



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

AMANDA SANFERARI

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E DA POTENCIALIDADE DO SISTEMA
AQUÍFERO SERRA GERAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA (SC)

Porto Alegre
2019

AMANDA SANFERARI

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E DA POTENCIALIDADE DO SISTEMA
AQUÍFERO SERRA GERAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA (SC)

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

Orientador: Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Porto Alegre

2019

CIP - Catalogação na Publicação

Sanferari, Amanda
Avaliação Hidrogeológica e da Potencialidade do
Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Hidrográfica do
Rio Jacutinga (SC) / Amanda Sanferari. -- 2019.
87 f.
Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2019.

1. Hidrogeologia. 2. Sistema Aquífero Serra Geral.
3. Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. 4.
Potencialidade de Aquífero. I. Reginato, Pedro Antonio
Roehe, orient. II. Título.

AMANDA SANFERARI

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E DA POTENCIALIDADE DO SISTEMA
AQUÍFERO SERRA GERAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA
(SC)**

Monografia apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcos Leão

Dr. José Luiz F. Machado

Geól. Msc. Raquel Binoto

AGRADECIMENTOS

Foram 7 anos vivendo a universidade e não poderia começar agradecendo de outra forma que não por ela. Obrigada à mãe UFRGS pelo ensino público, gratuito e de qualidade. Obrigada a todos professores, técnicos, terceirizados e colegas que fizeram parte da minha formação.

Obrigada aos mais que colegas, amigos. Primeiramente meus eternos Ruthes que sempre lembrarei com carinho. E também Rodrigo, Júlia, Souza, Flora e Mari que foram uma companhia incrível nesses últimos anos.

Obrigada às minhas amigas da vida, Bela e Gabi, que me ouviram falar muito desse trabalho com toda paciência e apoio. Obrigada à Dami e Will que tanto me cuidaram e fizeram de Porto Alegre minha nova casa.

Obrigada ao pessoal do DRH/SEMA e da HidroGeo, pela experiência do estágio e por todo conhecimento trocado. Em especial Ellen, Dedei, Ju, Mariá e Cássia, pela companhia nas manhãs de trabalho e risada.

Obrigada ao Comitê Hidrográfico da Bacia do Rio Jacutinga e a empresa Hidroani Poços Artesianos por toda disponibilidade em auxiliar nesse projeto e por ceder seus dados.

Obrigada ao Pedro, que mudou a história da minha graduação e foi o melhor orientador que poderia ter escolhido. Obrigada por todo carinho e atenção que sempre teve para me orientar durante a iniciação científica, no tcc e até nas decisões de vida. Obrigada por topar sair do estado para realizar esse trabalho onde e como eu escolhi. E claro, obrigada por ser o melhor exemplo de geólogo e professor que levarei comigo.

E por fim a eles, a razão disso tudo: Obrigada vó e vô, por estarem (e serem) presentes em todas etapas da minha vida. Obrigada Mau e Muri, por serem meus companheiros e exemplos desde que nasci. Obrigada pai, por fazer o teu melhor por mim e por mesmo que às vezes não concordando com minhas opiniões e objetivos, apoiá-los como se fossem teus. Obrigada mãe, por me ensinar fazer tudo com amor, por ser minha amiga e minha maior inspiração como pessoa e como profissional. Amo vocês!

RESUMO

A região oeste do estado de Santa Catarina possui na atividade agrícola e agropecuária sua principal fonte de desenvolvimento econômico e social. Por consequência, apresenta alta demanda de consumo d'água, acarretando um expressivo número de poços perfurados e elevada exploração dos reservatórios subterrâneos. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo agregar conhecimento sobre os recursos hídricos subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga, permitindo assim fornecer subsídios para uma melhor gestão. O SASG consiste no principal sistema aquífero da região, sendo que suas águas são utilizadas na dessedentação animal e no consumo humano. Os resultados indicaram que esse sistema é captado por poços com profundidade média de 113 m, que possuem suas principais entradas de água entre 50 e 150 m, com NE médio de 14 m. A capacidade específica média encontrada foi de 1,086 m³/h/m e vazão média igual a 10 m³/h. As águas foram classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas e Bicarbonatadas Sódicas, apresentando pH médio igual a 7,6. Em relação aos VMPs definidos pelo Ministério da Saúde, apresentaram valores elevados de pH e anômalos de nitrato. A maioria dos poços apresentou produtividade baixa à muito baixa, estando condicionada com a direção de lineamentos e com o grau de dissecação do relevo. Dessa forma, foram sugeridas para novas perfurações, áreas que contemplassem lineamentos de direções N30-60W e N70-80W e zonas planas do relevo. Outra opção para a bacia são captações de maior profundidade, que visem interceptar o SAG, representado por poucos poços na região, mas todos de alta produtividade. Por fim, salienta-se a importância de se fazer a gestão do recurso hídrico da região, através do incentivo à regularização dos poços e de um monitoramento quantitativo e qualitativo do aquífero.

Palavras-Chave: Hidrogeologia. Sistema Aquífero Serra Geral. Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. Potencialidade de Aquífero.

ABSTRACT

The western region of Santa Catarina state has in agriculture and farming activities its major source of economic and social development. Therefore, the region shows a high demand for water consumption, resulting in an expressive number of wells drilled, and a higher exploitation of groundwater reservoirs. In this way, the present research aimed to aggregate knowledge about groundwater resources at the Rio Jacutinga hydrographic basin, providing support for a better management. The Serra Geral Aquifer System (SGAS) is the foremost aquifer system of the region, whereas its water usages are destined for human consumption and animal desedimentation. The results shows that the wells located in SGAS have average depths of 113 meters, with its major water inputs between 50 and 150 meters, and average static water level of 14 meters. The average specific capacity found was 1,086 m²/h/m, and the average flow rate of 10 m³/h. The samples were classified as calcium bicarbonate or magnesium, and sodium bicarbonate waters, showing average pH values of 7,6. Considering the maximum allowed values defined by Brazilian's Health' Ministry, the samples presented high values of pH and anomalous values of nitrate. The most part of the wells showed low to very low productivity, conditioned to the lineament directions and the dissection surface's rate. In this way, for new drilling, areas that contemplate N30-60W and N70-80W lineament directions are suggested even as flat zones of the relief. Another option for the basin is to catch water from deeper wells, in order to intercept Guarani Aquifer System, which represents a few wells at the region, but all them with high productivities. Lastly, it is emphasized the significance to do the hydric resources management at this region, instigating the regularization of wells and an aquifer quantitative and qualitative monitoring.

Keywords: Hydrogeology. Serra Geral Aquifer System. Rio Jacutinga Hydrographic Basin. Aquifer potential.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. (Elaborado pela autora com base em Machado, 2012).....	19
Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e bacias contíguas. (Retirado de Comitê do Rio Jacutinga, 2010)	20
Figura 3 - Regiões Hidrográficas do estado de Santa Catarina. (Elaborado pela autora com base em Machado, 2012).....	21
Figura 4 – Subdivisões da RH Vale do Rio do Peixe: Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga, Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe e Bacias Contíguas. (Elaborado pela autora com base em Machado, 2012).....	22
Figura 5 – Localização da área de estudo na Bacia do Paraná. (Modificado de Zalán et al., 1990 apud ANP, 2017)	24
Figura 6 – Formações aflorantes do Grupo Serra Geral, na Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. (Elaborado pela autora com base de Wildner, 2014).....	26
Figura 7 – Limite concordante entre as Unidades Hidroestratigráficas Serra Geral e Botucatu. (Modificado de Machado, 2013)	28
Figura 8 - Blocos hidrogeológicos do SAIG-SG. Área de estudo localizada no bloco 11: Jacutinga (Retirado de Descovi, 2015).....	29
Figura 9 - Quadro de distribuição das classes de produtividade de aquíferos. (Retirado de Diniz, 2012)	31
Figura 10 - Zonas aquíferas da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. (Elaborado pela autora com base de Machado, 2013)	32
Figura 11 - Classificação da água subterrânea através do Diagrama de Piper. (Retirado de Freitas, Caye e Machado, 2002).....	34
Figura 12 - Diferentes fontes de captação encontrados em etapa de campo: fonte de encosta, poço escavado e poço tubular. Fonte: Autora.....	39
Figura 13 - Distribuição geográfica dos poços. Fonte: autora.....	41
Figura 14 - Localização dos pontos descritos em campo no mapa geológico. (Elaborado pela autora com base em Wildner, 2014)	44
Figura 15 – Afloramento de pedreira. Espesso pacote com disjunção horizontal. Fonte: Autora.....	45

Figura 16 - Pacote com disjunção colunar e fraturas subverticais. Fonte: Autora.	45
Figura 17 - Pacote superior maciço em contato com brecha. Fonte: Autora. .	46
Figura 18 – Detalhe de afloramento: amígdalas preenchidas. Fonte: Autora.	47
Figura 19 –Contato entre derrames e circulação de água entre fraturas. Fonte: Autora.....	48
Figura 20 – Detalhe de afloramento: circulação de água entre contatos. Fonte: Autora.....	48
Figura 21 - Afloramento de corte de estrada da Formação Gramado. Fonte: Autora.....	49
Figura 22 - Perfil construtivo de poço localizado na Formação Campos Novos. Elaborado pela autora com base em SIAGAS/CPRM.....	50
Figura 23 - Lineamentos traçados em imagens MDT-SRTM. Elaborado pela autora com base em Wildner, 2014.....	51
Figura 24 - Diagrama de roseta dos lineamentos	51
Figura 25 - Mapa de densidade de lineamentos. Elaborado pela autora.....	52
Figura 26 - Diagrama de roseta das estruturas de campo.....	53
Figura 27 - Distribuição dos poços SAG e SASG cadastrados. Elaborado pela autora com base em Machado, 2013.	54
Figura 28 - Mapa de cotas de topo do SAG. Elaborado pela autora.	55
Figura 29 - Perfil esquemático dos blocos estruturais e a relação entre os aquíferos. Elaborado pela autora.	56
Figura 30 - Perfil construtivo de poço que capta água do SAG. Elaborado pela autora com base em SIAGAS/CPRM.....	57
Figura 31 - Classificação das águas do SASG pelo Diagrama de Piper.....	68
Figura 32 – Grupos hidroquímicos das águas do SASG pelo Diagrama de Stiff.	69
Figura 33 – Imagem extraída do Google Earth de poço com valor anômalo de nitrato.	71
Figura 34 – Distribuição da capacidade específica conforme classes de produtividade e sua relação com a orientação de lineamentos.....	73
Figura 35 - Distribuição da capacidade específica conforme classes de produtividade e sua relação com a densidade de lineamentos	74

Figura 36 - Distribuição da capacidade específica conforme classes de produtividade e sua relação com o relevo.....	75
Figura 37 - Distribuição das vazões conforme classes de produtividade e sua relação com a orientação e densidade de lineamentos	77
Figura 38 - Distribuição dos poços secos e sua relação com a orientação e densidade de lineamentos	78
Figura 39 - Distribuição dos poços secos e sua relação com o relevo.	78
Figura 40 - Mapa de sugestão de áreas mais favoráveis para locação de novos poços.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição das fontes conforme município	40
Tabela 2 – Dados químicos dos poços do perfil esquemático	56
Tabela 3 - Dados estatísticos de poços do SAG	58
Tabela 4 - Dados construtivos dos poços do SASG	59
Tabela 5 – Dados estatísticos de poços do SASG	61
Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos do SAG	64
Tabela 7 – Parâmetros físico-químicos do SASG	65
Tabela 8 - Estatística dos íons maiores	68
Tabela 9 - Dados comparativos com os VMP (Brasil, 2017).....	70
Tabela 10 - Classes de produtividade. Modificado de Diniz (2012)	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação do uso da água para cadastros com essa informação....	42
Gráfico 2 - Relação entre as formas de abastecimento.....	42
Gráfico 3 - Relação da Situação dos poços cadastrados.	43
Gráfico 4 - Frequência dos comprimentos de Lineamentos.....	53
Gráfico 5- Distribuição do intervalo de profundidade dos poços que captam água do SASG.	59
Gráfico 6 – Distribuição da profundidade das entradas de água dos poços que captam água do SASG.....	60
Gráfico 7 – Distribuição da quantidade de entradas de água dos poços que captam água do SASG.....	61
Gráfico 8 - Distribuição dos intervalos de vazão do SASG.....	62
Gráfico 9 – Distribuição dos intervalos de Capacidade Especifica do SASG .	63
Gráfico 10 - Distribuição dos intervalos de Nível Estático do SASG.....	63
Gráfico 11 – Distribuição dos valores de pH do SASG.....	66
Gráfico 12 – Distribuição dos valores de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) do SASG.	67
Gráfico 13 – Relação entre a profundidade da entrada de água e a produtividade dos poços	76
Gráfico 14 - Relação entre a quantidade de entradas de água e a produtividade dos poços.....	76

LISTA DE SIGLAS

CE – Condutividade Elétrica

NE – Nível estático

PROESC – Projeto Oeste de Santa Catarina

SASG – Sistema Aquífero Serra Geral

SAG - Sistema Aquífero Guarani

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

VMP – Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
3 ÁREA DE ESTUDO	19
4 ESTADO DA ARTE	21
4.1 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS.....	21
4.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga	22
4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	23
4.3 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	26
4.3.1 Sistema Aquífero Serra Geral	27
4.4 PRODUTIVIDADE DE AQUÍFEROS.....	29
4.5 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA	33
5 METODOLOGIA	36
5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES	36
5.2 INVENTÁRIO E CADASTRAMENTO DE PONTOS DE CAPTAÇÃO	36
5.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	36
5.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	37
5.5 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA	37
5.6 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
6.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA	39
6.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	44
6.2.1 Formação Paranapanema	44
6.2.2 Formação Chapecó	49
6.2.3 Formação Gramado	49
6.2.4 Formação Campos Novos	50
6.2.5 Avaliação estrutural	50

6.3 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	54
6.3.1. Sistema Aquífero Guarani	57
6.3.2. Sistema Aquífero Serra Geral.....	58
6.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA	64
6.4.1. Sistema Aquífero Guarani	64
6.4.2 Sistema Aquífero Serra Geral.....	65
6.4.3 Qualidade das águas.....	70
6.5 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO	72
7 CONCLUSÕES.....	80
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

O uso dos recursos hídricos subterrâneos foi intensificado nos últimos anos motivado pela degradação das águas superficiais e pelos avanços da hidrogeologia e das técnicas de perfuração de poços. Entretanto, a gestão dos aquíferos não obteve prioridade das políticas públicas, o que os expôs à falta de conhecimento e consequente superexploração e contaminação. A disponibilidade e qualidade da água subterrânea dependem proporcionalmente da quantidade de informação disponível, por isso, conhecer as características geológicas, parâmetros hidrodinâmicos e sua composição química é fundamental para o gerenciamento e uso sustentável. (Villar, 2016)

A Lei 9.433/97 (Brasil, 1997), chamada Lei das Águas, define em seus princípios fundamentais a água como domínio público e limitado. Sua gestão deve ser descentralizada a fim de sempre proporcionar o uso múltiplo do recurso, tendo igualdade de acesso a todos os setores e/ou usuários. A referida lei lançou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e adota a Bacia Hidrográfica como unidade territorial para a prática da política nacional e gerenciamento dos recursos hídricos. O crescente conhecimento da bacia também é consequência do aumento de políticas públicas focadas na gestão de águas subterrâneas com o objetivo de regulamentar a qualidade e quantidade de recursos existentes.

No oeste de Santa Catarina, a Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga tem grande importância, pois nela estão inseridos os principais municípios da região. Com isso, a expansão das atividades agropecuárias, industriais e comerciais da região, somadas a um processo de expansão urbana, geram um crescimento constante da demanda de água. (Guivant & Miranda, 2004) A perfuração acelerada e com pouco conhecimento compromete a qualidade da água que tem como principal fonte de contaminação o setor agropecuário e as águas residuais das indústrias locais e das cidades da região (Miranda & Mielle, 2009). Para suprir a demanda, houve um acréscimo expressivo na quantidade de poços perfurados nos últimos anos, muitos em regiões sem estudos, implicando em poços secos e na baixa qualidade da água.

O Comitê Rio Jacutinga possui integrado em sua área de gestão 7 bacias contíguas e outras contribuições independentes, que compreendem uma área de 2.712,2 km² onde estão inseridos 19 municípios (Comassetto *et al.*, 2014). Da mesma forma e atendendo solicitação de representantes da comunidade e integrantes do

Comitê, seu plano de bacia abrange também a Bacia do Rio Ariranha, sendo assim chamado de Sistema Hidrográfico de Planejamento de Recursos Hídricos Jacutinga-Ariranha (Santa Catarina, 2012). Dessa forma, os estudos realizados na região são gerais e há necessidade de estudos mais locais e detalhados.

O presente trabalho tem como objetivo contribuir com informações para uma melhor gestão dos recursos hídricos subterrâneas da bacia, através de uma caracterização hidrogeológica, visando avaliar a produtividade do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região. Para isso, serão gerados dados sobre qualidade, produtividade, características hidrogeológicas, hidrodinâmicas e hidroquímicas do aquífero.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho é realizar uma caracterização hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga, visando avaliar as estruturas condicionantes da ocorrência e produtividade dos aquíferos fraturados, bem como identificar as regiões de maior produtividade desse sistema aquífero.

Para isso, seguirá os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Avaliar e analisar o uso da água subterrânea na área de estudo;
- ✓ Caracterizar a hidrogeologia e hidrodinâmica do Sistema Aquífero Serra Geral na área de estudo;
- ✓ Avaliar as características hidroquímicas e a qualidade da água do SASG;
- ✓ Identificar estruturas que estão associadas a maior produtividade dos poços e definição de áreas mais produtivas do SASG.

3 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga posiciona-se no meio-oeste catarinense, apresenta uma área de 1000 km² e abastece aproximadamente 130 mil pessoas (Comitê do Rio Jacutinga, 2010) (Figura 1). Abrange 9 municípios catarinenses, sendo eles: Arabutã, Catanduvas, Concórdia, Ipumirim, Irani, Itá, Jaborá, Lindóia do Sul e Vargem Bonita. A bacia contempla uma região considerada polo agrícola do estado, com destaque para criação de animais e a agricultura voltada para produção de grãos.

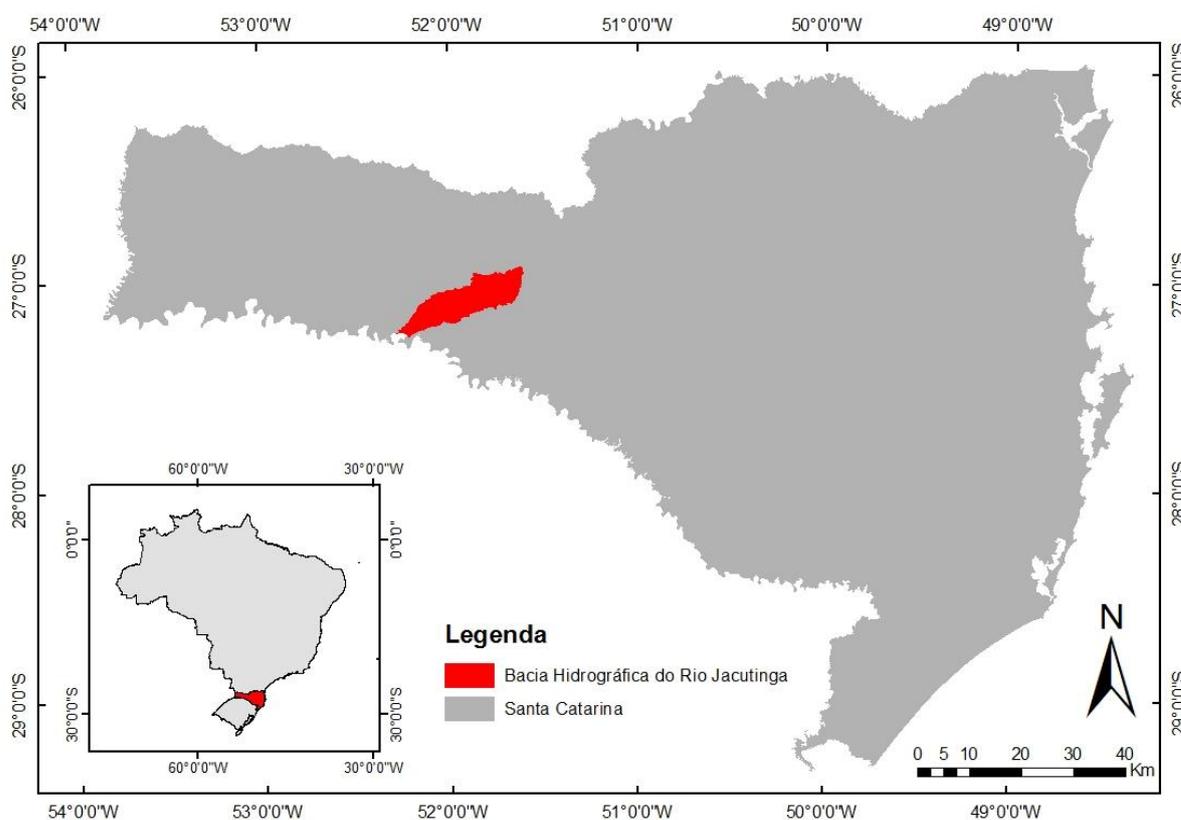


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. (Elaborado pela autora com base em Machado, 2012)

A área conta com o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Bacias Contíguas, fundado em 2003, através do Decreto Estadual nº 652/2003 (Santa Catarina, 2003). Criado com a finalidade de ser porta voz do recurso hídrico na região, transmitindo conhecimento para a população local, conta hoje com apoio de 55 entidades privadas e públicas (Comassetto, 2014). Além das bacias

contíguas, o comitê possui anexado na sua área de gestão a Bacia do Rio Ariranha e contribuições independentes (Comitê do Rio Jacutinga, 2010). Dessa forma, seu plano de bacia é denominado Sistema Hidrográfico de Planejamento de Recursos Hídricos Jacutinga-Ariranha (SHPRH Jacutinga Ariranha).

O SHPRH Jacutinga-Ariranha pode ser subdividido em oito sub-sistemas hidrográficos que são classificadas de acordo com seu curso d'água principal. Esse estudo detém-se no sub-sistema Jacutinga, que coincide com a Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. (Figura 2)

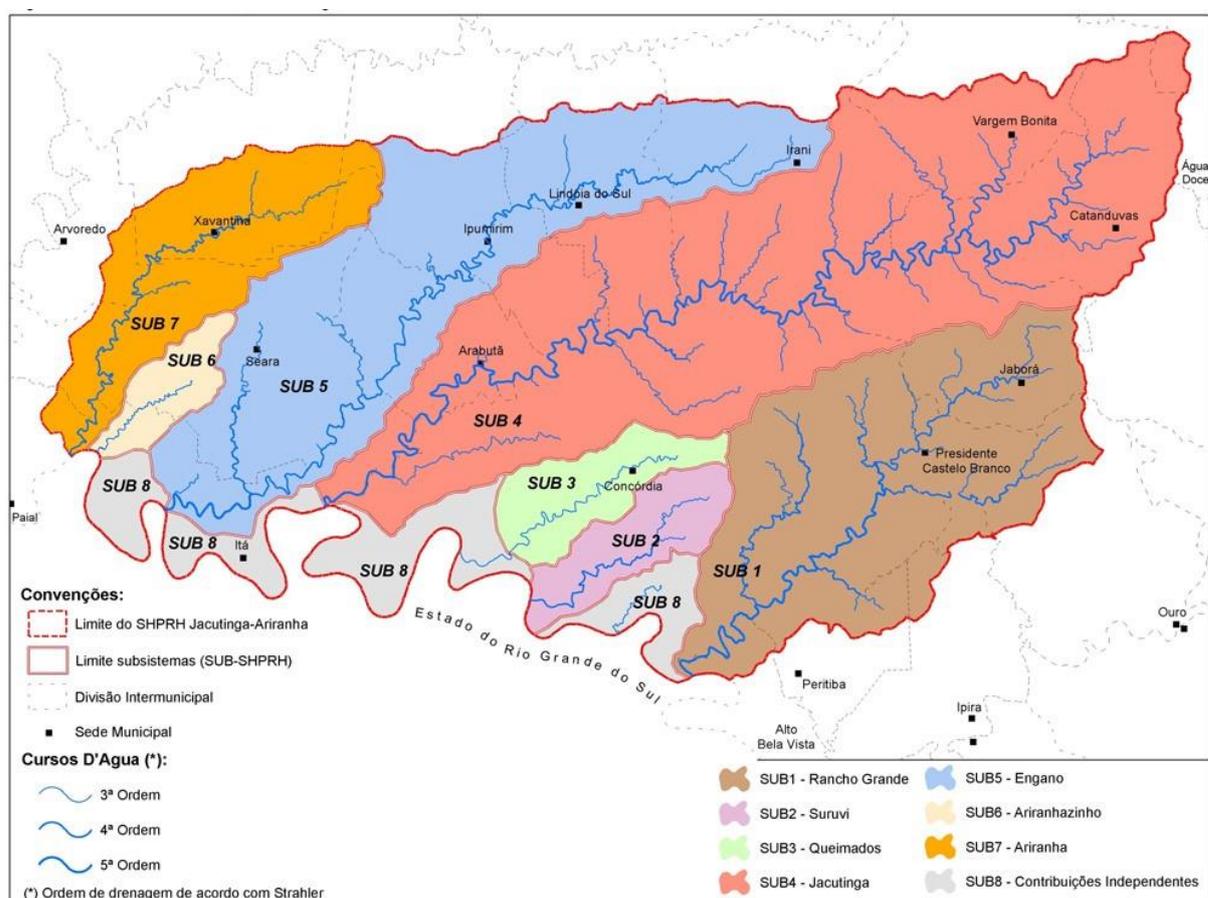


Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e bacias contíguas. (Retirado de Comitê do Rio Jacutinga, 2010)

4 ESTADO DA ARTE

4.1 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS

A rede hidrográfica de Santa Catarina é inicialmente subdividida pela Serra Geral em dois grandes sistemas independentes de drenagem: Sistema Vertente do Atlântico, que drena suas águas sentido litoral, e Sistema Vertente do Interior, com águas que cursam para o interior do estado. Esses dois sistemas dividem-se novamente nas Regiões Hidrográficas do Uruguai, Paraná e Atlântico Sul. A Bacia Uruguai, onde insere-se a área de estudo, é a maior bacia do estado, com 49.473 km² de extensão, o equivalente a 51,65% do território catarinense. Seus rios formadores são os rios Pelotas e Canoas, cujas nascentes desenvolvem-se na Serra Geral (Prates, Manzolli & Mira, 1986).

Através da Lei nº 10.949 (Santa Catarina, 1998) foram delimitadas regiões hidrográficas que assumem a responsabilidade de planejar, gerir e gerenciar o recurso hídrico do estado. São elas: RH 1 – Extremo Oeste, RH 2 – Meio Oeste, RH 3 – Vale do Rio do Peixe, RH 4 – Planalto de Lages, RH 5 – Planalto de Canoinhas, RH 6 – Baixada Norte, RH 7 – Vale do Itajaí, RH 8 – Litoral Centro, RH 9 – Sul Catarinense e RH 10 – Extremo Sul Catarinense. (Figura 3)

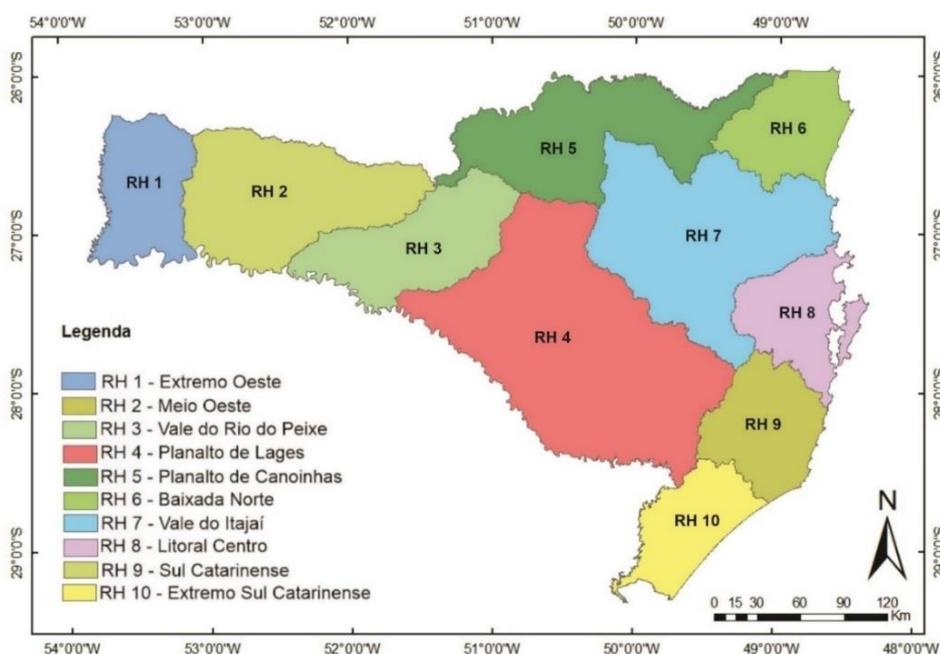


Figura 3 - Regiões Hidrográficas do estado de Santa Catarina. (Elaborado pela autora com base em Machado, 2012)

4.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga

Por Região Hidrográfica entende-se um conjunto de bacias que apresentam características físicas e hidrológicas semelhantes, dessa forma a RH Vale do Rio do Peixe é sub-dividida nas bacias do Rio do Peixe e do Rio Jacutinga, além das bacias contíguas anexadas para gestão dos recursos hídricos. (Figura 4)

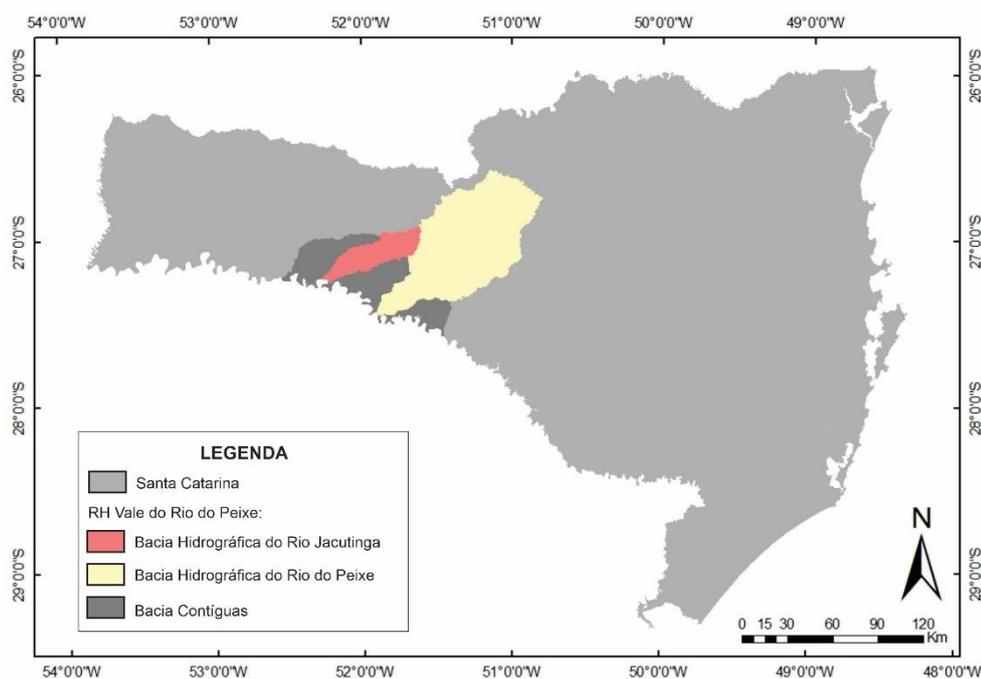


Figura 4 – Subdivisões da RH Vale do Rio do Peixe: Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga, Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe e Bacias Contíguas. (Elaborado pela autora com base em Machado, 2012)

O Rio Jacutinga caracteriza-se como um rio de 5ª ordem e atravessa a região central da bacia que leva seu nome, com área de drenagem de aproximadamente 1.000km². O município de Catanduvás está integralmente contido na bacia, além de porções dos municípios de Vargem Bonita, Irani, Lindóia do Sul, Ipumirim, Arabutã, Concórdia, Itá e Jaborá.

A Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga desenvolve atividades agroindustriais em larga escala, principalmente relacionadas à produção animal, a qual demanda grande quantidade diária de água de boa qualidade. Além disso, os períodos de estiagem, associados aos níveis de contaminação da água superficial, levam muitos

produtores a optar pela perfuração de poços, que de modo geral, garantem a sustentabilidade hídrica das propriedades rurais. (Comassetto, 2014)

De maneira geral, toda atividade econômica da região está baseada na criação de bovinos, na agroindústria e em ervateiras orientadas para mercados regionais (Santa Catarina/SDS, 2006), entretanto, destaca-se o município de Concórdia que abriga o polo de desenvolvimento da região.

Em escala estadual, a região oeste abriga a maior parte dos poços cadastrados na plataforma SIAGAS/CPRM. (Comassetto *et al.*, 2014; Machado, 2013) A bacia e demais áreas contíguas, contam com 2.477 cadastros, dos quais 62% estão em operação, 26% são considerados secos e os outros 12% sem informações suficientes ou desativados. A maior concentração de poços está localizada no meio rural dos municípios de Concórdia e Seara, que juntos somam 42% do total de poços.

Acompanhando a evolução populacional e econômica, o aumento da demanda por água comprometeu sua qualidade nos compartimentos superficiais. Por conta disso, os reservatórios subterrâneos - em especial o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) - passaram a ser intensamente explorados (Comassetto, 2013; Comassetto *et al.*, 2014). Na região destaca-se o uso de poços comunitários, ou seja, aqueles construídos com o fim de abastecer uma comunidade, sendo o mesmo mantido por suas associações (Comitê do Rio Jacutinga, 2016).

4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A região estudada pertence ao domínio das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná. A região está inserida na porção sul-sudeste da Bacia, próxima ao Domo de Vargeão e posicionada entre os arcos de Ponta Grossa e de Rio Grande, sendo acomodado, em parte, pelo depocentro da bacia. (Figura 5)

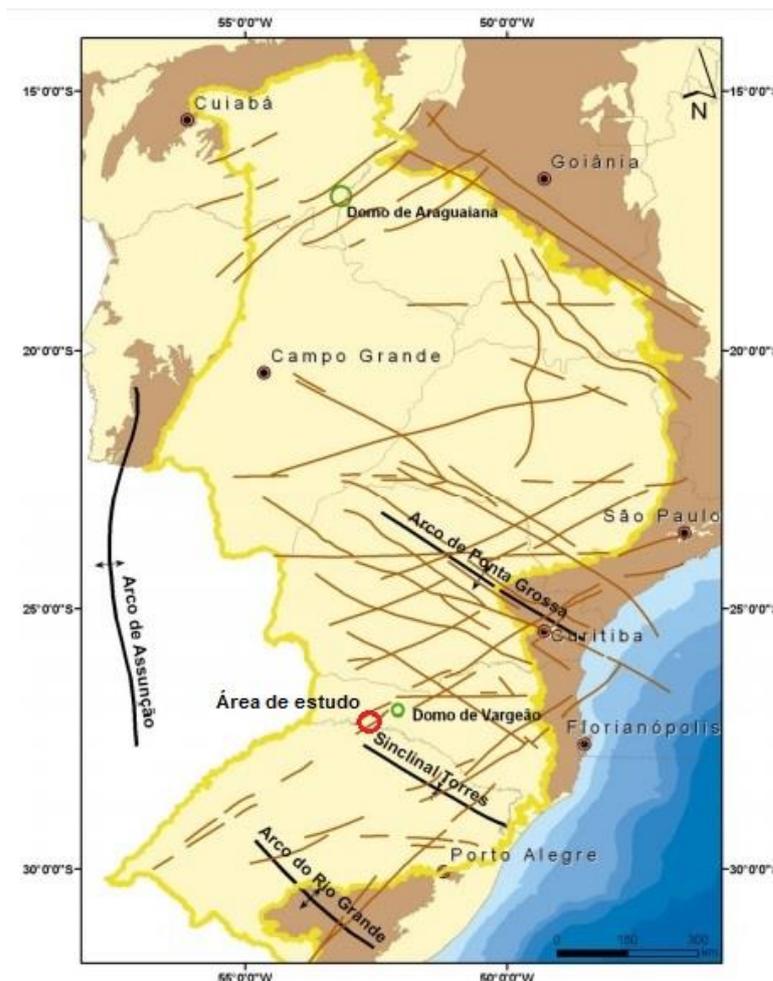


Figura 5 – Localização da área de estudo na Bacia do Paraná. (Modificado de Zalán et al., 1990 apud ANP, 2017)

A Bacia do Paraná é caracterizada por uma depressão alongada, de direção NE-SW sendo seu contorno atual definido por limites erosivos relacionados à história geotectônica meso-cenozoica do continente (Milani *et al.*, 2007). Com área total próxima a 1,5 milhão de quilômetros quadrados, é composta por rochas sedimentares e vulcânicas apresentando espessura máxima de 7,5 quilômetros (Milani, 1997). Abrange o nordeste da Argentina, leste do Paraguai, norte do Uruguai e porções do Brasil meridional (estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). (Zalán *et al.*, 1987)

Milani, 1997, dividiu o registro estratigráfico em seis unidades através da forma de pacotes rochosos, divididos por superfícies de discordância, e os classificou em seis supersequências: (1) Rio Ivaí, (2) Paraná, (3) Gondwana I, (4) Gondwana II, (5) Gondwana III e (6) Bauru. As três primeiras correspondem a grandes ciclos

transgressivos paleozóicos, enquanto as demais são representadas por pacotes de sedimentos continentais e rochas ígneas associadas.

A supersequência Gondwana III é formada a partir da associação de campos de dunas e eventos magmáticos, relacionadas ao início da ruptura do paleocontinente e consequente abertura do Oceano Atlântico Sul (Milani, 2007). Suas formações correspondem a pacotes de sedimentos continentais (Formação Botucatu) cobertas por rochas ígneas (Formação Serra Geral).

A Formação Botucatu é representada por arenitos médios a finos, com estratificação cruzada tangencial, caracterizando o campo desértico de grandes dunas eólicas que seria o deserto Botucatu. Pertencente ao supergrupo São Bento, em sua porção aflorante deposita-se diretamente sobre a Formação Rio do Rasto e na porção confinada, deposita-se localmente sobre a Formação Pirambóia (Wildner, 2014). No topo, encontra-se quase totalmente confinada pelas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral. Em Santa Catarina, aflora principalmente ao longo da escarpa da Serra Geral, do sul até o norte do estado (Wildner, 2014).

A Formação Serra Geral, inicialmente descrita por White (1908), agora chamada de Grupo Serra Geral por Wildner (2014), é caracterizada por espessos derrames e intrusões. Quanto as suas litologias, é formada por basaltos toleíticos, andesitos basálticos, riodacitos e riolitos (Peate *et al.*, 1992). O Grupo Serra Geral é subdividido por novas sete formações: Gramado, Paranapanema, Campos Novos, Chapecó, Palmas, Cordilheira Alta e Campo Erê (Wildner, 2014).

Na região estudada afloram as formações Campos Novos, Paranapanema, Gramado e Chapecó (Figura 6). A Formação Paranapanema predomina na região, e é formada por basaltos microgranulares e horizontes vesiculares espessos geralmente preenchidos por quartzo e carbonato, podendo apresentar cobre nativo. A Formação Campos Novos, no extremo sul da bacia, é muito semelhante, com vesículas preenchidas pelo mesmo material e uma alteração característica para jarosita. A Formação Gramado, aflorante na região nordeste, traz estruturas de fluxo e frequentes intercalações com rochas sedimentares. A Formação Chapecó diferencia-se das demais pois é composta de rochas ácidas, variando entre riodacitos e riolitos. Essas formações cobrem toda a área estudada com espessura média dos derrames variando entre 300m, no município de Itá, até 700m no município de Concórdia. (Freitas *et al.*, 2002).

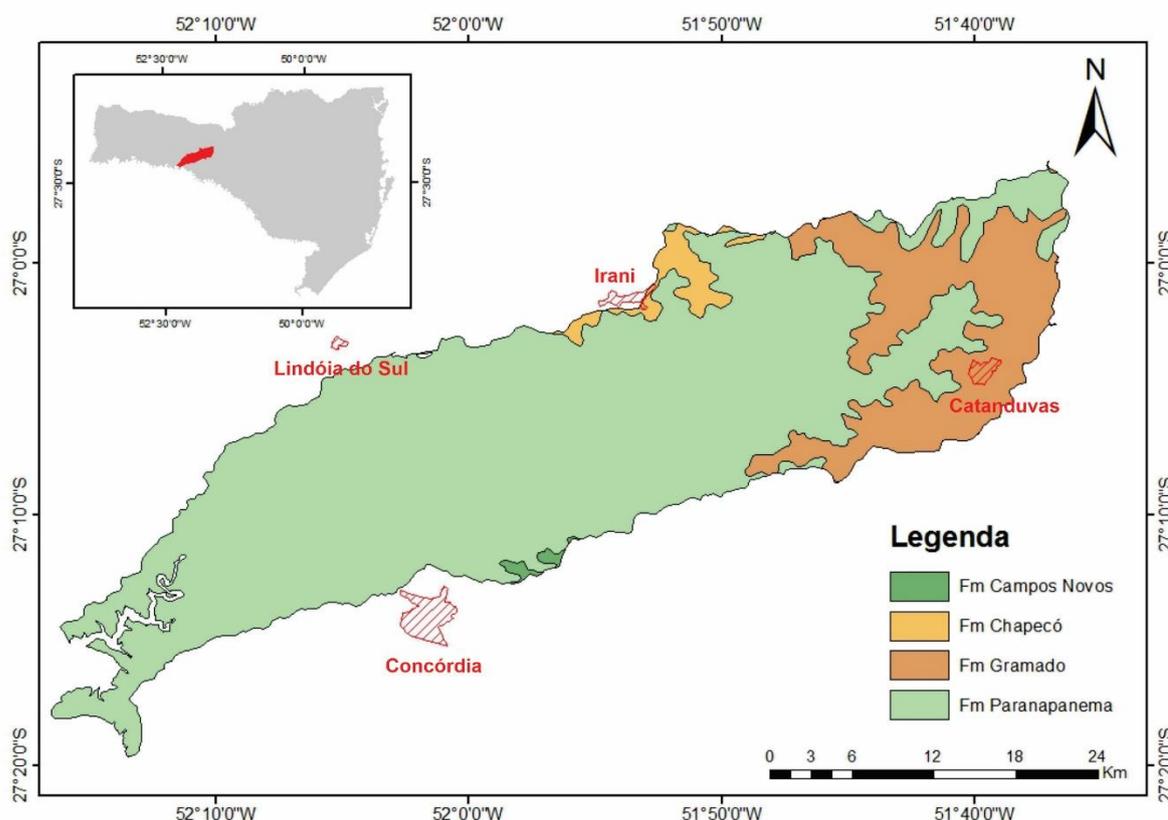


Figura 6 – Formações aflorantes do Grupo Serra Geral, na Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. (Elaborado pela autora com base de Wildner, 2014)

4.3 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Machado (2013) individualizou o estado em 16 unidades hidroestratigráficas que representam todos os domínios geológicos. Essas unidades são organizadas por características hidrodinâmicas, hidráulicas e hidroquímicas que as diferenciam entre si. São descritas em: Embasamento Cristalino, Campo Alegre, Itajaí, Mafra, Rio do Sul, Rio Bonito, Palermo, Irati, Serra Alta, Teresina, Rio do Rasto, Piramboia, Botucatu, Serra Geral, Alcalinas, Sedimentos Cenozóicos e por fim o Sistema Aquífero Guarani (SAG), que corresponde ao Sistema Botucatu/Piramboia. Nesse contexto, as melhores condições de ocorrência de água subterrânea no estado estão nas áreas de rochas vulcânicas, rochas sedimentares areníticas e nos aquíferos associados com os sedimentos cenozoicos litorâneos.

Machado (2013) destaca que as formações Pirambóia (não aflorante no estado) e Botucatu formam juntas o Sistema Aquífero Guarani (SAG) devido às suas

características de porosidade, permeabilidade, homogeneidade, continuidade e dimensões. Apesar de também abastecido pelo SAG em locais mais profundos, o SASG atrai maior interesse social e econômico devido sua expressão regional, tanto em superfície como em profundidade, e às suas condições de armazenamento e circulação da água (Freitas *et al.*, 2002).

4.3.1 Sistema Aquífero Serra Geral

O SASG é um sistema desenvolvido nas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, representado por aquíferos fraturados, localizado nas rochas vulcânicas, e aquíferos livres desenvolvidos e formados sobre o manto de alteração. Sua capacidade de armazenamento e transmissão está condicionada principalmente às estruturas tectônicas, à gênese de resfriamento e ao contato entre derrames (Rebouças, 1976). O SASG desenvolve-se nos derrames com condição de armazenamento e circulação da água, ou seja, entre as fraturas ou outras descontinuidades, com fluxos distintos espacialmente, motivo pelo qual este sistema é anisotrópico.

Para o estado do Paraná, o SASG costuma apresentar excelentes vazões com águas de boa qualidade. Embora sofra grande variação, a vazão tem em média $25\text{m}^3/\text{h}$ e capacidade específica de $2,46\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ (Athayde, 2013). Em uma caracterização na região nordeste do RS, Reginato & Strieder (2006) indicam que, dentre 283 poços analisados, 72,1% possuem vazões abaixo de $10\text{m}^3/\text{h}$. De acordo com o Mapa Hidrogeológico de Santa Catarina (Machado, 2013), na área de estudo o sistema aquífero se comporta com grande variação nos parâmetros. A vazão oscila entre $5,0$ e $40,0\text{m}^3/\text{h}$ e os níveis estáticos entre 5 e 30 metros.

A Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral, corresponde a 49,73% da área do estado de Santa Catarina, fazendo limite concordante com a Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, presente do centro para o litoral do estado. (Figura 7)



Figura 7 – Limite concordante entre as Unidades Hidroestratigráficas Serra Geral e Botucatu. (Modificado de Machado, 2013)

A gênese e estruturação dos derrames na área de estudo valorizam as propriedades hidrogeológicas do SASG. No topo dos derrames básicos é comum a ocorrência de autobrechas, que variam de centímetros a dezenas de metros, podendo interligar-se pelo sistema de fraturamento. Já na base dos derrames ácidos, como a Formação Chapecó, ocorrem sedimentos intertrápicos. O Projeto Oeste de Santa Catarina (PROESC) (Freitas, Caye & Machado, 2002), criado com o objetivo de avaliar a situação dos recursos hídricos subterrâneos da região, destaca que ambos os casos ampliam a capacidade de armazenamento e circulação da água, diferenciando-o de outros aquíferos fraturados.

Quanto ao contexto tectônico, Freitas *et al.* (2002) registram diversas áreas com alta densidade de lineamentos morfoestruturais, principalmente nas direções N30-50E e N40-60W, caracterizando a área da bacia do rio do Peixe como a de maior densidade de fraturamentos.

Scheibe & Hirata (2008) destacam aspectos tectônicos, como grandes falhamentos, que indicam ligações entre os Sistemas Aquíferos Guarani e Serra

Geral, e sugerem a nomenclatura de Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG). O resultado hidrogeológico dos falhamentos de grande porte é a formação de blocos que influenciam os fluxos subterrâneos de forma qualitativa, pois altera o posicionamento e relação entre os aquíferos (Descovi Filho, 2015) (Figura 8). Na região do Alto Rio Uruguai, no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, as condições potenciométricas e estruturas tectônicas de grande porte possibilitam em alguns pontos a interconexão dos dois sistemas aquíferos, que passam a funcionar como um sistema integrado (Freitas, Roisenberg & Andriotti, 2016).

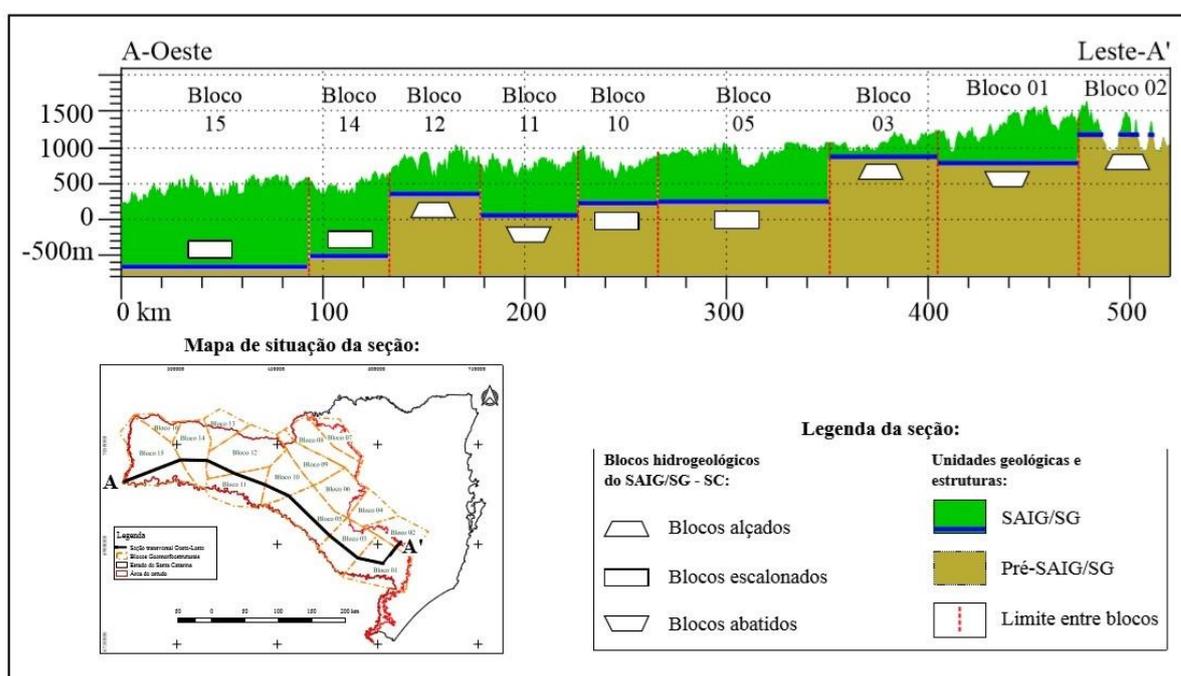


Figura 8 - Blocos hidrogeológicos do SAIG-SG. Área de estudo localizada no bloco 11: Jacutinga (Retirado de Descovi, 2015)

4.4 PRODUTIVIDADE DE AQUÍFEROS

Aquíferos fraturados são condicionados por diferentes fatores geológicos, ocasionando uma grande variação da potencialidade e um comportamento hidráulico de difícil previsão. Esses fatos atuam de forma variável, devido à grande influência da escala de observação e das características locais dos aquíferos. Meyjerink *et al.* (2007) citam trabalhos que relacionam a produção de poços com a direção de lineamentos e que os resultados são diversificados, havendo casos onde fica clara a

associação de poços mais produtivos com determinadas direções de lineamentos e outros onde este tipo de associação não é claro.

Quanto ao fator litologia, rochas metamórficas, básicas intrusivas, milonitos e outras associadas a grandes zonas de cisalhamento, são de menor potencial de produção quando comparados a granitoides, aplitos e pegmatitos (UNESCO, 1984). No entanto, Fernandes *et al.* (2005), em estudo no estado do São Paulo, obtiveram resultado em que gnaisses mostraram-se mais produtivos que granitos. O mesmo estudo ainda mostrou que a espessura do manto inconsolidado não exerce influência sobre a variação da produção de poços, e que sua produção sempre está vinculada a lineamentos, mesmo quando o aquífero explorado é o manto inconsolidado saturado (Fernandes, 1997). Nos basaltos as feições de resfriamento sub-horizontais abundantes e permeáveis podem corresponder como melhores feições de permeabilidade do que sua estrutura tectônica. (Fernandes & Rouleau, 2008).

A tectônica predomina como condicionante principalmente por controlar a circulação da água, gerando caminhos de percolação e controlando características geométricas das estruturas. A característica que exerce o maior controle sobre a condutividade hidráulica de fraturas, bem como a sua conectividade e a intersecção de lineamentos, é a abertura de falhas e fraturas. (Fernandes & Rouleau, 2008).

Em relação ao fator lineamentos, sua densidade não é necessariamente correlacionável à densidade de fraturas, pois sofre influência da morfologia do terreno e da presença de coberturas. Nota-se, de um modo geral, que a proximidade de lineamentos influencia positivamente a produção de poços. A análise desse elemento é uma forma direta de avaliar a influência de fraturas, com relação a aspectos tais como densidade, conectividade e trends estruturais. Fernandes (2006) correlacionou lineamentos com capacidade específica na região de São Paulo e encontrou dados mais produtivos para estruturas de orientação N10W-N5E.

No nordeste do Rio Grande do Sul as estruturas de orientação NE e NW são as principais, sendo os poços mais produtivos (>20m³h) relacionados a lineamentos noroeste (Reginato & Strieder, 2006). De acordo com Betiollo (2006), a potencialidade aquífera na região nordeste do RS não é diretamente relacionada com a densidade de lineamentos e nem com blocos tectono-estruturais da área, porém apresenta uma conexão com os lineamentos de médio porte a NE e especialmente a NW. Na Bacia do Rio Jacutinga as principais fraturas orientam-se NE e NW e há ocorrência de uma falha de direção N-70°-E (Freitas *et. al.*, 2002).

A avaliação da produtividade hidrogeológica de uma região, como uma bacia hidrográfica, pode ser realizada com base na avaliação de dados como capacidade específica, transmissividade, condutividade hidráulica ou vazão. Segundo Diniz (2012) a produtividade dos aquíferos de uma região, pode ser dividida em seis classes, dependendo dos valores dos parâmetros analisados (Figura 9).

Q/s (m ³ /h/m)*	T (m ² /s)	K (m/s)	VAZÃO (m ³ /h)	PRODUTIVIDADE (**)	CLASSE
≥ 4,0	≥10 ⁻⁰²	>10 ⁻⁰⁴	≥100	Muito Alta: Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destaquem em âmbito nacional.	(1)
2,0 ≤ Q/s < 4,0	10 ⁻⁰³ ≤ T < 10 ⁻⁰²	10 ⁻⁰⁵ ≤ K < 10 ⁻⁰⁴	50 ≤ Q < 100	Alta: Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.	(2)
1,0 < Q/s < 2,0	10 ⁻⁰⁴ ≤ T < 10 ⁻⁰³	10 ⁻⁰⁶ ≤ K < 10 ⁻⁰⁵	25 ≤ Q < 50	Moderada: Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.	(3)
0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ⁻⁰⁵ ≤ T < 10 ⁻⁰⁴	10 ⁻⁰⁷ ≤ K < 10 ⁻⁰⁶	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.	(4)
0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 ⁻⁰⁶ ≤ T < 10 ⁻⁰⁵	10 ⁻⁰⁸ ≤ K < 10 ⁻⁰⁷	1 ≤ Q < 10	Geralmente muito baixa, porém localmente baixa: Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.	(5)
<0,04	<10 ⁻⁰⁶	<10 ⁻⁰⁸	< 1,0	Pouco Produtiva ou Não Aquífera: Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimentos restritos ao uso de bombas manuais	(6)

Figura 9 - Quadro de distribuição das classes de produtividade de aquíferos. (Retirado de Diniz, 2012)

O uso da capacidade específica, para avaliação das produções, torna-se mais adequado que o de vazão, pois apesar do primeiro não ser um parâmetro exclusivo do aquífero, ainda apresenta melhor correlação com a transmissividade. (DAEE, 1982)

No mapa hidrogeológico de Santa Catarina (Machado, 2013), a área de estudo contempla a região de maior potencialidade do SASG, sendo subdividida em três zonas aquíferas (Figura 10). A zona aquífera mais explorada é considerada de boa produtividade, pois tem extensão regional e funciona como um aquífero livre a semiconfinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. Por apresentarem boa produtividade e se localizarem em áreas rurais e centros urbanos muito povoados, confere-se grande importância socioeconômica. Por esse mesmo motivo, são muito vulneráveis à contaminação. (Machado, 2013).

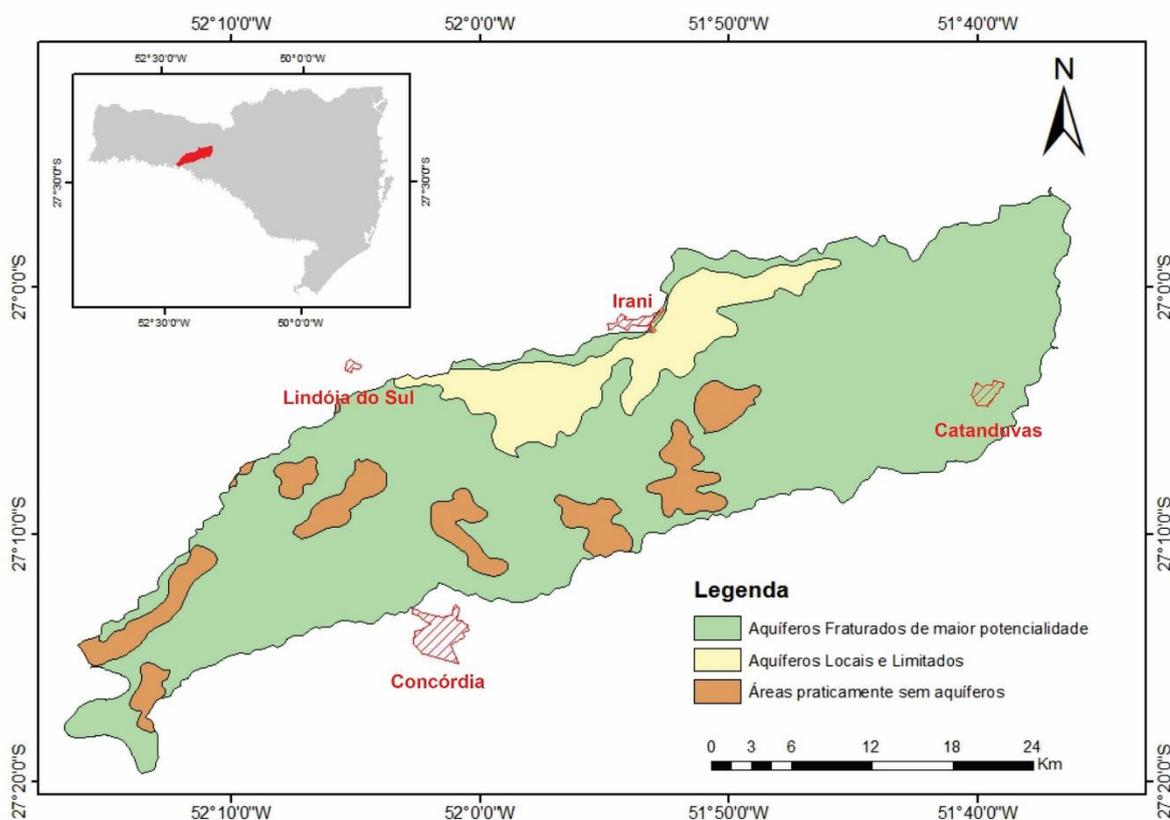


Figura 10 - Zonas aquíferas da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. (Elaborado pela autora com base de Machado, 2013)

A zona dos aquíferos pouco produtivos é raramente explorada, pois costuma apresentar vazões baixas (máxima de $3\text{m}^3/\text{h}$). Porém, é nesta zona que se registra a ocorrência de fontes, águas oriundas da infiltração, e de menor vulnerabilidade, visto que ocupa áreas de encosta. Por fim, as zonas não aquíferas são constituídas de aquícludes e aquífugos formados de basaltos em cristas ou ainda em talvegues de alta declividade, pouco propícios à infiltração de água. (Machado, 2013). Considerando as variações litológicas, estruturais e de profundidade, a produtividade dos poços dessa região tem maior relação com as fraturas existentes do que com a profundidade alcançada (Freitas *et al.*, 2002).

4.5 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA

As características hidrogeoquímicas das águas subterrâneas do SASG estão condicionadas pela litogeoquímica das rochas percoladas e por controles tectônicos, responsáveis pela comunicação entre diferentes sistemas aquíferos e as consequentes misturas das águas subterrâneas, sendo o padrão de estruturas deformacionais o condicionante de maior importância. (Reginato, 2003)

Caracterizado por Freitas, Roisenberg & Andriotti (2016) o SASG apresenta condutividade elétrica entre 117,35 e 378,5 us/cm e sofre forte influência de seu arcabouço estrutural. Para Boff *et al.* (2006), o pH das águas é em geral neutro e bem equilibrado, mantendo-se próximos de 7 e condicionado pelas concentrações de bicarbonato e carbonato. Conforme Hausman (1966) as águas subterrâneas de um aquífero livre possuem, em média, pH entre 6 e 9,5, dureza menor que 100mg/L, baixos teores de sólidos totais e alcalinidade média.

No meio oeste de Santa Catarina o controle estrutural condiciona muitas características hidroquímicas do SASG. A CE das águas atinge o valor máximo de 1.233 us/cm, enquanto o pH varia entre 6,5 e 11 (Freitas, Roisenberg & Andriotti 2016). Para Machado & Freitas (2000) as águas apresentam uma baixa salinização, o que é compatível com o tipo litológico predominante na área (efusivas basálticas), sendo que as águas de rochas básicas apresentam menor quantidade de sais das provenientes de rochas ácidas. Este sistema aquífero caracteriza-se por apresentar água com qualidade química boa para todos os fins: abastecimento doméstico e público, agrícola e industrial. O valor de STD geralmente é inferior a 500 mg/L. (Machado, 2013)

O PROESC, (Freitas, Caye & Machado, 2002) classificou as águas subterrâneas, por meio do uso do Diagrama de Piper, sendo que os resultados indicaram que a maior parte das amostras como águas bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas cálcio-magnesianas e bicarbonatadas cálcio-sódicas (Figura 11). O mesmo estudo não encontrou diferenças no comportamento hidroquímico dos poços pertencentes de derrames básicos ou ácidos.

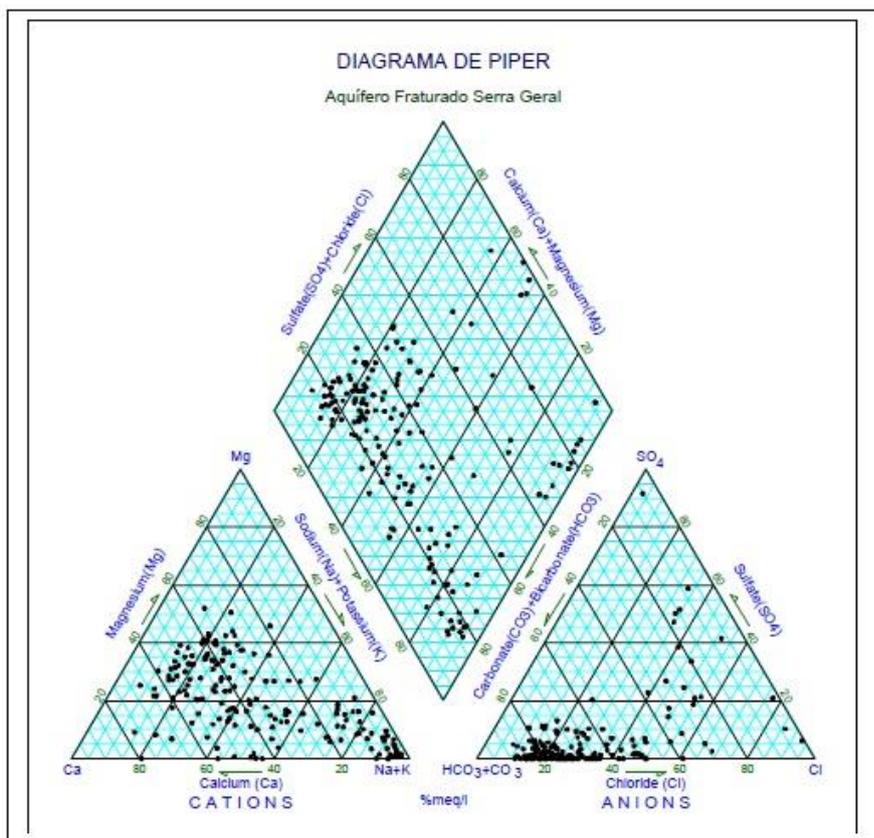


Figura 11 - Classificação da água subterrânea através do Diagrama de Piper. (Retirado de Freitas, Caye e Machado, 2002)

No estudo de Comassetto (2014), o pH foi o parâmetro que se apresentou alterado mais vezes, estando acima do limite estabelecido como ideal para consumo humano em 17% dos poços. Seu valor médio ficou em 8,05, e valor máximo em 10,54. Além disso, estão distribuídos ao longo de toda a área de abrangência da bacia, e parece não haver relação entre a localização do poço e as alterações observadas para este parâmetro. Uma menor parcela apresentou concentração de flúor acima dos limites máximos, entretanto menores que 2mg/L, concentração que pode causar fluorose dentária (Denbestein, 1999).

Testa (2017) classificou as águas do interior de Concórdia e Seara de acordo com o Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas (IQAS), em uma escala de Boa, Regular e Ruim, sendo as duas primeiras dentro dos VMP. O maior número de amostras problemáticas refere-se aos coliformes totais e E. coli, representando cerca de 75 % da frequência entre as variáveis problemáticas. O pH aparece em seguida por apresentar, principalmente valores muito alcalinos, embora presente

média 7,94. A partir do cálculo do IQAS, as águas foram classificadas em sua maioria como boas, sendo apenas 10% fora dos VMP.

Segundo Freitas, Caye & Machado (2002), o termalismo e a hidroquímica são diagnósticos da interligação entre o Aquífero Fraturado Serra Geral e os aquíferos subjacentes (Guarani). Sabe-se que as águas desses aquíferos têm características hidroquímicas variáveis e podem apresentar problemas de qualidade provocados por concentrações elevadas de elementos como ferro, manganês e, em alguns casos o fluoreto, além de micro-organismos patogênicos como coliformes (Freitas, Caye & Machado, 2002).

5 METODOLOGIA

5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES

A etapa inicial consistiu em revisar a bibliografia existente acerca dos conceitos gerais em hidrogeologia, informações geológicas e hidrogeológicas da região, leis que controlam os recursos hídricos no Brasil e no estado, entre outros estudos que envolvam o tema. O levantamento foi realizado através de artigos científicos, teses, o Plano Estratégico de Gestão Integrada da bacia, as publicações realizadas pelo Comitê Hidrográfico, além de dados técnicos fornecidos por empresas privadas.

5.2 INVENTÁRIO E CADASTRAMENTO DE PONTOS DE CAPTAÇÃO

O inventário de poços contou com dados coletados através do banco da CPRM (SIAGAS), do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e da empresa de perfuração Hidroani Poços Artesianos. Em etapa de campo foram cadastrados novos pontos de captação, bem como adicionadas informações aos poços já catalogados.

No total, foram cadastrados dados de 511 poços, organizados e classificados em tabelas *Excel* quanto sua localização, informações construtivas, condições geológicas e propriedades hidrodinâmicas. Além disso, um banco hidroquímico foi gerado com base em dados já existentes e alimentado com novas medições realizadas em campo.

Os dados armazenados e organizados nessa etapa foram utilizados para realizar a caracterização geológica, hidrogeológica, hidroquímica e avaliação do potencial do aquífero.

5.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Essa etapa iniciou com uma análise de mapas geológicos existentes para identificar as litologias da área, posteriormente aprimoradas em escala de campo a partir de visita em afloramentos. Foram interpretados perfis geológicos e construtivos cedidos pela empresa de perfuração Hidroani Poços Artesianos, bem como as descrições do SIAGAS. A interpretação dos dados encontrados foi realizada com o objetivo de identificar as litologias, derrames e principais estruturas da região.

Em etapa de campo foram visitados 18 afloramentos, os quais foram descritos quanto sua localização, litologia, estruturas de resfriamento e um levantamento das estruturas visando a identificação das mesmas.

A avaliação das estruturas foi realizada através da interpretação de orientação, densidade, frequência e comprimento dos lineamentos. Esses foram traçados no software ArcMap, com ajuda de imagens MDT-SRTM em uma escala 1:100.000. As imagens foram iluminadas artificialmente em azimutes 315° e 45° para identificar e anular possíveis lineamentos positivos.

Para análise da orientação dos lineamentos e estruturas de campo foram gerados Diagramas de Roseta no software Stereo32 e um mapa de densidade no software ArcMap, pela ferramenta de *LineDensity*, afim de demonstrar a razão entre o comprimento acumulado e a área das células.

5.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A caracterização do SASG foi realizada através da integração dos dados hidrodinâmicos, hidrogeológicos e hidroquímicos previamente catalogados. Através das análises estatísticas e gráficos de distribuição produzidos no *Microsoft Office Excel* foi possível identificar as variações de comportamento dos seguintes parâmetros hidrogeológicos e hidrodinâmicos: entradas de água (profundidade de ocorrência e quantidade), nível estático, capacidade específica e vazão. A avaliação também foi feita para poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani, em uma área ampliada, afim de abranger mais poços e melhorar a caracterização. Um mapa de topo do SAG foi elaborado no software ArcMap a partir do método de interpolação *Natural Neighbor*, escolhido por interpolar através da média ponderada dos pontos vizinhos e não extrapolar valores.

5.5 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA

Nessa etapa foram utilizados dados de pH, CE, STD e temperatura existentes no banco de dados, somados aos medidos em amostras de campo através da sonda multiparâmetro de modelo Eutech PCTestr 35. Os dados foram processados e analisados através de gráficos gerados no *Excel*.

A identificação dos principais tipos de água teve como base a análise e interpretação de análises físico-químicas que foram identificadas na etapa de inventário de poços. Além disso, durante a etapa de campo, realizou-se a coleta de 5 amostras de água, que foram analisadas pelo laboratório de análises físico-químicas do Centro de Ecologia da UFRGS, para os seguintes elementos: cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, alcalinidade, sulfato, ferro, manganês e fluoreto.

A classificação das características hidroquímicas foi realizada com base no uso de planilhas *Excel* e do programa *Qualigraf* (Mobus, 2002). Através do programa *Qualigraf* foram elaborados os diagramas de Piper e Stiff, para avaliar e classificar os diferentes tipos de águas que circulam pelo SASG, de acordo com seus íons dominantes: Na, K, Ca, Mg, CO₃, HCO₃, SO₄ e Cl.

Os resultados das análises ainda foram comparados com os valores máximos permitidos para consumo humano (VMP), de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação N^o5 (PRC N^o5), de 03 de outubro de 2017, do Ministério da Saúde. (Brasil, 2017). A comparação foi realizada para os elementos cloreto, ferro, fluoreto, nitrato e sulfato.

5.6 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

A avaliação da potencialidade foi realizada através da integração de todos os dados discutidos na etapa de caracterização, isto é, unidades litológicas e hidrogeológicas, informações estruturais, parâmetros hidrodinâmicos e a orientação e densidade de lineamentos.

A produtividade dos aquíferos foi baseada na classificação proposta por Diniz (2012). A metodologia classifica a produtividade em seis classes de acordo com o intervalo da capacidade específica, vazão, transmissividade e condutividade hidráulica do aquífero.

A correlação entre controle estrutural com a produção dos poços foi realizada através do cruzamento de mapa de orientação e densidade de lineamentos com a localização dos poços, distribuídos em suas classes de produtividade quanto a vazão e capacidade específica.

A elaboração de um mapa do potencial hidrogeológico foi gerado através do software ArcMap, integrando regiões que apresentam maior potencial à produção de água subterrânea, visando sugerir possíveis áreas para novas perfurações.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA

Através da realização do inventário e cadastramento de pontos de captação, a avaliação quantitativa permitiu caracterizar aspectos sobre o uso, situação e localização dos poços. No banco de dados final estão registradas informações de 511 pontos, sendo que apenas 154 desses (30,1%) continham todas informações citadas acima. A maior deficiência de dados é quanto as propriedades hidroquímicas dos poços, pois apenas 147 (28,7%) deles possuem dados de pH ou CE.

Além de poços tubulares, na pesquisa de campo também foram cadastrados uma fonte de encosta, e dois poços escavados, sendo que esses não são mais utilizados e não foram tamponados. (Figura 12) Os poços tubulares raramente apresentavam estruturas de proteção e não seguiam as normas 12244 da ABNT para construção de poços.



Figura 12 - Diferentes fontes de captação encontrados em etapa de campo: fonte de encosta, poço escavado e poço tubular. Fonte: Autora.

Apesar do município de Concórdia estar apenas parcialmente inserido na bacia, 22% dos poços estão perfurados dentro de seus limites, justificado por ser a maior cidade da região. A mesma concentração ocorre em Irani (21,3%), com menos de 1/7 da população de Concórdia, mas abastecida totalmente por água subterrânea através da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), além de possuir expressivo número de produtores subsidiados por grandes empresas. Catanduvas, único município totalmente integrado à bacia, possui cerca de 12% do total dos pontos de captação. A tabela abaixo (Tabela 1) mostra a relação dos poços conforme município pertencente e sua localização geográfica está indicada na Figura 13.

Tabela 1 – Distribuição das fontes conforme município

Município	Número de Fontes
Arabutã	27
Catanduvas	60
Concórdia	114
Ipumirim	41
Irani	109
Itá	24
Jaborá	62
Lindóia do Sul	41
Vargem bonita	33
Total	511

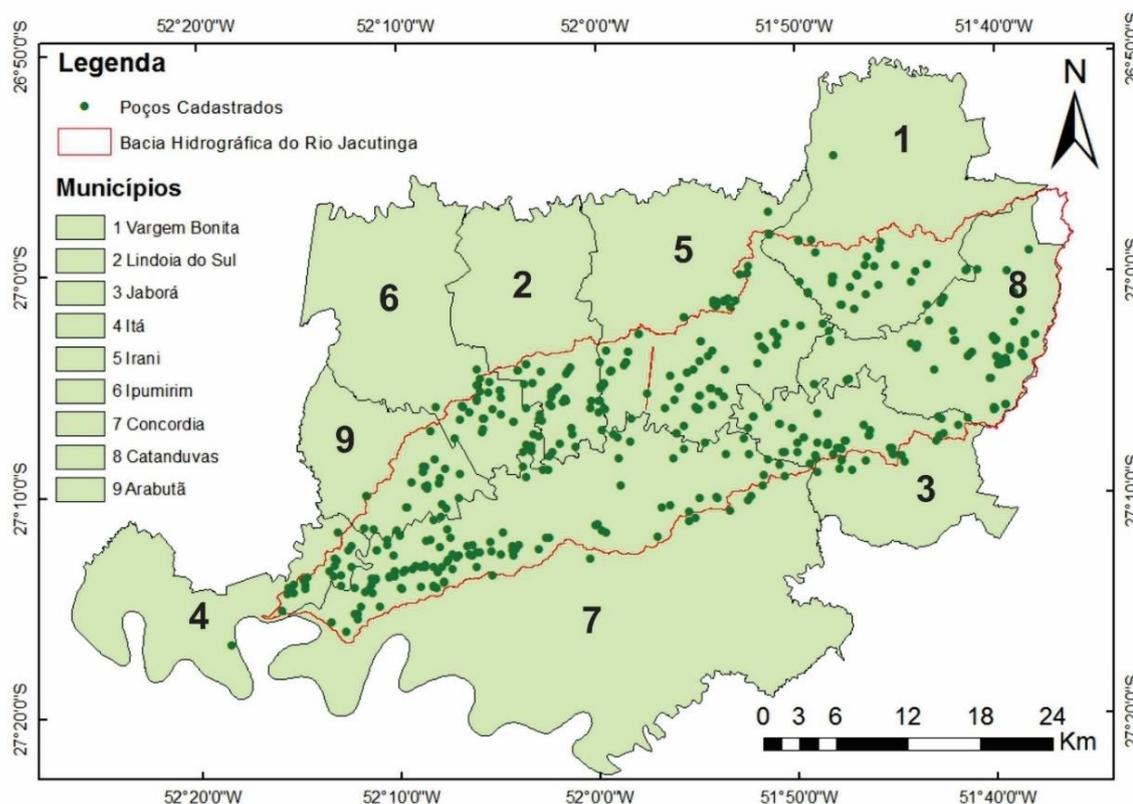
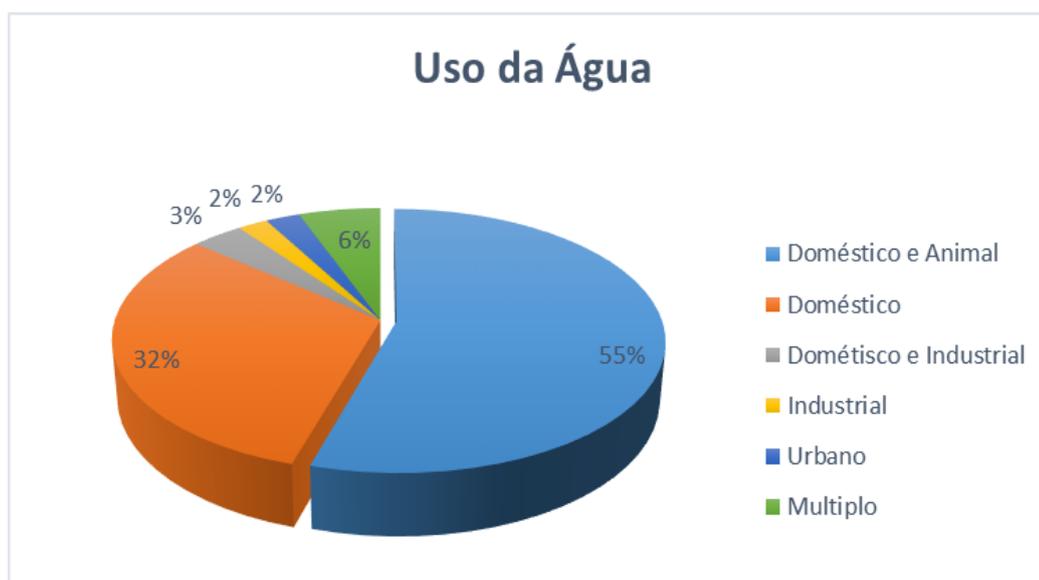


Figura 13 - Distribuição geográfica dos poços. Fonte: autora.

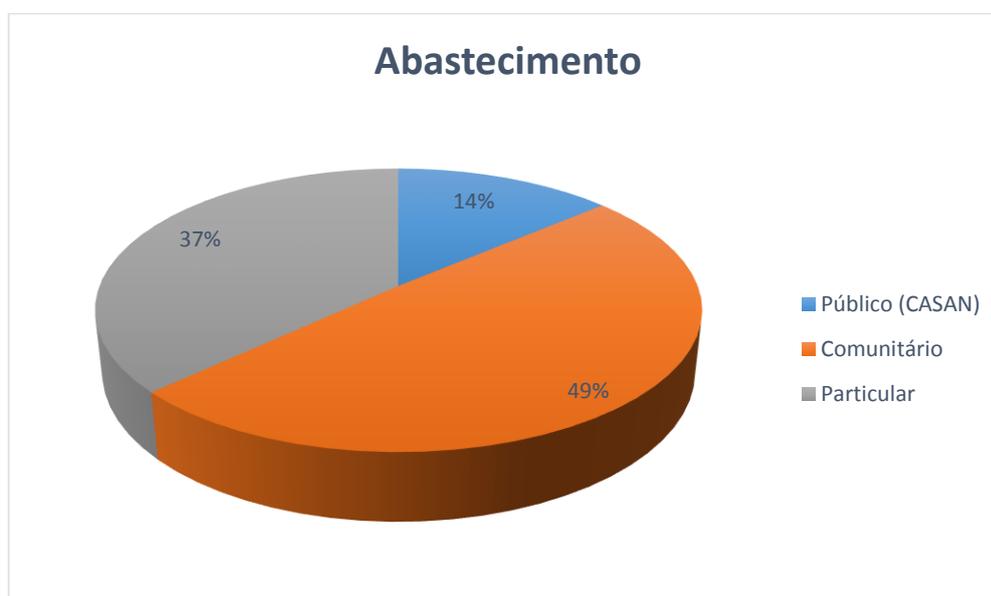
A distribuição geográfica também permite interpretar que os poços encontram-se predominantemente localizados nas áreas rurais dos municípios. Essa informação reflete na finalidade do uso da água, visto que para os fins de consumo humano, onde a rede pública não chega, e dessedentação animal, atividade econômica predominante no interior, somam juntos 87%. Os outros 13% dividem-se entre abastecimento industrial, urbano e múltiplo. (Gráfico 1) Da totalidade de poços analisados, 176 deles não possuíam informação (34%), entretanto foram retirados do gráfico para melhor correlação entre os usos.

Gráfico 1 - Relação do uso da água para cadastros com essa informação.



Uma característica particular da região são os poços comunitários, ou seja, aqueles construídos com o fim de abastecer uma comunidade e mantidos por sua associação. Através da análise do banco de dados algumas informações sobre o abastecimento da região podem ser inferidas, embora apenas 30% dos poços contenham essa informação. Entre os 146 disponíveis, 49% são comunitários, 37% particulares e 14% de propriedade da CASAN, responsáveis pelo abastecimento público. (Gráfico 2)

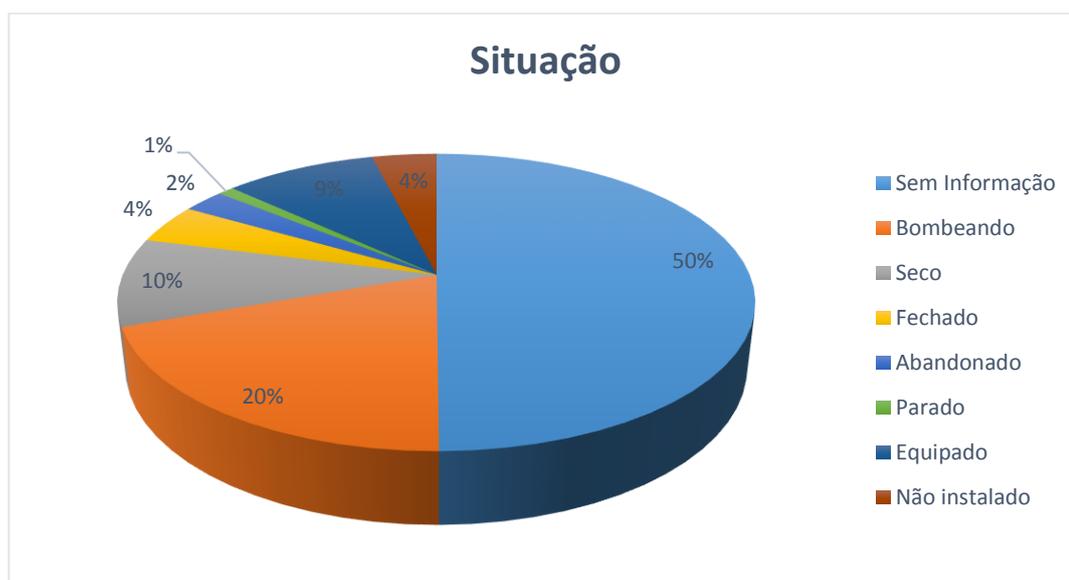
Gráfico 2 - Relação entre as formas de abastecimento.



Os poços comunitários abastecem um número variado de pessoas, como por exemplo, 15 na comunidade de São Miguel, no município de Jaborá, até 100 pessoas, na comunidade de Pedra Lisa, localizada em Catanduvás. Além de servir para o consumo humano dessas famílias, atende também suas atividades produtivas, como a Granja União, em Catanduvás e os aviários da Linha Serrinha, em Ipumirim.

Quanto a situação dos poços, 50% desses não possuem informação. Do restante, 20% está bombeando e 13% está em condições de iniciar a operação (equipados ou não instalados). Poços secos representam 10%, além de outros 7% divididos entre abandonados, parados e fechados por diferentes motivos. O Gráfico 3 apresenta a distribuição da situação dos poços cadastrados.

Gráfico 3 - Relação da Situação dos poços cadastrados.



A expressiva falta de informação dificulta a realização de uma gestão do recurso hídrico subterrâneo na região. A predominância de poços fora dos padrões exigidos pela Diretoria de Recursos Hídricos de Santa Catarina (DRH-SC), não permite sua regularização quanto aos órgãos fiscalizadores, o que minimiza a quantidade de conhecimento dos aquíferos locais.

6.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Durante levantamento de campo foram descritos 28 pontos conforme suas litologias e estruturas associadas. Percorreu-se 2 das 4 formações geológicas da área, permitindo a caracterização das diferentes unidades existentes. (Figura 14) Todos afloramentos apresentaram composição basáltica variando entre derrames maciços e fraturados, com zonas brechadas e com grande variação de altitude.

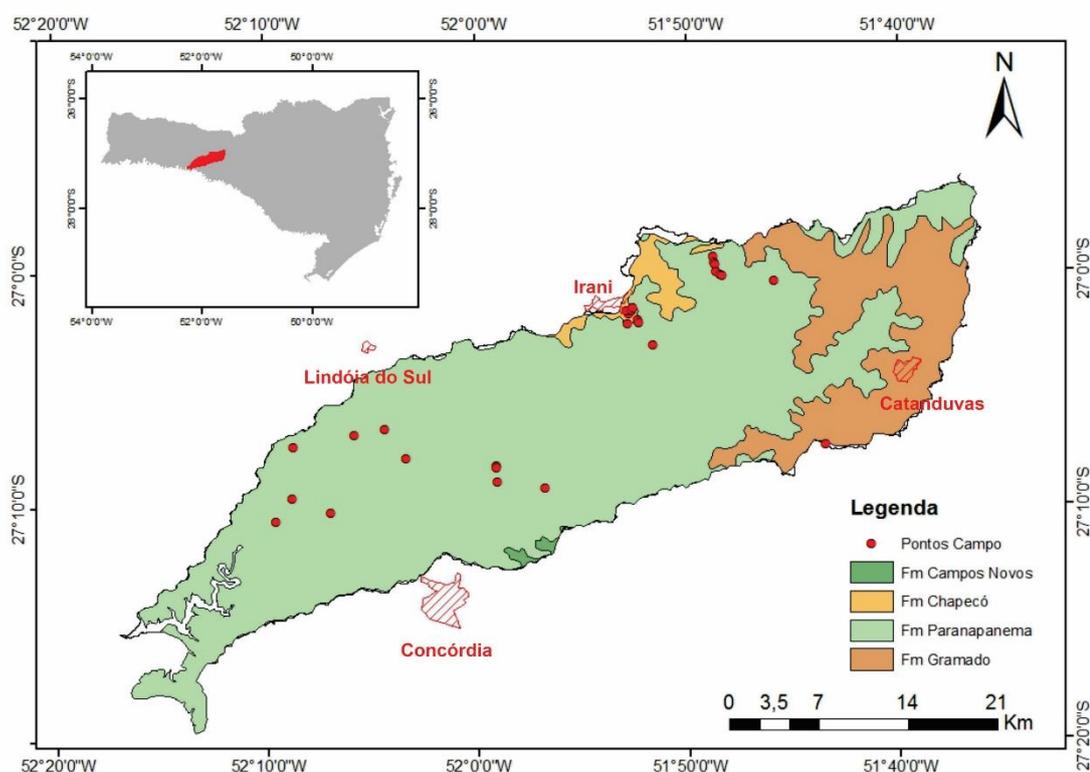


Figura 14 - Localização dos pontos descritos em campo no mapa geológico. (Elaborado pela autora com base em Wildner, 2014)

6.2.1 Formação Paranapanema

A Formação Paranapanema é a principal aflorante da região, ocupando toda porção oeste e central. É definida por basaltos microgranulares, de coloração cinza escuro, variando entre fraturados e maciços. Durante etapa de campo foram visitados 22 pontos em seus limites, com descrição similar a encontrada na bibliografia. Os derrames frequentemente apresentavam camadas com disjunção associadas às fraturas (Figura 15 e Figura 16).



Figura 15 – Afloramento de pedra. Espesso pacote com disjunção horizontal. Fonte: Autora.

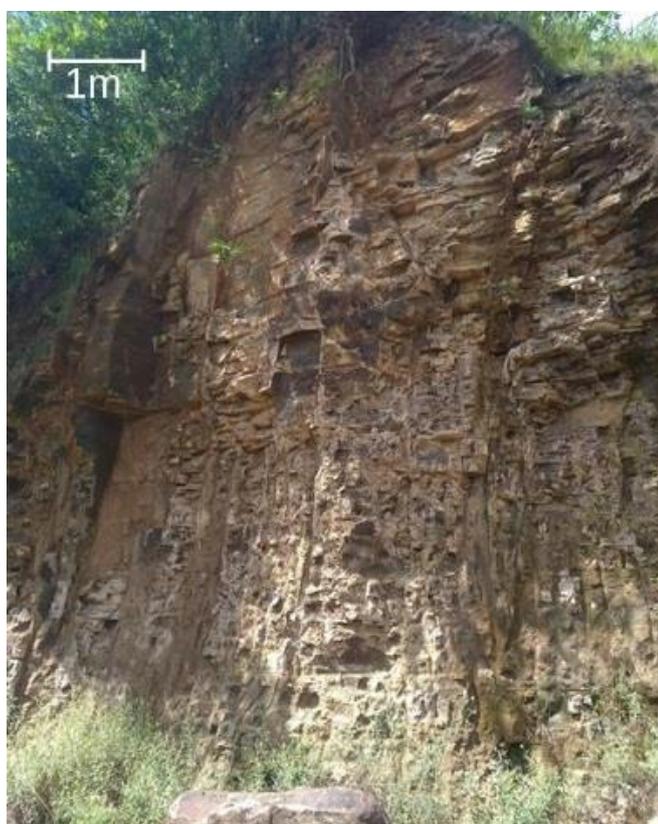


Figura 16 - Pacote com disjunção colunar e fraturas subverticais. Fonte: Autora.

Além disso, observou-se espessos pacotes brechados e alterados, normalmente nas zonas de contato entre derrames (Figura 17). As zonas brechadas frequentemente apresentavam amígdalas preenchidas por celadonita, quartzo, carbonato e alterações de Fe e Mn. (Figura 18)



Figura 17 - Pacote superior maciço em contato com brecha. Fonte: Autora.



Figura 18 – Detalhe de afloramento: amígdalas preenchidas. Fonte: Autora.

Os contatos entre derrames podem ser regiões estratégicas para a captação de água, visto que as estruturas horizontais facilitam sua circulação. Da mesma forma, as fraturas subverticais medidas em campo são fundamentais para o sistema de recarga do aquífero, pois se conectam ao manto de alteração e alimentam o sistema de fraturas. Essa relação foi encontrada em campo e estão demonstradas na Figura 19 e Figura 20.



Figura 19 –Contato entre derrames e circulação de água entre fraturas. Fonte: Autora.

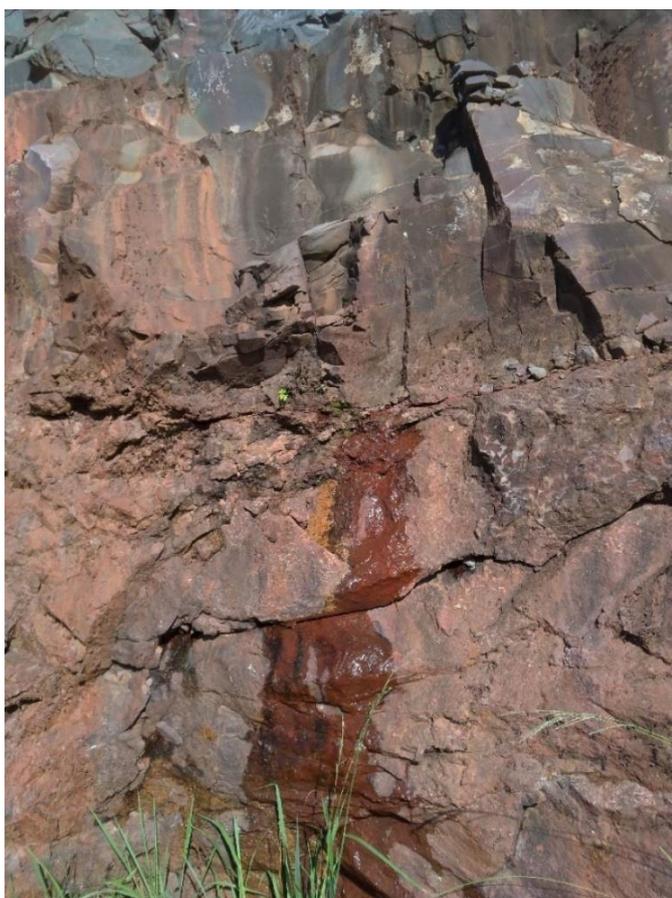


Figura 20 – Detalhe de afloramento: circulação de água entre contatos. Fonte: Autora.

6.2.2 Formação Chapecó

A Formação Chapecó diferencia-se das demais da região por ser composta por rochas ácidas e apresentar fenocristais de feldspatos imersos em uma matriz vítrea (Wildner, 2014). Entretanto, essa litologia não foi encontrada em campo. Os pontos inicialmente apresentados dentro da sua área estão próximos ao limite e são indicativos da Formação Paranapanema. Freitas, Caye & Machado (2002), descrevem um adelgaçamento da unidade Chapecó para oeste, não existindo registro na porção extrema da área, o que também justificaria a falta de rochas ácidas nos perfis construtivos dos poços da formação.

6.2.3 Formação Gramado

A formação Gramado, porção aflorante no nordeste da região, é descrita por frequentes intercalações com rochas sedimentares e derrames em forma de lóbulos. Em campo foi visitado um ponto, que se tratava de um corte de estrada, de coloração avermelhada e fortemente alterado. Observou-se o basalto com esfoliação esferoidal e formação de blocos e matacões. (Figura 21)



Figura 21 - Afloramento de corte de estrada da Formação Gramado. Fonte: Autora

6.2.4 Formação Campos Novos

A formação é descrita na bibliografia como basaltos microgranulares com amígdalas preenchidas por opala e jarosita (Wildner, 2014), entretanto não foi visitada em campo. O perfil construtivo abaixo refere-se ao poço de cadastro 4300003298 do SIAGAS, único encontrado nessa formação. É composto totalmente por basaltos, com uma entrada de água única aos 45 metros. (Figura 22)



Figura 22 - Perfil construtivo de poço localizado na Formação Campos Novos. Elaborado pela autora com base em SIAGAS/CPRM.

6.2.5 Avaliação estrutural

Para a caracterização estrutural foram interpretadas medidas feitas em estruturas de campo e os dados de lineamentos traçados (Figura 23). O diagrama de roseta, gerado através dos 423 lineamentos traçados em imagens MDT-SRTM, mostra uma distribuição predominante NW-SE. No quadrante noroeste predominam medidas no rumo N30-40W, com boa distribuição também no intervalo N40-60W. Já

no quadrante nordeste distribuem-se preferencialmente entre N60-70E e N80-90E. (Figura 24)

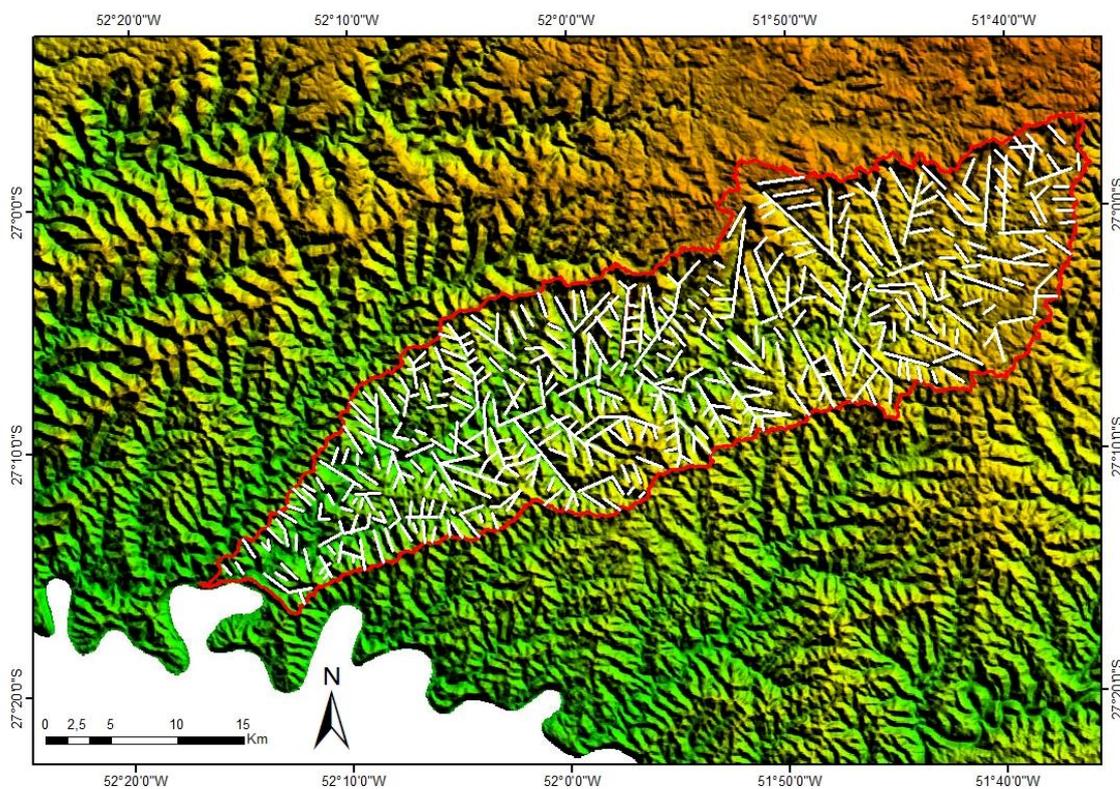


Figura 23 - Lineamentos traçados em imagens MDT-SRTM. Elaborado pela autora com base em Wildner, 2014.

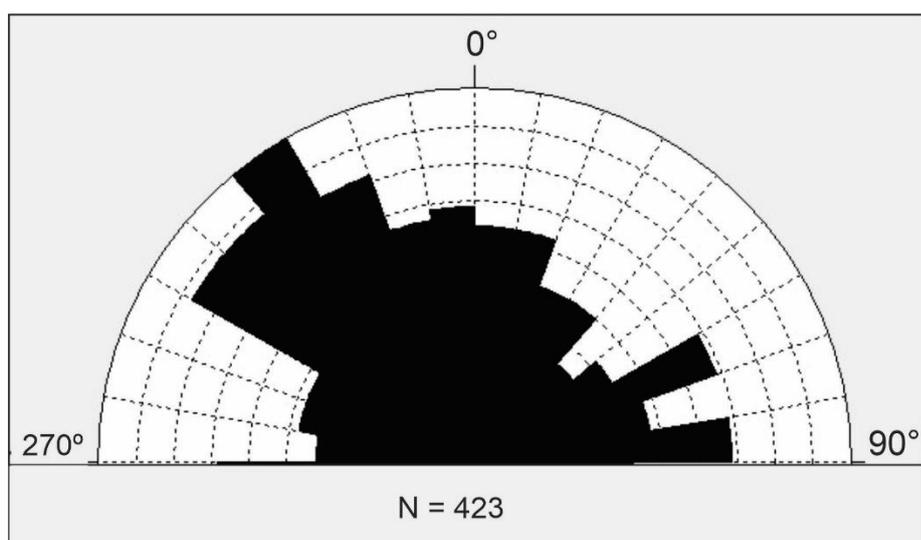


Figura 24 - Diagrama de roseta dos lineamentos

A alta densidade de lineamentos corresponde a regiões onde o basalto apresenta fraturamento mais intenso comparado à outras porções. Sendo assim, áreas com maior densidade de lineamentos representam locais onde ocorre probabilidade de fluxos mais intensos de águas subterrâneas. Entretanto, essa não é uma relação direta, pois ainda sofre influência da morfologia do terreno e da presença de coberturas. Na Figura 25, observa-se um predomínio de maior densidade na região centro-oeste da bacia, onde localizam-se os valores mais altos. A região leste é marcada pela variação entre zonas de baixa e média densidade.

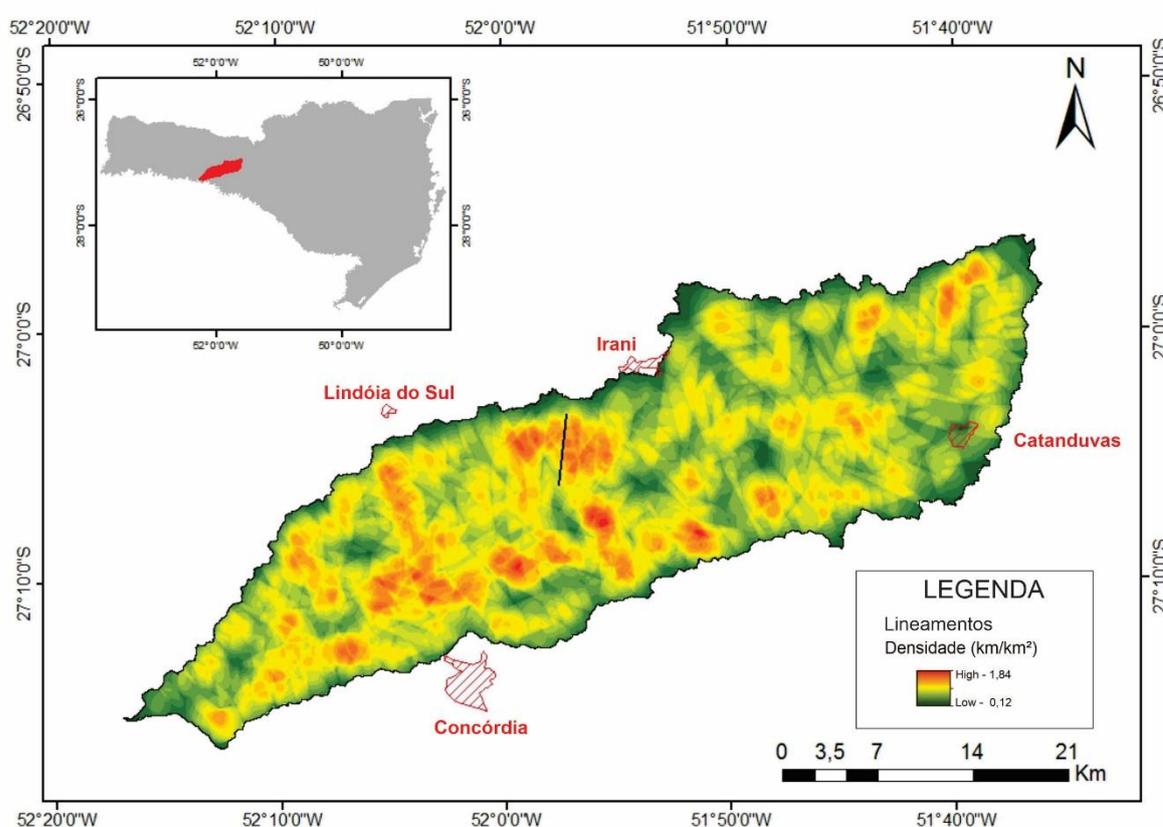
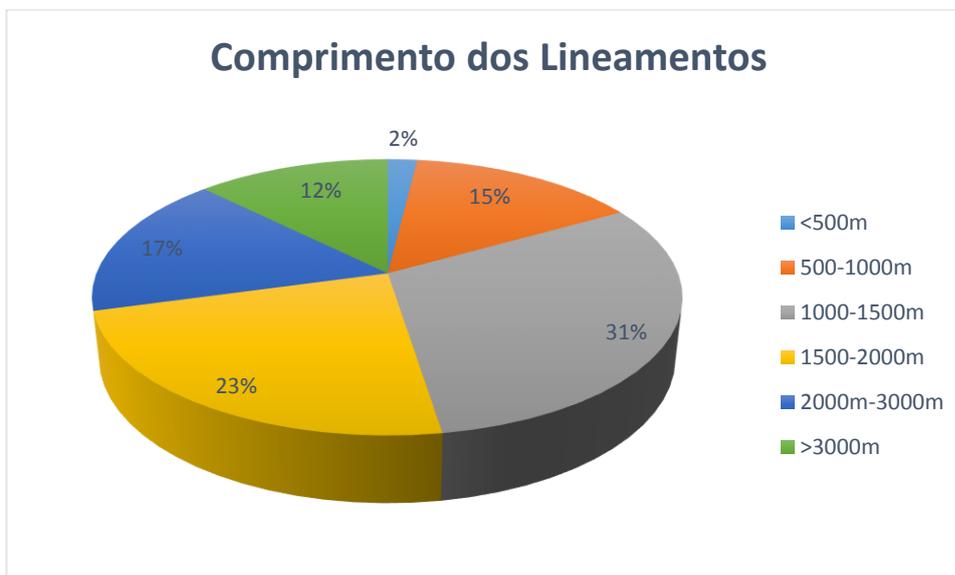


Figura 25 - Mapa de densidade de lineamentos. Elaborado pela autora.

Quanto ao comprimento, os lineamentos variam entre 300m e 8km, com frequência predominante entre 1000-1500m e 1500-2000m. Também são comuns em intervalos maiores que 2000 e menores que 3000 metros. (Gráfico 4)

Gráfico 4 - Frequência dos comprimentos de Lineamentos



Em levantamento de campo foram identificados e medidos 30 planos de fraturas, com mergulhos predominantemente sub-verticais e com orientação preferencial para N70-80E. (Figura 26).

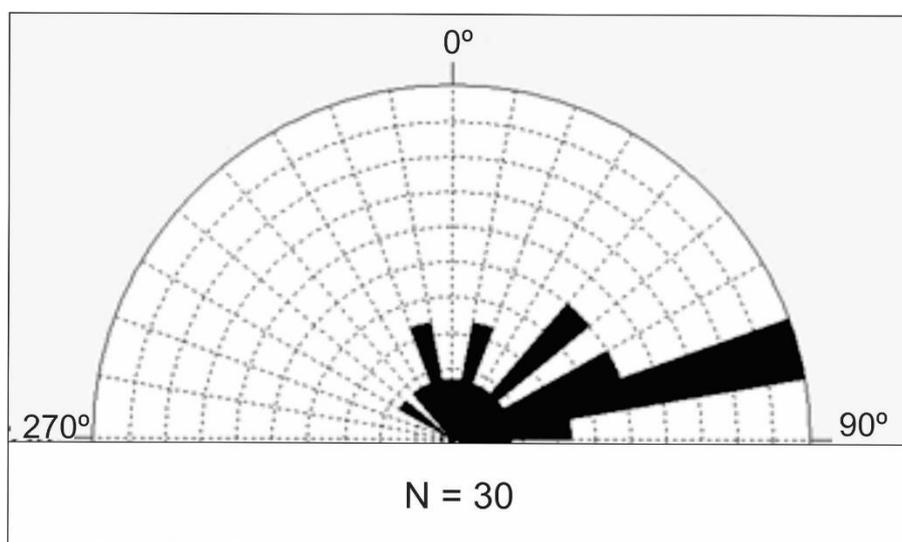


Figura 26 - Diagrama de roseta das estruturas de campo.

6.3 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A partir da análise dos poços tubulares cadastrados foi realizada a caracterização hidrogeológica da área de estudo. Considerando a área total dos municípios estudados, 6 poços captam água do SAG, entretanto apenas 2 deles estão dentro da área abrangida pela bacia (Figura 27).

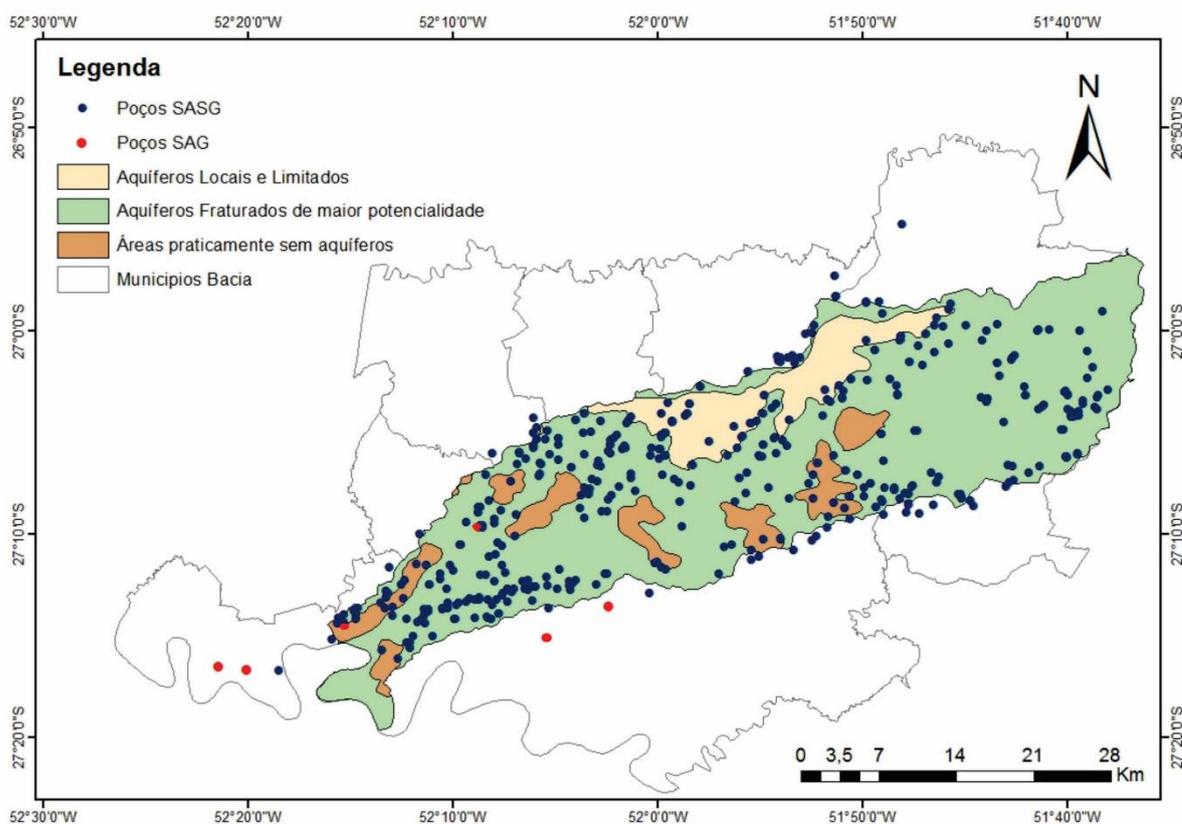


Figura 27 - Distribuição dos poços SAG e SASG cadastrados. Elaborado pela autora com base em Machado, 2013.

Nesta bacia, conforme avaliado por Amaral (2018), não se observa rupturas de declividade evidentes, indicando sistemas de falhas já erodidos e de difícil diagnóstico. Entretanto, é interpretado por Descovi (2015), que as falhas ao longo do bloco definiram patamares mais expostos à erosão, formando assim, vales extremamente dissecados e topos em forma pontiaguda. O resultado da evolução estrutural gerou um abatimento em relação aos blocos vizinhos, e consequente interação entre as camadas aquíferas.

A interpretação do mapa das cotas de topo da Formação Botucatu (Figura 28) permite identificar que ocorre movimento vertical dos blocos, havendo soerguimento gradativo para leste, com cotas altimétricas de até 300m de altitude. No bloco oeste, o aquífero está confinado em profundidades de até 900m abaixo do nível do mar, favorecendo a ocorrência de águas termais e encarecendo o acesso através de poços tubulares. A formação de blocos estruturais influencia também na relação entre os aquíferos pois altera seu posicionamento e fluxo subterrâneo.

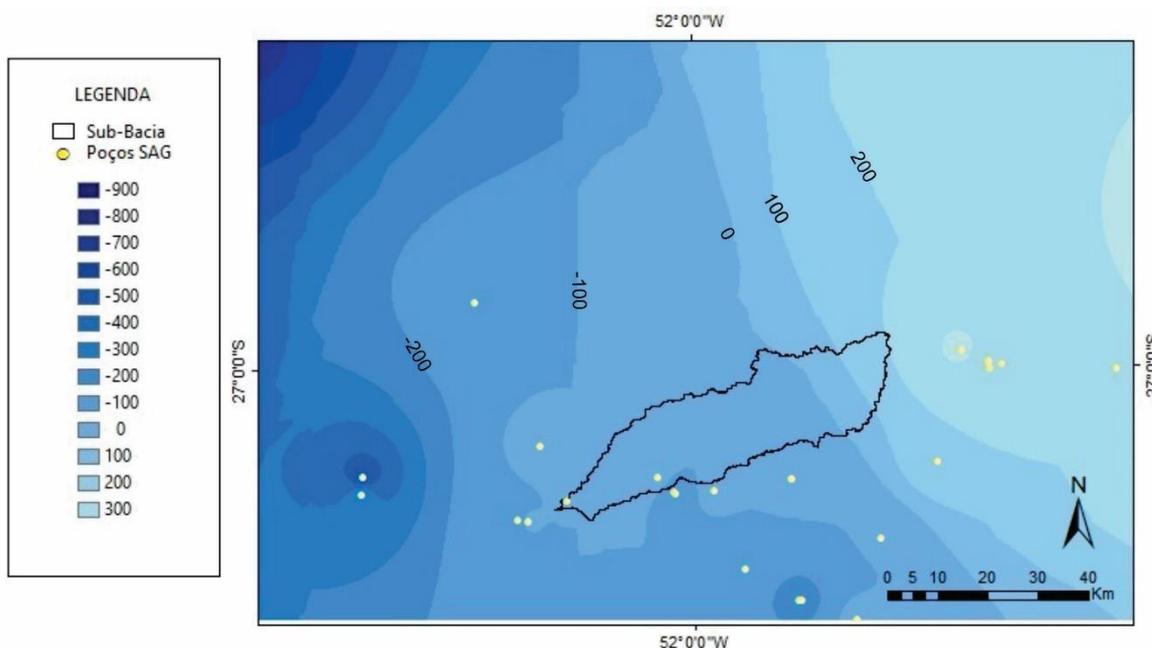


Figura 28 - Mapa de cotas de topo do SAG. Elaborado pela autora.

Um perfil A-B foi traçado a fim de avaliar a relação entre os sistemas aquíferos, bem como sua compartimentação estrutural (Figura 29). A feição apresenta grande amplitude topográfica, com variação entre 400 e 780 metros, resultado da ação dos falhamentos de grande porte.

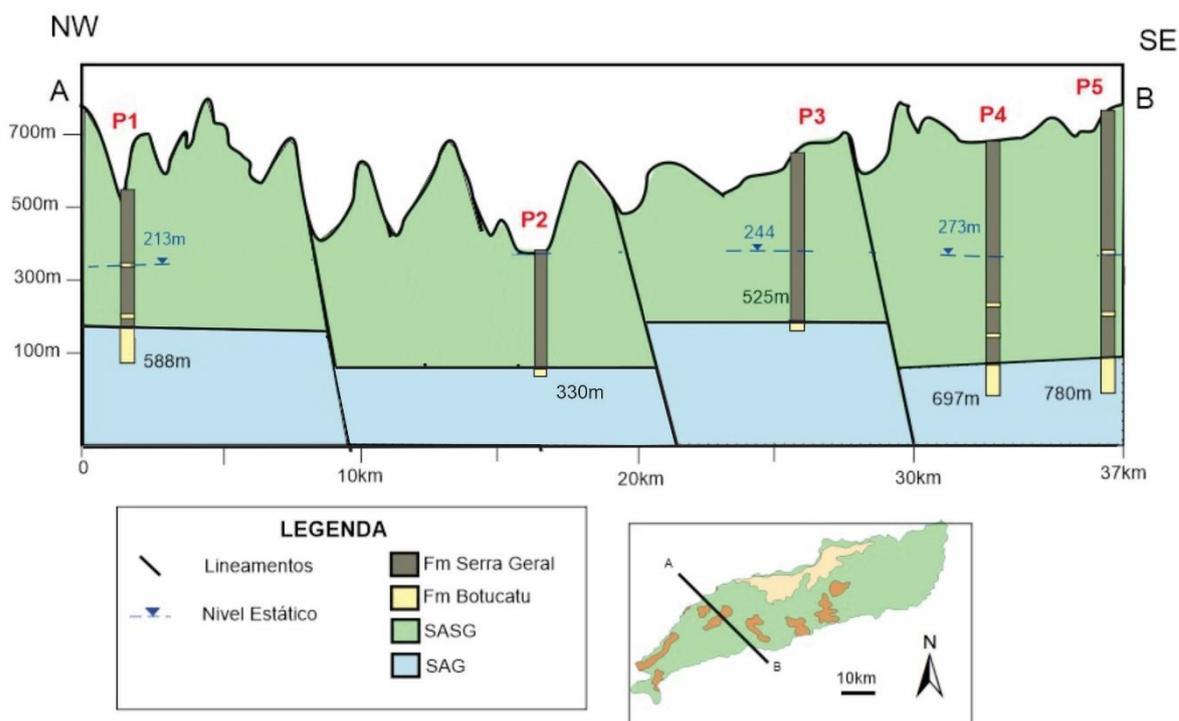


Figura 29 - Perfil esquemático dos blocos estruturais e a relação entre os aquíferos. Elaborado pela autora.

Os poços 1, 4 e 5 possuem perfis geológicos e construtivos que indicam o topo do aquífero em, respectivamente, 478, 633 e 646 metros de profundidade. (Tabela 2) Para o poço 2 a conexão com o SAG foi deduzida a partir de valores físico-químicos da água, visto que a condição geológica confere as águas do aquífero confinado maior tempo de residência, gerado em função do confinamento e das condições de fluxo. Dessa forma, acabam sendo mais mineralizadas, apresentando valores elevados de CE e STD. Para o poço 3, a profundidade foi inferida com base nos dados de NE e entrada de água, de profundidade característica do SAG.

Tabela 2 – Dados químicos dos poços do perfil esquemático

POÇO	pH	STD	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
1	9,30	360	748	27,3
2	8,58	601	847	
3				
4	8,72	441,4	679	29
5	8,24			27,4

Em todas amostras o pH apresenta valor básico, não esperado para águas restritas ao SASG, mas comum nos poços da região. Quanto à temperatura segue variações esperadas, aumentando conforme a profundidade, decorrente da pressão das camadas sobrepostas.

6.3.1. Sistema Aquífero Guarani

O SAG, na região oeste de Santa Catarina, divide-se em duas unidades hidroestratigráficas: Piramboia e Botucatu. Ambas são compostas por rochas sedimentares, predominantemente arenitos, que diferenciam-se por intercalações silticas e argilosas exclusivas da unidade Botucatu (Machado, 2013). Os perfis geológicos analisados apresentam variação entre arenitos argilosos à médios, argilitos e siltitos, com espessura entre 64 e 320m. Observa-se intrusões de diabásio, de até 5m de espessura, entre os pacotes sedimentares (Figura 30).



Figura 30 - Perfil construtivo de poço que capta água do SASG. Elaborado pela autora com base em SIAGAS/CPRM.

Devido a pequena quantidade de poços que captam água do SAG na bacia, os poços localizados nas proximidades foram acrescentados para uma melhor descrição do sistema aquífero. Dessa forma, foram avaliados 15 poços situados, além de Concórdia e Itá, nos municípios vizinhos de Seara, Presidente Castello Branco, Peritiba e Treze Tílias. Os dados estatísticos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados estatísticos de poços do SAG

	Profundidade (m)	Profundidade do topo do SAG (m)	Vazão (m ³ /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Nível Estático (m)
Máximo	924	633	195	4,058	273
Mínimo	480	400	54,77	0,714	106,7
Média	675	505,91	109,6	2,16	191,6
Desvio Padrão	129,63	65,544	46,8	0,9843	92,99
Mediana	697	497,5	95	2,012	177,2
Nº de Dados	15	13	12	11	9

Todos os poços possuem informações de profundidade, apresentando em média 675m. O poço mais profundo possui 924 e o mais raso 480, com desvio padrão de 129,63m e mediana em 697m. O topo do SAG é encontrado, em média, aos 505m de profundidade, variando entre 400 e 633m.

Quanto a capacidade específica, varia de 0,714 à 4,058, sendo sua média 2,16m³/h/m. A vazão média é de 113,6, com valor máximo de 195 e mínimo de 54 m³/h. Através da classificação de Diniz (2012), os valores médios de vazão são indicativos de aquíferos de produtividade muito alta, ou Classe 1, enquanto a média da capacidade específica reflete a Classe 2, que indica alta produtividade.

6.3.2. Sistema Aquífero Serra Geral

O SASG foi caracterizado através da interpretação de 509 poços localizados na área estudada. A análise dos perfis litológicos demonstra a presença de basaltos em todas as captações, frequentemente descritos como alterados e com zonas

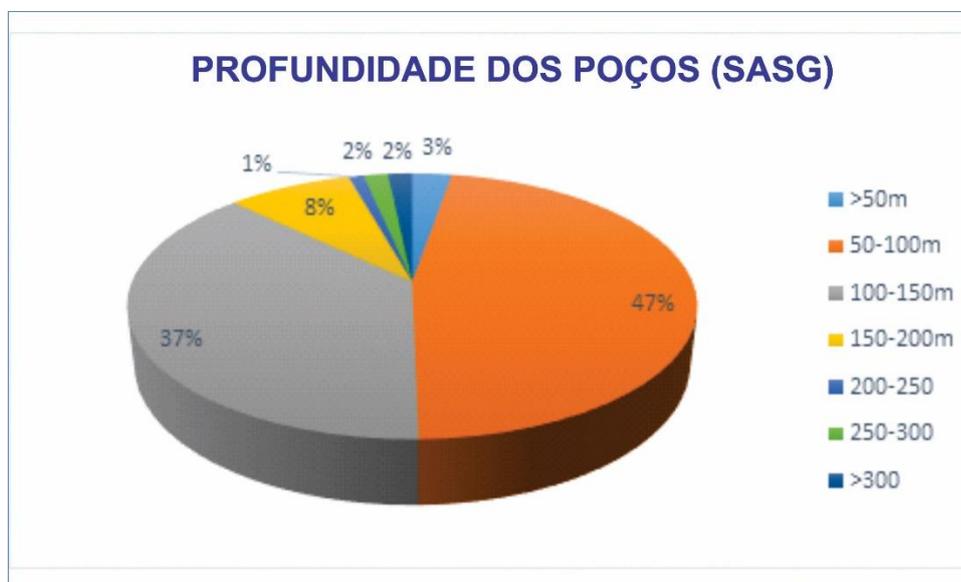
amigdaloides. Por vezes, os derrames basálticos estão intercalados com camadas sedimentares que variam entre 1 e 12 metros de espessura, e pacotes brechados, de até 30 metros. A Tabela 4 descreve os dados construtivos dos poços do SASG.

Tabela 4 - Dados construtivos dos poços do SASG

	Profundidade (m)	Profundidade da Entrada de Água (m)
Máximo	512	252,00
Mínimo	14	6,00
Média	113,46	54,17
Desvio Padrão	63,56	39,76
Mediana	101	43,00
Dados	485	132

O poço mais profundo possui 512 metros, e o mais raso 14 metros. A profundidade média está em 113 metros, sendo que 47% do total concentra-se entre 50 e 150m, enquanto 37% deles estão entre 100 e 150 metros e 8% entre 150 e 200m. Os extremos somam juntos 5%. (Gráfico 5)

Gráfico 5- Distribuição do intervalo de profundidade dos poços que captam água do SASG.



Em 118 poços a profundidade da entrada de água foi encontrada antes dos 100m, representando 90% do total de dados. As profundidades predominantes encontram-se entre 25 e 30m, intervalo onde está situada a média e mediana (54 e 43m). As entradas maiores que 200m ocorrem em apenas 1% dos poços (Gráfico 6). Esse comportamento evidencia que fraturas mais profundas acabam sendo fechadas pela pressão litostática, não permitindo a circulação da água.

Gráfico 6 – Distribuição da profundidade das entradas de água dos poços que captam água do SASG.



Quanto as entradas de água, também foram analisadas a quantidade de ocorrência. Em 66% dos poços apenas uma entrada estava descrita, em 24% havia duas, em 7%, 3 entradas, e apenas 3% com 4 entradas. (Gráfico 7). A presença de mais de uma entrada de água em um mesmo poço está relacionada com o grau de fraturamento ou alteração da rocha, bem como com as estruturas e sequências de derrames que o poço interceptou. Dessa forma, a quantidade de entradas varia em função da quantidade de estruturas que o poço interceptar.

Gráfico 7 – Distribuição da quantidade de entradas de água dos poços que captam água do SASG.



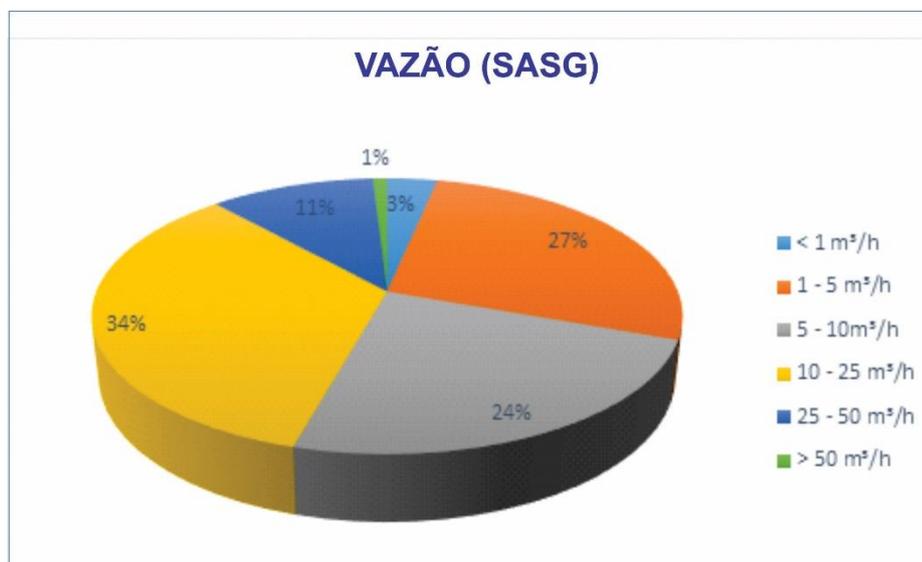
Apesar de, se comparado ao SAG, apresentar valores inferiores de capacidade específica e vazão (Tabela 5), a expressiva quantidade de poços evidencia que é a alternativa mais utilizada para o abastecimento na região, pois atende a demanda de quantidade e finalidade de água.

Tabela 5 – Dados estatísticos de poços do SASG

	Vazão (m ³ /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Nível Estático (m)
Máximo	55	8,25	175,50
Mínimo	0,3	0,005747	0,4
Média	10,56	1,086	13,97
Desvio Padrão	9,76	1,6988	23,77
Mediana	7,35	0,4285	5,00
Dados	427	151	193

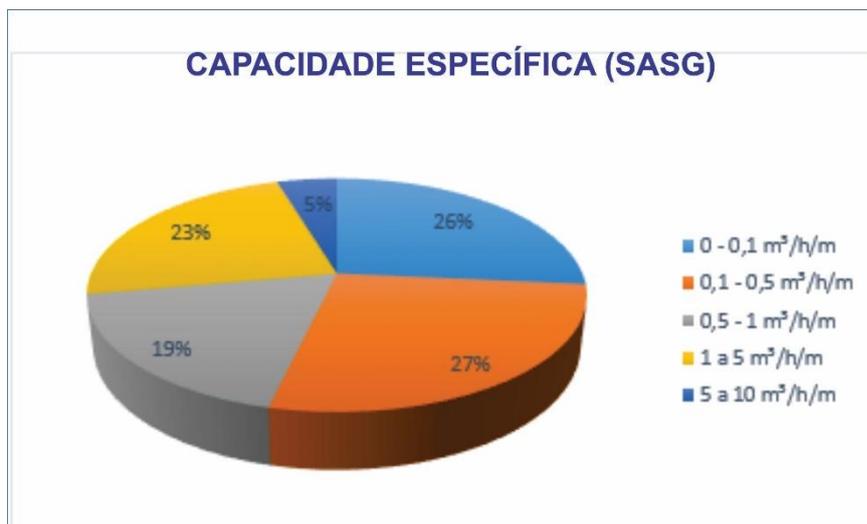
A vazão média é de $10,5\text{m}^3/\text{h}$, com valor máximo de 55 e mínimo de 0,3. Observa-se que 85% dos poços bombeiam entre 1 e $25\text{m}^3/\text{h}$, sendo desses, 34% entre 10 e 25, 27% entre 1 e 5 e 24% entre 5 e $10\text{m}^3/\text{h}$. (Gráfico 8)

Gráfico 8 - Distribuição dos intervalos de vazão do SASG.



Quanto a capacidade específica, a média é de 1,086, com mínimo 0,005747 e máxima de $8,25\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Predomina no intervalo de 0,1 até $0,5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, ocorrendo em 27% dos poços, porém possui distribuições similares nos intervalos de até 0,1 (26%) e de 0,5 à $1\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ (19%), variação esperada por se tratar de um aquífero heterogêneo e anisotrópico (Gráfico 9). Por ser um parâmetro que exprime a capacidade de produção dos poços, sendo esta atrelada as características dos aquíferos fraturados (contatos entre derrames, ao grau de fraturamento da rocha e da conexão entre essas estruturas) são comuns valores baixos como os encontrados. Apresenta padrão similar ao observado por Machado & Freitas (2013), quando determinadas pelos testes de vazão, indicavam valores médios de $0,92\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo a maioria até $0,5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Gráfico 9 – Distribuição dos intervalos de Capacidade Específica do SASG



Quanto ao nível estático, está localizado em média aos 14 metros. Entretanto, 50% deles concentram-se antes dos 5m (Gráfico 10). O nível estático nos poços está relacionado com a pressão que a água sofre enquanto circula pelo sistema de fraturas. Ou seja, em função dessa pressão, a água se eleva acima da entrada de água identificada. Aquíferos onde o nível apresenta-se tão raso tendem a ser mais vulneráveis à contaminação, principalmente antrópica, pois ocorre a circulação da água entre o freático e o aquífero. Com o predomínio das áreas rurais na região, os produtos usados na agricultura, e até mesmo o esgoto sanitário, são possíveis contaminantes. Níveis mais profundos, entre 10 e 50, e 50 e 100 metros, apresentam-se em 29 e 17% dos poços, respectivamente.

Gráfico 10 - Distribuição dos intervalos de Nível Estático do SASG.



6.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA

A caracterização hidroquímica foi realizada através da avaliação dos parâmetros pH, CE, STD e de temperatura disponíveis no banco de dados, além de medições em campo realizadas por uma sonda multiparâmetro

6.4.1. Sistema Aquífero Guarani

Dos poços que captam água do SAG, o pH apresenta padrão alcalino, com média de 8,83. A condutividade elétrica média é de 711 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto os STD apresentam concentrações entre 405 e 1023mg/L. De acordo com o Código das Águas Minerais (Brasil, 1945), são classificadas como águas termais 10 das 12 amostras observadas, variando entre hipotermiais a mesotermiais, com valor médio de 28°C. O valor máximo de 36°C, encontrado no município de Presidente Castello Branco, encontra-se no limite entre fontes meso e isotermiais. (Tabela 6)

Não foi possível realizar a análise e classificação das águas do SAG através de diagramas Piper e Stiff, pois não haviam dados disponíveis suficientes dos constituintes maiores das águas.

Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos do SAG

	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)	T (°C)
Máximo	9,4	1130	1023	36
Mínimo	8,4	234	450	23,1
Média	8,83	711,25	619	28,08
Desvio Padrão	0,344	293,48	243,14	3,38
Mediana	8,77	713,75	575	20
Nº Dados	8	6	7	12

6.4.2 Sistema Aquífero Serra Geral

Os parâmetros químicos das águas do SASG representam a maior deficiência quanto aos dados totais da bacia. Menos de 25% dos poços apresentam dados de pH e CE, e apenas 6% de STD. Seus valores estatísticos estão descritos na Tabela 7.

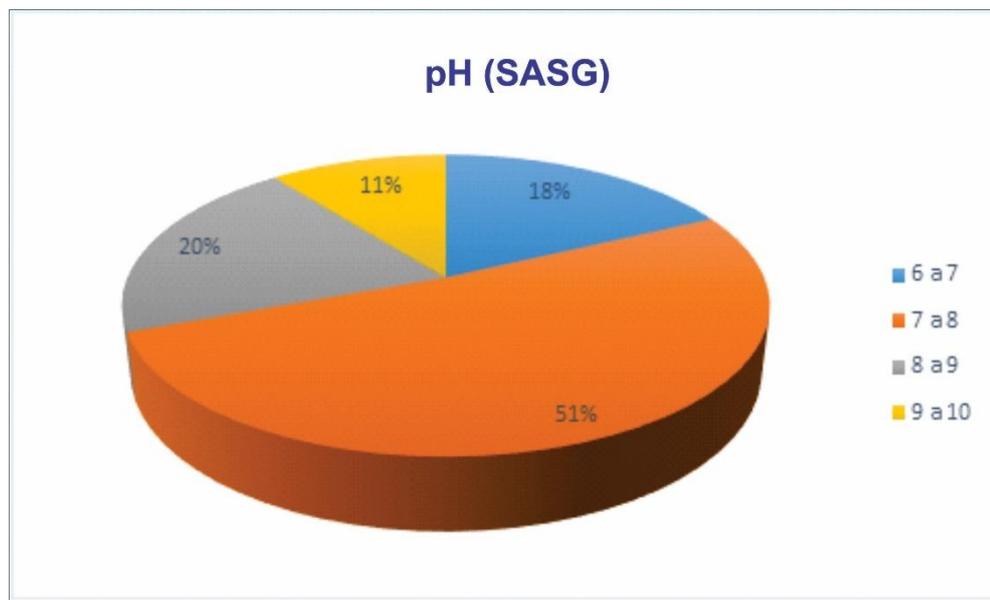
Tabela 7 – Parâmetros físico-químicos do SASG

	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)	T ($^{\circ}\text{C}$)
Máximo	10,1	365	300	24,5
Mínimo	6	33	101,5	17,1
Média	7,60	187,23	233,45	20,07
Desvio Padrão	0,85	86,19	133,98	1,411
Mediana	7,4	171,5	190	20
Nº Dados	123	115	33	108

Foram obtidos dados de pH em 123 poços, que variam entre 6 e 10,1, com média de 7,66. Em estudo realizado no município de Concórdia, com base em 32 amostras, o pH médio observado foi de 7,8. (Matthiensen & Oliveira, 2014) Em outro, abrangendo toda Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e a partir de 99 amostras, o pH mostrou-se com média de 7,94. (Testa, 2017)

Observa-se que 51% dos valores de pH concentram-se entre 7 e 8, 20% entre 8 e 9 e 18% entre 6 e 7. (Gráfico 11) Os valores mais alcalinos representam 11%, que podem ser influenciados pela presença de carbonatos preenchendo amígdalas e fraturas, além de ser comumente atribuídos a águas subterrâneas com influência do SAG, sendo um dos principais indicadores para evidenciar uma possível mistura (Portela Filho *et al.*, 2005).

Gráfico 11 – Distribuição dos valores de pH do SASG



Quanto a CE, a média encontrada é de 187,23 e mediana de 171,5. O valor mínimo, 53 $\mu\text{S}/\text{cm}$, refere-se a uma fonte de encosta, enquanto o valor máximo é de 365 $\mu\text{S}/\text{cm}$, referente a um poço de 120 metros, em Concórdia. Observa-se que a maioria dos valores estão entre 100 e 150 (32%), e que apenas 15% são maiores de 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Gráfico 12) As águas com condutividade elétrica menor que 100 apresentam-se em 6% dos casos, e conforme observado por Machado & Freitas (2016), representam zonas onde a recarga ocorre exclusivamente por precipitação pluviométrica. Os valores médios assemelham-se aos encontrados por Freitas, Roisenberg & Andriotti (2016), quando observado em 7.620 amostras, apresentou média de 192,56 e mediana 167,00. Segundo os mesmos autores, os valores de background encontrados estão entre 117,35 e 378,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que os valores superiores são considerados anômalos e podem sugerir mistura de águas.

Gráfico 12 – Distribuição dos valores de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) do SASG.

Em relação aos STD, apenas 33 poços continham essa informação. A concentração varia entre 101 e 300 mg/L, com média de 233. Apesar da pequena quantidade de dados, corresponde aos dados encontrados pelo PROESC (Freitas, Caye & Machado, 2002), onde as águas apresentaram uma mineralização média de 239,2 mg/L.

Em 108 poços observados, a temperatura variou entre 17,1 e 24,1, com valor médio de 20,07°C. Temperaturas maiores, classificadas como termais, poderiam indicar a relação de mistura com as águas do SAG.

Diagramas de Piper e Stiff foram gerados afim de classificar o tipo químico das águas do SASG através de 5 coletas feitas em campo e 12 obtidas no SIAGAS. Dessas, 14 não apresentavam erro no balanço iônico e foram utilizadas na interpretação. A Tabela 8 descreve os valores estatísticos dos íons utilizados para a classificação das águas.

e compreendem as águas de menor tempo de residência ou circulação. Em menor número ocorrem águas bicarbonatadas sódicas que apresentam semelhança com as águas do SAG indicando processos de mistura. Presente em pequena quantidade, ainda segundo os autores, as águas do tipo sulfatado sódico são relacionadas à mistura de águas provenientes de regiões de circulação ainda mais profunda, dos aquíferos pré-SAG.

Na Figura 32 observa-se os grupos hidroquímicos formados a partir do Diagrama de Stiff para 4 amostras representativas das variações geométricas. O poço 9 representa um padrão típico do SASG, onde as águas possuem pouco tempo de residência e com isso baixa concentração dos elementos. O poço 7 apresenta geometria do campo das águas bicarbonatadas sódicas, típicas de águas que circulam pelo SASG sem conexão com o SAG. Apresentam pequenas concentrações de cloretos e sulfatos, e variação Na, K, Ca e Mg. As amostras P4 e P17 são indicativas das águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, marcando a gradativa interferência do SAG.

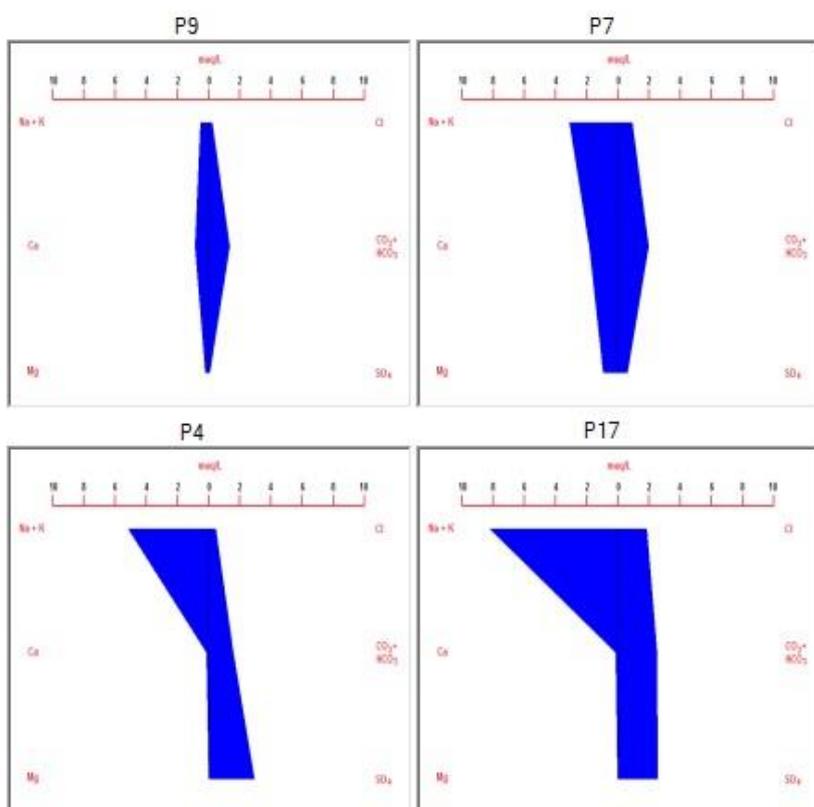


Figura 32 – Grupos hidroquímicos das águas do SASG pelo Diagrama de Stiff.

6.4.3 Qualidade das águas

Os parâmetros físico-químicos também foram analisados quanto sua potabilidade, comparados aos Valores Máximos Permitidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação N°5 (PRC N°5), de 03 de outubro de 2017, do Ministério da Saúde. (Brasil, 2017) (Tabela 9)

Tabela 9 - Dados comparativos com os VMP (Brasil, 2017)

Parâmetros (mg/L)	VMP (1)	Média	Máxim o	Mínimo	Amostras
Cloreto	250	28,02	65	2,5	58
Ferro	0,3	0,131	0,82	0,38	54
Fluoreto	1,5	0,302	1,07	0,002	44
Nitrato	10	2,92	7,37	0,04	55
pH	6 – 9,5	7,6	10,1	6	123
Sulfato	250	17,65	164	0,20	13

Os parâmetros cloreto, fluoreto e sulfato não ultrapassaram os valores permitidos. O valor mais elevado de nitrato, apesar de dentro do intervalo permitido, é anômalo. O poço que apresentou o valor elevado fica na Linha 15 de Novembro, no município de Irani. Observa-se na imagem aérea (Figura 33) que o poço é cercado de aviários e também de áreas de plantação, sendo duas fontes possíveis de contaminação, através da aplicação de fertilizantes e também de esterco animal. Seu NE é raso, de aproximadamente 3,12m, permitindo uma possível contaminação através da lixiviação das terras, se o revestimento do poço não for eficiente.



Figura 33 – Imagem extraída do Google Earth de poço com valor anômalo de nitrato.

O pH, em 9,75% dos poços, e o ferro, em 11% dos poços, apresentaram valores fora dos intervalos permitidos. Entretanto, o resultado é questionável, pois o número de amostras representa apenas 10% do valor total de poços.

O Comitê Hidrográfico da Bacia do Rio Jacutinga, através do Projeto Gestão de Águas Subterrâneas, coletou águas de 100 poços das zonas rurais dos municípios, em 2013 e 2015. Os valores observados para o primeiro grupo de coletas, em 2013, apresentou 17% das amostras excedendo os VMP para pH, sendo o maior limitador da qualidade. Amostras de flúor (6%), manganês (5%), ferro (4%) e alumínio (4%) também mostraram incorformidade. (Comassetto, 2014) Os dados de 2015 foram analisados por Testa (2017), que apontou uma diminuição do número de amostras fora dos parâmetros para pH, entretanto ainda presentes em 9% das amostras. Valores de flúor, alumínio, sulfato e nitrato não foram detectados nessa coleta. Ainda foram avaliados os parâmetros microbiológicos, e apesar de apresentarem concentrações baixas, 61% das amostras continham presença de coliforme totais e 16% de *Escherichia coli*, principais comprometedores da qualidade da água na região.

6.5 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

Através da caracterização geológica, hidrogeológica e hidrodinâmica descrita nos capítulos anteriores observa-se diferentes padrões de comportamento do sistema aquífero, afetados diretamente pelos seus condicionantes. No caso do SASG, seus condicionantes são basicamente sua litologia (tipo de rocha e estruturas primárias), seu relevo (grau de dissecação) e suas características estruturais (tipo de estrutura e orientação). (Reginato, 2003) Dessa forma, a potencialidade da região está relacionada diretamente com o comportamento hidrogeológico e hidrodinâmico que o aquífero irá apresentar.

Usando a metodologia proposta por Diniz (2012), a produtividade é classificada de acordo com a vazão, transmissividade, capacidade específica e condutividade hidráulica, separadas posteriormente em 6 classes que variam entre muito alta (Classe 1) até pouco produtivas (Classe 6). Com base nos parâmetros encontrados para a área de estudo e seus condicionantes hidrogeológicos, foram utilizados os dados de capacidade específica e vazão (Tabela 10), a fim de diagnosticar possíveis áreas mais produtivas, bem como, áreas não aquíferas.

Tabela 10 - Classes de produtividade. Modificado de Diniz (2012)

Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Vazão (m ³ /h)	Produtividade	Classes
> 4,0	> 100	Muito alta	1
2,0 – 4,0	50 – 100	Alta	2
1,0 – 2,0	25 – 50	Moderada	3
0,4 – 1,0	10 – 25	Geralmente baixa, mas localmente moderada	4
0,04 – 0,4	1 – 10	Geralmente muito baixa, mas localmente baixa	5
< 0,04	< 1	Pouco produtiva	6

A capacidade específica de um poço reflete a relação entre a vazão e o rebaixamento do nível da água naquele poço, sendo diretamente ligada a transmissividade. Quando comparada ao sistema estrutural, as classes mais produtivas (1 e 2) distribuem-se preferencialmente próximas aos lineamentos N30-60W e N70-80W. Observa-se também que poços locados longe das estruturas identificadas são geralmente menos produtivos. (Figura 34)

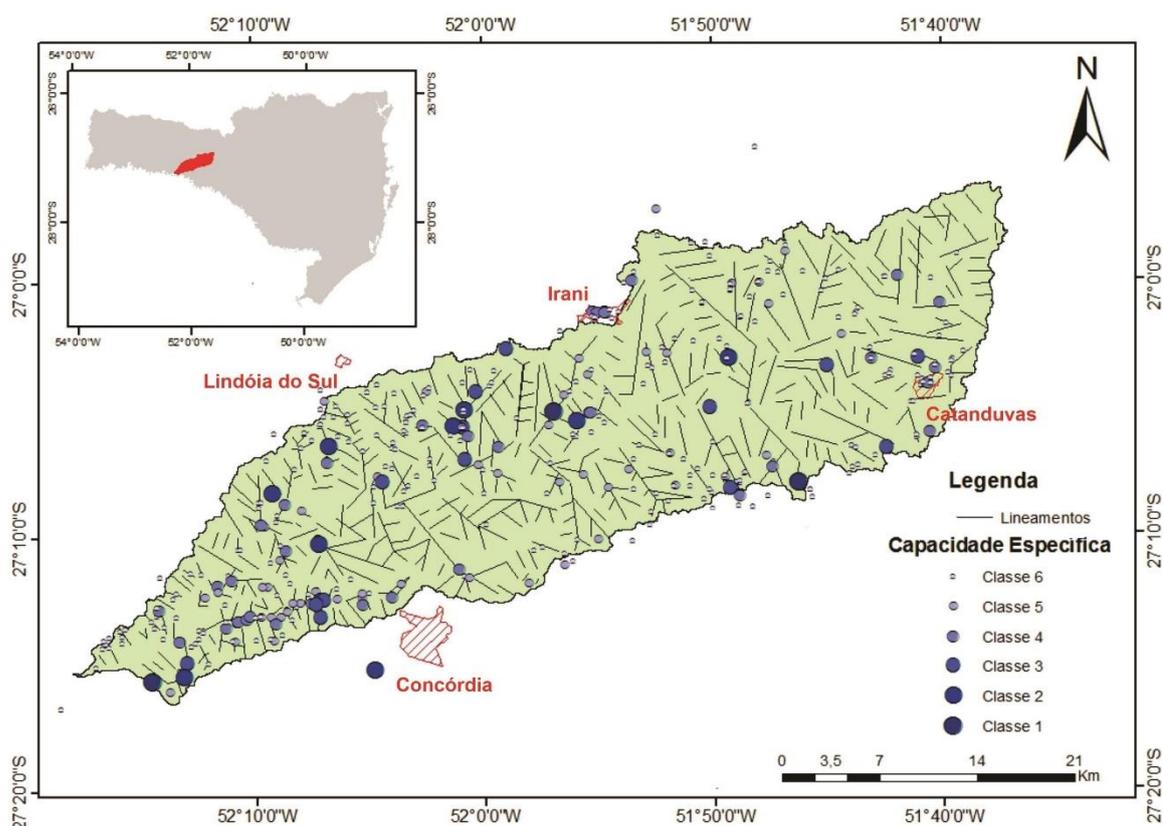


Figura 34 – Distribuição da capacidade específica conforme classes de produtividade e sua relação com a orientação de lineamentos.

Quanto a densidade dos lineamentos, possui resultado variável. A maior parcela de poços Classe 1 e 2 estão em regiões de alta densidade de lineamentos, entretanto nessas áreas também existem poços Classe 6. (Figura 35)

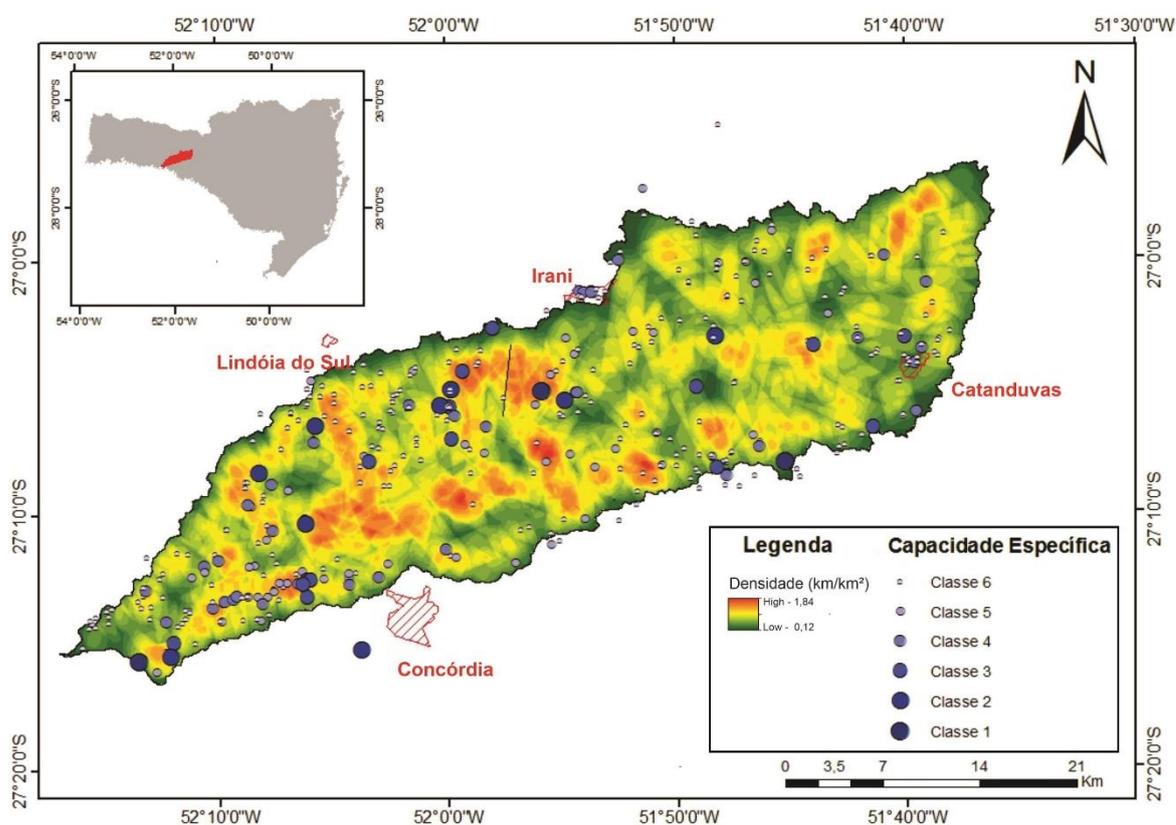


Figura 35 - Distribuição da capacidade específica conforme classes de produtividade e sua relação com a densidade de lineamentos

Quando analisado conforme variação do relevo, percebe-se que a região é altamente dissecada e com uma tendência de declínio no sentido oeste. Nesta região mais baixa concentram-se os poços de melhores classes. Observa-se também uma concentração de poços Classe 5 e 6 próximas aos cursos d'água, que normalmente representam regiões mais íngremes. As áreas de maior dissecção do terreno são consideradas desfavoráveis, pois nessas regiões, em função do relevo íngreme, há mais descarga e menos armazenamento de águas nas fraturas. Além disso nessas áreas a recarga por infiltração diminui significativamente. Na região leste, de maior altitude comparada à oeste, os poços de melhor produtividade encontram-se em regiões mais altas e planas. (Figura 36)

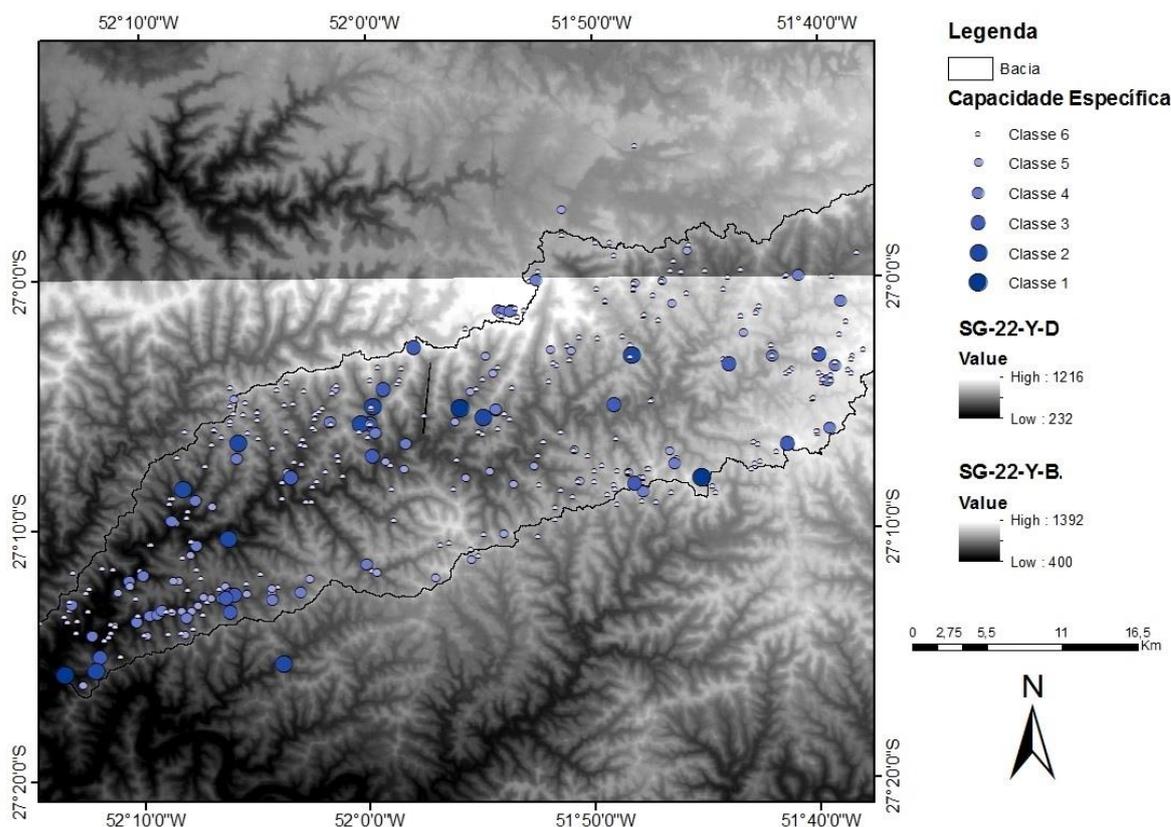


Figura 36 - Distribuição da capacidade específica conforme classes de produtividade e sua relação com o relevo.

Não foi observado variação das classes com a litologia associada, visto que na região ocorrem basicamente os derrames basálticos do Grupo Serra Geral. Entretanto, observa-se que o grau de fraturamento da rocha e a profundidade das fraturas interferem no comportamento da capacidade específica e da vazão. O Gráfico 13 apresenta a relação da profundidade da última entrada de água com a produtividade dos poços. Observa-se que a vazão apresenta Classe 4 nos poços com última entrada de água entre 50 e 100m. Depois desse intervalo, a vazão passa a diminuir. A capacidade específica aumenta até o próximo intervalo, de 100 – 150m, representativa da classe 4, e depois também diminui.

O Gráfico 14 apresenta a relação entre a quantidade de entradas de água e a produtividade dos poços. Os valores de capacidade específica sofrem um pequeno aumento com o acréscimo do grau de fraturamento da rocha. Entretanto, a vazão média do poço com 4 entradas de água se classifica como classe 3, indicando que rochas mais fraturadas tendem a ser mais produtivas.

Gráfico 13 – Relação entre a profundidade da entrada de água e a produtividade dos poços

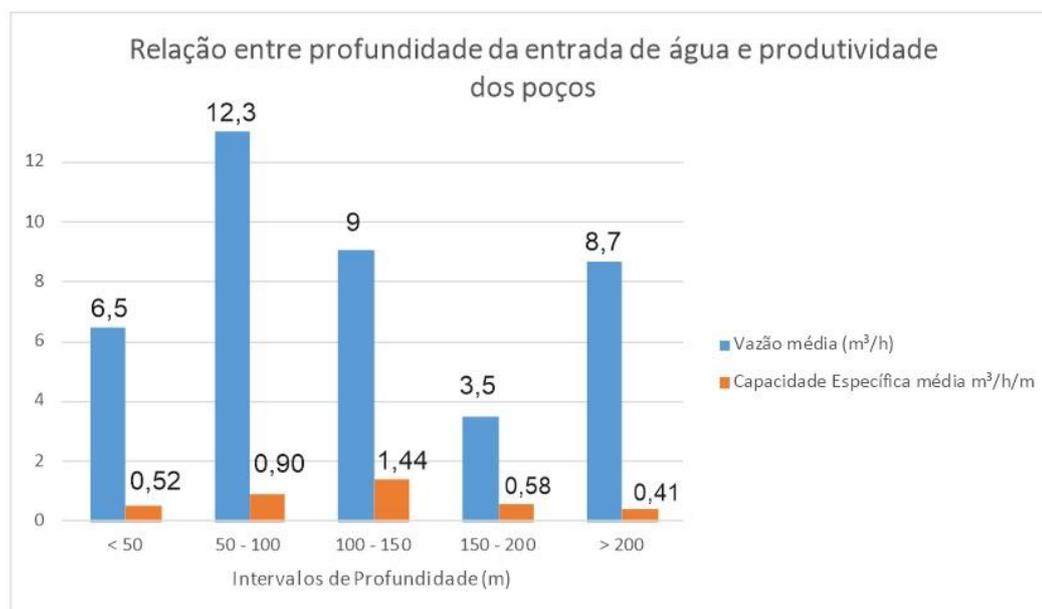
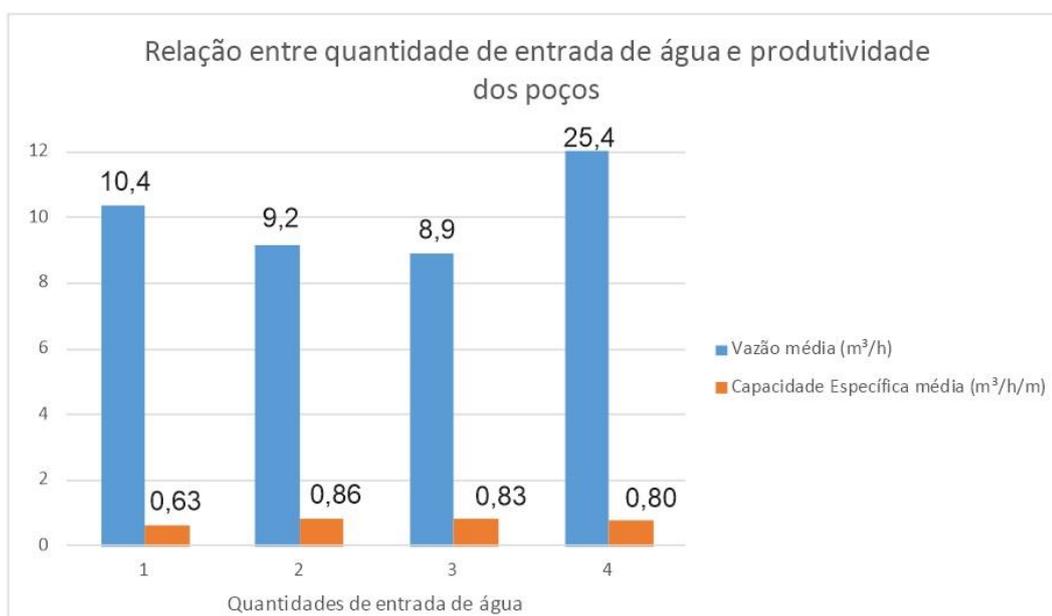


Gráfico 14 - Relação entre a quantidade de entradas de água e a produtividade dos poços



A vazão é um parâmetro significativo para a área pois 89% dos poços apresentam esse dado. O resultado foi similar ao apresentado na capacidade específica, distribuindo-se principalmente próximos aos lineamentos NW. Observa-se uma menor ocorrência de poços de boa produtividade nas zonas de baixa densidade

de lineamentos. Para o parâmetro vazão, não ocorrem poços de produtividade Classe 1 (vazão maior que 100 m³/h) e predominam poços Classe 4 (10 – 25 m³/h). (Figura 37)

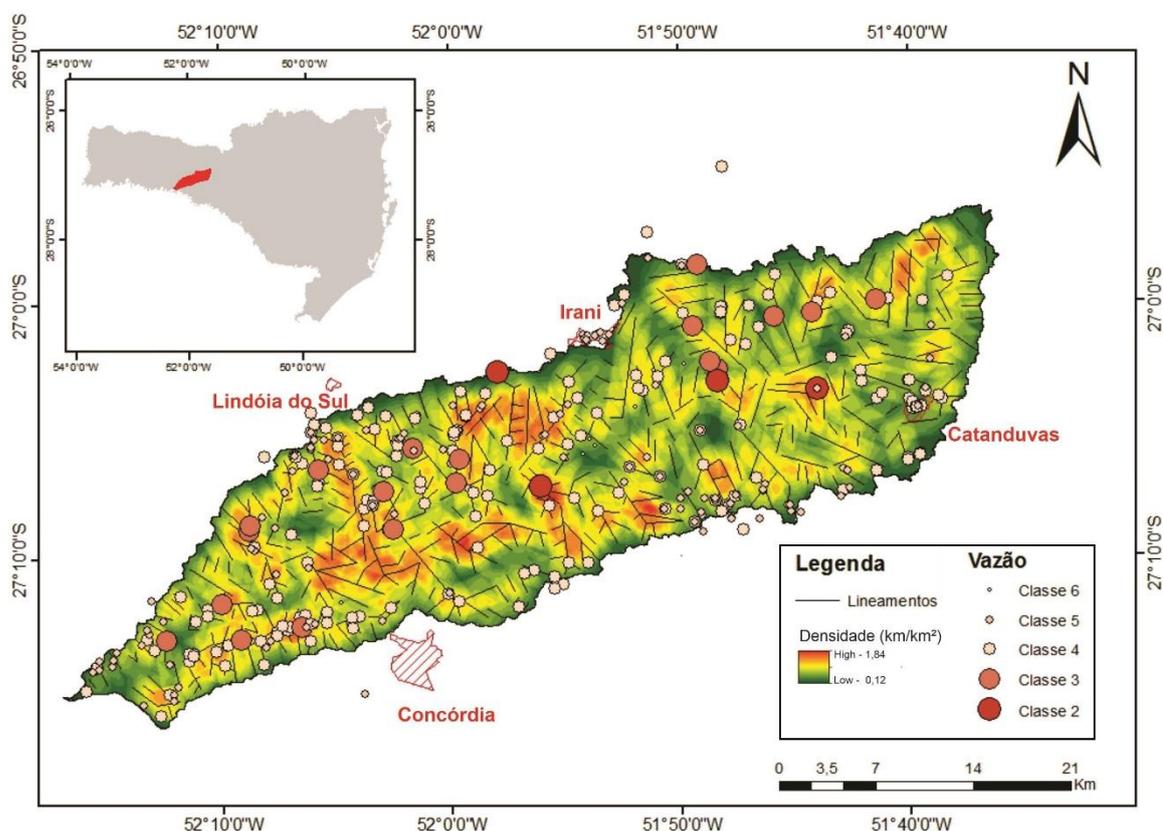


Figura 37 - Distribuição das vazões conforme classes de produtividade e sua relação com a orientação e densidade de lineamentos

Os poços secos apresentam relação com orientação NW e NE dos lineamentos, e uma distribuição predominante nas áreas de baixa a média densidade. (Figura 38) Observa-se também que a maior parte dos poços secos estão próximos de cursos de água, geralmente regiões mais íngremes. (Figura 39)

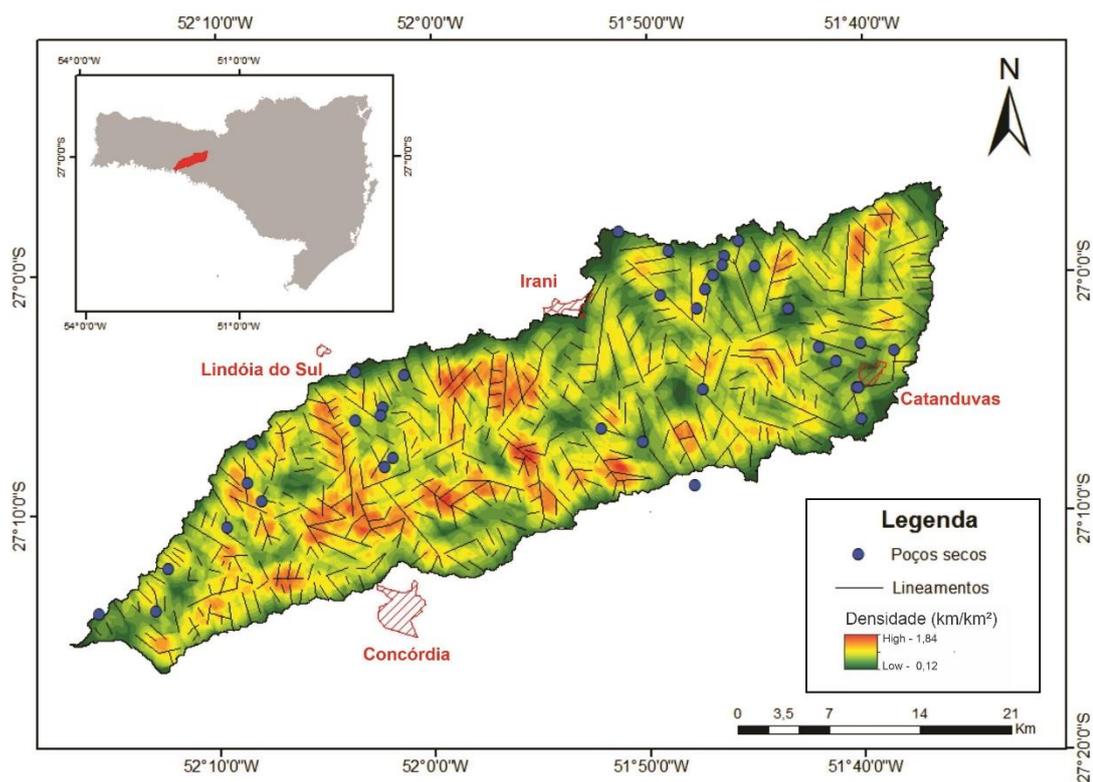


Figura 38 - Distribuição dos poços secos e sua relação com a orientação e densidade de lineamentos

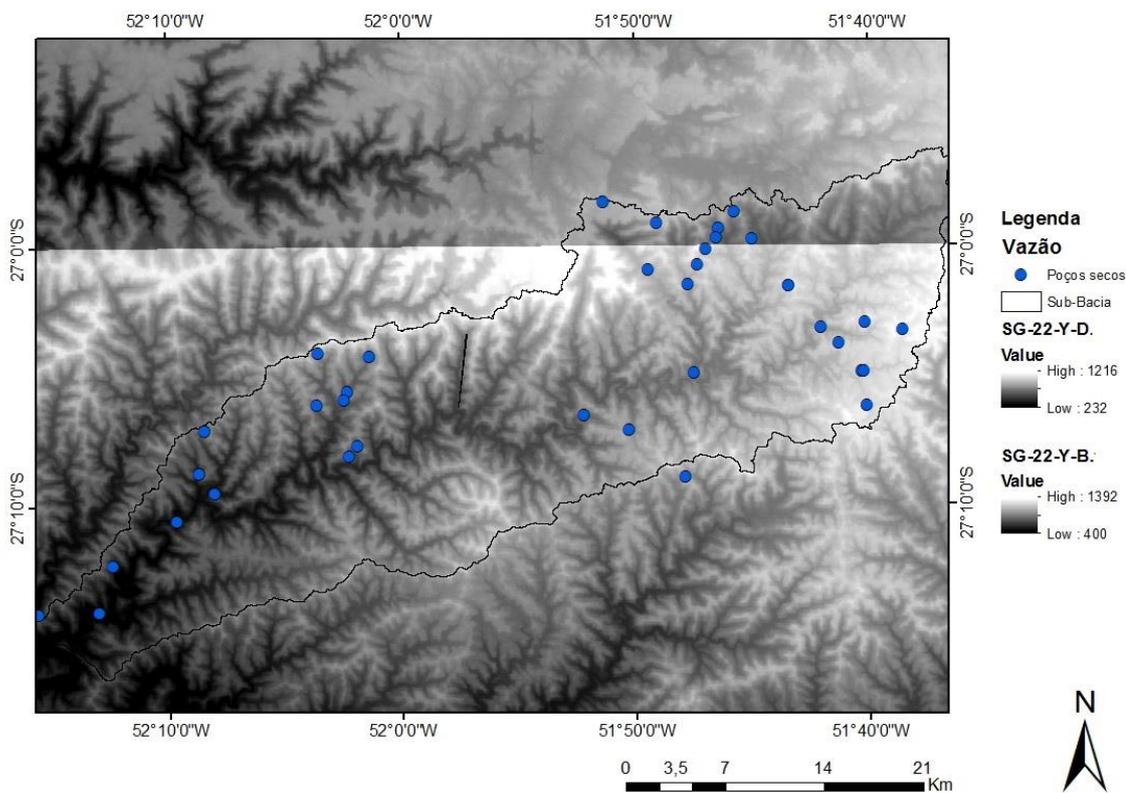


Figura 39 - Distribuição dos poços secos e sua relação com o relevo.

Com base em regiões de maior potencial, foram sugeridas áreas que podem ser avaliadas para novas perfurações (Figura 40). As regiões contemplam relevos razoavelmente planos, com média ou alta densidade de lineamentos e de direções NW. Da mesma forma, foram classificadas regiões que devem ser evitadas.

Para a locação de novos poços, devem ser realizados estudos detalhados dentro das regiões indicadas, visando definir o melhor local para a perfuração, considerando as variações encontradas em escala de campo. Nas regiões não delimitadas, a localização das novas perfurações deve ser definida com base em um relevo menos dissecado, e na avaliação das estruturas, com orientação preferencial para NW.

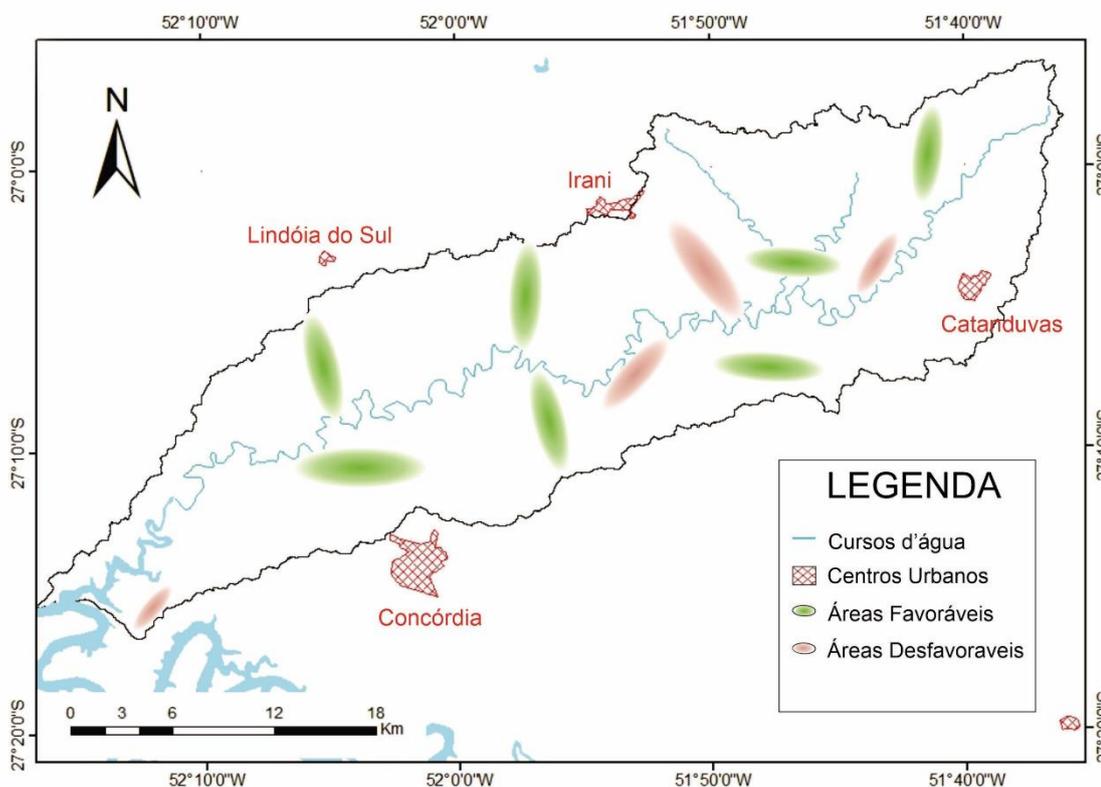


Figura 40 - Mapa de sugestão de áreas mais favoráveis para locação de novos poços

Além das variáveis citadas a cima, os poços mais produtivos serão aqueles com entradas de água entre 50 e 150 metros. O revestimento do poço deve ser projetado afim de isolar as camadas de solo, evitando contaminação pelos produtos usados para agricultura e pecuária, bem como isolar zonas de fraturas mais rasas que não possuem água ou não serão captadas nos projetos de poços. Além dessas áreas, o SAG deve ser considerado quando for desejada vazões maiores.

7 CONCLUSÕES

A região oeste de Santa Catarina, principalmente em sua zona rural, apresenta grande demanda por água subterrânea para abastecer sua atividade econômica, bem como para o próprio consumo humano. A demanda é atendida basicamente pelo Sistema Aquífero Serra Geral, através da captação por 511 poços. Grande parte dos poços não estão regularizados quanto ao órgão competente do estado e por isso o conhecimento é escasso.

A caracterização geológica constatou que a região é coberta pelos derrames basálticos do Grupo Serra Geral, com predomínio da Formação Paranapanema, representada por basaltos microgranulares, em camadas frequentemente fraturadas e associadas à disjunções horizontais e/ou verticais. As zonas brechadas apresentavam amígdalas preenchidas por celadonita, quartzo, carbonato e alterações de Fe e Mn. Também ocorrem as formações Gramado, Campos Novos e Chapecó, sendo essa última diferente das demais, por apresentar rochas ácidas e fenocristais de feldspatos imersos em uma matriz vítrea.

Através da análise das imagens MDT-SRTM foram traçados 423 lineamentos, com predomínio para NW-SE. No quadrante noroeste predominam medidas no rumo N30-40W e N40-60W. Já no quadrante nordeste distribuem-se preferencialmente entre N60-70E e N80-90E.

A avaliação quantitativa permitiu constatar que uma grande parcela dos poços são utilizados para abastecer comunidades do interior, e que são poucos os poços de domínio da CASAN, utilizados no abastecimento público dos municípios. Dos poços cadastrados, foi identificada uma profundidade média de 113 metros, com ocorrência de 1 a 4 entradas de água, localizadas preferencialmente entre 25 e 100 metros.

Quanto aos parâmetros hidrodinâmicos do SASG, os valores médios de vazão e capacidade específica encontrados foram de 10 m³/h e 1,08 m³/h/m. Quanto ao nível estático, possui média de 14 m, porém em 50% dos casos está abaixo dos 5 metros de profundidade.

As análises químicas da água indicaram um pH geralmente alcalino, estando entre 7 e 8 em 51% dos poços. A condutividade elétrica média foi de 187 µS/cm. As águas foram classificadas como bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, apresentando forte interferência com as águas do Sistema Aquífero Guarani.

Quanto a qualidade da água, o pH e ferro se apresentaram a cima dos valores máximos permitidos em alguns casos. O nitrato, apesar de encontrado dentro dos intervalos permitidos, deve ter suas concentrações observadas, visto que sua ocorrência pode não ser de origem natural.

Na área de estudo as camadas sedimentares do Sistema Aquífero Guarani ocorreram em média aos 500 metros de profundidade, com seu NE localizado em média aos 191 metros. Os parâmetros hidrodinâmicos refletem um aquífero mais produtivo se comparado ao SASG, com vazão média de 109 m³/h e capacidade específica de 2,16 m³/h/m. Em geral, as amostras foram classificadas como hipotermas e seu pH médio igual a 8,8.

Os poços mais produtivos do aquífero fraturado encontram-se próximos aos lineamentos N30-60W e N70-80W, em regiões planas e geralmente em zonas de média a alta densidade. Da mesma forma, foram observados que os poços secos localizavam-se preferencialmente próximos aos cursos d'água, em regiões geralmente mais íngremes.

Através da integração dos dados, foram sugeridas possíveis regiões favoráveis para novas perfurações, escolhidas por contemplar áreas planas, próximas a lineamentos de direções NW e em zona de média ou alta densidade de lineamentos. Além desses fatores, poços mais produtivos serão aqueles em que as entradas de água estejam entre 50 e 150m, e que apresentem mais de uma entrada.

Os mapas e análises propostas por esse trabalho possuem escala regional e foram realizados em sua grande parte com dados secundários. Sendo os resultados apresentados uma decorrência da quantidade e qualidade dos dados disponíveis, o mesmo pode ser melhorado e detalhado com a aumento da escala de observação e maior confiabilidade dos dados. Salienta-se também a importância de uma caracterização das estimativas de recarga e exploração da região, para uma melhor gestão de recursos subterrâneos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, L. C. M. 2018. Blocos Hidrogeológicos do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral em Santa Catarina. Florianópolis, 99p. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina.

Athayde, G.B. 2013. Compartimentação hidroestrutural do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no estado do Paraná, Brasil. Curitiba, 177p. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Betiollo, L. M. 2006. Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre, 117p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Boff, F. E., Medeiros, M. A., Miller, A. L., Koppe, J. C. 2006. Caracterização Hidroquímica das Águas Minerais da Serra do Nordeste Gaúcho. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006.

Brasil. 1945. DECRETO-LEI Nº 7841 DE 8 DE AGOSTO DE 1945. Código de águas minerais. 1945.

Brasil. 1997. Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, Brasília.

Brasil. 2017; ANEXO XX DA PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE DE 03 DE OUTUBRO DE 2017. Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2017, Brasília.

Comassetto, Vilmar (Org.). Pesquisas em Recursos Hídricos na Bacia do Rio Jacutinga e Sub-Bacias Contíguas. Concórdia: Comitê Rio Jacutinga, 2013. 318 p.

Comassetto, V., Matthiensen A., Alves J., Favassa, C.T.A., Yakibu V.M., Waskiewicz, M.E., Bólico, J. 2014. Diagnóstico das Águas Subterrâneas na Bacia do Rio Jacutinga e Contíguos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 18., 2014, Belo Horizonte. São Paulo, ABAS, 2014.

Comitê do Rio Jacutinga. 2010. Relatório Síntese do Plano Estratégico de Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga – Ariranha. Florianópolis (SC). SDS/MPB ENGENHARIA.

Comitê do Rio Jacutinga. 2016. Cartilha Gestão da água Subterrânea. 2a ed. Santa Catarina/SDS. Florianópolis.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1982. Estudo de Águas Subterrâneas – Região Administrativa 4-Sorocaba. Secretaria dos Serviços e Obras Públicas/DAEE, São Paulo, 2v.

Denbesten, P.K. 1999. Biological mechanisms of dental fluorosis relevant to the use of fluoride supplements. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 27: 41-47.

Descovi Filho, L.L.V. 2015. Geomorfoestruturas e Compartimentação Tectônica do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral no Estado de Santa Catarina, Brasil. Florianópolis, 224 f. Tese de Doutorado. Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.

Diniz, J.A.O. 2012. Proposta Metodológica para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. (publicação interna)

Diniz, J.A.O., Monteiro, A.B., Silva, R.C., Paula, T.L.F. 2014. Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Nota técnica. 48p. CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Fernandes, A.J. 1997. Tectônica cenozóica na porção média da bacia do rio Piracicaba e sua aplicação à hidrogeologia de meios fraturados. São Paulo, 244p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Fernandes, A.J.; Perrota, M.M.; Salvador, E.; Azevedo, S.A; Gimenez Filho, A. Stefani, F.L.; Paulon, N. 2005. Aquíferos Fraturados. In: G. Rocha, A.J. Fernandes, M. Mancuso (ed.) Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, Nota explicativa, DAEE/IG/CPRM/IPT, p. 66-84.

Fernandes, A.J. Fatores que influenciam a produção de poços em aquíferos fraturados cristalinos e métodos de investigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2006, Curitiba, ABAS, 2006.

Fernandes, A.J. Rouleau, A. 2008. Simulação de deslocamentos em fraturas de basaltos da Formação Serra Geral (Ribeirão Preto, SP) e implicações para a sua transmissividade. In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15, Natal.

Freitas, M. A. de., Caye, B. R., Machado, J. L. F. (Orgs.). Projeto Oeste de Santa Catarina: Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/SDASC/EPAGRI, 2002.

Freitas, M.A. de., Caye, B.R., Machado, J.L.F., Antunes, R.B., Miranda Junior, G.X. 2002. Água subterrânea: um recurso vital para o oeste catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis. Anais. São Paulo: Abas, 2002. p. 1 - 8.

Freitas, M.A. de; Roisenberg, A.; Andriotti, J.L.S. 2016. Análise exploratória de dados da condutividade elétrica nas águas do sistema aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Águas Subterrâneas*, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 1-17, 16 mar.

Guivant, J.S.; Miranga, C.R. 2004. (Orgs.) Desafios para o desenvolvimento sustentável da suinocultura: uma abordagem multidisciplinar;. Embrapa Suínos e Aves, Unochapecó. Argos, Chapecó, 332p.

Hausman, A. 1996. Comportamento do freático nas áreas basálticas do Rio Grande do Sul. *Boletim Paranaense de Geografia*, v 18, n. 20, p. 177-215.

Machado, J.L.F. Mapa hidrogeológico do estado de Santa Catarina. Escala: 1:500.000. Porto Alegre : CPRM, 2012.

Machado, J.L.F. Mapa hidrogeológico do estado de Santa Catarina: relatório. Porto Alegre: CPRM, 2013.

Machado, J.L.F.; Freitas, M. A. de. 2000. Hidroquímica do Aquífero Serra Geral no Oeste de Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 11, 2000, Olinda Anais... São Paulo: ABAS. p. 1 – 13.

Matthiensen, A., Oliveira, M.M. (Orgs.) Comunicado Técnico: 531. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2015.

Meyjerink, A.M.J., Bannert, D., Batelaan, O., Lubczynski, M.W., Pointet T. 2007. Remote sensing applications to groundwater. UNESCO, IHP-VI, Series on Groundwater no 16.

Milani, E.J. 1997. Evolução Tectôno-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul Ocidental. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A., França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 15, n. 2, p. 265-287.

Miranda, C.R.; Miele, M. 2009. Suinocultura no Meio Ambiente em Santa Catarina: Indicadores de Desempenho e Avaliação Sócio-econômica. Cláudio R. Miranda & Marcelo Miele (Orgs.). Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. Documentos Embrapa Suínos e Aves, ISSN 0101- 6245;120, 201p

Peate, David W; Hawkesworth, Chris J; Mantovani, Marta S M. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. Bulletin of Volcanology: v. 55, n. 12, p. 119-130, dez. 1992.

Rebouças, A.C. 1976. Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná: análise de pré-viabilidade. Tese de Livre Docência em Geologia Econômica e Geofísica Aplicada – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Portela Filho, C.V.; Ferreira, F.J.F.; Rosa Filho, E.F.; Rostirolla, S.P. 2005. Compartimentação magnética-estrutural do sistema aquífero Serra Geral e sua conectividade com o Sistema Aquífero Guarani na região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná). Rev. Bras. Geociênc. 35(3). P369-381, 2005.

Prates, Arlene M M; Manzolli, Judite I; Mira, Marli A F B. 1986. Hidrografia de Santa Catarina. Geosul, Florianópolis, v. 1, n. 1, p.69-76.

Reginato, P.A.R. 2003. Integração de dados geológicos para prospecção de aquíferos fraturados em trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS). Porto Alegre, 254p. Tese (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.

Reginato, P.A.R.; Strieder, A.J. 2006. Integração de Dados Geológicos na Prospecção de Aquíferos Fraturados na Formação Serra Geral. Águas Subterrâneas – Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 20(1):1-14, junho de 2006.

Santa Catarina. 1998. Lei n°. 10.949, de 09 de Novembro de 1998. Dispõe sobre a caracterização do Estado em 10 (dez) Regiões Hidrográficas. Florianópolis. Santa Catarina.

Santa Catarina. 2003. Decreto n°. 652, de 03 de setembro de 2003. Cria o comitê de gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e suas Bacias Hidrográficas Contígua e aprova o seu regimento interno. Florianópolis. Santa Catarina.

Santa Catarina / SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. 2006. Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina (SIRHESC). Florianópolis, SC, 2006.

Santa Catarina / SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. 2012. Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e contíguas: relatório síntese. Concórdia: SDS, 2012. 166 p.

Scheibe, L.F., Hirata, R.C.A. 2008. O contexto tectônico dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: uma revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. Anais... São Paulo: ABAS, 2008. p. 1 – 14

Testa, E.H. 2017. Qualidade das águas subterrâneas de consumo humano nas comunidades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga, oeste de Santa Catarina. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina.

UNESCO. 1984. Ground water in hard rocks: Studies and reports in hydrogeology. UNESCO, Paris.

Villar, C.P. 2016. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. Ambient. soc., São Paulo , v. 19, n. 1, p. 85-102, 2016 .

White, I.C. 1908. Comissão de Estudos de Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro, DNPM, Relatório final, 617 p

Wildner, W. 2014. Mapa geológico do estado de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM, 2014. (Orgs.) Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil. Subprograma de Cartografia Geológica Regional.

Zalán, P.V., Wolff, S., Conceição, J.C.J., Astoldi, M.A.M., Vieira, I.S., Appi, V.T., Zanutto, O.A. 1987. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, v. 3, n. 1987, p. 441-477, 1987.