9	1,3	4	9,2	46	38	23	ND	8,1	ND	0,292
SAQC3*	6695107	587941	Tubular	108	150	6,34	3,82	7,5	709	43	47	4,2	6	10,3	136	111	134	ND	1,2	ND	0,614
SAQC4*	6694839	587375	Tubular	80	120	4,6	0,44	7,6	1214	99	54	6,8	13	1,3	188	154	263	ND	0,45	0,3	0,291
SAQC5*	6685830	571887	Tubular	94	6,5	1,368	5,12	7,4	534	38	40,3	3,2	2,3	3,5	249	204	39	0	0,36	0	0,7
SAQC6*	6689580	575374	Tubular	93	25	5,75	12,3	7,7	588	61	41	5,9	8	ND	283	232	34,5	0,05	1,5	0,1	0,482
SAQC7*	6692900	574177	Ponteira	-	-	-	-	5,87	87,1	1,99	4,08	1,53	1,95	5,85	-	10	5	6,19	ND	ND	ND
SAQC8*	6692996	574507	Ponteira	18	-	-	-	4,44	119,5	3,34	1,78	0,366	3,11	ND	-	5	7,5	3,84	ND	ND	0,203
SAQC9*	6693901	578992	Cacimba	9	-	-	-	5,96	120	4,04	13,9	3,44	2,69	ND	-	45	7,5	2,98	0,058	ND	ND
SAQC10*	6677843	559095	Ponteira	16	-	-	-	4,62	45,8	5,43	0,601	0,493	1,01	-	-	10	10	0,307	0,089	-	-
SAQC11*	6686629	569572	Ponteira	18	-	-	-	5,2	128,3	6,01	1,7	1,4	0,658	1,54	-	15	7,5	0,514	0,077	ND	ND
SAQC12*	6677500	558689	Ponteira	-	-	-	-	4,68	92,3	10	1,51	1,09	2,25	2,9	-	12	25	ND	0,458	0,23	ND
SAQC13*	6696443	589632	Ponteira	26	-	-	-	7,04	292	24,1	14,3	11,4	12,9	ND	-	140	20	ND	0,117	0,32	0,057
SAQC14*	6692033	565720	Ponteira	19	-	-	-	6,48	462	28,3	35,3	0,484	4,17	23,5	-	160	60	0,636	3,66	0,18	0,046
SAQC15*	6696301	589466	Ponteira	26,5	-	-	-	7,67	398	31,6	30,1	10,2	13,2	ND	-	185	30	0,326	0,438	0,36	ND
SAQC16	6693191	570782	Ponteira	18	1,6	-	2,5	6,22	-	1,45	61,3	-	2,82	-	-	12,76	21,11	4,6	0,001	0,13	0,084
SAQC17	6692759	570394	Ponteira	22	1,4	-	3	6,68	-	4	2,4	-	26,7	-	-	2	7,3	0,33	0,001	0,1	0,01
SAQC18	6700452	578538	Ponteira	-	-	-	-	5,22	35,6	10	0,477	1,09	1,03	1,77	-	10	5	0,787	0,044	0,25	ND
SAQC19	6677640	558526	Ponteira	16	1,8	-	-	6,07	118,6	8,29	1,67	1,57	1,4	1,71	-	25	12,8	0,2	0,051	0,1	-
SAQC20	6693136	572661	Ponteira	20	1,5	-	3,1	5,9	-	122	10,4	-	6,32	-	-	11	33	16,1	0,106	0,1	0,1
SAQC21	6686626	569570	Cacimba	12	-	-	-	5,7	128,3	1,95	5,84	0,306	0,824	5,26	-	40	16,5	1,16	0,116	-	-
SAQC22	6692868	572687	Tubular	84	11,25	9,956	9,5	7,2	431	-	-	-	-	0,393	230,8	189,2	36,92	0	0,2	0	0,24
SAQC23	6694371	582766	Cacimba	9	-	-	-	5,7	152	11,6	10,2	4,89	3,31	8,52	-	35	22,5	1,6	0,229	ND	ND
SAQC24	6687022	565067	Tubular	93	10	7,95	4,91	7,3	315	49	14	4,9	3	ND	186	152	23	ND	0,23	0,1	ND
SAQC25	6692251	569962	Tubular	90	6	0,198	9,9	8,06	317	67	27,19	-	6,59	10,91	206,6	169,5	24,65	0,1	0,235	0,481	0,304
SAQC26	6698275	573122	Tubular	85	6	0,157	7,29	7,39	348	105,1	12,4	0	8,45	-	173,43	142,28	43	0,9	0,28	0,3	6,08
SAQC27	6693333	570096	Ponteira	20	1,4	-	1,5	5,8	-	8	4	-	2,92	-	-	24,5	5,9	0,2	0,3	0,1	0,03
SAQC28	6688818	574726	Ponteira	24	1,8	-	-	5,94	603	7,07	1,09	2,4	1,44	ND	-	10	10	2,79	0,334	0,27	ND
SAQC29	6692325	572631	Tubular	108	80	-	11,65	8,3	280	280	27	2,7	4,6	ND	28	128	12,2	0,14	0,4	0,3	0,513
SAQC30	6694941	586865	Tubular	93	120	9,23	13	8,3	844	93	40	5,9	7,3	ND	207	170	160	0,03	0,41	0,1	0,149
SAQC31	6695727	574378	Tubular	84	15	-	8	7,41	1580	162	108	16	27	1,04	-	230	405	0,845	0,537	3,02	1,5
SAQC32	6693847	570238	Ponteira	13	1,5	-	4	6,7	-	26	15,5	-	6,9	-	-	141,5	11,3	0,2	0,974	0,39	0,076
SAQC33	6693148	572181	Tubular	88	200	10,85	3,59	8,3	440	51	41	5	7,9	ND	221	181	24,4	0,06	2,2	0,2	-





