

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

ERICKS HENRIQUE TESTA

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE CONSUMO HUMANO NAS  
COMUNIDADES RURAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA,  
OESTE DE SANTA CATARINA**

Florianópolis  
2017

ERICKS HENRIQUE TESTA

**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 apresentado  
como critério parcial para obtenção de grau de  
bacharel em Geologia. Orientador: Prof. Dr.  
Luiz Fernando Scheibe. Coorientador: Prof.  
Dr. Arthur Schmidt Nanni.


Florianópolis  
2017

ERICKS HENRIQUE TESTA

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE CONSUMO HUMANO NAS  
COMUNIDADES RURAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA,  
OESTE DE SANTA CATARINA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia, e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora abaixo assinada.

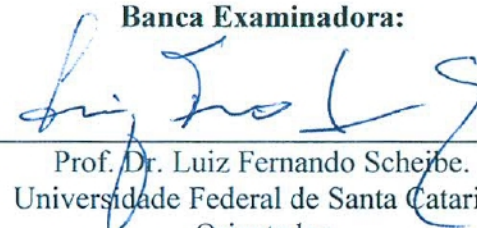
Florianópolis, 30 de novembro de 2017



---

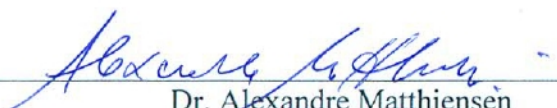
Prof. Dr. Marivaldo dos Santos Nascimento  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



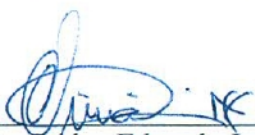
---

Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe.  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Orientador



---

Dr. Alexandre Matthiensen  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira  
Universidade Federal de Santa Catarina

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Testa, Ericks Henrique

Qualidade das águas subterrâneas de consumo humano nas comunidades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga, Oeste de Santa Catarina / Ericks Henrique Testa ; orientador, Luiz Fernando Scheibe, coorientador, Arthur Schmidt Nanni, 2017.  
115 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. qualidade das águas subterrâneas. 3. Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas (IQAS). 4. Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). 5. Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. I. Scheibe, Luiz Fernando. II. Nanni, Arthur Schmidt. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geologia. IV. Título.

À minha família,  
minha inesgotável fonte de incentivo.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, do fundo do meu coração, sou eternamente grato à minha amada família pelos mais valiosos ensinamentos que recebi, com vocês aprendi a transformar saudade em força de vontade. Aos meus pais, Miguel e Beatriz, meus heróis, agradeço cada gota de suor derramada, sem o esforço de vocês isso seria apenas um sonho. Aos meus queridos irmãos, Gabriel e Thais, que acima de tudo são grandes amigos, obrigado por todos conselhos, todo carinho e todo apoio, vocês são meus maiores exemplos! Às sobrinhas mais lindas do mundo, Juliê e Laura, que me alegram e me enchem de motivação a cada novo sorriso. Família, eu amo vocês!

Aos meus noninhos, Izidoro e Decile, Gentile (*in memoriam*) e Irma, que me ensinaram que um espírito guerreiro, regado a doses de serenidade, sempre é capaz de superar as maiores adversidades. Tenho muito orgulho de dizer que sou neto de pessoas tão incríveis! Aproveito para lembrar das famílias Cosmann e Testa como um todo, essenciais nessa caminhada. Em especial, preciso agradecer aos meus incansáveis tios Sérgio e Rosane, que sempre me ajudaram em todas as idas e vindas da graduação.

A todos meus professores, desde a pré-escola, educação fundamental e ensino médio, até a universidade, que me revelaram a possibilidade de conhecer o mundo através dos livros e me inspiraram a cada nova descoberta. Obrigado por me proporcionarem, mesmo com as inúmeras dificuldades, um ensino público, gratuito e de muita qualidade!

À Rede Guarani Serra Geral (RGSG) e suas instituições concedentes: Agência Nacional de Águas (ANA), Caixa Econômica Federal, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e Ministério da Ciência e Tecnologia. Ao Laboratório de Análise Ambiental (LAAm) da UFSC, em especial aos professores Luiz Fernando Scheibe e Arthur Schmidt Nanni, por abrirem suas portas e aceitarem meu projeto, pela orientação durante este último ano e por todo esforço dedicado à realização deste trabalho, meu muito obrigado! Agradeço também ao Luciano Henning que, junto ao professor Scheibe, auxiliou nas investigações de campo, sou muito grato por toda a ajuda.

Ao Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Sub-bacias Contíguas, por disponibilizarem os dados utilizados nesta pesquisa. Devo agradecimentos especiais à presidenta do comitê, Celí Favassa, aos membros Alexandre Matthiensen, Vilmar Comassetto e Maikon Waskiewic e ao geólogo Michael de Mello Oliveira, por participarem da elaboração e desenvolvimento deste projeto. Aos moradores das comunidades rurais

visitadas, pela calorosa receptividade, pelas conversas produtivas e pelos valiosos ensinamentos.

Aos membros da banca examinadora, Alexandre Matthiensen, Carlos Eduardo Lucas Vieira e Luciano Henning, agradeço pelo tempo e pela atenção dispensados na leitura e avaliação deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), por todo suporte pedagógico, financeiro e de infraestrutura que, funcionando como uma segunda casa durante estes cinco anos, possibilitou a realização do meu maior sonho. Deixo esta como um cidadão muito mais consciente do que aquele que entrou e espero, um dia, retornar tudo o que foi investido em mim. Não posso deixar de agradecer também à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) que, através do Programa Andifes de Mobilidade Acadêmica, permitiu uma incrível troca de experiências, fundamental na minha formação como geólogo.

Deixo, aqui registrado, meu carinho especial pela professora Patrícia Hadler Rodrigues, que além de me introduzir na iniciação científica, sempre me ajudou a superar as dificuldades desse caminho. Todos esses anos de orientação foram fundamentais no meu crescimento. Agradeço por todo o apoio, seu e de sua família, levarei seus ensinamentos para o resto da vida, muito obrigado por tudo!

Agradeço também ao Programa de Formação de Recursos Humanos da Petrobras (PFRH-PB240), pelo auxílio financeiro que, junto à UFSC, possibilitaram o desenvolvimento das pesquisas realizadas ao longo da graduação e permitiram a minha permanência.

Aos meus grandes amigos, Amanda, Janaína e Victor, que mesmo longe e depois de todo esse tempo, continuam sendo meu maior exemplo de amizade. Obrigado por permanecerem comigo, vocês sempre terão um lugar especial no meu coração!

A todos meus colegas e amigos da UFSC e da UFRGS que, de certo modo, contribuíram na minha formação. Em especial, ao Ricardo, pela imensa parceria, ao Daniel, por mostrar que amizade não tem fronteiras, e ao trio Ana, Ian e Jani, por todos os bons momentos compartilhados comigo. Por fim, mas não menos importante, à minha querida Mariana, por toda atenção, carinho e ajuda, por deixar esse desfecho muito mais leve e feliz, e por fazer com que cada segundo se tornasse inesquecível!

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade:  
só tem valor quando acaba.”

João Guimarães Rosa.



## RESUMO

O crescimento socioeconômico da Região Oeste de Santa Catarina, principalmente por conta dos avanços das atividades agropecuárias, tem degradado a integridade das águas superficiais. Desse modo, houve um expressivo aumento da exploração dos reservatórios subterrâneos, principalmente do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Nesse aspecto, a escassez de estudos acerca da qualidade dessas águas colabora com a manutenção do estigma de que estas são totalmente seguras. A área de estudo aqui contemplada, que compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Sub-bacias Contíguas, é um exemplo desse cenário. Nesse contexto, a utilização de indicadores, como o Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas (IQAS), é muito recomendada, pois esses são sucintos e eficazes. O objetivo geral deste trabalho foi caracterizar e discutir a qualidade das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano das comunidades rurais desta bacia. Além disso, buscou-se classificar essas águas quanto a sua qualidade, analisar as características construtivas dos poços amostrados, debater sobre eventuais problemas de contaminação, bem como propor outras formas de captação de água, visando uma gestão integrada. Para isso, utilizou-se de um banco de dados, cedido pelo Comitê do Jacutinga, composto por análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas em 100 poços comunitários da zona rural da bacia durante 2013 e 2015. A primeira etapa consistiu na elaboração de um IQAS exclusivo para esse contexto, baseado em trabalhos realizados em outras regiões do Brasil. Fotografias dos poços também foram úteis na observação dos aspectos construtivos. Em complementação, realizou-se uma investigação de campo a fim de compreender melhor as realidades locais, principalmente onde a qualidade da água foi considerada ruim. Os resultados do IQAS indicaram o predomínio de águas de boa qualidade para consumo humano, com uma significativa melhora do quadro para o último ano. De qualquer forma, em ambos os anos, 10% dos poços foram enquadrados na classe de qualidade inferior. Nestes casos, os principais fatores limitantes foram: a presença de coliformes totais e *Escherichia coli*; as elevadas concentrações de ferro e manganês; e o pH muito alcalino. Além disso, observou-se uma grande quantidade de irregularidades construtivas nos poços. A recorrência desses problemas, aliada aos impactos causados pelas atividades potencialmente poluidoras, alerta para a suscetibilidade de contaminação por agentes externos, como evidenciado pelas características bacteriológicas. Porém, os demais parâmetros problemáticos parecem estar mais relacionados com a geoquímica dos aquíferos. Na etapa de campo, foi verificada a utilização e as potencialidades hídricas de cada lugar como, por exemplo, o uso das nascentes e da água da chuva. Destaca-se que o IQAS se mostrou uma importante ferramenta de caracterização da qualidade das águas subterrâneas dessa região. Conclui-se também, que apesar da vulnerabilidade inerente e do risco à contaminação, as águas do SASG ainda têm sua qualidade preservada no contexto da bacia. Porém, a ocorrência de águas de qualidade ruim, associada aos problemas de saúde que estas podem causar, já mostra indícios de mudança dessa condição favorável. Por fim, ressalta-se que a melhor maneira de solucionar essa problemática, como observado em algumas comunidades visitadas, é a prática de gestão integrada das águas.

**Palavras-chave:** qualidade das águas subterrâneas. Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas (IQAS). Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga.

## ABSTRACT

The west of Santa Catarina state has been recording a great socio-economic development, especially due to the progress of agribusiness, what reduce the quality of surface waters. Thus, there has been a significant increase of groundwater exploitation, mainly of the Serra Geral Aquifer System (SGAS). In contrast, there is a lack of studies about its quality, remaining the idea that these reservoirs are in total safety. The study area of this work, Jacutinga River Hydrographic Basin and its Contiguous Sub-basins, is an example of this scenario. In this case, the use of water quality indexes like the Groundwater Quality Index (GWQI) is greatly encouraged because they are brief and effective. Then, the aim of this work was to characterize and discuss the quality of groundwater for human drinking in rural communities of this basin. Furthermore, this research intended to rate the groundwater quality, examine well-construction characteristics, argue about probable contamination and propose another forms of water collection, seeking an integrated water management. A database provided by Jacutinga River Commission was used for this purpose. This data include physicochemical and bacteriological analysis, carried out in 2013 and 2015, in 100 community wells of Jacutinga Basin's rural zone. The first step was the construction of a GWQI exclusive to this basin, based on previous works in this issue performed in other regions of Brazil. Photos of the wells were also useful to observe well-construction aspects. In addition, a fieldwork was executed to a better understanding of local reality, particularly where the waters were rated as "bad". The GWQI results indicate a prevalence of good waters for human drinking and an improvement in the year 2015. Although in both years 10% of wells were ranked in the worst quality category. In these cases, the presence of total coliforms and *Escherichia coli*, as well as high values of iron, manganese and pH, were the mainly reasons to the reduction of water quality. Besides that, several irregularities in well-construction were recognized. These problems, combined with the great impacts caused by potentially polluting activities, serve as a warning to the susceptibility of contamination by external agents, as shown by bacteriological data. Whereas, the other problems reported seems to be more related to the aquifer geochemistry. In field observations, the situation and potentials of each community were evaluated, such as the use of springs and rainwater. This work concludes that the GWIQ has proved to be an important tool in the study of groundwater quality. Also, it is concluded that, despite the vulnerability and contamination risks, the quality of SGAS waters are still preserved in this context. However, the occurrence of waters with bad quality, associated with possible health problems, show signs that this favorable condition is changing. Finally, the best way to solve this issue, as observed in some visited communities, is the practice of integrated water management.

**Key-words:** groundwater quality. Groundwater Quality Index (GWQI). Serra Geral Aquifer System (SGAS). Jacutinga River Hydrographic Basin.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização e acessos da área de estudo.....	15
Figura 2. Diagrama do ciclo da água simplificado.....	18
Figura 3. Modelo esquemático da relação de carga/descarga entre rio e aquífero.....	19
Figura 4. Perfil esquemático da distribuição da água em profundidade.....	20
Figura 5. Classificação dos aquíferos de acordo com o sua porosidade.....	22
Figura 6. Modelo das condições de ocorrência de aquíferos livres e confinados.....	24
Figura 7. Perfil construtivo esquemático de um poço tubular profundo.....	26
Figura 8. Seção esquemática do empilhamento da Fm. Serra Geral.....	29
Figura 9. Detalhe do Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina.....	30
Figura 10. Mapa de localização das áreas de ocorrência do SAG e do SASG.....	31
Figura 11. Recorte do Mapa Hidrogeológico de Santa Catarina.....	35
Figura 12. Mapa das regiões hidrográficas de Santa Catarina.....	38
Figura 13. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga.....	39
Figura 14. Mapa de localização dos municípios inseridos na Bacia do Jacutinga.....	40
Figura 15. Intervalos de vazão e profundidade dos poços cadastrados pelo comitê.....	43
Figura 16. Conjunto de gráficos das variáveis em desacordo com a legislação.....	45
Figura 17. Fluxograma indicando as etapas do processo de elaboração do IQAS.....	63
Figura 18. Exemplo de construção das curvas de nota vs concentração.....	66
Figura 19. Equação para cálculo do IQAS.....	66
Figura 20. Proporção e quantidade de problemas construtivos observados.....	69
Figura 21. Avaliação quantitativa das características construtivas dos poços.....	70
Figura 22. Relação de proporção entre os parâmetros em desacordo com a PRT 2914.....	72
Figura 23. Prancha de gráficos referentes às variáveis em desconformidade.....	73
Figura 24. Gráficos de frequência dos poços enquadrados em cada classe do IQAS.....	74
Figura 25. Mapa de distribuição do IQAS em 2013.....	76
Figura 26. Mapa de distribuição do IQAS em 2015.....	77
Figura 27. Fotografia do poço nº 01.....	80
Figura 28. Fotografia do poço nº 16 em Vargem Bonita.....	82
Figura 29. Fonte semelhante ao modelo Caxambu localizada próximo ao poço nº 16.....	83
Figura 30. Fotografias tiradas na propriedade onde localiza-se o poço nº 18.....	85
Figura 31. Poço nº 42 instalado no interior de Alto Bela Vista.....	87
Figura 32. Fotografias dos poços nº 64 e 65 localizados na Comunidade de Santa Catarina.....	89
Figura 33. Fotografia do poço nº 85, Linha São Luiz, em Concórdia.....	91
Figura 34. Fotografia do poço nº 95, situado em Nova Teutônia, Seara.....	93
Figura 35. Fotografias tiradas na Comunidade de São Rafael, interior de Seara.....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise dos parâmetros das análises realizadas em 2013 na bacia.....	44
Tabela 2. Principais constituintes das águas subterrâneas.....	49
Tabela 3. Classificação das águas segundo sua dureza.....	51
Tabela 4. Tabela de padrão organoléptico de potabilidade.....	55
Tabela 5. Padrão de potabilidade para substâncias químicas de risco à saúde.....	56
Tabela 6. Relação das variáveis quantificadas pelo comitê.....	62
Tabela 7. Relação dos parâmetros selecionados para cálculo do IQAS.....	64
Tabela 8. Escala de notas do IQAS para a BH do Jacutinga.....	65
Tabela 9. Parâmetros de qualidade da água para o consumo humano.....	71
Tabela 10. Lista de poços comunitários da BH do Jacutinga enquadrados na classe “ruim”..	75
Tabela 11. Resultado das análises para o poço nº 01.....	79
Tabela 12. Valores encontrados para o poço nº 16.....	81
Tabela 13. Resultados das análises para o poço nº 18.....	84
Tabela 14. Análises das amostras do poço nº 42.....	86
Tabela 15. Valores encontrados nas análises físico-químicas do poço nº 64.....	88
Tabela 16. Resultados das análises do poço nº 65.....	88
Tabela 17. Valores dos parâmetros das análises do poço nº 85.....	90
Tabela 18. Valores dos parâmetros encontrados para poço nº 95.....	92
Tabela 19. Resultado das análises do poço nº 96.....	94
Tabela 20. Relação de parâmetros problemáticos e suas possíveis origens.....	97

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 ÁREA DE ESTUDO.....	15
3 OBJETIVOS.....	16
4 JUSTIFICATIVA.....	17
5 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
5.1 HIDROGEOLOGIA.....	18
5.1.1 Ciclo Hidrológico.....	18
5.1.2 Água subterrânea.....	19
5.1.3 Medidas de proteção em poços tubulares profundos.....	24
5.2 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	27
5.2.1 Grupo Serra Geral.....	28
5.3 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	31
5.3.1 Sistema Aquífero Serra Geral.....	32
5.4 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA.....	37
5.4.1 Comitê do Rio Jacutinga.....	41
5.4.2 Águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga.....	42
5.4.3 Qualidade das águas subterrâneas na Bacia do Rio Jacutinga.....	43
5.5 QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	46
5.5.1 Qualidade das águas subterrâneas.....	48
5.5.2 Qualidade das águas para consumo humano.....	54
5.5.3 Problemas relacionados à qualidade das águas subterrâneas.....	56
5.5.4 Índice de qualidade das águas subterrâneas.....	58
6 METODOLOGIA.....	60
6.1 MAPA MENTAL.....	60
6.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	60
6.3 BANCO DE DADOS.....	60
6.4 ELABORAÇÃO DO IQAS.....	63
6.5 ANÁLISE PRELIMINAR DE CAMPO.....	67
6.6 INVESTIGAÇÃO COMPLEMENTAR DE CAMPO.....	67
7 RESULTADOS.....	69
7.1 PROBLEMAS CONSTRUTIVOS.....	69
7.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA CONSUMO HUMANO.....	71
7.2.1 Parâmetros com restrição de qualidade.....	71
7.2.2 Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas.....	74
7.2.2.1 Poços com IQAS ruim em 2015.....	78
7.2.2.1.1 Poço nº 01.....	78
7.2.2.1.2 Poço nº 16.....	80
7.2.2.1.3 Poço nº 18.....	83
7.2.2.1.4 Poço nº 42.....	86
7.2.2.1.5 Poços nº 64 e 65.....	87
7.2.2.1.6 Poço nº 85.....	90
7.2.2.1.7 Poço nº 95.....	91

7.2.2.1.8 Poço nº 96.....	93
8 DISCUSSÃO.....	96
9 CONCLUSÃO.....	101
REFERÊNCIAS.....	103

## 1 INTRODUÇÃO

A Região Oeste do Estado de Santa Catarina vem crescendo significativamente em população e economia, devido principalmente aos avanços da indústria agropecuária. Sob o ponto de vista ambiental, essas atividades produzem fortes e negativos impactos nas águas superficiais, como acontece na Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga, diminuindo sua qualidade e inviabilizando, em muitos lugares, a captação desse recurso para fins de abastecimento público (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002).

Em consequência disso, houve um aumento expressivo da demanda pela exploração das águas subterrâneas, haja vista a grande quantidade de poços tubulares profundos perfurados nos últimos anos. Neste aspecto, o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) configura-se como importante fonte de abastecimento (FREITAS et al., 2002). Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), os municípios dessa região já são abastecidos principalmente pelos mananciais subterrâneos.

Levando-se em consideração o que prescreve a Política Nacional de Recursos Hídricos, quanto à gestão descentralizada em nível de bacia hidrográfica, tornam-se necessários estudos que procurem entender as particularidades das águas subterrâneas em cada compartimento superficial correspondente, visto que ambos constituem um sistema hídrico único (BRASIL, 1997). Neste contexto, trabalhos sobre a qualidade das águas subterrâneas são de extrema importância, pois têm influência direta na saúde da população.

A problemática central deste trabalho reside na compreensão da qualidade das águas subterrâneas de consumo humano, captadas nas comunidades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Contíguos (doravante Bacia do Jacutinga ou BH do Jacutinga), bem como na busca por formas de resolução dos problemas vinculados a esse consumo.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga, a qual se situa, em termos macrorregionais, na Região Oeste de Santa Catarina. Do ponto de vista hidrográfico, boa parte de seu território insere-se na Região do Vale do Rio do Peixe, exceto sua porção noroeste que adentra a Região do Meio Oeste Catarinense. Estendendo-se por uma área de aproximadamente 2712 km<sup>2</sup>, esta bacia abrange 19 municípios, sendo Concórdia o maior centro urbano (COMASSETTO et al., 2014; SANTA CATARINA, 2012).

Os acessos principais à bacia, mostrados na Figura 1, se dão por meio de rodovias federais e estaduais: a SC-390 e SC-469 dão acesso pelo sudeste da região; no leste, chega-se pela SC-303, SC-467 ou BR-282; no norte, é possível acessar através da SC-154 ou BR-153; já a SC-155 permite a chegada pelo noroeste da área; no oeste, a principal via de acesso é a BR-283; e, por fim, ao sul, chega-se pela BR-153 e RS-420.

Figura 1. Mapa de localização e acessos da área de estudo.





### 3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar e discutir a qualidade das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, captadas em poços comunitários que abastecem a população da zona rural da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Sub-bacias Contíguas.

Como objetivos específicos, buscou-se:

- Classificar essas águas quanto a sua qualidade para consumo humano;
- Identificar as características construtivas dos poços tubulares profundos;
- Discutir sobre eventuais problemas de contaminação dos aquíferos da região;
- Propor alternativas ao abastecimento, visando uma gestão integrada de águas.

#### 4 JUSTIFICATIVA

Os municípios que se encontram na área de estudo são abastecidos, nos períodos de recessão<sup>1</sup>, pelos aquíferos da região, porém estudos sobre a qualidade das águas subterrâneas são escassos. Trabalhos nesta temática são capazes de fornecer subsídios às atividades de sua gestão, por parte dos comitês de bacia hidrográfica. Além disso, é necessário que dados sejam, de fato, transformados em informações e, que estas sejam transmitidas, de forma clara e objetiva, aos mais interessados nesta questão: a população local.

Da mesma forma, a ideia de gestão integrada de águas mostra-se muito importante neste contexto, pois é necessário que se busquem alternativas ao abastecimento subterrâneo ora comprometido. Sem contar que a realização de investigações hidrogeológicas nesta escala também tem importância científica, já que os resultados obtidos permitem detalhar melhor os estudos em menor escala como, por exemplo, o Mapa Hidrogeológico do Estado de Santa Catarina (MACHADO, 2013) e o Projeto Oeste de Santa Catarina - PROESC (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002), executados pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) e o Governo do Estado de Santa Catarina.

---

<sup>1</sup> Intervalos entre os eventos de precipitação, quando a água subterrânea mantém o fluxo de base (FREEZE; CHERRY, 1979).

## 5 REFERENCIAL TEÓRICO

### 5.1 HIDROGEOLOGIA

#### 5.1.1 Ciclo Hidrológico

A água, substância mais abundante na superfície do Planeta Terra, ocupa um volume estimado de cerca de  $1.444 \times 10^6 \text{ km}^3$  e ocorre em três estados ou fases: gasosa, líquida e sólida. É sabido que em torno de 97% desse montante corresponde às águas salgadas armazenadas nos oceanos. Do restante, predominam as águas continentais, também conhecidas como águas doces, e, além disso, uma pequena parte encontra-se na atmosfera como vapor d'água (0,001%). Do total de água doce, aproximadamente  $\frac{2}{3}$  constituem as geleiras, calotas polares e glaciares (70%) e somente  $\frac{1}{3}$  compreende os mananciais superficiais, na forma de rios, lagos, solo e na biosfera (1%), e as águas subterrâneas, armazenadas nos aquíferos (29%). É este último terço que está, a priori, disponível para consumo humano (BERNER; BERNER, 1996).

A capacidade da água de mudar de estado e migrar para as diferentes esferas do ambiente, sobre, abaixo e acima da superfície terrestre, em uma circulação sem começo nem fim, é conhecida como Ciclo Hidrológico (Figura 2) (PINTO; HOLTZ; MARTINS, 1976; FREEZE; CHERRY, 1979).

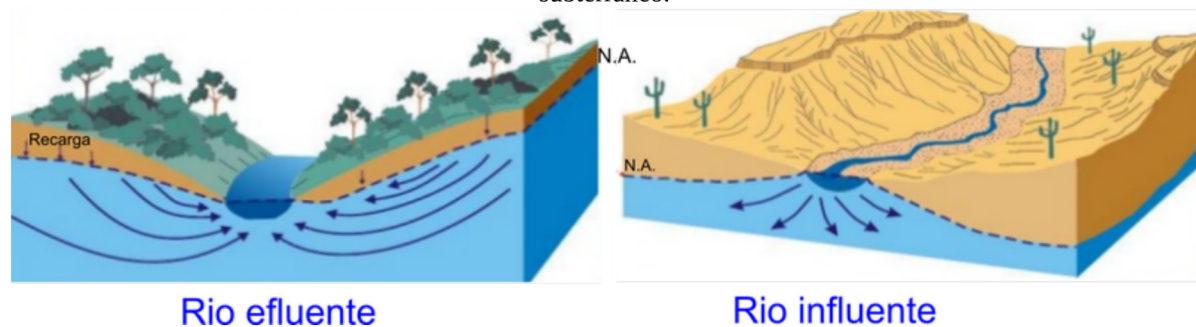
Figura 2. Diagrama do ciclo da água simplificado, no qual o fluxo é indicado pelas setas.



Fonte: EUA (2017).

Como destaca Barison (2015), águas superficiais e subterrâneas, que têm origem na precipitação, comunicam-se intensamente. Esta última, parte fundamental deste ciclo, é uma importante fonte para as populações, pois além de formar reservas subterrâneas e subsuperficiais, alimenta grande parte dos rios, através de suas nascentes (Figura 3). Do volume total de água precipitada sobre determinada superfície, apenas uma parcela infiltra, o restante flui superficialmente por escoamento superficial ou evapora. Isso depende das características do meio, como permeabilidade, grau de saturação, declividade etc. Além disso, nem toda a água que infiltra alcança os aquíferos, parte fica ainda na porção mais superficial do solo como água pelicular, e parte da que infiltra é retida por capilaridade no limite superior do nível d'água. Por fim, apenas o volume restante atinge a zona saturada e adentra os aquíferos

Figura 3. Modelo esquemático que mostra a relação de carga/descarga entre rio e aquífero. No rio efluente, o nível d'água (N.A.) do aquífero está em uma posição mais elevada em relação ao rio, fazendo com que as águas subterrâneas o recarreguem. Diferente do que ocorre em um rio influente, cujas águas alimentam o reservatório subterrâneo.



Fonte: Karmann (2000).

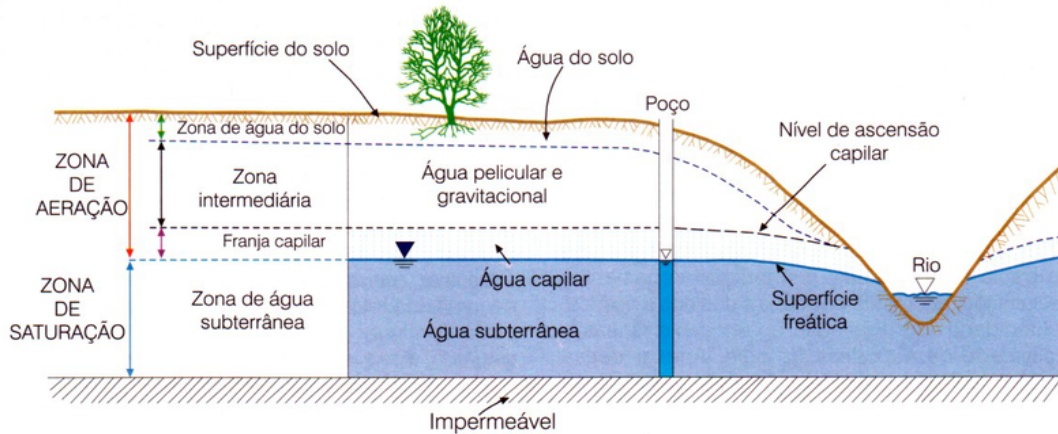
### 5.1.2 Água subterrânea

A Hidrogeologia é o estudo dos processos e modelos que governam o movimento da água subterrânea, as interações químicas, mecânicas e térmicas desta com os sólidos porosos, além do transporte de energia e constituintes químicos através de seu fluxo (DOMENICO; SCHWARTZ, 1990). Sabe-se que, em termos gerais, toda a água que se encontra abaixo da superfície terrestre é subterrânea. Porém, em Hidrogeologia, o termo “água subterrânea” é utilizado somente para aquela que circula sob a superfície freática, ou seja, na zona saturada (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). Segundo Cederstrom (1964), quase toda essa água tem sua origem primordial na chuva, a partir da evaporação dos oceanos.

Para fins didáticos, compartimenta-se o perfil hidrogeológico em duas porções ou zonas que apresentam características hidrodinâmicas similares, a fim de simplificar o

entendimento dos padrões de fluxo vertical que ocorrem abaixo da superfície terrestre, são estas: a zona de aeração e a de saturação (Figura 4) (CEDESTROM, 1964).

Figura 4. Perfil esquemático da distribuição da água em profundidade, evidenciando as diferentes zonas de umidade.



Fonte: Feitosa et al. (2008).

A primeira, logo abaixo da superfície terrestre, é conhecida como zona de aeração, não-saturada ou vadosa. Compreende a porção na qual os vazios podem estar preenchidos tanto por gases como água (que permanece por capilaridade, atração molecular e, em menor proporção, por forças gravitacionais), predominando o fluxo vertical. Esta se divide, por sua vez, em três segmentos (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Primeiramente, uma zona mais superficial que tem contato com a atmosfera e está relacionada à parte superior do solo, é bem intemperizada e porosa em geral. Por estar em contato com a atmosfera, recebe toda a carga de precipitação, que após alcançar a superfície do terreno, parte pode escoar, retornar por evaporação<sup>2</sup> ou transpiração<sup>3</sup> e parte infiltrar no solo (CEDESTROM, 1964).

Em profundidade maior, tem-se a zona intermediária onde a água flui, preferencialmente, por gravidade, além de forças capilares em menor quantidade. Estende-se desde onde as raízes das plantas não alcançam (base do solo) até a parte superior da franja capilar (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Na zona capilar ou franja capilar, porção mais profunda da zona vadosa, predominam as forças capilares que permitem a ascensão da água, a partir da superfície freática. Neste segmento, a umidade cresce à medida que a profundidade aumenta e considera-se o solo como

<sup>2</sup> Evaporação a partir do solo ou corpo d'água (DOMENICO; SCHWARTZ, 1990).

<sup>3</sup> Liberação de vapor d'água por vegetais (DOMENICO; SCHWARTZ, 1990).

praticamente saturado, com grau de saturação<sup>4</sup> por volta de 75% (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Por fim, a água que infiltra através da parte não saturada do solo alcança a superfície freática, limite superior da zona saturada, abaixo da qual todos os poros estão preenchidos por água (saturação = 100%) (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). De acordo com Cederstrom (1964), nesta zona, a água passa a ser denominada como subsuperficial ou subterrânea, quando alcança maiores profundidades até chegar aos aquíferos. Com isso, o fluxo passa a ser tanto horizontal quanto vertical, dependendo da carga hidráulica.

O termo aquífero, do latim *aqui* (água) + *fer* ou *ferrre* (suportar), refere-se a uma rocha ou sedimento, permeável e/ou fraturado, que possa conter uma quantidade significativa de água sob condições usuais de campo. Além disso, os aquíferos também podem ser chamados de reservatórios de água subterrânea ou formações portadoras de água (TODD, 1995). Aquíferos também são definidos como unidades geológicas que, sob certos gradientes hidráulicos ordinários, são capazes de armazenar e transmitir grandes quantidades de água. Porém, o conceito de aquífero varia muito conforme o autor e ao longo do tempo e, desta forma, este deve ser definido conforme seu contexto. De qualquer maneira, geralmente, estes são nomeados a partir de suas unidades estratigráficas (FREEZE; CHERRY, 1979). Exemplo disso é o caso do Sistema Aquífero Serra Geral, vinculado à formação (ou grupo) homônima(o) (MACHADO, 2012; WILDNER et al., 2014).

Hantush (1964) definiu aquífero como uma, a parte ou o conjunto de formações que produz quantidades significativas de água. Aqui se ressalta a mudança de paradigma quanto à quantidade de unidades geológicas relacionadas à constituição de um aquífero, admitindo-se uma pluralidade de formações. Para Heath (1983) aquífero é uma unidade ou uma camada de rocha que possui quantidade de água suficiente para abastecer um poço ou fonte. Feitosa e Manoel Filho (2000) retomam Freeze e Cherry (1979), definindo aquífero como uma formação geológica que, além de possuir água, permite que boa parte desta seja transmitida naturalmente.

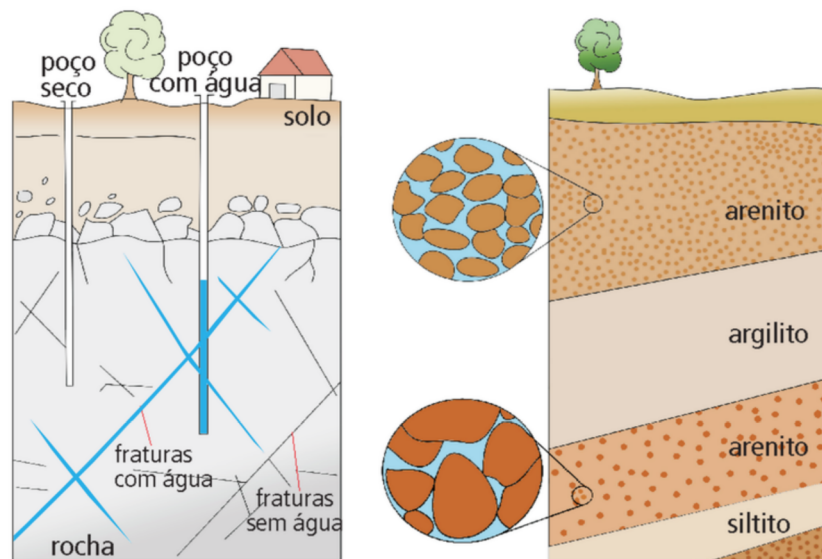
Os aquíferos são classificados, basicamente, por dois parâmetros básicos: a porosidade e a pressão hidráulica. A primeira leva em conta a natureza física e o arranjo estrutural dos “vazios” das rochas, nos quais a água possa ser armazenada, e classifica os aquíferos, de forma geral, em três tipos: granular, fissural (ou fraturado) e cárstico (Figura 5). Como indicado pelo nome, os aquíferos granulares são aqueles onde há porosidade intergranular, i.

---

4 Grau de saturação é a relação entre o volume de água e de vazios no solo, sedimento ou rocha (DOMENICO; SCHWARTZ, 1990).

e., os vazios formam-se entre os grãos da rocha (poros). Exemplo deste tipo é o Sistema Aquífero Guarani (SAG). Por outro lado, os aquíferos fissurais geralmente constituem-se em rochas ígneas, como é o caso do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Nesse contexto, a porosidade desenvolve-se nas estruturas, tanto primárias como secundárias, como juntas de resfriamento, contato entre derrames, planos de fratura etc. As características dessas feições como, por exemplo, a persistência e abertura das fraturas, têm ligação direta com a capacidade de armazenamento e a transmissão de água (por permeabilidade) de um aquífero e, por conseguinte, com a capacidade de produção de um poço. Além disso, existe ainda um último tipo de aquífero, embora ausente da bacia do Jacutinga, que é denominado de cárstico e é formado, em geral, pela dissolução de rochas carbonáticas e posterior infiltração de águas meteóricas (BARISON, 2015; BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004; IRITANI; EZAKI, 2009; BRASIL, 2007).

Figura 5. Classificação dos aquíferos de acordo com o seu tipo de porosidade: fraturado (à esquerda) e poroso (à direita).



Fonte: Iratani e Ezaki (2009)

Do ponto de vista hidrodinâmico, com relação à pressão à qual estão submetidos, os aquíferos classificam-se em: confinado e livre. Os aquíferos confinados são aqueles cuja pressão atuante é maior que a pressão atmosférica. Isso porque estes costumam estar em profundidades maiores e limitados por uma camada confinante impermeável ou ainda pouco permeável, porém muito espessa. Nessa situação, ao se perfurar um poço tubular, como o aquífero está sob pressão superior à atmosférica, há uma elevação do nível estático até a

superfície conhecida como nível piezométrico ou potenciométrico<sup>5</sup>. Quando este nível ultrapassa a superfície do terreno, as águas jorram naturalmente, fenômeno conhecido como “artesianismo” e, nessa condição, o poço deve ser chamado de artesiano ou jorrante (PINTO; HOLTZ; MARTINS, 1976; FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000; BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004).

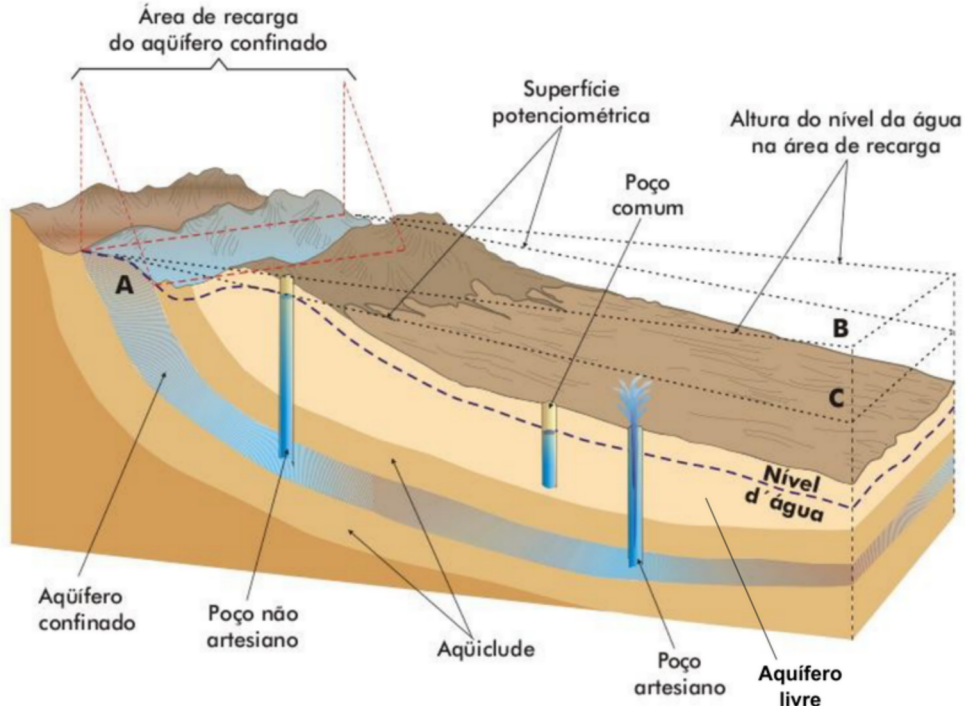
Por outro lado, os aquíferos livres são aqueles cujas águas estão sob pressão igual ou muito próxima da pressão atmosférica e sua superfície potenciométrica, também chamada de freática, coincide com o nível d’água do aquífero (Figura 6). Deste modo, estes, geralmente, são encontrados em uma posição mais superficial, o que faz com que tenham uma acessibilidade hidráulica melhor. Considerando as variações de porosidade e permeabilidade de cada rocha, estes aquíferos podem alcançar uma boa produtividade e, pela facilidade de acesso, os poços perfurados para captação de água subterrânea não precisam ser muito profundos, viabilizando sua exploração. Porém, essa mesma condição confere-lhes uma maior vulnerabilidade intrínseca, ou seja, esses aquíferos são, naturalmente, mais desprotegidos e, desse modo, estão mais propensos a serem contaminados. Além desses, têm-se os aquíferos suspensos, tipos específicos de aquíferos livres, que se desenvolvem mais localmente, sobre um meio impermeável ou pouco permeável. Estes ocorrem entre o nível freático e a superfície do terreno e, comumente, formam reservas temporárias que, com o passar do tempo, alimentam os aquíferos subjacentes (PINTO; HOLTZ; MARTINS, 1976; FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000; BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004). No contexto deste estudo, destaca-se que o SASG é considerado um aquífero livre e, além disso, sua significativa espessura faz com que esse funcione como um meio confinante do SAG sotoposto.

---

<sup>5</sup> A superfície potenciométrica é definida traçando-se os níveis d’água em um determinado número de poços. Para aquíferos livres essa superfície corresponde ao nível d’água, o que não acontece em aquíferos confinados, devido à sua carga hidráulica (FREEZE; CHERRY, 1979).



Figura 6. Modelo tridimensional mostrando as condições de ocorrência de aquíferos livres e confinados. Assim como a denominação dos poços que captam suas águas, de acordo com sua superfície potenciométrica. Ressalte-se que, no modelo, essa superfície refere-se ao aquífero confinado. Para o aquífero livre, como é o caso do SASG, essa superfície coincide com o nível d'água e também é chamada de superfície freática ou simplesmente freático. Sem contar que, nesse caso, a área de recarga do aquífero contempla toda a superfície do terreno.



Fonte: modificado de Karmann (2000).

A capacidade ou vazão específica de um poço é a razão entre a vazão do teste de bombeamento ( $m^3/h$ ) e o rebaixamento do nível dinâmico do aquífero (m), e é usada, comumente, como medida da produção de um poço (DOMENICO; SCHWARTZ, 1990).

### 5.1.3 Medidas de proteção em poços tubulares profundos

No Brasil, a ABNT é o órgão que regulamenta os procedimentos de projeto e construção de poços tubulares profundos para captação de água subterrânea, através da disposição de duas normas técnicas: NBR 12212 e 12244 (ABNT, 2006; 2017). Nestas, estipulam-se, entre outras coisas, os materiais e procedimentos essenciais à proteção do aquífero, evitando a infiltração de contaminantes superficiais.

A primeira norma, que versa sobre o projeto de poço tubular, orienta que para o planejamento dessa etapa, é preciso conhecer as vazões de exploração e o potencial hidrogeológico do local da perfuração. Prevê também que é preciso monitorar as vazões de retirada, com o intuito de manter as condições do projeto e não exceder a capacidade do

aquífero. Sem contar que o plano deve garantir vazões contínuas e constantes, sem perda de volume e qualidade da água (ABNT, 2017).

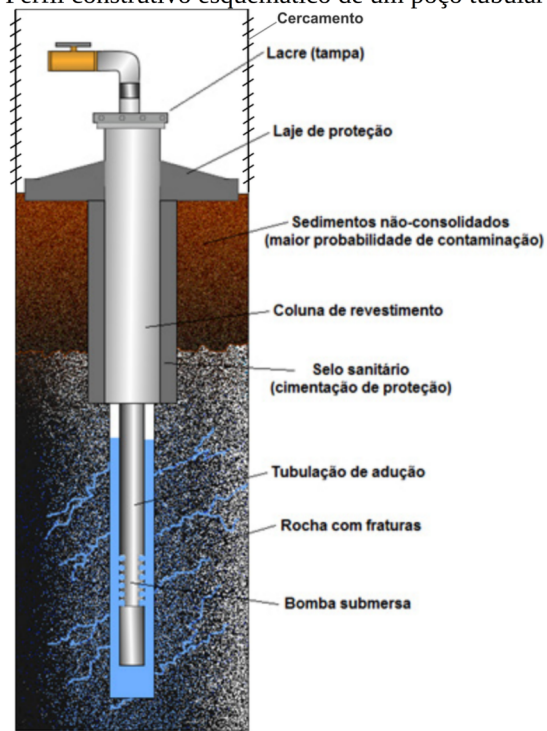
Na NBR 12244, estabelece-se que, durante a fase de perfuração, mais especificamente no processo de revestimento do poço, as juntas e conexões devem estar perfeitamente estanques. No final desta etapa, a coluna de tubos deve ficar, sobre a laje (infracitada), saliente no mínimo 0,3 m (ABNT, 2006).

Em ambas as normas, ressalta-se a obrigatoriedade de colocação de selo ou proteção sanitária após a perfuração, através do preenchimento, com concreto, do espaço entre a parede do furo e o tubo de revestimento (Figura 7). Sobre isso, deve-se construir a laje de proteção, uma estrutura de concreto armado com dimensões mínimas de 1,5 x 1,5 x 0,1 m (comprimento x largura x espessura) e com declividade para as bordas. Para isolar o poço, ao final de sua construção, é necessário que se coloque uma tampa cega (ou lacre) sobre a boca do tubo (ABNT, 2006; 2017).

Ressalta-se que durante a alocação da perfuração, ou seja, na escolha do local a ser perfurado, é preciso que se estabeleça um perímetro de proteção do poço, de acordo com o contexto hidrogeológico local. Da mesma forma, depois da instalação do poço, a área do entorno deve ser protegida com cercamento, tela, alvenaria ou concreto, por exemplo. Além disso, a área de operação, que inclui as instalações elétricas e hidráulicas, deve distar em, no mínimo, 1 m do poço (ABNT, 2006; 2017).

Por fim, lembra-se que os poços improdutivos e/ou abandonados devem ser tamponados e lacrados. Deve-se preencher o poço totalmente, utilizando material inerte na porção inferior, como brita, cascalho ou o material oriundo da perfuração (desde que não contaminado), e uma mistura de água com cimento na parte superior do poço (ABNT, 2006; 2017).

Figura 7. Perfil construtivo esquemático de um poço tubular profundo.



Fonte: modificado de Matthiensen e Oliveira, 2015.

## 5.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo, que compreende a Bacia do Rio Jacutinga, está inserida na porção sul-sudeste da Bacia do Paraná, entre os arcos de Ponta Grossa e Rio Grande. Nessa região ocorrem as rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral (WILDNER et al., 2014), posicionadas sobre as rochas sedimentares das formações Botucatu e Rio do Rasto (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002).

A Bacia do Paraná, com uma área total de quase 1,5 milhão de quilômetros quadrados, ocorre, no Brasil, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste e estende-se para outros países da América do Sul, cobrindo o nordeste da Argentina, leste do Paraguai e norte do Uruguai. Esta bacia tem forma elipsoidal com eixo maior na direção N-S e seu contorno atual é definido, em geral, por limites erosivos desenvolvidos durante o Cenozoico (MILANI et al., 2007).

O “marco zero” dos estudos estratigráficos na Bacia do Paraná foram os trabalhos desenvolvidos por White (1908). Desde então, inúmeras unidades estratigráficas vem sendo propostas e formalizadas para toda bacia, aumentando o conhecimento e refinando o seu posicionamento litoestratigráfico. Em geral, o seu arcabouço é composto por rochas sedimentares e vulcânicas, alcançando cerca de 7 km de espessura na região da calha do Rio Paraná, o qual empresta seu nome para a bacia em questão (MILANI et al., 2007).

O registro estratigráfico desta bacia foi dividido por Milani (1997) apud Milani et al. (2007), utilizando conceitos aloestratigráficos, em seis supersequências (unidades de grande escala temporal e espacial): Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico) e Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo). No registro estratigráfico, as formações Botucatu e Serra Geral, representadas, em geral e respectivamente, por arenitos predominantemente eólicos e basaltos (como derrames, diques e soleiras), têm ampla distribuição por toda bacia e compõem a Supersequência Gondwana III.

Quanto à evolução desta última supersequência, Milani et al. (2007) revelou que durante o Neo-Jurássico, iniciou-se a deposição de espessos pacotes de areia em extensos campos de dunas, representados pela Formação Botucatu. Posteriormente, durante o Eo-Cretáceo, um intenso magmatismo associado ao rifteamento do continente Gondwana e abertura do Oceano Atlântico, gerou, ao longo de toda bacia, grande quantidade de lavas de composição principalmente basáltica, que resultaram na Formação Serra Geral.

### 5.2.1 Grupo Serra Geral

A Formação Serra Geral (ou o mais recente Grupo Serra Geral, definido por WILDNER et al., 2014), foi caracterizada originalmente por White (1908) e definida como unidade litoestratigráfica por Almeida (1964), como sendo formada por espessos derrames de lavas, intrusões de soleiras ao longo das estratificações de rochas paleozoicas, e diques cortando toda seção sedimentar (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002; MILANI et al., 2007).

Esse magmatismo é registrado em quase toda extensão da bacia e estima-se que hoje, passados cerca de 130 Ma do evento Serra Geral, e após intenso retrabalhamento erosivo, cerca de  $\frac{3}{4}$  da extensão da bacia ainda esteja recoberto por pacotes de rochas vulcânicas, que alcançam espessuras de até 2 km nas áreas correspondentes ao depocentro (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002; MILANI et al., 2007).

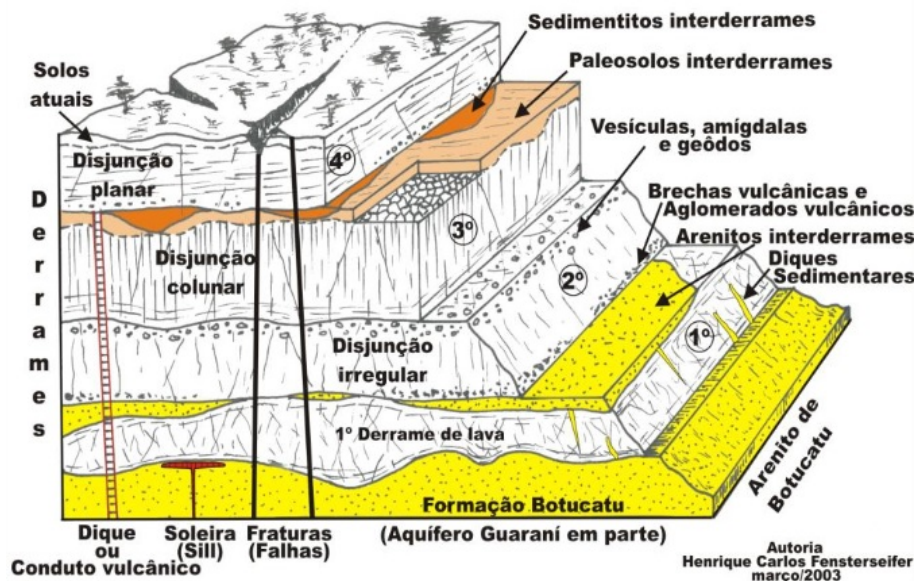
Quanto às litologias do Serra Geral, predominam basaltos toleíticos e andesitos basálticos com ocorrência de riolacitos e riolitos subordinadamente (PEATE et al., 1992). As idades do magmatismo situam-se entre 147 e 119 Ma pelo método K/Ar (AMARAL et al., 1966; CORDANI; VANDOROS, 1967; apud MILANI et al., 2007) ou entre 137 e 127 por Ar/Ar em trabalhos mais recentes (RENNE et al., 1992; PEATE et al., 1992; TURNER et al., 1994; apud MILANI et al., 2007).

Freitas, Caye e Machado (2002), relataram que, como observado para toda a bacia, a subdivisão estratigráfica da Formação Serra Geral é difícil de ser resolvida na Região Oeste, devido à escassez de horizontes-guia e falta de mapeamento geológico de detalhe. No PROESC, esses autores utilizaram, através de critérios litoestratigráficos, o termo “Formação Serra Geral” para referir-se a toda sequência vulcânica e aos sedimentos intertrápicos associados. Relataram o predomínio de espessos pacotes de derrames basálticos em toda a pilha vulcânica e termos mais ácidas (riolitos e riolacitos) subordinados às porções intermediárias e de topo. Além disso, ocorrem rochas hipoabissais - diques e soleiras - cortando o embasamento e as rochas sedimentares subjacentes aos derrames.

Sobre o contexto de estruturação tectônica da Formação Serra Geral em Santa Catarina, Scheibe e Hirata (2008) destacaram a importância da atuação de uma intensa tectônica de blocos para todo estado. Além disso, o projeto PROESC mapeou várias áreas com alta densidade de lineamentos morfoestruturais de direções principais N30-50E e N40-60W, relacionados, principalmente, à ocorrência de fraturas regionais (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002).

Quanto às estruturas principais dessa formação, destacam-se, em um contexto mais amplo, os contatos entre derrames devido à superposição sucessiva destes, que correspondem a descontinuidades tectônicas de grande extensão lateral (Figura 8). Este empilhamento, muitas vezes, é intercalado com brechas peperíticas ou arenitos intertrápicos. Internamente aos derrames, são expressivas as feições de resfriamento como, por exemplo, disjunções ou diaclasas verticais e horizontais. Ainda assim, ocorrem zonas vesiculares ou amigdaloides, preenchidas, em geral, por quartzo, calcita e zeólitas, além de horizontes de basalto compacto com diaclasamento (MANASSES et al., 2011). A Figura 8 ilustra uma situação hipotética de quatro episódios consecutivos de formação de derrames de lava. Constam as estruturas primárias do vulcanismo (ex.: disjunção irregular, colunar e planar, além de zonas vesiculares e amigdaloides, assim como brechas vulcânicas). Além destas feições destacam-se, no contato entre os derrames, arenitos intertrápicos e paleossolos. Por fim, representam-se as fraturas que atravessam toda a coluna, deste os arenitos até a última sequência da pilha vulcânica.

Figura 8. Seção esquemática da disposição do empilhamento de sucessivos derrames e diques da Fm. Serra Geral sobre os arenitos da Fm. Botucatu.



Fonte: Fensterseifer, 2003 apud Scheibe e Hirata, 2008.

Por fim, ressalta-se que o mapa geológico de Santa Catarina de Wildner et al. (2014) adotou uma nova proposta de divisão estratigráfica para essas rochas, elevando a Formação Serra Geral a status de grupo, passando então a mesma a ser chamada de Grupo Serra Geral. Hartmann (2014), ao adotar a nova designação, chama atenção para a grande área (próxima de 1 milhão de km<sup>2</sup>) e espessura (de 500 a 1000 m) apresentada por este grupo. Este, por sua vez, passa a ser dividido em sete formações: Gramado, Paranapanema, Campos Novos, Chapecó,

Palmas, Cordilheira Alta e Campo Erê (WILDNER et al., 2014). Destaca-se que na área de estudo do presente trabalho, ou seja, na Bacia do Rio Jacutinga, ocorrem rochas pertencentes às quatro primeiras formações (Figura 9). De acordo com Wildner et al. (2014), a Formação Gramado, registrada no NE desta bacia, é constituída por derrames basálticos em lobos melanocráticos de cor cinza, ocorrendo espessos horizontes vesiculares com zeolitas, carbonatos, saponita e apofilita, frequentemente intercalados com rochas intertrápicas da Fm. Botucatu. A Formação Paranapanema, que aflora na maior parte da área deste estudo, compreende basaltos microgranulares cinza com alteração nas faces de disjunção, e horizontes vesiculares espessos preenchidos por quartzo, zeolitas, carbonatos, celadonita, barita e cobre nativo. A Formação Campos Novos, de ocorrência localizada na área central da bacia, é composta por basaltos microgranulares escuros, apresentando vesículas com opala preta, água, eventualmente, cobre nativo, e, comumente, jarosita como mineral de alteração. Por fim, a Formação Chapecó, que ocorre em uma estreita faixa no norte da bacia, é composta por rochas ácidas (riodacitos a riolitos) com matriz vitrofírica e pórfiros de feldspato.

Figura 9. Detalhe do Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina (escala: 1:500.000) para a área de estudo.



Fontes: mapa final do autor e bases cartográficas de Wildner et al. (2014) e Descovi Filho (2015).

### 5.3 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

A Região Oeste de Santa Catarina tem, nas águas subterrâneas, uma importante fonte para seu abastecimento que, geralmente, se dá de forma mista, tanto por água superficial quanto subterrânea. Neste contexto, destaca-se a importância do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) (Figura 10), de tipos distintos, sendo um poroso e outro fraturado respectivamente. O primeiro configura como reserva estratégica de água e o último, em especial, pelo grande e crescente número de poços tubulares que captam suas águas devido, principalmente, a sua fácil acessibilidade hidráulica se comparado ao primeiro (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002).

Figura 10. Mapa de localização das áreas de ocorrência, em superfície, do SAG e do SASG.



Fonte: Machado (2013).

Como resultado do Mapeamento Hidrogeológico de Santa Catarina publicado em 2012, foram individualizadas 16 unidades hidroestratigráficas para o estado, são elas: Embasamento Cristalino, Campo Alegre, Itajaí, Mafra, Rio do Sul, Rio Bonito, Palermo, Irati, Serra Alta, Teresina, Rio do Rasto, Pirambóia, Botucatu, Serra Geral, Alcalinas e Sedimentos Cenozoicos.



### 5.3.1 Sistema Aquífero Serra Geral

O SASG, ou Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral de Machado (2013), leva este nome porque se desenvolve junto às rochas vulcânicas do grupo homônimo, que afloram em toda Região Oeste. Este compartimento de água subterrânea, que corresponde a quase 50% da área do estado, é definido como um sistema heterogêneo e anisotrópico, constituído por aquíferos fraturados ou fissurais, predominantemente livres, com forte dependência do controle estrutural. Enquanto que o SAG, sotoposto ao SASG, é constituído pelas rochas sedimentares das Fm. Botucatu e Pirambóia (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002; MACHADO, 2013).

O SASG possui características hidrogeológicas únicas e muito interessantes do ponto de vista socioeconômico, no que difere de muitos aquíferos fraturados desenvolvidos sobre outras litologias como granitoides e gnaisses (FREITAS, CAYE; MACHADO, 2002). Conforme Machado (2013) duas de suas características importantes são o comportamento de aquífero que suas rochas fraturadas possuem e o confinamento, gerado por estas, sobre as unidades Pirambóia e Botucatu. Sem contar que, conforme ressaltado por Freitas, Caye e Machado (2002), o SASG é o mais importante e mais utilizado do estado devido a sua facilidade de acesso hidráulico e ao baixo custo de perfuração. Ao passo que o SAG constitui uma reserva estratégica de difícil acesso, mas que vem sendo cada vez mais utilizada nos últimos anos.

A capacidade de armazenamento e transmissão, bem como os fluxos d'água no SASG, está condicionada, em grande parte, por fatores genéticos e tectônicos. Quanto às estruturas formadoras de porosidade primária (ligadas à gênese do Grupo Serra Geral), destacam-se as feições relacionadas à morfologia e estrutura dos derrames, por exemplo, as porções vesicular, amigdalóide e brechada entre os contatos de derrames, as zonas de disjunção horizontal que propiciam o fluxo nesse sentido, assim como as disjunções verticais que possibilitam a permeabilidade vertical do aquífero, além da formação de paleossolos. Quanto à condicionante tectônica capaz de gerar porosidade secundária, destaca-se o intenso fraturamento decorrente de uma tectônica rúptil evidenciada, por exemplo, pela interconexão entre falhas e fraturas. (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002; MACHADO; FREITAS, 2000; MACHADO, 2013).

Conforme Freitas, Caye e Machado (2002), na base dos derrames a porção vítrea ocorre, muitas vezes, associada com fraturas de espessuras centimétricas, que podem permitir o fluxo da água. Sobre isso, tem-se uma zona de intenso diaclasamento horizontal, sotoposta a uma porção de forte fraturamento vertical, as quais favorecem fluxos nessas direções respectivamente. Por fim, a porção mais brechada, do topo dos derrames, gera vazios mili a

centimétricos que, quando alterados e interconectados, funcionam como ótimos reservatórios de água.

Observando sua forma de ocorrência, a disposição de suas estruturas intra e interderrames e os estágios múltiplos de sua formação, é de se esperar que as condições hidrogeológicas desse sistema aquífero sejam anisotrópicas e heterogêneas, como é observado a partir da significativa variação de parâmetros como a condutividade hidráulica. Um exemplo disso é o fato de que, comumente, na Região Oeste de SC, poços com pouca distância entre si possuem características hidrogeológicas, que destoam significativamente, como a vazão (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002; MACHADO, 2013). Conforme ressaltado por Freitas, Roisenberg e Andriotti (2016), o controle estrutural, que condiciona muitas das características hidroquímicas (como a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos), está associado com extensos lineamentos de direções NW, NE e EW na Região do Alto Uruguai no RS e Meio Oeste em SC (onde se insere a Bacia do Jacutinga), que costumam representar fraturas e falhas de grande expressão, bem como o contato entre derrames. Estas estruturas são importantes porque, ao passo que constituem as áreas de recarga dos aquíferos, são condicionantes da vulnerabilidade intrínseca destes. Porém, na área da bacia, predominam áreas com baixa densidade de lineamentos, o que dificulta a infiltração e garante, em parte, a proteção dos aquíferos (SANTA CATARINA, 2012).

O aproveitamento do SASG é exclusivo para profundidades menores que 400 m e a profundidade média dos poços cadastrados pelo PROESC, que captam água desse aquífero, gira em torno de 117 m, variando entre 24 a 310 m. A moda, ou seja, a maioria destes encontram-se no intervalo de profundidade entre 100 e 150 m. Em relação às entradas d'água, cerca de 70% destas foram registradas entre 20 e 100 m de profundidade, evidenciando o limite considerado como “ótimo de produção” em aquíferos basálticos fraturados. Naquele projeto, os autores relataram uma grande variação das vazões, com casos onde estas são inferiores a 1 m<sup>3</sup>/h até vazões superiores a 20 m<sup>3</sup>/h. Ressalta-se que, em geral, a vazão específica de um poço, perfurado em rocha basáltica, diminui com a profundidade devido à maior distância entre fraturas. Para o SASG, apesar de predominarem capacidades específicas entre 0,5 e 4 m<sup>3</sup>/h, este parâmetro mostra-se muito variável. Por conta disso, esses autores concluíram que a produtividade dos poços dessa região tem maior relação com as fraturas existentes do que com a profundidade alcançada (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2002).

Em relação à hidroquímica, o SASG costuma apresentar pouca salinização, evidenciada pelos baixos valores de sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica (CE). Porém, estes variam significativamente, com intervalos de 60 a 237 mg/L de STD e 69

a 377  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de CE. Da mesma forma, o pH oscila de ácido (mínimo de 5,43) a alcalino (máximo de 10,08) (MACHADO; FREITAS, 2000). De acordo com Freitas, Roisenberg e Andrioti (2016), as águas do SASG apresentam, em SC e no RS, um *background* de CE entre 117,35 e 378,35  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Além disso, os autores destacam que, para a região do Alto Uruguai/Meio Oeste de SC, os valores de pH oscilam entre 6,15 e 11 (com média de 8,29). Machado e Freitas (2000) mostraram que, quanto à dureza total, apesar da variação entre 8 e 160 mg/L, percebeu-se uma frequência maior de valores baixos nas águas do SASG. O flúor, por sua vez, apresentou uma baixa concentração média de 0,25 mg/L. Valores baixos também foram percebidos para nitrato e nitrito, com concentração máxima de 0,95 e 0,02 mg/L respectivamente.

Quanto à tipologia geoquímica do SASG no oeste catarinense, Freitas, Caye e Machado (2002), relataram o predomínio de águas bicarbonatadas cálcicas, cálcicas-magnesianas e sódicas. Em um contexto mais amplo, Machado (2013) aponta que para todo o estado, de modo geral, prevalecem as águas bicarbonatadas cálcicas, e sódicas em menor número. Em outras pesquisas, realizadas no nordeste do RS, região do Alto Uruguai (próximo à Bacia do Rio Jacutinga), relatou-se o domínio de águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bem como bicarbonatadas sódicas. As primeiras com baixos valores de pH e STD, indicando pouco tempo de residência e áreas de recarga por precipitação pluviométrica. Enquanto que as sódicas, com pH alcalino e STD alto, também são indício de mistura entre as águas do SAG e SASG, assim como a ocorrência de águas sulfatadas e cloradas em menor número (CUNHA et al., 2016; FREITAS et al., 2012; MACHADO; FREITAS; NANNI, 2008).

O mais recente Mapa Hidrogeológico de Santa Catarina traz uma classificação baseada na delimitação de zonas aquíferas de acordo com sua produtividade, com legenda seguindo o proposto pela Associação Internacional de Hidrogeólogos (IAH). Destaca-se que, na área de estudo do presente trabalho, ocorrem, principalmente, aquíferos de maior potencialidade ou produtividade, bem como aquíferos pouco produtivos e unidades não-aquíferas (aquicludes ou aquífugos) em áreas menores (Figura 11).

Figura 11. Recorte do Mapa Hidrogeológico de Santa Catarina, com ênfase às unidades hidrogeológicas que ocorrem na Bacia do Rio Jacutinga.



Fontes: mapa final do autor e bases cartográficas de Machado (2012) e Descovi Filho (2015).

A zona aquífera mais abundante na Bacia do Jacutinga tem extensão regional e funciona como um aquífero livre a semiconfinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. Relacionada com derrames vulcânicos basálticos e andesíticos, assim como dacitos afíricos e arenitos intertrápicos pontualmente, esta se encontra intensamente fraturada e estruturada através de uma sequência de derrames que se intercalam com zonas amigdaloides. Neste contexto, as vazões variam entre 5,0 e 40,0 m<sup>3</sup>/h e os níveis estáticos entre 5 e 30 m em geral. Os valores de STD são, comumente, inferiores a 500 mg/L. Por apresentarem boa produtividade e se localizarem em áreas rurais e centros urbanos muito povoados e em crescente desenvolvimento, esses aquíferos têm grande importância socioeconômica. Dessa forma, estes são muito vulneráveis à contaminação pela sua condição livre, podendo apresentar alto risco à contaminação, principalmente nos centros urbanos (MACHADO, 2013).

Quanto aos aquíferos pouco produtivos, estes também estão associados a derrames vulcânicos basálticos e andesíticos, bem como dacitos afíricos, porém pouco fraturados. Portanto, somente desenvolvem-se aquíferos aquitardos e aquíferos bem localizados e limitados, com vazões que, dificilmente, ultrapassam 3,0 m<sup>3</sup>/h e níveis estáticos variando entre 10 e 30 m. Por isso, os poços são mais profundos, captando águas mais mineralizadas, com valores de STD superiores a 300 mg/L. Porém, nesta zona registra-se a ocorrência de inúmeras fontes, onde as águas são oriundas da infiltração a partir de precipitações recentes. Por fim, destaca-se sua

baixa vulnerabilidade e risco à contaminação, ocupando áreas rurais pouco povoadas e, em alguns casos, áreas de encosta (MACHADO, 2013).

Por fim, as zonas não aquíferas são constituídas de aquícludes e aquífugos oriundos de basaltos em cristas orientadas do relevo, ou seja, em situação de topo, ou ainda em talvegues de alta declividade, pouco propícios à infiltração de água. Raras vezes, ocorrem aquíferos suspensos ou restritos a estreitas zonas fraturadas, figurando como única forma de captação. Além disso, quando possível, utiliza-se da água oriunda de fontes. Por conta desses fatores essas zonas apresentam baixa vulnerabilidade e, como a geomorfologia é desfavorável, são áreas pobremente povoadas e, por isso, o risco à contaminação também é baixo (MACHADO, 2013).

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).

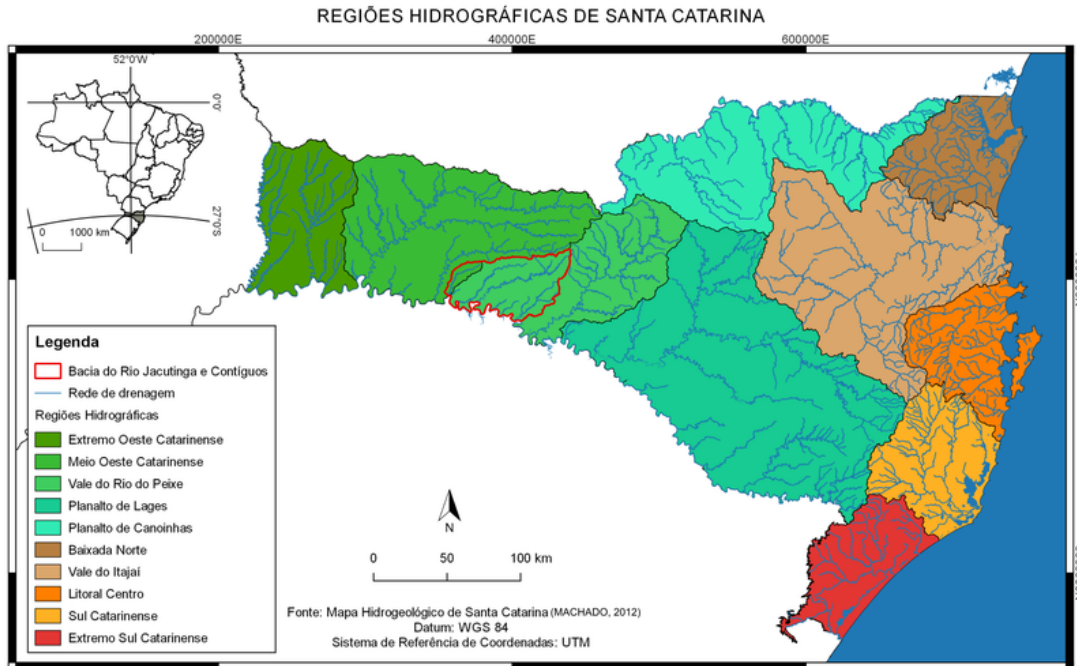
#### 5.4 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA

A hidrografia do sul do país divide-se em dois grandes compartimentos, o sistema composto pelas Bacias do Uruguai e Paraná e o conjunto de bacias independentes que fluem diretamente em direção ao litoral. Assim, o estado de SC divide-se em Vertente do Litoral e Vertente do Interior, através da Serra Geral. A Vertente do Interior abrange cerca de 62% de todo território de Santa Catarina e compreende as bacias dos rios Uruguai e Iguaçu, com orientação para oeste (PRATES; MANZOLLI; MIRA, 1986).

A Bacia do Uruguai, onde se insere a área de estudo, é a maior bacia hidrográfica do estado, com 49.473 km<sup>2</sup> de extensão, o equivalente a 51,65% do território catarinense. Seus limites são a Serra Geral (limite com a vertente do litoral) e a Serra do Espigão (limite com a Bacia do Rio Iguaçu), e seus formadores são os rios Pelotas e Canoas, cujas nascentes desenvolvem-se na Serra Geral. Os afluentes do Rio Uruguai pela margem direita, catarinense, são os rios do Peixe, Rancho Grande, Jacutinga, Engano, Ariranha, Irani, Chapecó, São Domingos, Antas, Iracema, Macaco Branco e Peperi-Guaçu. Além disso, o rio Uruguai recebe, pela margem esquerda, águas de diversos rios do RS (PRATES; MANZOLLI; MIRA, 1986).

O Governo do Estado de Santa Catarina, visando uma melhor gestão de suas águas, instituiu, através da Lei nº 10.949/1998, sua divisão em dez Regiões Hidrográficas. Neste contexto, conforme já citado anteriormente, a Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga situa-se em grande parte na Região do Vale do Rio do Peixe e, em menor proporção, na do Meio Oeste Catarinense (Figura 12). É definida como um sistema hidrográfico composto por oito sub-bacias contíguas que drenam suas águas até o Rio Uruguai, são elas: Jacutinga, Rancho Grande, Suruví, Queimados, Engano, Ariranha, Ariranhazinho e Contribuições Independentes.

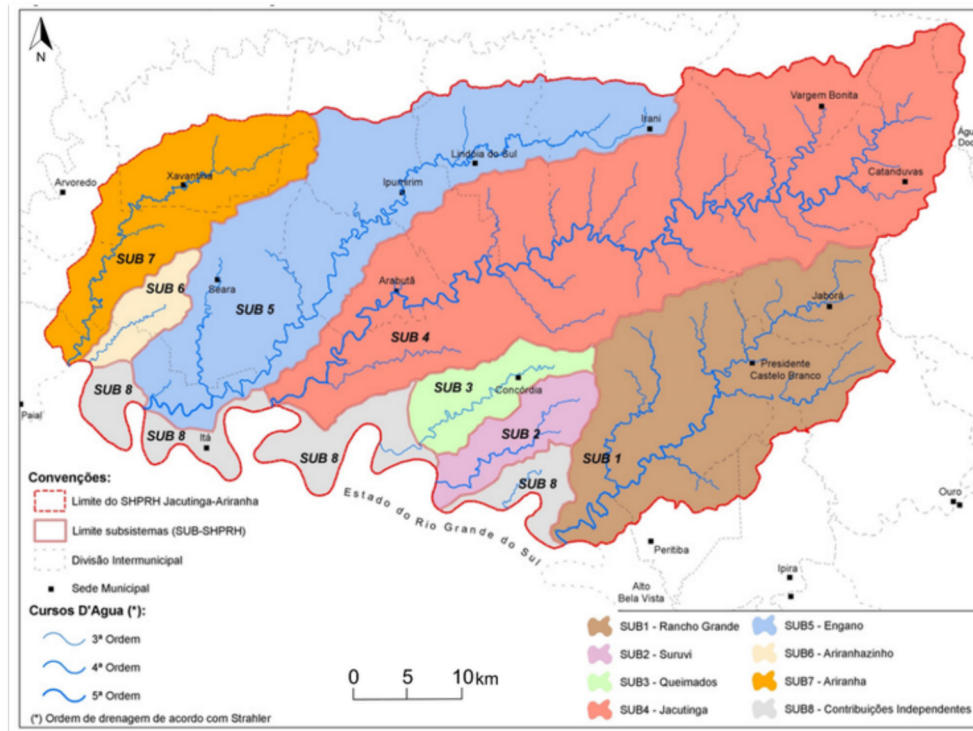
Figura 12. Mapa das regiões hidrográficas de Santa Catarina, com destaque para a Bacia do Rio Jacutinga.



Fonte: do autor (mapa final), base cartográfica retirada de Machado (2012).

É importante salientar que esta bacia, inicialmente, abrangia apenas a área da Bacia do Jacutinga propriamente dita. Porém, atendendo a demanda do seu comitê e da comunidade em geral, o território referente à Bacia do Rio Ariranha (noroeste da bacia) foi anexado a área de atuação do comitê (Figura 13). Em seu plano de bacia, a junção dessas duas áreas é denominada de Sistema Hidrográfico de Planejamento de Recursos Hídricos Jacutinga - Ariranha (SHPRH Jacutinga Ariranha). Além disso, outras regiões próximas ao Rio Uruguai, chamadas de “contribuições independentes” foram, também, incorporadas, completando, assim a área total de abrangência desta bacia (SANTA CATARINA, 2012).

Figura 13. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga ou SHPRH Jacutinga - Ariranha, e suas sub-bacias contíguas. Destaque para o Rio Jacutinga (SUB4), principal curso d'água dessa região, que confere seu nome a todo esse conjunto de bacias hidrográficas contíguas.

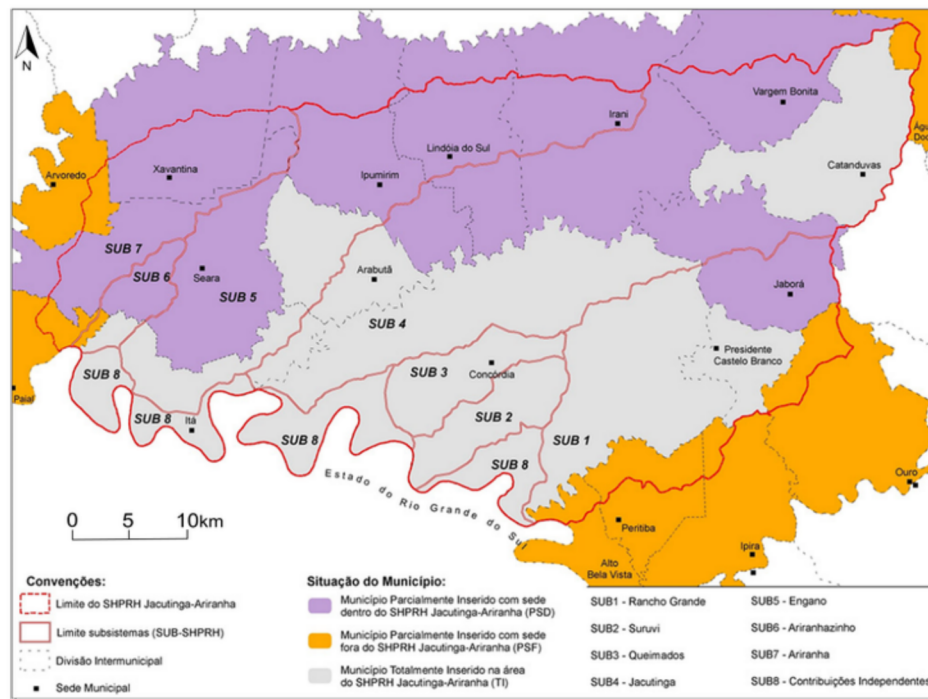


Fonte: Santa Catarina (2012).

A divisão político-administrativa, como na maioria dos casos, não acompanha os limites fisiográficos da bacia. Portanto, para um melhor entendimento, os 19 municípios relacionados a esta bacia são divididos em três grupos como mostra a Figura 14: totalmente inseridos, parcialmente inseridos com sede dentro do traçado da bacia e parcialmente inseridos com sede fora desse limite. Arabutã, Catanduvas, Concórdia, Itá e Presidente Castelo Branco encontram-se totalmente inseridos no contexto da bacia. Destaque para Concórdia, que concentra a maior população e é considerado o polo econômico da região (SANTA CATARINA, 2012).



Figura 14. Mapa de localização dos municípios inseridos na Bacia do Jacutinga.



Fonte: Santa Catarina (2012).

Do ponto de vista socioeconômico, essa região tem uma população de cerca de 116 mil pessoas, correspondendo a 2,65 % de todo o estado. Tem como principais atividades econômicas as criações de suínos, aves e bovinos, assim como a agricultura, com destaque para a produção de grãos, o que contribui para a instalação e desenvolvimento de diversas agroindústrias. Nesse contexto, a água tem um papel fundamental para a manutenção do equilíbrio e funcionamento de todas as esferas e setores políticos, sociais e econômicos (COMASSETTO, 2013).

#### **5.4.1 Comitê do Rio Jacutinga**

Realidade de praticamente todas as bacias hidrográficas, o desafio ambiental desta reside na problemática de compatibilizar as demandas criadas pelo desenvolvimento socioeconômico com a oferta de água em quantidade e qualidade suficientes. No Brasil, a gestão das águas é regulamentada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH), ambos estabelecidos através da Lei nº 9433/1997 (Lei das Águas). Nesse aspecto, é estabelecido que a gestão das águas deve ser feita de maneira descentralizada e integrada, com as bacias hidrográficas como unidades fundamentais, através da criação de comitês de bacia hidrográfica, que são entidades responsáveis pela promoção de debates e resolução dos conflitos relacionados a essa temática. Estes devem ter sua representação compartilhada respeitando a seguinte proporção: sociedade civil (40%), usuários de água (40%) e órgãos públicos (20%) (BRASIL, 1997).

Fundado em 2003, através do Decreto Estadual nº 652/2003, o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Sub-bacias Contíguas, ou simplesmente Comitê Jacutinga, tem sede no Município de Concórdia e conta com a participação de 55 entidades, respeitando a proporção (4/4/2) recomendada pela PNRH. Esta entidade busca o compreender a realidade local, transmitir esse conhecimento para a população em geral, promover e mediar debates e, assim, solucionar os problemas locais. Sempre, visando uma gestão integrada da água, ou seja, considerando todas as capacidades e limitações dos diferentes compartimentos ou reservatórios desse bem natural, tanto superficiais quanto subterrâneos (COMASSETTO, 2013; SANTA CATARINA, 2003, 2012). De acordo com Marchesan, Alves e Milani (2016), apesar de todas as dificuldades enfrentadas pelo comitê, como a falta de recursos humanos e financeiros, este ainda é considerado um dos mais atuantes do estado.

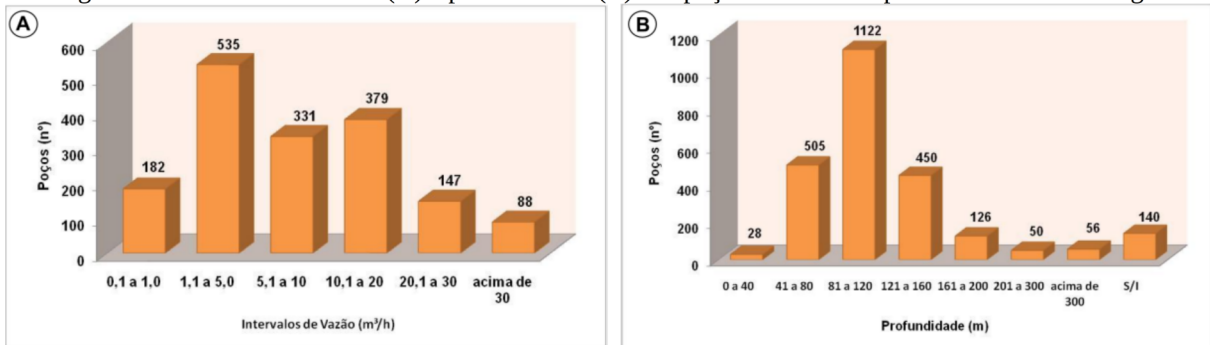
#### 5.4.2 Águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga

Como observado para toda região, esta bacia tem registrado um grande crescimento populacional aliado a um intenso processo de urbanização, que fez com que a demanda por água aumentasse significativamente, comprometendo a qualidade da água nos compartimentos superficiais. Por conta disso, os reservatórios subterrâneos - em especial o SASG - passaram a ser intensamente explorados (COMASSETTO, 2013; COMASSETTO et al., 2014).

Dessa forma, tornou-se muito importante conhecer as particularidades acerca das águas subterrâneas. Sendo assim, alguns trabalhos de caracterização regional passaram a ser realizados, principalmente através da atuação do comitê. Dentre esses se destaca o Projeto Gestão de Águas Subterrâneas que teve como objetivo cadastrar os poços existentes na Bacia do Jacutinga e realizar análises físico-químicas e bacteriológicas em poços comunitários situados no interior dos municípios de abrangência do comitê. Boa parte das informações sobre estes poços vieram do cadastro de usuários, em complementação com informações do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - CPRM), de instituições e empresas públicas e privadas (COMASSETTO et al., 2014).

Com esse cadastramento, foram identificados 2477 poços tubulares profundos para a bacia, dos quais 62 % (1531) encontravam-se em operação 26 % (648) foram considerados como secos, 7 % (169) dos poços não possuíam informações suficientes para fim e 5 % (129) estavam desinstalados quando da realização do cadastro. Destaca-se que a maior concentração de poços (42 %) situa-se nas zonas rurais dos municípios de Seara e Concórdia, polos econômicos regionais, com forte presença de agroindústrias de aves e suínos. A análise acerca da qualidade da água subterrânea levou em consideração somente os poços instalados em propriedades comunitárias ou particulares. Entende-se por poço comunitário aquele que foi perfurado, é utilizado e mantido por uma associação de moradores. Nesse cenário, dentre os poços em operação e com relação aos principais usos, 45,6 % (698) são destinados somente para o consumo humano, aproximadamente 48,6 % (744), tanto para consumo humano como dessedentação animal e 2,7 % (41) para abastecer as indústrias. Quanto às profundidades e vazões (Figura 15), registrou-se uma variação entre 24 e 764 m de profundidade, com a maior parte dos poços situada entre 81 e 120 m. O intervalo de vazões mais recorrentes (21 %) apresenta valores entre 1,1 e 5 m<sup>3</sup>/h, com uma significativa variação total entre 0,8 e 150 m<sup>3</sup>/h (COMASSETTO et al., 2014; MARCHESAN; ALVES; MILANI, 2016).

Figura 15. Intervalos de vazão (A) e profundidade (B) dos poços cadastrados pelo Comitê do Jacutinga.



Fonte: modificado de Comassetto et al. (2014).

#### 5.4.3 Qualidade das águas subterrâneas na Bacia do Rio Jacutinga

Comassetto et al. (2014) apresentaram os resultados da primeira etapa do Projeto Gestão de Águas Subterrâneas, que diz respeito às análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas em 100 poços comunitários do interior dos municípios de abrangência do comitê. Comparando esses resultados com a PRT 2914/2011 e Resolução nº 396/2009 do CONAMA, que regulamentam os padrões de qualidade da água para o consumo humano, observou-se que, em 76 % dos poços, pelo menos um dos parâmetros encontra-se fora desses padrões (Tabela 1).

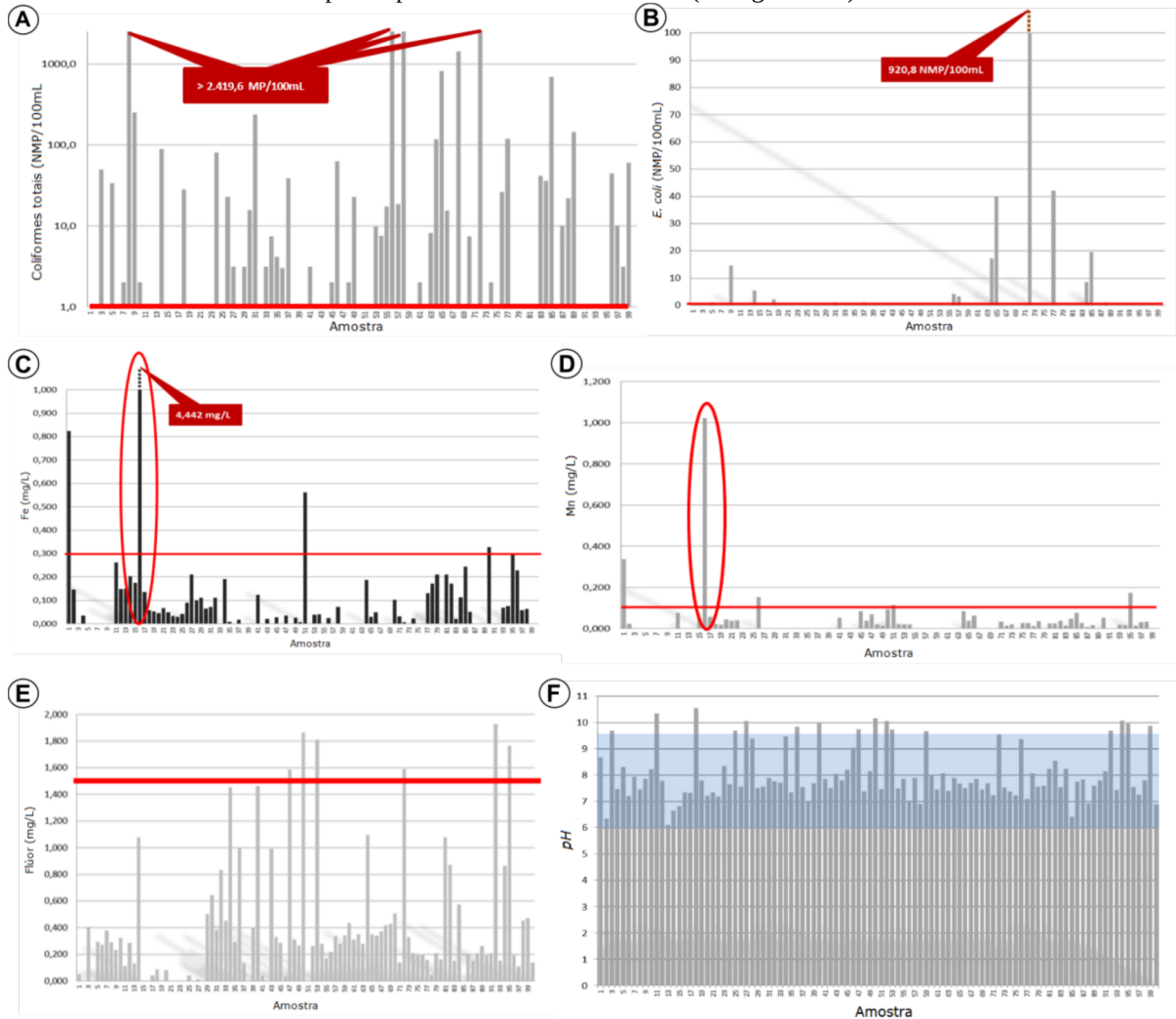
Tabela 1. Análise dos parâmetros relacionados com a potabilidade das águas subterrâneas amostradas, em 2013, nos poços comunitários da bacia. VMP = Valor Máximo Permitido.

Parâmetro	VMP	Análises (n°)	Valor médio observado	Valor máximo observado	Análises fora do limite (n°)
<i>pH</i>	6,0 a 9,5	100	8,05	10,54	17
<b>Flúor</b>	1,5 mg/L	100	0,39 mg/L	1,92 mg/L	06
<b>Manganês</b>	0,1 mg/L	100	0,03 mg/L	1,02 mg/L	05
<b>Ferro</b>	0,3 mg/L	100	0,12 mg/L	4,44 mg/L	04
<b>Alumínio</b>	0,2 mg/L	100	0,04 mg/L	0,34 mg/L	04
<b>Dureza total</b>	500 mg/L	100	122 mg/L	500 mg/L	00
<b>*SDT</b>	1.000 mg/L	94	140 mg/L	530 mg/L	00
<b>Sulfato</b>	250 mg/L	100	14,8 mg/L	357,9 mg/L	01
<b>Nitrato</b>	10 mg/L	100	2,53 mg/L	10,1 mg/L	01
<b>Nitrito</b>	1 mg/L	100	0,002 mg/L	0,2 mg/L	00
<b>Cloreto</b>	250 mg/L	100	13,5 mg/L	74,1 mg/L	00
<b>**Cloro DPD</b>	5 mg/L	100	0,02 mg/L	1,1 mg/L	00
<b>Amônia</b>	1,5 mg/L	100	0,08 mg/L	1,94 mg/L	01
<b>Coliformes totais</b>	Ausência NMP/100mL	100	146,12 NMP/100mL	> 2419,6 NMP/100mL	62
<b><i>E.coli</i></b>	Ausência NMP/100mL	100	10,8 NMP/100mL	920,8 NMP/100mL	16

Fonte: Comassetto et al. (2014).

O conjunto de gráficos abaixo (Figura 16) apresenta a distribuição dos valores encontrados, em todos os poços analisados, para aqueles parâmetros com problemas mais frequentes, bem como seus respectivos limites estabelecidos pela legislação. Nesse contexto, as características bacteriológicas aparecem como principais limitadores da qualidade das águas subterrâneas, com 62 % das amostras acima dos VMP's para coliformes totais e 16 % com concentrações muito altas de *E. coli* (Figura 16 - AB). Dentre as variáveis físico-químicas, ferro (Fe) e manganês (Mn) excederam os limites em 4 e 5 % dos poços respectivamente (Figura 16 - CD). Destaca-se que concentrações muito elevadas desses elementos, chegando a valores cerca de 15 vezes maiores que o permitido, foram registrados no poço nº 16, localizado em Vargem Bonita. O flúor (F) também apresentou, em 6 % dos poços, concentrações acima dos VMP's (Figura 16 - E). Por fim, o pH apresentou uma elevada frequência de amostras (17 %) em desacordo com os limites da legislação, principalmente, por conta de valores situados acima do máximo permitido, representando águas muito alcalinas (Figura 16 - F). Além desses, sulfato, amônia e nitrato também excederam os limites, porém apenas em 1 % das amostras (COMASSETTO et al., 2014).

Figura 16. Conjunto de gráficos apresentando a concentração das variáveis que se apresentaram, com maior frequência, em desacordo com a legislação em 2013, seus respectivos poços de ocorrência e os limites estabelecidos (linha vermelha horizontal). A) Concentração de coliformes totais. B) Concentração de *E. coli*. C) Valores encontrados para Fe. D) Variação do elemento Mn. E) Distribuição da concentração de F. F) Resultados para o pH e seu intervalo de ótimo (retângulo azul).



Fonte: modificado de Comassetto et al. (2014).

## 5.5 QUALIDADE DAS ÁGUAS

Sabe-se que, por ser um excelente solvente, não existe água pura no ambiente. As "impurezas" são responsáveis pelas características que distinguem as águas, dentre outras coisas, por sua qualidade. Essas impurezas podem ser inócuas ou nocivas, por exemplo, vírus, bactérias, parasitas, substâncias tóxicas e elementos radioativos (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991; SILVA; CALHEIROS, 2014).

O conceito de qualidade é complexo e relativo, pois depende do uso, ou seja, para qual finalidade a água é utilizada, tendo em vista os padrões específicos para cada uso e seus respectivos parâmetros delimitadores (CADILHAC; ALBINET, 2003). Porém, diversos autores se referem à "qualidade natural" ou "simplesmente qualidade" da água como o conjunto das características físicas, químicas e biológicas das águas em seu estado natural nos diferentes compartimentos superficiais e subterrâneos (CEDESTROM, 1964; FERNÁNDEZ-VÍTORIA, 1997).

A água pode ser utilizada no próprio local onde se encontra ou fora dele. No primeiro caso, pode figurar como parte de ecossistemas aquáticos; como cenário para navegação, pesca, banho etc; e, muitas vezes, como meio receptor de efluentes residuais. Dentre os fins fora do seu local original, destacam-se os usos domésticos, industriais, agrícolas, a dessedentação animal e o consumo humano (FERNÁNDEZ-VÍTORIA, 1997), objeto deste estudo.

Conforme Di Bernardo (1993), as fontes de abastecimento podem ser encaradas como ecossistemas particulares, onde há variação (sazonal, mensal, semanal e até mesmo diária) nas características dos mananciais, causada por fatores naturais ou antrópicos. Por conta disso, além das formas de uso, os problemas de alteração da qualidade da água devem ser levados em conta na escolha da fonte. Isso porque, apesar dos importantes avanços nas tecnologias de tratamento, estas soluções muitas vezes não são economicamente viáveis, o que demanda utilização de água em seu estado natural.

As águas meteóricas são aquelas que se originam a partir do vapor d'água atmosférico e precipitam-se como chuva, granizo, neve, neblina, etc (CALHEIROS; GOMES; ESTRELLA, 2014). A água da chuva ou pluvial, consiste em uma solução diluída (baixa quantidade de STD) de diferentes substâncias, orgânicas ou não, que são tratadas como "impurezas" (BERNER; BERNER, 1996; MARTINS, 2008). Os componentes inorgânicos podem ser divididos em dois grupos: os derivados de partículas do ar, que é o caso do sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ); e os oriundos de gases atmosféricos, por exemplo, sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (BERNER;

BERNER, 1996). De acordo com Berner e Berner (1996), a água meteórica é, em geral, levemente ácida (pH entre 4 e 6) por conta da dissociação do ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ) ocasionada pela interação entre a água ( $H_2O$ ) e o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) atmosférico.

A qualidade da água meteórica, que cai sobre a superfície, depende da sua formação e seu percurso até a terra. Nesse contexto, destacam-se os processos de *rainout* e *washout*. O primeiro diz respeito ao estágio de formação das nuvens com incorporação de gases e aerossóis (núcleos de condensação). Com o início da precipitação, substâncias situadas abaixo das nuvens, que têm uma forte afinidade com a terra (e. g. cálcio, potássio e nitrato), são carregadas até a superfície pelo que se conhece como *washout* ou deposição úmida (BERNER; BERNER, 1996).

Martins (2008) utilizou os seguintes critérios para analisar a qualidade das águas meteóricas de Florianópolis: pH, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, cátions ( $Na^+$  e  $K^+$ ), ânions, metais e metais-traço. Neste trabalho, a autora destacou falta de conhecimento sobre a química atmosférica de áreas tropicais e subtropicais como é o caso de Santa Catarina. Além da componente atmosférica, o meio no qual a água de precipitação escoar tem grande potencial na alteração da qualidade dessas águas. Isso foi o objetivo de uma pesquisa realizada por Calheiros, Gomes e Estrella (2014) que compararam a ação de diferentes tipos de telhado na composição da água captada a partir da chuva. Neste trabalho, além dos parâmetros citados acima, levou-se em consideração a turbidez e a presença de coliformes totais e termotolerantes.

No caso das águas superficiais, diversos parâmetros conferem suas características particulares que refletirão na sua qualidade. Dentre estes se destacam os seguintes: coliformes totais e termotolerantes (*Escherichia coli*), nitrato, amônia, fósforo, cloro livre, potencial hidrogeniônico (pH), dureza, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD) e suspensos (STS), cor aparente, turbidez, teor de oxigênio dissolvido (OD), demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO) e cianobactérias (SILVA; CALHEIROS, 2014). Em suma, do ponto de vista ecológico e de abastecimento humano, destacam-se os seguintes parâmetros: coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), turbidez, cor e pH (BRASIL, 2005).



### 5.5.1 Qualidade das águas subterrâneas

As características das águas subterrâneas, por sua vez, dependem, além da composição da água meteórica, da interação destas com o meio onde percolam, ou seja, os solos e as rochas que compõem o aquífero. Por outro lado, as ações antrópicas exercem grande influência sobre suas características pois podem ser vetores de poluição, alterando sua qualidade (CETESB, 2016).

Fenzl (1988) destaca que os processos geoquímicos, envolvidos neste contexto, dependem da influência de agentes de natureza distinta: químicos, com relação à constituição geológica do aquífero e a própria composição das águas; físicos, como porosidade, permeabilidade e condutividade hidráulica dos aquíferos, assim como temperatura, pH e volume d'água em contato com as formações; além do componente antrópico que, ao gerar poluição, altera a composição química natural das águas subterrâneas.

Nas rochas cristalinas em geral, por se formarem sob condições de pressão e temperatura bem distintas das que operam na superfície atualmente, seus minerais primários (e. g. feldspatos, piroxênios, micas, etc.) tendem a ser mais instáveis termodinamicamente. Isso faz com que a água seja capaz de dissolvê-los e incorporar os elementos constituintes à solução (FREEZE; CHERRY, 1979).

Segundo Cederstrom (1964), a água da chuva tem, devido ao CO<sub>2</sub> dissolvido, um caráter ácido, que é acentuado durante a percolação no ambiente subsuperficial e subterrâneo, aumentando a capacidade de dissolver os minerais dos solos, sedimentos e das rochas. Dessa forma, a química desses materiais e o tempo de permanência da água nesses compartimentos são os principais fatores de variação da composição química das águas subterrâneas, o que refletirá na sua qualidade natural.

No processo de infiltração e percolação pela zona saturada, a água, reagindo com o meio, promove intemperismo químico das rochas e/ou sedimentos, de acordo com a mobilidade dos elementos, através dos processos de dissolução, hidrólise e precipitação, e, conseqüentemente sua composição química é alterada. Dessa forma, o que normalmente acontece com o passar do tempo, é um incremento na concentração de íons e, conseqüente aumento dos sólidos totais dissolvidos (STD) (CHEBOTAREV, 1955; FREEZE; CHERRY, 1979).

Quanto à composição química, as águas subterrâneas apresentam constituintes maiores ou íons fundamentais, menores e traço, de acordo com sua concentração na solução, como mostra a Tabela 2. Além dos ânions (bicarbonato, cloreto e sulfato) e cátions (cálcio, sódio e

potássio), a sílica origina ácidos e ânions, dissolvidos ou coloidais, que também são considerados como íons fundamentais (CUSTODIO; LLAMAS, 1983).

Tabela 2. Principais constituintes das águas subterrâneas.

Constituintes maiores (> 5 mg/L)		Constituintes menores (0,01 – 10 mg/L)	Constituintes traço (< 0,1 mg/L)
	Sílica		Alumínio, arsênio, antimônio, bário,
<b>Ânions</b>	<b>Cátions</b>		berílio, bismuto, bromo, cádmio, céσιο,
		Carbonato	chumbo, cromo, cobalto, cobre, escândio,
		Ferro	estanho, fosfato, gálio, germânio, índio,
		Fluoreto	iodo, lantânio, lítio, mercúrio, manganês,
Bicarbonato	Cálcio	Nitrato	molibdênio, níquel, nióbio, ouro, prata,
Cloreto	Sódio	Potássio	platina, rádio, rubídio, rutênio, selênio,
Sulfato	Magnésio	Boro	tálio, titânio, tungstênio, urânio, vanádio,
		Estrôncio	zincos, zircônio.

Fonte: modificado de Custodio e Llamas (1983) e Feitosa et al. (2008).

Assim como para águas superficiais, o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas leva em conta diversos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. No geral, as características físicas (temperatura, cor, sabor, odor, turbidez, STS e CE) têm significado estético no que se refere ao consumo humano (BRASIL, 2011; FEITOSA et al., 2008). Segundo Silva e Calheiros (2014), temperatura, turbidez, sabor e odor são características organolépticas, i. e., aquelas que atuam sobre os órgãos dos sentidos.

A temperatura diz respeito à energia cinética das moléculas da água e sua variação é o mecanismo de transferência de calor em um meio. Altas temperaturas aceleram as reações químicas e metabólicas, propiciando a proliferação de organismos e favorecendo a precipitação de sais. Nas águas subterrâneas, essa característica é o produto das temperaturas atmosféricas da região pelo gradiente geotérmico<sup>6</sup> (BRASIL, 2006; SILVA; CALHEIROS, 2014; CUSTODIO; LLAMAS, 1983).

A cor, capacidade de absorção de radiação no espectro visível, deve-se à presença de coloides orgânicos ou minerais que dispersam a luz e conferem este atributo à água. Em geral, as análises consideram não somente os coloides como também todas partículas suspensas, ou seja, a cor aparente, quantificada em unidades de Hazen (BRASIL, 2006; CUSTODIO; LLAMAS, 1983). O sabor e odor estão relacionados com a presença de micro-organismos, substâncias químicas ou gases dissolvidos. Porém, inúmeros contaminantes são insípidos e inodoros, como é o caso de metais pesados ou compostos organossintéticos (BRASIL, 2006).

6 Aumento da temperatura em profundidade - 1 °C a cada 33 m em média.

Os sólidos presentes na água podem estar dissolvidos, em suspensão, sedimentados ou como coloides (partículas  $< 1 \mu\text{m}$ ). Porém, comumente, somente os dois primeiros são analisados. Os sólidos totais suspensos (STS), quantificados pelo seu peso na solução, são as partículas sólidas em suspensão que apresentam tamanho de partícula maior que 1,0 mm. De outra forma a concentração de partículas suspensas, que diminui a transparência da água, pode ser medida, indiretamente, pelo que se conhece como turbidez. Esta, que é definida como a dificuldade da transmissão de luz através da água e representada em unidades de turbidez (uT), pode estar associada à presença de elementos químicos, sedimentos, matéria orgânica, algas, plâncton etc., podendo ter origem na erosão natural do meio ou no lançamento de efluentes industriais. A condutividade elétrica, por sua vez, diz respeito à capacidade da água de conduzir corrente elétrica, medida em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Essa condição é diretamente proporcional à temperatura e concentração de sais dissolvidos em solução (BRASIL, 2013; SILVA; CALHEIROS, 2014; CUSTODIO; LLAMAS, 1983; GONÇALVES, 2009).

Segundo Feitosa et al. (2008), além da concentração dos diferentes tipos de íons, outros parâmetros químicos também são importantes na determinação da qualidade natural das águas subterrâneas como, por exemplo: pH, STD, alcalinidade e acidez, dureza, bem como DBO e DQO como indicado para as águas superficiais.

O pH reflete a concentração de íons hidrogênio na água e varia entre 0 e 14; quanto maior for este número, menor será o pH da solução. A água "pura" apresenta um  $\text{pH} = 7$  (neutro), abaixo ou acima desse valor a água é considerada ácida ou alcalina respectivamente. Sabe-se ainda que este tem uma relação direta com o  $\text{CO}_2$  dissolvido e a alcalinidade, exercendo influência na solubilidade e toxicidade de diversos compostos. Aliado a isso, há dois parâmetros relacionáveis: alcalinidade e acidez. O primeiro reflete a capacidade de neutralizar ácidos, função direta da concentração de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, e pode ser entendido como a capacidade de minimizar as variações do pH. Por outro lado, a acidez é definida como a eficiência em neutralizar bases, consequência da presença de ácidos fortes, fracos e sais hidrolisáveis (BRASIL, 2013; CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008; SILVA; CALHEIROS, 2014).

Os sólidos totais dissolvidos (STD), representados pelo peso total dos constituintes solubilizados, são substâncias orgânicas e inorgânicas (minerais) micrométricas que se encontram solubilizadas na água de tal forma que a filtração é incapaz de separá-las. Por conta disso, a CE pode ser utilizada na determinação dos STD de maneira indireta (CUSTODIO; LLAMAS, 1983; SILVA; CALHEIROS, 2014; GONÇALVES, 2009).

A dureza total, por sua vez, mede a capacidade de consumir sabão ou provocar incrustações. Está relacionada com a concentração de cátions alcalino terrosos, geralmente cálcio e magnésio. Existem três tipos de dureza: a temporária, que é assim denominada pois, com o aquecimento da água, esses cátions se tornam insolúveis e precipitam; a permanente, que se observa após a precipitação dos carbonatos, está associada à presença de sulfatos, cloretos e nitratos; e a total que é a soma das anteriores, expressa em concentração de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Dessa forma, é possível classificar as águas subterrâneas quanto a sua dureza, como mostra a Tabela 3 (BRASIL, 2013; CUSTODIO; LLAMAS, 1983; SILVA; CALHEIROS, 2014).

Tabela 3. Classificação das águas segundo sua dureza em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Classificação	Teor de $\text{CaCO}_3$ (mg/L)
Branda	< 50
Pouco dura	50 – 100
Dura	100 – 200
Muito dura	> 200

Fonte: Custodio e Llamas (1983) e Feitosa et al. (2008).

Dentre os ânions maiores, destaca-se o bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) que tem uma solubilidade relativamente baixa e precipita-se, geralmente, como calcita. Este tem sua origem associada à composição da água de recarga, às interações com o  $\text{CO}_2$  (gasoso e dissolvido) e à presença de carbonatos nas rochas que compõem os aquíferos. Altas concentrações de bicarbonato, assim como do ânion menor carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), conferem características alcalinas às águas. (CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008).

O ânion cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), comumente associado ao sódio, possui alta solubilidade e estabilidade. Há um significativo aumento de sua concentração à medida que aumenta o tempo de residência das águas no aquífero. Sabe-se que, no geral, as rochas ígneas são, naturalmente, pobres em cloretos, mesmo assim, a sua ocorrência em aquíferos deste tipo deve-se ao intemperismo de minerais ferromagnesianos (CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008; HEATH, 1983; MATTHESS, 1982). Vale ressaltar que o cloro, detectado em seu estado livre, é um elemento químico comumente adicionado às águas (como hipoclorito de cálcio ou sódio, cal clorada e cloro gasoso) a fim de desinfetá-las. Por conta disso, a medição do cloro residual livre é importante, pois auxilia no controle de dosagem e evolução deste elemento nos sistemas de tratamento (BRASIL, 2013).

O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) tem solubilidade moderada a alta e é oriundo da oxidação e lixiviação de compostos ricos em enxofre como, por exemplo, feldspatoides (noseana e hauynita), pirita, gipsita e anidrita, a partir de rochas que possuam quantidades significativas desse elemento. Além disso, em determinadas regiões e com condições propícias para tanto, esse ânion pode ser introduzido através da precipitação, ou seja, quando ocorre chuva ácida (FEITOSA et al., 2008; MATTHESS, 1982).

Dentre os cátions maiores, o cálcio é um dos constituintes mais significativos das águas subterrâneas. Sua solubilidade tende a ser moderada a alta, porém, mesmo assim, destaca-se a sua facilidade em precipitar-se como calcita, devido, muitas vezes, a oscilações de pH e pressão de  $\text{CO}_2$ . Por conta disso, figura como principal agente promotor da dureza. Em rochas calcárias, esse elemento se encontra na estrutura dos diversos minerais como a calcita, dolomita e aragonita. Já nas rochas ígneas, resulta do intemperismo de plagioclásios (principalmente anortita), anfibólios, piroxênios, bem como zeólitas, apatita, granada e fluorita. Também se deve levar em conta uma significativa quantidade de cálcio proveniente da água meteórica (CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008; MATTHESS, 1982).

O sódio ( $\text{Na}^+$ ) é um dos mais importantes e abundantes metais alcalinos presentes nas águas subterrâneas. Em geral, apresenta alta solubilidade e tende a formar cloretos. Seu principal aporte provém da lixiviação de silicatos como plagioclásios (principalmente albita), piroxênios, anfibólios, zeólitas (como a natrolita) e feldspatoides (nefelina e sodalita). A concentração deste elemento, que costuma aumentar com a profundidade, é o principal indicador de salinidade das águas (CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008; MATTHESS, 1982).

Com propriedades semelhantes ao cálcio, o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) é mais solúvel e, por isso, mais difícil de precipitar do que aquele. Quando isso acontece, costuma combinar-se com o bicarbonato. O magnésio costuma ocorrer em aquíferos compostos por rochas carbonatadas, através da lixiviação de diversos minerais como a hornblenda, olivina (forsterita especialmente), dolomita, magnesita, clorita, biotita, granada e alanita (FEITOSA et al., 2008; MATTHESS, 1982).

Dentre os constituintes menores e traço, os elementos ferro (Fe) e manganês (Mn) possuem comportamento químico muito semelhante e, por conta disso, são abordados em conjunto com relação aos seus efeitos na qualidade das águas. Estes costumam ocorrer em conjunto e dois modos: como  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Mn}^{+2}$  (solúveis na ausência de oxigênio livre) principalmente, ou como  $\text{Fe}^{+3}$  e  $\text{Mn}^{+3}$  (insolúveis quando oxidados). De modo geral, as

principais fornecedoras de Fe são as rochas ígneas, através do intemperismo de seus minerais ferromagnesianos como, por exemplo, os piroxênios, anfibólios, as olivinas (fayalita principalmente), a granada e biotita. Além disso, altas concentrações desse elemento também podem ter relação com problemas de corrosão nos tubos de revestimento do poço, ou ainda com a presença de ferrobactérias. Quanto ao Mn, este costuma ocorrer, nas rochas em geral, como os seguintes minerais: pirolusita, rodocrosita, rodonita etc. Destaca-se que, apesar de comumente ocorrer em baixas concentrações, possui uma alta persistência em água e, quando alcança valores elevados torna-se tóxico para diversas plantas e animais (BRASIL, 2006; CEDESTROM, 1964; CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008; MATTHESS, 1982).

O fluoreto (F<sup>-</sup>), forma iônica do elemento flúor, tem baixa solubilidade e costuma ocorrer em pequenas concentrações na água subterrânea. Sabe-se que, em rochas ígneas, a principal fonte deste ânion é a fluorita, bem como apatita, determinados anfibólios e micas (CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008; MATTHESS, 1982).

O nitrogênio pode ocorrer como nitrogênio orgânico, amoniacal (amônia), nitrito e nitrato. A maioria dos compostos nitrogenados, como o nitrato e a amônia, sob condições mais oxidantes, possui alta solubilidade em água e costuma estar fixada pelo solo. A origem destes elementos geralmente está associada ao lançamento de esgotos domésticos (fezes e detergentes), efluentes industriais nos mananciais superficiais e escoamento superficial em solos agrícolas fertilizados, que podem alcançar os aquíferos. Geralmente, a amônia originada no solo ou pela poluição deste é convertida, rapidamente, em amônio e este, por nitrificação, passa para nitrato. Por conta disso, este último costuma ser a forma de nitrogênio mais encontrada em águas subterrâneas contaminadas (ANA, 2017; CUSTODIO; LLAMAS, 1983).

O alumínio (Al), um dos constituintes traço das águas subterrâneas, é o terceiro elemento mais comum na maioria das rochas ígneas, constituindo inúmeros silicatos como, por exemplo, os feldspatos, feldspatoides, anfibólios e micas. Porém, este apresenta baixa solubilidade e, comumente, encontra-se retido nas argilas (MATTHESS, 1982).

Acerca das características bacteriológicas, destaca-se, principalmente, a presença de coliformes, bactérias presentes no trato digestivo de animais endotérmicos que são divididos em dois grupos: totais e termotolerantes, o segundo representado, principalmente, pela espécie *Escherichia coli*. A concentração desses organismos tende a diminuir com o passar do tempo, conforme aumenta a profundidade e o processo de percolação d'água segue ao longo do aquífero, principalmente por serem submetidos a condições redutoras. Dessa forma, sabe-se

que a *E. coli* é considerada como um dos mais significativos indicadores de contaminação fecal recente e, conseqüentemente, da presença de patógenos (BRASIL, 2011; COLVARA; LIMA; SILVA, 2009).

### 5.5.2 Qualidade das águas para consumo humano

Na legislação brasileira, a Portaria 2.914 (PRT. 2914), publicada em 12 de dezembro de 2011 pelo Ministério da Saúde e atualmente vigente, regulamenta os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Em seu artigo 3º, destaca que toda a água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância de qualidade (BRASIL, 2011).

O artigo 5º aborda questões de terminologia e define que "água para consumo humano" é toda água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente de sua origem. Além disso, estabelece que "água potável" é toda água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido por esta norma e que não ofereça riscos à saúde. Ainda neste artigo, o "padrão organoléptico" é definido como sendo o conjunto de parâmetros que podem influenciar na aceitação para o consumo humano por serem responsáveis por estimular nossos órgãos sensoriais, mas que não demonstram risco à saúde necessariamente (BRASIL, 2011).

O controle da qualidade da água é definido como um conjunto de ações que devem ser tomadas pelo responsável do sistema ou solução alternativa de abastecimento a fim de tomar conhecimento sobre a potabilidade da água e garantir esta condição. A vigilância da qualidade é de responsabilidade da autoridade de saúde pública, que deve apurar o atendimento a esta portaria, com o intuito de avaliar se a água destinada à população apresenta risco à saúde (BRASIL, 2011).

Com relação ao sistema de abastecimento de água para consumo humano, entende-se que este é constituído de um conjunto de obras, materiais e equipamentos, estruturando uma instalação que, por meio de uma rede de distribuição, vão desde a captação até as ligações prediais, fornecendo água potável de forma coletiva. Por outro lado, "soluções alternativas de abastecimento de água para consumo humano" são definidas, em caráter coletivo, como sendo uma forma de abastecimento que pode ter canalização ou não, mas que não apresenta rede de distribuição. Além disso, uma modalidade de abastecimento capaz de atender apenas residências com uma única família configura-se como uma alternativa individual (BRASIL, 2011).

O responsável pelo sistema ou solução alternativa coletiva, além de exercer controle sobre a qualidade da água produzida e consumida, deve garantir a operação e manutenção das instalações seguindo as normas da ABNT e outras normas pertinentes. Além disso, tem a missão de proteger a bacia hidrográfica, contribuindo e atuando em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos (BRASIL, 2011).

A água potável deve estar de acordo com o padrão microbiológico como disposto no Anexo I da PRT 2914. Neste caso, os parâmetros de monitoramento utilizados são a concentração de coliformes totais e *Escherichia coli* principalmente (BRASIL, 2011).

As análises microbiológicas expressam a quantidade pelo número mais provável (NMP) de coliformes em 100 ml de amostra (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). De qualquer forma, a presença de coliformes totais ou *E. coli*, em qualquer concentração, inviabiliza a água para consumo humano (BRASIL, 2011). Os artigos 33 e 34 preveem que mesmo que *E. coli* não seja detectada nas águas subterrâneas, deve-se proceder com cloração, mantendo o residual mínimo no sistema de distribuição (0,2 mg/L). Por outro lado, no artigo 39, recomenda-se que este valor não ultrapasse a concentração de 2 mg/L (BRASIL, 2011).

Grande parte dos parâmetros das análises aqui consideradas, para a Bacia do Rio Jacutinga, constam no Anexo X da PRT 2.914, o qual diz respeito ao padrão organoléptico de potabilidade, e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Tabela de padrão organoléptico de potabilidade para os parâmetros aqui utilizados. VMP = valor máximo permitido; uT = unidade de turbidez; e uH = unidade de Hazen (mgPt-Co/L).

Parâmetro	Unidade	VMP
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor aparente	uH	15
Dureza total	mg/L	500
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
STD	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Turbidez	uT	5

Fonte: modificado de Brasil, 2011.



Além dessas, outras variáveis também constam na tabela de padrão organoléptico: 1,2 diclorobenzeno; 1,4 diclorobenzeno; etilbenzeno, gosto e odor, monoclorobenzeno, sódio, sulfeto de hidrogênio, surfactantes, tolueno, zinco e xilenos. Porém, nesta pesquisa, esses elementos não foram considerados por não terem sido contemplados nas análises químicas.

Outro padrão importante é o de substâncias químicas que representam risco à saúde, contempladas no Anexo VII. Neste caso, destacam-se o fluoreto, nitrato e nitrito, substâncias que também foram analisadas nas amostras de água subterrânea da bacia em questão (Tabela 5). Como no caso anterior, há elementos deste anexo que não foram contemplados neste estudo. São eles: antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto, cobre, cromo, mercúrio, níquel, selênio, urânio (BRASIL, 2011).

Tabela 5. Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representem risco à saúde. VMP = valor máximo permitido.

Parâmetro	Unidade	VMP
Fluoreto	mg/L	1,5
Nitrato	mg/L	10
Nitrito	mg/L	5

Fonte: modificado de Brasil, 2011.

Quanto à presença de ferro (Fe) e manganês (Mn), valores que excedem os Valores Máximos Permitidos (VMPs) são tolerados desde que não ultrapassem a concentração de 2,4 mg/L para Fe e 0,4 mg/L para Mn, que estes elementos estejam complexados como produtos químicos que não apresentem risco à saúde e que os parâmetros de potabilidade restantes sejam respeitados. Por fim, o artigo 37 em seu primeiro parágrafo, recomenda que o pH da água no sistema de distribuição seja mantido entre 6,0 e 9,5 (BRASIL, 2011).

### 5.5.3 Problemas relacionados à qualidade das águas subterrâneas

Com relação às características microbiológicas, a presença de coliformes, em especial, da bactéria *Escherichia coli*, em qualquer concentração, indica contaminação fecal e provável presença de microorganismos patogênicos, potenciais causadores de doenças de veiculação hídrica como a febre tifoide e paratifoide, disenteria bacilar e cólera (CARROLL, 2014; COLVARA; LIMA; SILVA, 2009; CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008).

Quanto às características químicas, salienta-se que a água dura, representada pela dureza total, apresenta problemas organolépticos como a incapacidade de mitigar a sede e seu gosto ruim (no senso comum). Aliado a isso, as altas concentrações de Na e Cl (< 1000 ppm),

além de conferirem um sabor salgado à água, podem provocar distúrbios estomacais e formação de cálculos renais (urolitíase). Além disso, a dureza elevada confere um potencial incrustante às águas, responsável por alguns problemas em encanamentos e caixas d'água. Da mesma forma, o pH quando muito ácido ou alcalino pode provocar corrosão e incrustação respectivamente. Além disso, valores de pH muito baixos facilitam a solubilização de grande parte dos metais (CEDERSTROM, 1964; CHURCHILL et al., 1980; CUSTODIO; LLAMAS, 1983; MESTRINHO, 2013).

Ressalta-se que altas concentrações de Fe e Mn comprometem o padrão organoléptico recomendado para o consumo, dando um sabor amargo ou adstringente e coloração amarelada à água. Ressalta-se que o Mn, que se encontra na lista de substâncias perigosas da Agência Norte-americana de Proteção Ambiental (USEPA), quando em concentrações muito elevadas e/ou com contatos contínuos pode levar ao manganismo, uma alteração no funcionamento do sistema nervoso central que causa sintomas semelhantes ao Mal de Parkinson. Além disso, o Mn favorece o crescimento de determinadas bactérias e, tanto o Fe quanto o Mn, podem causar incrustação e corrosão nas tubulações (CUSTODIO; LLAMAS, 1983; DIETER; BAYER; MULTHAUP, 2005; FEITOSA et al., 2008).

Recentemente, diversos trabalhos têm relacionado o alumínio, em altas concentrações e/ou contato continuado, com o desenvolvimento do Mal de Alzheimer (e. g. Ferreira et al., 2008 e Mirza et al., 2017). Quanto ao fluoreto, sabe-se que este é um importante constituinte dos ossos e dentes e, por isso é benéfico na prevenção de cárie por exemplo. Porém, em dosagem elevada e ingestão durante longos períodos, tende a causar fluorose dentária e óssea, e, nos casos mais graves, pode ser até letal. O sulfato, por sua vez, quando em concentrações elevadas faz com que a água seja incapaz de mitigar a sede, confere-lhe sabor amargo e propriedades laxantes, principalmente, quando associado ao Na e Mg (CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008).

Segundo Custodio e Llamas (1983), a amônia, em elevadas concentrações, é responsável por um forte odor amoniacal e, se ingerida nesses casos e de maneira crônica, pode ser tóxica ao ser humano. Sendo essa toxicidade diretamente proporcional aos valores de pH. Além disso, esse elemento também favorece a corrosão de materiais em meio oxidante.

#### 5.5.4 Índice de qualidade das águas subterrâneas

De acordo com Bollmann (2001), a utilização de índices ou indicadores em trabalhos ambientais é muito recomendada, por sua capacidade de selecionar, dentre um conjunto de variáveis, aquelas que são mais importantes para o contexto estudado e, com isso, transformar uma infinidade de dados em informações que possam, de certo modo, servir à sociedade como um todo. É nesse contexto que o autor, ressaltando a utilização de índices na gestão de bacias hidrográficas, destaca:

Talvez o ponto mais significativo dessa estratégia de gestão ambiental em bacias hidrográficas se baseie na sua flexibilidade de adaptação às mais variadas situações de aplicação, podendo-se considerar tantas variáveis quantas forem necessárias (...). O correto balanceamento entre os indicadores considerados pode ser obtido através da adoção de valores multiplicadores (pesos), que têm a função de priorizar a atenção do gestor para os pontos considerados mais importantes (BOLLMANN, 2001, p. 29).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em um relatório apresentado em 1982, já sugeria a utilização de índices na gestão ambiental. Neste contexto os índices de qualidade das águas têm se mostrado muito importantes pois são ferramentas capazes de sintetizar e transmitir as informações de maneira mais clara e objetiva. No caso das águas subterrâneas, por exemplo, ao invés de gráficos de classificação (e. g. Piper, Stiff, Schoeller), esses índices de qualidade se mostram mais sucintos e práticos (BRASIL, 1981; OLIVEIRA; NEGRÃO; SILVA, 2007).

Em um primeiro momento, estes indicadores começaram a ser utilizados para as águas superficiais no Brasil, com a formulação do Índice de Qualidade das Águas (IQA) pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que se baseou em indicadores já consolidados na França e, principalmente, nos Estados Unidos - a partir do *Water Quality Index* da Fundação Nacional de Saneamento (OLIVEIRA; NEGRÃO; ROCHA, 2004; CADILHAC; ALBINET, 2003). No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA), em diagnóstico nacional sobre a qualidade das águas superficiais ressaltou a importância da utilização de índices de qualidade das águas, adotando os seguintes parâmetros para determinação do Índice de Qualidade das Águas (IQA): OD, pH, turbidez, coliformes termotolerantes, DBO e fósforo total (ANA, 2012).

O IQA, amplamente utilizado para águas superficiais, passou a ser adotado desde 2004 para águas subterrâneas, através de trabalhos desenvolvidos por pesquisadores da

Universidade Federal da Bahia (UFBA), sendo mencionado como Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas (IQAS), Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS) ou ainda Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta (IQASB). Em geral, a metodologia de elaboração destes seguiu os preceitos do IQA e, assim como aquele, o IQAS possui intervalos de classificação para categorizar a qualidade das águas subterrâneas (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2008, 2010; OLIVEIRA; NEGRÃO; ROCHA, 2004; OLIVEIRA; NEGRÃO; SILVA, 2007).

Em suma, as etapas de elaboração desse indicador são as seguintes: selecionar um banco de dados com análises físico-químicas e/ou bacteriológicas; selecionar um modelo matemático para composição da fórmula de cálculo; escolher, dentre o conjunto de variáveis disponíveis, aquelas que têm maior relevância para o contexto estudado; estipular pesos para cada parâmetro; estabelecer uma escala de nota, ou seja, as classes de qualidade; a partir disso, traçar, para cada parâmetro, curvas de valor ou concentração vs nota de qualidade; e, por fim, calcular o IQAS final de cada amostra. Ademais, é preciso ter em mente alguns princípios básicos para elaboração deste indicador como a disponibilidade de dados, praticidade, parcimônia e significância destes. Vale ressaltar ainda que, principalmente na escolha e ponderação das variáveis que irão compor o índice, é de suma importância a participação de especialistas na temática que conheçam a realidade do local de estudo. (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2008, 2010; OLIVEIRA; NEGRÃO; ROCHA, 2004; OLIVEIRA; NEGRÃO; SILVA, 2007).

## 6 METODOLOGIA

### 6.1 MAPA MENTAL

O primeiro passo deste trabalho foi entender o problema a ser abordado, sobre isso delimitar os objetivos, projetar os possíveis resultados e entender de que maneiras e com quais ferramentas seria possível alcançá-los. Para isso, além das discussões internas com os orientadores, buscou-se a interação com o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Sub-Bacias Contíguas (doravante Comitê Jacutinga), através da participação em reuniões, a fim de compreender melhor a realidade e as necessidades da bacia hidrográfica.

Ao final, um mapa mental, reunindo essas informações foi elaborado através do programa *Xmind* com o intuito de organizar o pensamento, traçar as metas e estabelecer as etapas deste projeto (Anexo A). Com isso, em um primeiro momento, foi possível delimitar: a problemática central; os objetivos; os itens da revisão bibliográfica; o procedimento metodológico; e os resultados esperados.

### 6.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Proseguiu-se com uma revisão bibliográfica de contextualização geológica, hidrológica e hidrogeológica, conceitos gerais em hidrogeologia, da legislação que dispõe sobre a temática do projeto como portarias e resoluções relacionadas às águas subterrâneas e superficiais, e de trabalhos que propuseram índices de qualidade para águas subterrâneas para outros locais. Além disso, informações acerca dos contaminantes, suas implicações à saúde e possíveis origens, bem como pesquisas sobre as águas superficiais e outras fontes de abastecimento alternativas à captação de água subterrânea.

### 6.3 BANCO DE DADOS

Os dados das análises físico-químicas e bacteriológicas aqui utilizados foram coletados durante o Projeto Gestão de Águas Subterrâneas que cadastrou os poços tubulares profundos da Bacia do Jacutinga e diagnosticou, em dois cenários temporais (2013 e 2015<sup>7</sup>), a qualidade da água de 100 poços tubulares profundos comunitários, localizados na zona rural dos municípios de atuação do comitê. Ressalta-se que aquele se insere num projeto maior intitulado “RGSG - Análises de Águas Superficiais e Subterrâneas da Bacia do Rio Jacutinga e Sub-bacias Contíguas UnC” financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) (COMASSETTO et al., 2014).

<sup>7</sup> A amostragem, no ano de 2015, foi realizada apenas em 99 poços porque o poço nº 89 encontrava-se “seco” no período da coleta.

Estas informações foram cedidas, pelo Comitê Jacutinga, à Rede Guarani/Serra Geral e ao Laboratório de Análise Ambiental (LAAM - UFSC), através de livros de laudos, planilhas de dados e arquivos georreferenciados no formato KML. Além disso, fotografias de todos os poços amostrados, tiradas pelo comitê durante o período de coleta de amostras, também foram cedidas para este estudo.

Ressalta-se que, naquele projeto do comitê, os critérios para seleção dos poços amostrados foram: a proporcionalidade em relação ao número total de poços por município; a representatividade vinculada ao abastecimento humano e à dessedentação animal; e a facilidade de acesso. Nesse cenário, destaca-se que 10 desses poços ficam, em teoria, fora dos limites geográficos da bacia, porém, dentro de municípios parcialmente inseridos nesta e, de acordo com os critérios mencionados, foram considerados significativos. Por conta disso, este estudo também os considera em seu espaço amostral.

As amostras de água coletadas foram analisadas no Laboratório de Qualidade de Alimentos e Água do Centro de Pesquisa e Diagnóstico de Alimentos - CEPDA (Parceria CIDASC - UnC Campus Concórdia), onde se quantificou os diversos parâmetros físico-químicos, químicos e biológicos, mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Relação das variáveis quantificadas pelo Laboratório de Qualidade de Alimentos e Água no Projeto Gestão de Águas Subterrâneas da Bacia do Rio Jacutinga.

Parâmetro	Unidade
CE	µS/cm
STD	mg/L
pH	-
Dureza total	mg/L
Dureza em Cálcio	mg/L de Ca <sup>2+</sup>
Dureza em Magnésio	mg/L de Mg <sup>2+</sup>
Alcalinidade total	mg/L
Amônia	mg/L
Nitrato	mg/L
Nitrito	mg/L
Cloreto	mg/L
Cloro DPD	mg/L
Alumínio	mg/L
Ferro total	mg/L
Manganês	mg/L
Flúor	mg/L
Sulfato	mg/L
Cor aparente	uH
Coliformes totais	NMP/100ml
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml

Fonte: Livro de laudos das análises físico-químicas e bacteriológicas, cedidos pelo Comitê do Jacutinga.

Em campo, outros parâmetros físicos, químicos e hidrogeológicos foram determinados: Temperatura (em °C); Sólidos Totais Dissolvidos - STD e Sólidos Totais Suspensos - STS (em mg/L); pH (de campo); profundidade do poço (em m) e vazão (em m<sup>3</sup>/h). Além disso, outras informações foram relatadas, como: localização, número de famílias atendidas, assim como a data, o horário, as condições climáticas e o ponto de coleta (ex.: saída do poço, entrada do reservatório, etc.).

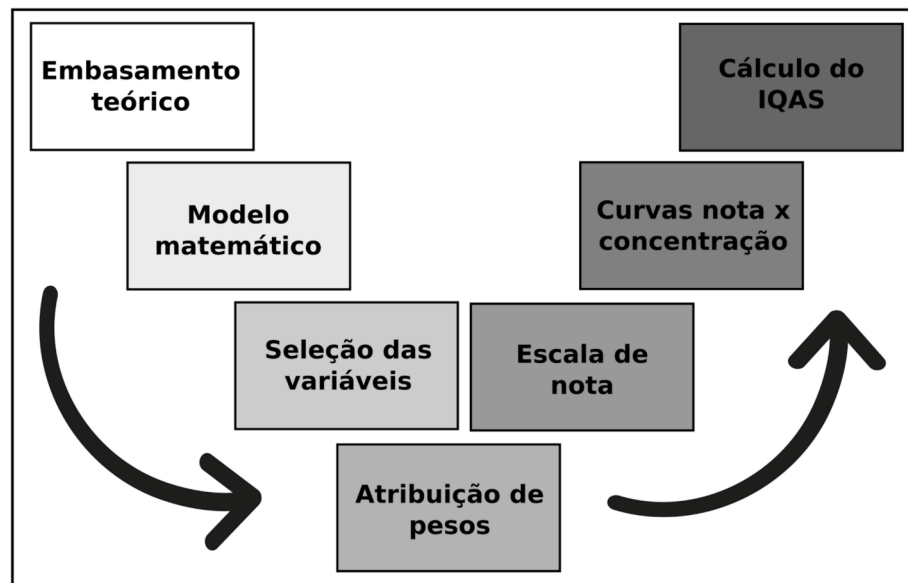
Salienta-se que os procedimentos de coleta e análise da água seguiram as recomendações do Instituto Adolfo Lutz e ANVISA, conforme o Manual de Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos de 2005 (COMASSETTO et al., 2014).

Para compor este banco de dados, neste trabalho de conclusão de curso, informações geográficas, geológicas e hidrogeológicas foram incorporadas, através do *software* livre QGIS versão 2.18, formando uma base cartográfica de apoio às atividades aqui desenvolvidas.

#### 6.4 ELABORAÇÃO DO IQAS

Com o intuito de classificar as águas subterrâneas da BH do Jacutinga quanto à sua qualidade ao consumo humano, foi elaborado um Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas (IQAS). As etapas que envolveram a construção deste índice estão ilustradas no fluxograma da Figura 17.

Figura 17. Fluxograma indicando as etapas do processo de elaboração do IQAS.



Fonte: do autor, seguindo o modelo proposto por Almeida; Oliveira (2010), Oliveira, Negrão e Rocha (2004).

Na primeira etapa, de fundamentação teórica, buscaram-se trabalhos anteriores que propuseram o mesmo tipo de indicador para outras regiões (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2010; OLIVEIRA; NEGRÃO; ROCHA, 2004; OLIVEIRA; NEGRÃO; SILVA, 2007) e publicações de referência nesta temática (CADILHAC; ALBINET, 2003; CETESB, 2014; 2016).

Depois disso, o modelo matemático do índice foi escolhido. Optou-se pela função multiplicativa, pois esta evita problemas de eclipse<sup>8</sup> e ambiguidade dos dados (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2010), como acontece nos modelos somatórios. Posteriormente, as variáveis que compuseram o índice foram escolhidas dentre todos os parâmetros discriminados nas análises. Nesta etapa, houve participação de membros e profissionais vinculados ao comitê, como o oceanólogo e pesquisador da Embrapa, Alexandre Matthiensen e o geólogo Michael de Mello Oliveira. Junto a estes, foi possível selecionar as variáveis de acordo com a PRT. 2914/2011

<sup>8</sup> Ocorre quando apenas uma variável reflete o valor do índice, “escondendo” a importância das demais (ALMEIDA, 2007).



(que regulamenta os parâmetros da água para consumo humano), o contexto da bacia hidrográfica (histórico, características e problemas) e a bibliografia de referência supracitada. Observando quatro premissas básicas de um índice, ressaltadas neste referencial: parcimônia, praticidade, relevância e disponibilidade dos dados.

Desta forma, aos parâmetros selecionados foram estipulados pesos que refletem a relevância de cada variável, levando em consideração os mesmos critérios utilizados na seleção. Primeiro, foram conferidos pesos relativos numa escala qualitativa de importância: muito alto, alto, moderado e baixo, os quais foram, então, transformados em pesos absolutos com valores numéricos que possibilitaram a formulação da equação final. A Tabela 7 mostra as variáveis escolhidas para compor o índice e seus respectivos pesos absolutos e relativos.

Tabela 7. Relação dos parâmetros selecionados para cálculo do IQAS, seus pesos relativos e a transformação destes em uma ponderação quantitativa.

<b>Parâmetro</b>	<b>Peso relativo</b>	<b>Peso absoluto</b>
<i>Escherichia coli</i>	Muito alto	0,2
Nitrato	Muito alto	0,2
Dureza total	Alto	0,1
Flúor	Alto	0,1
Cloreto	Moderado	0,07
Alumínio	Moderado	0,07
Ferro	Moderado	0,07
Manganês	Moderado	0,07
pH	Moderado	0,07
Sulfato	Baixo	0,05
	<b>Σ pesos</b>	<b>1</b>

Fonte: do autor, em parceria com o Comitê Jacutinga.

O passo seguinte foi estabelecer uma escala de notas para o IQAS final a ser calculado, cujos valores vão de 0 a 100. Essa escala relaciona o valor encontrado no índice com determinadas categorias de qualidade da água. Para isso, utilizou-se como base a escala proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para o Índice de Qualidade das Águas Superficiais (IQA) (CETESB, 2014) e os trabalhos anteriores sobre índices de qualidade para águas subterrâneas supracitados. Porém, como este trabalho trata da qualidade da água para consumo humano, a escala foi modificada levando em consideração a PRT. 2914/2011, principalmente no que diz respeito aos Valores Máximos Permitidos (VMP) estipulados por essa legislação (Tabela 8). Destaca-se que estes valores balizaram a transição entre as categorias “moderada” e “ruim”, ou seja, parâmetros com valores acima dos VMP refletem, *a priori*, uma água de qualidade ruim.

Tabela 8. Escala de notas do IQAS para a BH do Jacutinga com seus respectivos intervalos e o limite de referência baseado na PRT. 2914/2011.

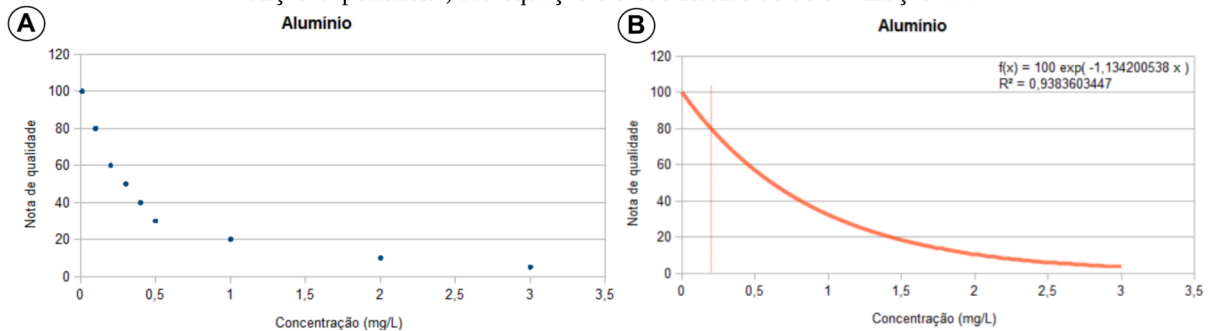
<b>Categoria</b>	<b>Intervalo</b>	<b>PRT. 2914/2011</b>
<b>Boa</b>	$100 \geq \text{IQAS} > 90$	Dentro dos VMP
<b>Regular</b>	$90 \geq \text{IQAS} > 80$	
<b>Ruim</b>	$80 \geq \text{IQAS} \geq 0$	Acima dos VMP

Fonte: do autor, baseando-se na escala da CETESB (2014, 2016) e na PRT 2914 (BRASIL, 2011).

Ressalta-se que para essa categorização também se levou em consideração a facilidade de transmissão da informação. Dessa forma, para cada categoria adicionou-se uma cor correspondente, com base no sistema semafórico de comunicação visual. O sinal verde, que representa uma água com qualidade boa para o consumo humano, mostra que o consumo pode ser continuado; a cor amarela, categoria de qualidade regular, alerta que deve haver atenção quanto à ingestão da água pois os parâmetros estão muito próximos dos VMP; e, por fim, o vermelho indica perigo, visto que a água é classificada como ruim ou imprópria ao consumo humano.

A partir disso, foi possível traçar curvas de nota vs valor para cada parâmetro do IQAS. Estes gráficos foram calibrados conforme a bibliografia de referência supracitada (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2010; OLIVEIRA, NEGRÃO; ROCHA, 2004; e CETESB, 2014, 2016), e tomando, novamente, os VMP da PRT. 2914/2011 como limite entre a classe “regular” e “ruim”. A Figura 18 exemplifica a realização desta etapa para um dos parâmetros, com os pontos de controle calibrados e o traçado final da curva do alumínio (linha de tendência). A partir disso, foi possível obter, para cada variável, a equação da curva que permitiu o cálculo da nota da qualidade de cada parâmetro (Anexo B).

Figura 18. Exemplo de construção das curvas de nota vs concentração para o parâmetro alumínio. A) Gráfico com os pontos de calibração baseados no referencial teórico. B) Curva obtida através da aproximação por função exponencial, sua equação e o coeficiente de determinação R<sup>2</sup>.



Fonte: do autor, com base nas curvas de Almeida; Oliveira (2010), Oliveira, Negrão e Rocha (2004), CETESB (2014, 2016) e nos VMP da PRT. 2914 (BRASIL, 2011).

É importante lembrar que a curva é obtida por aproximação matemática, através de funções diversas (exponenciais, logarítmicas e polinomiais), o que configura limitação do método. Deste modo, é possível que, em alguns casos, haja pequenos deslocamentos entre os pontos e a curva e, que os VMPs não coincidam, de maneira exata, com a nota de qualidade 80 (tomada como limite superior do intervalo de qualidade “ruim”).

Finalmente, com as variáveis, seus respectivos pesos e o modelo matemático escolhidos, chegou-se a uma equação final para cálculo do IQAS (Figura 19), a qual permite o cálculo da qualidade da água para consumo humano em cada poço.

Figura 19. Equação para cálculo do IQAS. Acima, a lei de formação com o modelo produtivo (II). Abaixo, a fórmula final com os parâmetros e seus pesos inseridos.

$$IQAS = \prod_{i=1}^n X_i^y \quad \begin{array}{l} x = \{\text{parâmetro 1, ... , parâmetro n}\} \\ y = \{\text{peso 1, ... , peso n}\} \end{array}$$

↓

$$IQAS = (E. coli)^{0,2} * (NO_3^-)^{0,2} * (Dureza)^{0,1} * (F^-)^{0,1} * (Cl^-)^{0,07} * (Al)^{0,07} * (Fe)^{0,07} * (Mn)^{0,07} * (pH)^{0,07} * (SO_4^{2-})^{0,05}$$

Fonte: do autor, levando em consideração as equações propostas por Almeida; Oliveira (2010) e Oliveira, Negrão e Rocha (2004).

### 6.5 ANÁLISE PRELIMINAR DE CAMPO

Esta etapa consistiu na análise de fotografias, tiradas em 2015 e cedidas pelo Comitê Jacutinga, dos 100 poços comunitários inseridos no meio rural desta bacia hidrográfica, nos quais as amostras de água foram coletadas. Em observação às normas da ABNT para projeto e construção de poço para captação de água subterrânea, NBR 12212:2017 e 12244:2006 respectivamente (ABNT, 2006; 2017).

Neste aspecto, observadas as limitações de visualização e a capacidade de informação a partir das fotografias, quatro aspectos construtivos foram levados em conta: presença e condições da laje sanitária, da tubulação, do lacre e de cercamento.

O objetivo desse passo foi observar, quando possível, o entorno dos poços e, principalmente, avaliar as condições de instalação destes, a fim de identificar possíveis fontes de contaminação do aquífero e problemas construtivos que possam funcionar como vetores de contaminantes.

### 6.6 INVESTIGAÇÃO COMPLEMENTAR DE CAMPO

A etapa seguinte, com a elaboração e cálculo do IQAS, compreendeu a escolha, dentre o espaço amostral, dos poços a serem visitados na saída de campo. Para tanto, levou-se em consideração dois critérios de seleção: primeiramente, os poços que tiveram a qualidade de suas águas classificados como “ruim” ( $\text{IQAS} \leq 80$ ) para o último período amostral, ou seja, 2015; e dentre estes, tiveram prioridade os enquadrados nessa classe tanto em 2013 quanto em 2015.

A investigação de campo teve o intuito de localizar o poço tubular (verificar seu posicionamento), observar o entorno desse a fim de identificar possíveis fontes de contaminação e observar as características construtivas do poço. Além disso, também se buscou entender a relação de oferta e demanda d'água e para quais usos as águas subterrâneas se destinam, assim como compreender as possíveis alternativas ao abastecimento humano.

Para isso, a Rede Guarani Serra Geral junto ao Laboratório de Análise Ambiental deslocou uma equipe à BH do Jacutinga em meados de agosto de 2017. Nesta etapa, cada poço foi localizado e visitado a fim de buscar as informações pretendidas. Estas foram obtidas graças à disponibilidade de moradores das comunidades rurais em abrirem suas propriedades e responderem a perguntas preestabelecidas. Em toda fase de campo, utilizou-se do aplicativo de código aberto QField, que permite a visualização e edição de mapas a partir de dispositivos móveis. A sua grande vantagem é a compatibilidade com o QGIS, que permite carregar arquivos criados neste programa como mapas de apoio à pesquisa. Além disso, é capaz de

coletar e armazenar dados georreferenciados em campo e, posteriormente, transferi-los para o QGIS. O QField, desenvolvido pela *OpenGis*, possui a mesma licença pública (*GNU - General Public License*) utilizada no QGIS (OPENGIS.CH, 2017).

Dessa forma, coletaram-se, em campo, os seguintes dados e observações: nº do poço; município; localidade; coordenadas (UTM); características construtivas (laje sanitária, lacre, tubulação e cercamento); nº de famílias atendidas; usos d'água; atividades potencialmente poluidoras; e possíveis alternativas ao abastecimento.

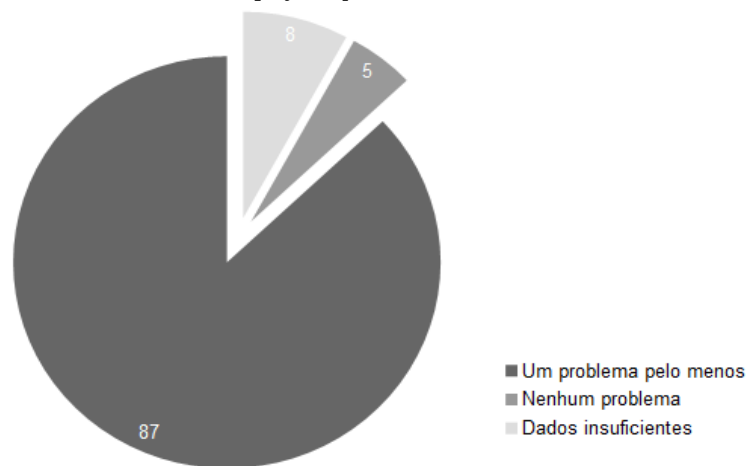
Aliado a isso, utilizou-se de caderneta de campo e GPS como meios complementares de armazenamento de dados e informações. Além disso, foram obtidas novas fotografias dos poços tubulares e dos seus arredores, que serviram, entre outras coisas, como comparativo dos parâmetros construtivos analisados nas imagens de 2015.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 PROBLEMAS CONSTRUTIVOS

Quanto às características construtivas dos poços analisados, inúmeros problemas foram identificados, tomando por base as normas supracitadas (ABNT, 2006; 2017). Para isso, considerou-se a presença e condições dos seguintes quesitos: laje de proteção, tubulação, lacre e cercamento. Do total de 100 poços observados, 87 apresentaram pelo menos uma irregularidade e somente cinco atenderam todos os requisitos aqui considerados (Figura 20). Além disso, em oito destes, não foi possível visualizar todos os parâmetros analisados.

Figura 20. Proporção e quantidade de problemas construtivos observados, a partir das fotografias de 2015, nos poços aqui estudados.



Fonte: do autor, a partir da análise das fotografias cedidas pelo comitê.

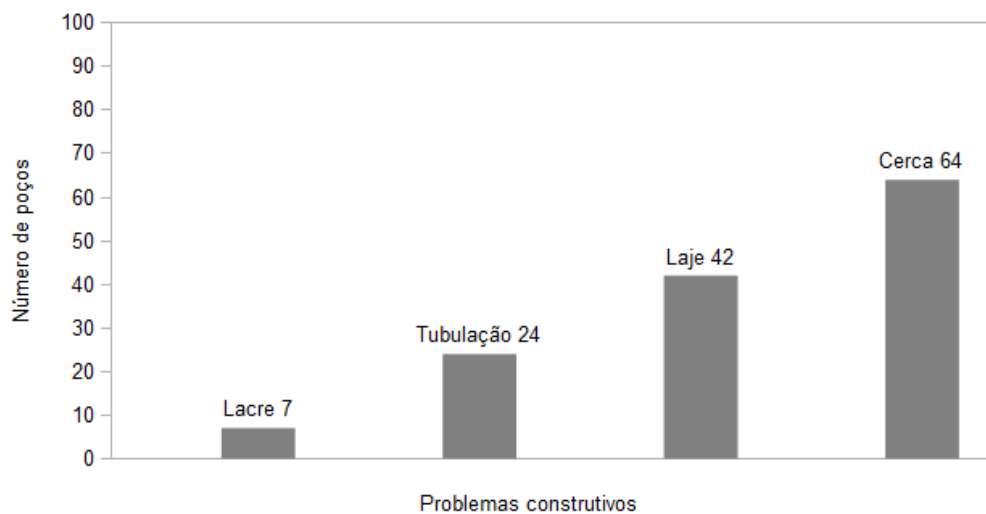
O problema mais recorrente, observado 64 vezes, diz respeito ao cercamento (Figura 21). Na maioria dos casos, não há nenhum tipo de isolamento superficial lateral que proteja os poços. Mesmo dentre aqueles providos de cerca (11 poços), muitas vezes esta se encontra danificada. Além disso, em 25 poços não foi possível identificar, com clareza, a presença ou não de cercamento.

A ausência da laje de proteção, parte superior integrante do selo sanitário, foi constatada em 42 do total de poços (Figura 21). A mesma quantidade (42) possui essa estrutura, porém, em boa parte dos casos, as dimensões e a declividade solicitadas não foram atendidas e, muitas vezes, a laje encontra-se danificada, o que prejudica sua integridade. Nos 16 poços restantes, a visualização desta foi impossibilitada, dentre outras coisas, pela cobertura vegetal.

Em relação à tubulação, há 24 situações de não cumprimento das normas vigentes (Figura 21). Neste contexto, o defeito mais comum foi a altura do tubo, acima da laje (ou da superfície), inferior ao mínimo exigido de 30 cm. Sem contar que, em alguns poços, notou-se tubulação saliente com rosca, não vedada em sua maioria. Apesar disso, 75 mostraram-se adequados neste quesito. A integridade dos tubos não pôde ser avaliada apenas uma vez, devido à existência de cerca e cobertura em alvenaria.

Por fim, observou-se, também a presença e qualidade do lacre ou tampa do poço. Este se mostrou como a característica mais respeitada dentro do espaço amostral, com 92 poços regulares. Do restante, seis possuíam seu lacre violado ou desencaixado, um encontrava-se totalmente aberto (sem tampa) e, em um destes, não foi possível visualizar este item pois o poço estava coberto (como citado no parágrafo anterior). Vale ressaltar que grande parte dos lacres apresentava aspecto de ferrugem (indício de oxidação).

Figura 21. Avaliação quantitativa das características construtivas dos poços avaliados neste trabalho, com relação aos problemas por estes apresentados



Fonte: do autor, a partir da quantificação das características observadas nas fotografias cedidas pelo comitê.

## 7.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA CONSUMO HUMANO

Na análise da qualidade das águas subterrâneas dos poços comunitários estudados, tratou-se, num primeiro estágio, os parâmetros de maneira isolada, a fim de identificar quais encontram-se fora dos limites da PRT 2914/2011 do Ministério da Saúde. Aqui, ressalta-se que Comasseto et al. (2014) já discutiram este aspecto para os dados de 2013. Por conta disso, neste estudo, essa abordagem somente considerou os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas do ano de 2015. Portanto, o espaço amostral é de 99 poços neste caso, já que, como dito anteriormente, na última campanha de coleta o poço 89 encontrava-se seco.

### 7.2.1 Parâmetros com restrição de qualidade

Do total de 99 de poços amostrados em 2015, 68 (ou 68,68 %) apresentaram pelo menos um parâmetro em desacordo com a PRT 2914. A Tabela 9 mostra o resultado da comparação dos valores encontrados em 2015 com os limites regidos pela legislação, bem como os valores médio (média aritmética) e máximo para cada variável mensurada.

Tabela 9. Parâmetros de qualidade da água para o consumo humano referente às análises realizadas nos poços comunitários da Bacia do Jacutinga em 2015, considerando os padrões estabelecidos pela PRT 2914/2011. Número total de amostras: 99 (100 poços cadastrados porém um seco).

Parâmetro	Unidade	Valor médio	Valor máximo	VMP <sup>1</sup>	Nº de amostras fora dos VMP's
STD	mg/L	118,56	587,40	1000	00
pH	-	7,94	10,09	6 a 9,5	09
Dureza total	mg/L	76,89	478	500	00
Amônia	mg/L	0,08	1,823	1,5	01
Nitrato	mg/L	1,90	8,568	10	00
Nitrito	mg/L	0,01	0,191	1	00
Cloreto	mg/L	42,73	102,18	250	00
Cloro DPD	mg/L	0,08	1,597	5	00
Alumínio	mg/L	0,02	0,104	0,2	00
Ferro	mg/L	0,15	5,804	0,3	07
Manganês	mg/L	0,07	1,076	0,1	09
Flúor	mg/L	0,21	1,315	1,5	00
Sulfato	mg/L	6,28	153,54	250	00
Coliformes totais	NMP/100ml	46,38	1553,1	Ausência	61
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	3,81	178,5	Ausência	16

Fonte: do autor (tabela), Comitê Jacutinga (dados) e Brasil (2011)<sup>1</sup>.

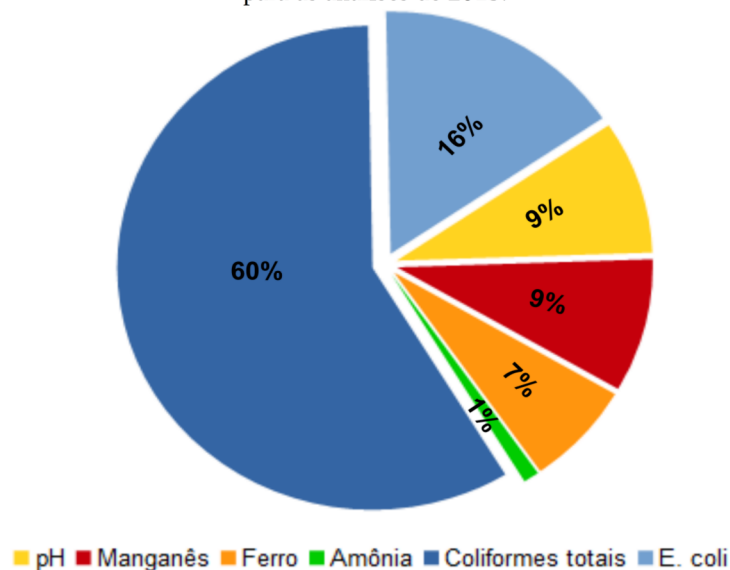


Os coliformes totais figuram como problema mais recorrente, com 61 amostras em desacordo com a portaria. Da mesma forma, as concentrações da bactéria *E. coli* excederam, em 16 poços, os limites. Destaca-se que essas duas variáveis foram as únicas que apresentaram médias superiores aos VMP's, 46,38 e 3,81 NMP/100 ml respectivamente.

O pH mostrou-se muito alcalino, ou seja, acima do máximo permitido, em nove das 99 amostras, alcançando valores superiores a 10, mesmo assim sua média de 7,94 enquadra-se no intervalo ótimo. Da mesma forma, o elemento manganês, mesmo com média geral abaixo do VMP, apresentou concentrações muito elevadas em nove casos, chegando a valores que superam, em mais de 10 vezes, o limite estabelecido. Com frequência similar, o ferro, com valor médio de 0,15 mg/L, extrapolou seu VMP em sete das análises químicas, atingindo concentrações quase 20 vezes superiores a este limite. Por último, em apenas um poço, identificou-se valor próximo, mas superior, ao VMP para amônia, porém a média deste elemento atende ao que recomenda a portaria.

Em suma, a proporção entre as variáveis que não atendem os limites estabelecidos pela PRT 2914/2011 é apresentada na Figura 22. Nota-se, portanto, que as variáveis com maior número de amostras problemáticas (76 %) referem-se às características bacteriológicas das análises. O pH e manganês apresentam a mesma proporção (ambos com 9 %), seguidos do ferro (com 7 %) e, por último, a amônia (em apenas 1% dos casos).

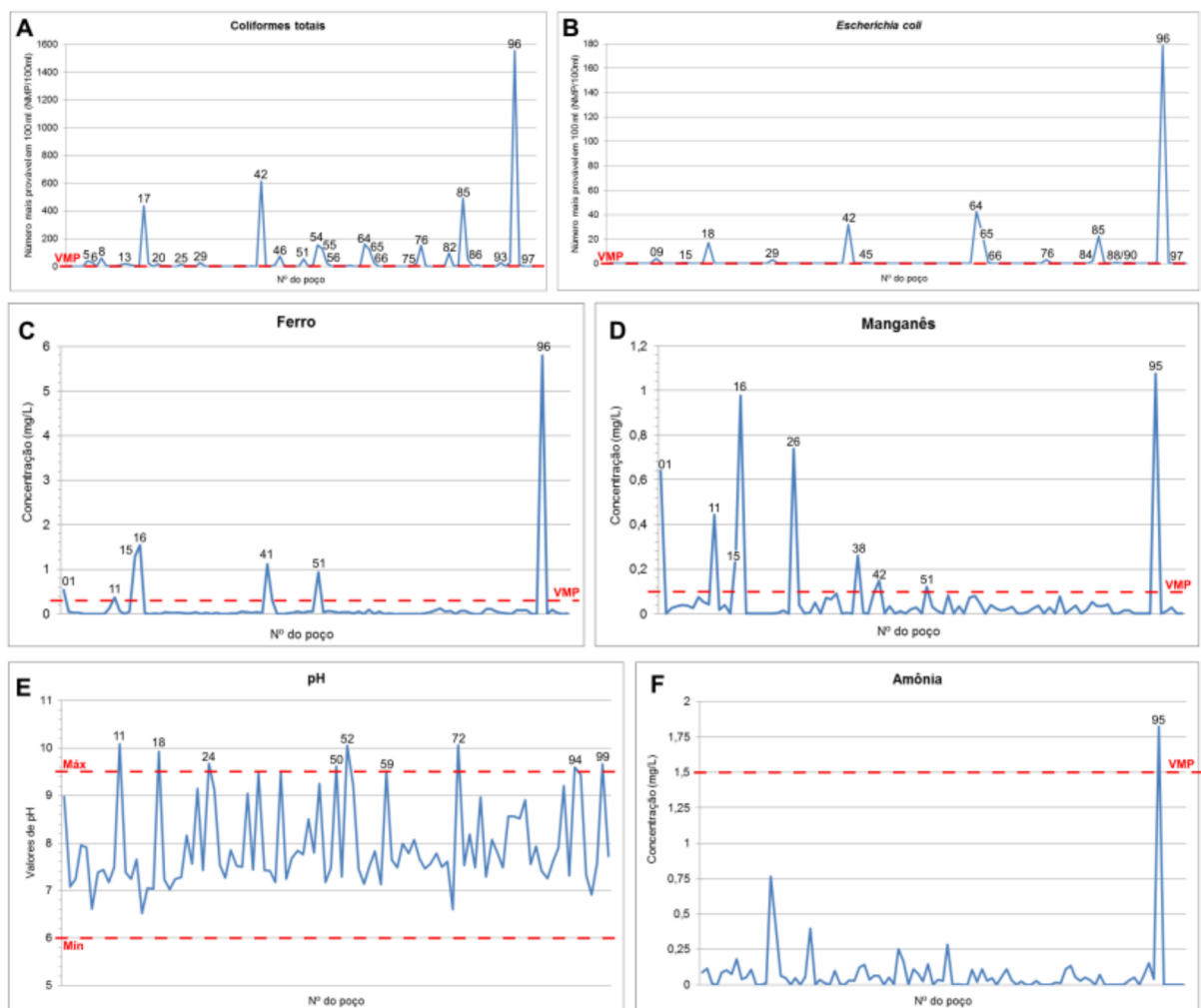
Figura 22. Relação de proporção entre os parâmetros situados fora dos limites estabelecidos pela PRT 2914, para as análises de 2015.



Fonte: do autor (gráfico) e Comitê Jacutinga (dados).

A Figura 23 apresenta gráficos com os valores encontrados para cada uma dessas variáveis em seus respectivos poços de amostragem, assim como os limites estabelecidos pela legislação. A concentração ou o valor do parâmetro é representado no eixo “y”. O eixo “x” mostra os poços referentes a cada um dos 99 resultados, evidenciando apenas aqueles que excederam os VMP’s (representados pelas linhas vermelhas na horizontal). Ressalta-se que, no caso de coliformes totais, para uma melhor visualização dos resultados, somente os poços com concentrações muito elevadas foram numerados.

Figura 23. Prancha de gráficos referentes às variáveis que apresentam desconformidade com a PRT 2914/2011 em 2015. A) Coliformes totais. B) *E. coli*. C) Ferro. D) Manganês E) pH e seu intervalo (mínimo/máximo) recomendado F) Amônia.

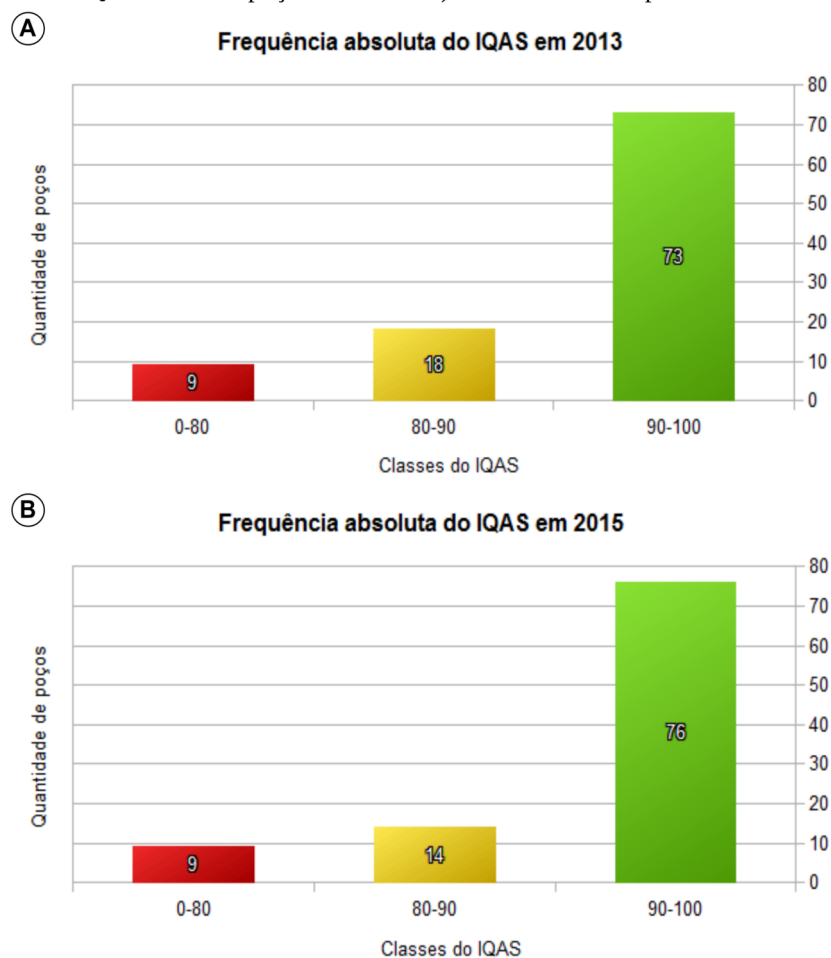


Fontes: gráficos do autor, dados do Comitê do Jacutinga e VMP's extraídos de Brasil (2011).

### 7.2.2 Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas

A partir do cálculo do Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas (IQAS) para cada poço, as águas subterrâneas foram enquadradas nas três classes de qualidade para o consumo humano, delimitadas neste trabalho. Dessa forma, obteve-se a frequência absoluta do IQAS em 2013 (Figura 24 - A) e 2015 (Figura 24 - B). Para 2013, 73 poços tiveram suas águas classificadas na categoria “boa”, 18 ficaram como “regular” e nove caíram na classe “ruim”. Já em 2015, 76 poços foram enquadrados na classe “boa”, 14 no intervalo “regular” e, novamente, em nove poços a água mostrou-se como “ruim”. Nota-se que, em 2015, apenas 99 poços foram analisados, isso porque um poço se encontrava seco no momento da coleta, conforme mencionado anteriormente - fato que indica que este teve sua capacidade de produção ultrapassada.

Figura 24. Gráficos de frequência dos poços enquadrados em cada classe do IQAS para a BH do Jacutinga. A) Quantidade de poços em 2013. B) Resultado obtido para 2015.



Fonte: do autor.

O resultado permitiu a elaboração de dois mapas de qualidade da água subterrânea de consumo humano na Bacia do Jacutinga nos anos de 2013 e 2015 (Figura 25 e Figura 26 respectivamente). Em ambos os casos, é possível observar que há uma recorrência significativa dos resultados de um ano para o outro, principalmente no que se refere às águas com qualidade “ruim”. Observou-se que quatro, dos nove poços de pior qualidade, foram enquadrados nessa classe tanto em 2013 quanto em 2015 (Tabela 10).

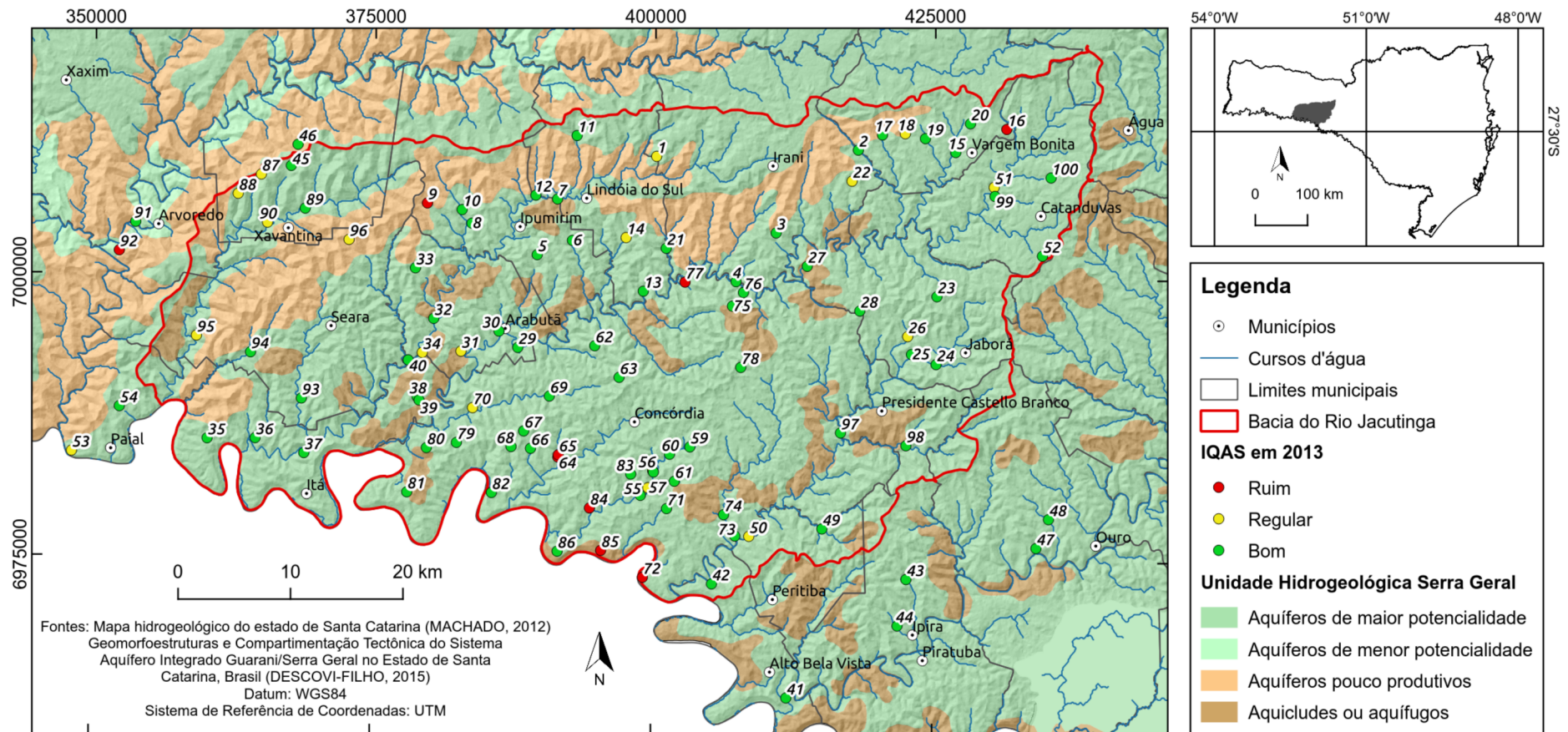
Tabela 10. Lista de poços comunitários da BH do Jacutinga enquadrados na classe “ruim” (\*) em 2013 e/ou 2015, suas localizações e os resultados obtidos para cada ano. Com destaque para aqueles que obtiveram nota “ruim” em 2015 (visitados na etapa de campo).

<b>Nº do poço</b>	<b>Município</b>	<b>Localidade</b>	<b>IQAS em 2013</b>	<b>IQAS em 2015</b>
01	Irani	Lajeado Anta	84,68	79,68*
06	Ipumirim	Lajeado Lambedor	71,85*	93,24
16	Vargem Bonita	São José	59,05*	69,68*
18	Vargem Bonita	Coração	85,53	69,76*
42	Alto Bela Vista	Araraquara	92,60	56,46*
64	Concórdia	Santa Catarina	67,02*	46,10*
65	Concórdia	Santa Catarina	48,95*	62,91*
72	Concórdia	Barra Rancho Grande	0*	93,41
77	Concórdia	Três de Outubro	47,52*	95,47
84	Concórdia	Rui Barbosa	77,58*	88,10
85	Concórdia	São Luiz	65,28*	65,15*
92	Arvoredo	Santa Catarina	79,04*	96,10
95	Seara	Nova Teutônia	83,62	56,98*
96	Seara	São Rafael	89,10	0*

Fontes: do autor (IQAS) e Comitê do Jacutinga (localização dos poços).

Figura 25. Mapa de distribuição do Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas (IQAS) na Bacia do Rio Jacutinga em 2013.

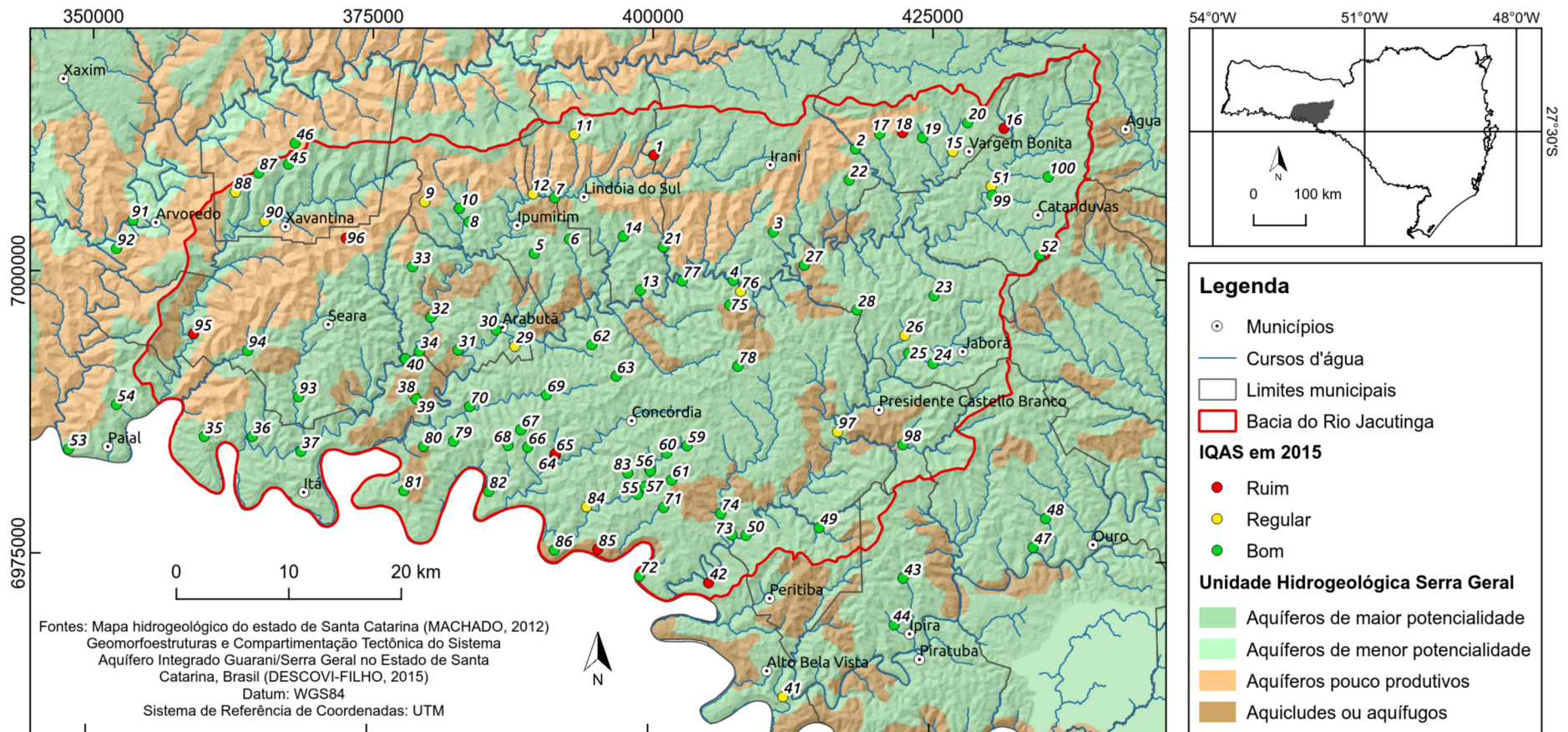
**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE CONSUMO HUMANO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA - 2013**



Fontes: mapa final do autor; bases cartográficas de Descovi Filho (2015) e Machado (2012).

Figura 26. Mapa de distribuição do Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas (IQAS) na Bacia do Rio Jacutinga em 2015.

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE CONSUMO HUMANO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA - 2015**



Fontes: mapa final do autor; bases cartográficas de Descovi Filho (2015) e Machado (2012).

### 7.2.2.1 Poços com IQAS ruim em 2015

Aqueles poços, que tiveram suas águas classificadas como “ruins” para o consumo humano em 2013 e 2015 (poços nº 16, 64, 65 e 85) (Tabela 10), foram o alvo prioritário das atividades de campo relatadas abaixo, visto que, além dos piores resultados para o último ano, apresentaram recorrência de águas de qualidade comprometida. Além disso, buscou-se investigar também os locais que apresentaram águas de qualidade “ruim” somente para o ano de 2015 (poços nº 01, 18, 42, 95 e 96).

#### 7.2.2.1.1 Poço nº 01

Localizado na Comunidade de Lajeado Anta, Município de Irani (na divisa deste com Lindóia do Sul), o primeiro poço comunitário do cadastro realizado pelo comitê abastece 15 famílias. Como mostrado na Tabela 10 do item 7.2.2, o IQAS calculado para o ano de 2015 mostrou que as águas captadas deste local têm qualidade ruim (IQAS = 79,68), mas muito próximo do limite entre essa e a classe regular (marcado pelo IQAS = 80).

Em ambos anos, constatou-se concentrações de ferro e manganês acima dos VMP estabelecidos pela portaria (Tabela 11). Em 2013, registraram-se valores cerca de três vezes maiores que os limites recomendados para estes elementos. Já em 2015, apesar de uma pequena redução na concentração de ferro, este ainda se mostrou maior, em quase duas vezes, que o VMP, e o manganês aumentou significativamente, com valores mais de seis vezes superiores que o limite da portaria.

Como citado no item 5.5.2 (“Qualidade da água para consumo humano”), a PRT 2914 aceita valores de Fe e Mn de até 2,4 e 0,4 mg/L respectivamente. Ainda assim, o manganês, quantificado em 2015 neste poço, extrapola este último valor. Além disso, essa mesma portaria ressalta que ocorrência de mais de um parâmetro fora dos limites, como aqui observado, invalida esse grau de tolerância.

O grande acréscimo na concentração de manganês em 2015, em conjunto com o aumento dos valores de alumínio, cloreto e pH, fez com que a qualidade dessas águas passasse de uma categoria regular (em 2013) para a pior classe do índice (em 2015).

Tabela 11. Resultado das análises físico-químicas e bacteriológicas para o poço nº 01, mostrando apenas os parâmetros utilizados no cálculo do IQAS. (\*) Concentrações acima dos VMP estabelecidos pela PRT 2914.

Parâmetro	Unidade	Valores em 2013	Valores em 2015
<i>E. coli</i>	NMP/100ml	< 1	< 1
Nitrato	mg/L	0	0
Dureza total	mg/L	60	42
Fluoreto	mg/L	0,047	0
Cloreto	mg/L	9,29	39,01
Alumínio	mg/L	0	0,036
Ferro	mg/L	0,822*	0,537*
Manganês	mg/L	0,337*	0,641*
pH	-	8,68	8,98
Sulfato	mg/L	12,757	0

Fonte: Comitê Jacutinga.

Na vistoria em campo, observou-se que o poço se encontra na margem da estrada que liga Irani (Comunidade de Lajeado Anta) a Lindóia do Sul, próximo a um córrego. Os problemas construtivos observados na análise preliminar de campo foram confirmados *in loco*, como a ausência de laje de proteção e cercamento (Figura 27). Além disso, a rede de energia (quadro de comando), encontra-se muito próxima do limite mínimo de 1 m que deve existir entre as instalações elétricas e o poço, estipulado pela ABNT (2006; 2017).



Figura 27. Fotografia do poço nº 01 localizado na Comunidade de Lajeado Anta, interior de Irani. Destaca-se a ausência de laje e cercamento. À direita da figura, muito próximo ao poço, observa-se a estrada sem pavimentação que liga este município a Lindóia do Sul. No canto direito inferior, mostra-se o resultado do IQAS para o ano de 2015.



Fonte: acervo do LAAM/UFSC.

De acordo com os moradores locais, a maioria da comunidade utiliza esta água subterrânea para consumo humano. Para os outros usos se utiliza a água captada por fontes tipo Caxambu, geralmente construídas junto às florestas (cerca de 400 m a leste do poço), como acontece na propriedade visitada. Segundo a família que reside no local, as nascentes apresentam vazões capazes de suprir toda sua demanda, e só utilizam o poço por conveniência. Por fim, ressalta-se que a dificuldade de acesso e a logística das atividades de campo não permitiram a visita às fontes, coletando-se apenas a informação verbal do posicionamento relativo dessas nascentes.

#### 7.2.2.1.2 Poço nº 16

Situado no Município de Vargem Bonita, o poço comunitário nº 16, do cadastro feito pelo comitê, abastece cerca de 11 famílias da Comunidade de São José. Este teve suas águas enquadradas, pelo IQAS, na categoria “ruim” para os dados de 2013 e 2015 (IQAS = 59,09 e 69,68 respectivamente) . Em ambos os anos, os parâmetros que não atenderam à PRT 2914 e, por isso rebaixaram a nota da qualidade para o consumo humano, foram as concentrações de Fe e Mn (Tabela 12).

Quanto ao Fe, os valores detectados, em 2013, ficaram quase quinze vezes acima do VMP da portaria, que é igual a 0,3 mg/L. Da mesma forma, apesar de uma pequena diminuição, em 2015, obteve-se resultados cerca de cinco vezes maiores que o estabelecido na legislação. O Mn, por sua vez, foi encontrado em concentrações por volta de 10 vezes superiores ao VMP (0,1 mg/L) em ambos anos.

Como citado no caso anterior e no item 5.5.2 (“Qualidade da água para consumo humano”), a legislação aqui considerada tolera concentrações de Fe e Mn de até 2,4 e 0,4 mg/L respectivamente. Em todo caso, essa mesma portaria ressalta que a coincidência de dois ou mais parâmetros fora dos VMP, como visto neste poço, invalida essa ressalva.

Tabela 12. Valores encontrados nas análises físico-químicas e bacteriológicas dos parâmetros que compõem o índice, para o poço nº 16. (\*) Concentrações acima dos VMP estabelecidos pela PRT 2914.

Parâmetro	Unidade	Valores em 2013	Valores em 2015
<i>E. coli</i>	NMP/100ml	< 1	< 1
Nitrato	mg/L	4,040	2,073
Dureza total	mg/L	20	90
Fluoreto	mg/L	0	0
Cloreto	mg/L	1,105	33,44
Alumínio	mg/L	0	0,018
Ferro	mg/L	4,442*	1,547*
Manganês	mg/L	1,021*	0,977*
pH	-	7,35	7,05
Sulfato	mg/L	44,044	7,924

Fonte: Comitê Jacutinga.

Na visita de campo, observaram-se alguns problemas relacionados aos aspectos construtivos como, por exemplo, a ausência de laje de proteção sanitária e qualquer tipo de cercamento (Figura 28). Por outro lado, não relacionado propriamente à construção do poço, mas sim à parte elétrica, onde deveria existir uma caixa de energia há apenas uma cobertura improvisada.

Figura 28. Fotografia do poço nº 16 (à esquerda) em Vargem Bonita, próximo à área de criação de suínos e gado de leite, sem nenhum tipo de proteção superficial. No canto inferior direito, o resultado do IQAS em 2015.



Fonte: acervo do autor.

Dentre as atividades realizadas na comunidade, destacam-se a criação de suínos e aves, bem como de gado e plantação de milho. Além disso, segundo os moradores locais, a água captada no poço é destinada a todos os tipos de uso, inclusive o consumo humano. Estes também informaram que as vazões, quando do teste de bombeamento, mostraram-se relativamente altas, na ordem de 35 m<sup>3</sup>/h.

Em uma propriedade vizinha ao poço, mapeou-se a presença de duas fontes. Muito próximas uma da outra (cerca de 5 m), foram construídas num modelo parecido ao Caxambu. A principal delas (Figura 29), que possui cerca e telhado de proteção, tem sua nascente a 1,5 m de profundidade e nunca exauriu conforme depoimento do proprietário. O que evidencia a informação de que somente o volume armazenado por essa fonte supriria a demanda - para todos os usos - da família que habita essas terras. Por fim, destaca-se também que, a montante dessa nascente, não existem atividades poluidoras (relatado pelo proprietário).

Figura 29. Fonte semelhante ao modelo Caxambu localizada próximo ao poço n° 16.



Fonte: acervo do autor.

De acordo com os moradores locais, esse tipo de captação é muito utilizado em toda a comunidade e suas águas abastecem todas as demandas da população (consumo, dessedentação animal, atividades agropecuárias e domésticas etc). A maioria das fontes permanece com fluxo constante durante o ano todo, com poucas exceções registradas durante fortes estiagens (relato do proprietário das terras onde se localiza o poço comunitário).

#### 7.2.2.1.3 Poço n° 18

Ainda no Município de Vargem Bonita, agora na Linha Coração, encontra-se o poço n° 18, o qual abastece 15 famílias. As suas águas, apesar de classificadas como de qualidade “regular” para os dados de 2013 (IQAS = 85,53), foram enquadradas na pior categoria do índice calculado para 2015 com IQAS = 69,76.

Observando o resultado das análises laboratoriais (Tabela 13), percebe-se que, em ambos os anos, dois parâmetros têm seus valores fora dos limites permitidos pela PRT 2914. Primeiramente, as concentrações da bactéria *E. coli*, que deveriam mostrar ausência em 100 ml (NMP/100 ml), apresenta valores maiores que 17 NMP/100 ml, o que rebaixa,

consideravelmente, a qualidade da água para consumo humano neste poço. Além disso, o pH mostra-se muito alcalino, acima do valor máximo recomendado que é de 9,5.

Tabela 13. Resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas, referente aos parâmetros que compõem o índice, para o poço nº 18. (\*) Concentrações acima dos VMP estabelecidos pela PRT 2914.

Parâmetro	Unidade	Valores em 2013	Valores em 2015
<i>E. coli</i>	NMP/100ml	2*	17,1*
Nitrato	mg/L	1,260	0
Dureza total	mg/L	6	12
Fluoreto	mg/L	0,086	0,044
Cloreto	mg/L	7,43	46,44
Alumínio	mg/L	0	0
Ferro	mg/L	0,057	0
Manganês	mg/L	0,021	0
pH	-	10,54*	9,93*
Sulfato	mg/L	4,629	0

Fonte: Comitê Jacutinga.

Em campo, foi possível confirmar alguns problemas construtivos observados nas fotografias do comitê, ou seja, este poço não possui laje de proteção e nem cercamento (Figura 30 - A). Quanto a sua localização, este fica junto à pastagem, bem afastado de qualquer tipo de edificação, nas terras do atual presidente da associação de moradores da comunidade.

Neste local, os moradores também fazem uso de duas fontes e uma cisterna, localizadas em uma encosta, posição mais elevada em relação ao poço e à sede da propriedade. No que diz respeito às fontes, estas são apenas escavadas (desprotegidas artificialmente), porém localizam-se em área de floresta sem, aparentemente, nenhuma atividade potencialmente poluidora para o topo da encosta. Há uma fonte principal, com dimensões aproximadas de 3 x 3 x 2 m (comprimento x largura x profundidade) com o nível freático aflorante (Figura 30 - B), e outra de menor tamanho (1,5 x 1,5 x 0,5 m) que tem menor capacidade de retenção de água e, por isso, é menos utilizada.

Em conjunto com isso, existe uma cisterna (Figura 30 - C) localizada na base da encosta, entre o poço e as fontes acima. Esta, com dimensões de 2 x 2 m (comprimento e largura), além de captar a água da chuva, é utilizada como reservatório das fontes, a partir de um sistema de canos que liga as nascentes à cisterna, utilizando apenas a gravidade como força motriz. Apesar de ter um fundo impermeável, não há nenhum tipo de tampa protegendo a parte superior desse reservatório.

De acordo com o presidente da associação de moradores, a água captada a partir do poço tubular é utilizada principalmente para consumo humano, o que se repete para a maioria das propriedades locais. As fontes e a cisterna, por sua vez, proveem água para os demais usos como, por exemplo, a dessedentação animal e atividades agropecuárias e domésticas.

Ressalta-se que a economia local é baseada na criação de bovinos, suínos e aves principalmente (Figura 30 - D), figurando como principal atividade potencialmente poluidora. No contexto da propriedade visitada, o poço, apesar de estar distante dos aviários, situa-se em uma porção mais baixa do relevo. Diferentemente das fontes e da cisterna, que estão circundadas por floresta e localizam-se em altitude maior.

Figura 30. Fotografias tiradas na propriedade onde localiza-se o poço nº 18. A - Poço nº 18 localizado próximo à pastagem e floresta nativa, no qual observa-se a ausência de laje e cerca, resultado do IQAS indicado no canto direito inferior. B - Fonte principal, em encosta, com nível freático a cerca de 2 m de profundidade. C - Cisterna, localizada entre as fontes e o poço, com fundo impermeável mas sem tampa. D - Aviário em operação (nos fundos) e em construção (em frente), instalados abaixo das fontes e cisterna mas acima do poço comunitário.



Fontes: acervo do autor e do LAAm.

## 7.2.2.1.4 Poço nº 42

Localizado no interior na Comunidade de Araraquara, interior do Município de Alto Bela Vista, este poço abastece somente duas famílias. Suas águas foram classificadas como boas para o consumo humano em 2013, com IQAS = 92,60. Porém, para os dados de 2015, este índice revela uma queda na qualidade, passando para um IQAS = 56,46, o que enquadra as águas na pior classe (“ruim”).

Isto se deve, principalmente, ao aumento das concentrações da bactéria *E. coli* e do elemento manganês. A primeira passa de valores menores que um (< 1 NMP/100 ml), limite de detecção do método, para 31,8 em 2015. O Mn, por sua vez, ausente na amostra de 2013, aparece em concentração superior ao máximo permitido pela PRT 2914, que é de 0,1 mg/L (Tabela 14).

Tabela 14. Análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras do poço nº 42, mostrando apenas os valores que compõem o IQAS.. (\*) Concentrações acima dos VMP estabelecidos pela PRT 2914.

Parâmetro	Unidade	Valores em 2013	Valores em 2015
<i>E. coli</i>	NMP/100ml	< 1	31,8*
Nitrato	mg/L	0,710	0
Dureza total	mg/L	24	210
Fluoreto	mg/L	0	0,215
Cloreto	mg/L	14,86	55,73
Alumínio	mg/L	0,133	0
Ferro	mg/L	0	0,299
Manganês	mg/L	0	0,148*
pH	-	7,51	7,68
Sulfato	mg/L	27,240	19,572

Fonte: Comitê Jacutinga.

O poço não foi localizado na etapa de campo. Sabe-se, a partir das coordenadas do banco de dados, que este fica em uma propriedade junto da margem esquerda do Rio Riacho Grande (próximo de sua desembocadura no Rio Uruguai). O local foi visitado, mas a residência encontrava-se fechada e havia uma placa avisando da proibição de entrar sem autorização. Apesar disso, nas fotografias cedidas pelo comitê, foi possível observar alguns problemas construtivos, como a falta de laje de proteção e cercamento (Figura 31).

Figura 31. Poço nº 42 instalado no interior de Alto Bela Vista, com o IQAS de 2015 no canto esquerdo inferior.



Fonte: Comitê Jacutinga.

#### 7.2.2.1.5 Poços nº 64 e 65

Situados na Linha Santa Catarina, interior de Concórdia, estes encontram-se muito próximos um do outro, porém, abastecem comunidades diferentes. O poço nº 65 capta água para esta mesma localidade, suprindo a demanda de 27 famílias, mas o nº 64 provê água subterrânea para a Comunidade de Linha Sede Brum, atendendo 15 residências. Com o IQAS a qualidade dessas águas foi classificada como “ruim” para 2013 e 2015 respectivamente: IQAS = 67,02 e 46,10 (poço nº 64); IQAS = 48,95 e 62,91 (poço nº 65).

Em ambos os casos e para os dois anos de análise, o parâmetro que não atende a portaria é a concentração elevada de *E. coli* (Tabela 15 e Tabela 16), que alcança valores superiores a 40 NMP/100 ml, quando o estabelecido é que não haja presença dessa bactéria em água. O poço nº 64 também apresenta sulfato em desacordo com a legislação, com valores que excedem em mais de 100 mg/L o recomendado pela PRT 2914. Além disso, este poço registrou o valor mais alto de STD (587,40 mg/L) entre todas as análises.



Tabela 15. Valores encontrados, para os parâmetros que compõem o índice, nas análises físico-químicas e bacteriológicas do poço nº 64 (\*) Concentrações acima dos VMP estabelecidos pela PRT 2914.

Parâmetro	Unidade	Valores em 2013	Valores em 2015
<i>E. coli</i>	NMP/100ml	17,1*	42,6*
Nitrato	mg/L	0,410	0,057
Dureza total	mg/L	12	478
Fluoreto	mg/L	1,093	0,522
Cloreto	mg/L	14,86	57,59
Alumínio	mg/L	0	0,020
Ferro	mg/L	0,186	0
Manganês	mg/L	0,082	0,022
pH	-	7,89	8,07
Sulfato	mg/L	357,96*	153,54

Fonte: Comitê Jacutinga.

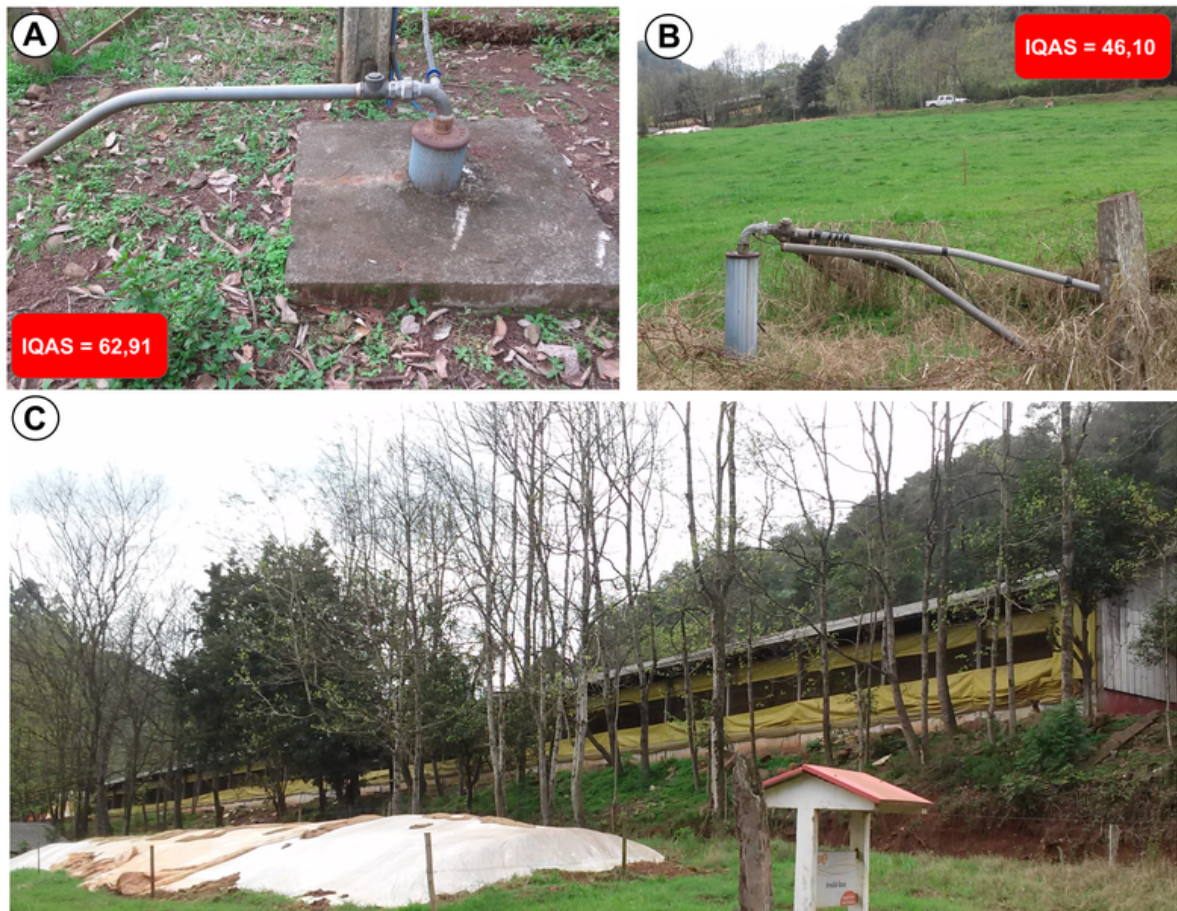
Tabela 16. Resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas do poço nº 65, referente aos parâmetros que compõem o índice. (\*) Concentrações acima dos VMP estabelecidos pela PRT 2914.

Parâmetro	Unidade	Valores em 2013	Valores em 2015
<i>E. coli</i>	NMP/100ml	39,7*	24,6*
Nitrato	mg/L	7,440	4,996
Dureza total	mg/L	24	158
Fluoreto	mg/L	0,349	0,197
Cloreto	mg/L	11,15	40,87
Alumínio	mg/L	0	0
Ferro	mg/L	0,029	0,014
Manganês	mg/L	0,035	0,016
pH	-	7,67	7,67
Sulfato	mg/L	33,869	41,957

Fonte: Comitê Jacutinga.

Na etapa de campo, alguns problemas construtivos foram observados, confirmando e retificando em parte, as características apontadas na etapa de investigação preliminar. Neste aspecto, o poço nº 65, localizado junto à moradia visitada, apesar de possuir uma laje de proteção construída de acordo com as recomendações, não tem proteção lateral e seu lacre encontra-se enferrujado (Figura 32 - A). Da mesma forma, o poço nº 64, que está locado no meio de uma pastagem e próximo a um córrego (Figura 32 - B), apesar de possuir cerca, esta está muito danificada e, além disso, há quantidade significativa de ferrugem no lacre e na tubulação.

Figura 32. Fotografias dos poços e seus arredores, localizados na Comunidade de Santa Catarina. A) Poço nº 65 e seu respectivo IQAS em 2015. B) Poço nº 64 e o IQAS calculado para 2015. C) Aviário em funcionamento, localizado próximo aos poços.



Fonte: acervo do autor.

Neste caso, os residentes da propriedade onde se localiza o poço nº 65 responderam o questionário para ambos os poços, visto que as realidades são muito parecidas e que a sede da outra comunidade fica distante do poço nº 64. Sendo assim, relataram que as águas subterrâneas deste local são destinadas para todos os usos, inclusive o consumo humano. Da mesma forma, para suprir a demanda da criação de aves, suínos, e gado de leite, principais atividade das comunidades. Exemplo disso foi encontrado na propriedade visitada, onde existem aviários em funcionamento, localizados próximos aos poços e em porções mais altas do relevo (Figura 32 - C). Registraram-se, ainda, reclamações dos moradores acerca da qualidade da água, como a ocorrência de incrustações nas tubulações domésticas e a ineficiência no uso de produtos detergentes. Por fim, os residentes relataram que, nas redondezas, é comum a utilização de fontes como forma complementar de abastecimento.

## 7.2.2.1.6 Poço nº 85

Ainda no interior do Município de Concórdia, agora na Comunidade de São Luiz, encontra-se o poço nº 85 do cadastro que abastece 20 famílias. Com resultados similares para ambos os anos, este teve suas águas classificadas como ruim para o consumo humano, com IQAS = 65,28 e 65,15 em 2013 e 2015 respectivamente. Da mesma forma, foi a concentração elevada de *E. coli* que comprometeu a qualidade nos dois casos (Tabela 17). Contabilizaram-se valores de até 22,3 NMP/100 ml, quando a norma é que esta bactéria esteja ausente.

Tabela 17. Valores dos parâmetros utilizados no IQAS, obtidos através das análises físico-químicas e bacteriológicas do poço nº 85. (\*) Concentrações acima dos VMP estabelecidos pela PRT 2914.

Parâmetro	Unidade	Valores em 2013	Valores em 2015
<i>E. coli</i>	NMP/100ml	19,5*	22,3*
Nitrato	mg/L	1,845	0,885
Dureza total	mg/L	16	58
Fluoreto	mg/L	0	0,016
Cloreto	mg/L	7,43	35,30
Alumínio	mg/L	0	0,012
Ferro	mg/L	0,242	0,100
Manganês	mg/L	0,075	0,043
pH	-	6,43	7,55
Sulfato	mg/L	26,801	0

Fonte: Comitê Jacutinga.

Afastado das residências da localidade, o poço fica bem próximo ao Rio Uruguai (Figura 33). Quanto às características construtivas, perceberam-se mudanças entre o observado a partir das fotografias (análise preliminar) e o que se registrou em campo. Exemplo disso foi a colocação de cercamento, porém ainda pouco eficaz no seu papel de proteção. Além disso, apesar do aumento da altura do tubo saliente (boca do poço), colocou-se concreto para revesti-lo, quase alcançando o seu lacre, o que não é recomendado pela ABNT.

Figura 33. Fotografia do poço nº 85 que abastece a Linha São Luiz, em Concórdia, e o resultado do IQAS para 2015. Ao fundo, corre o Rio Uruguai.



Fonte: acervo do autor.

De acordo com uma moradora local, as famílias atendidas utilizam a água para todos os fins, incluindo o consumo humano. Sobre outras formas de captação, existem diversas cisternas que armazenam água da chuva, principalmente onde há criação de aves, com a utilização desta para a dessedentação animal.

#### 7.2.2.1.7 Poço nº 95

Situado na Comunidade de Nova Teutônia, interior do Município de Seara, este poço comunitário destina suas águas a 49 famílias que vivem no local. O cálculo do índice de qualidade aqui adotado, apesar de ter mostrado um resultado regular em 2013 (IQAS = 83,62), enquadrou esse poço na pior categoria de qualidade para os dados de 2015, com IQAS = 56,98.

No primeiro ano, os parâmetros fluoreto, manganês e pH ficaram próximos mas acima dos VMP pela legislação (Tabela 18). Já em 2015, apenas duas variáveis apresentaram valores fora dos padrões estabelecidos, mas com excedentes mais significativos, com concentrações de Fe e Mn que superam, em cerca de 20 e 10 vezes respectivamente, os limites da PRT 2914. Além disso, o pH mostra-se muito alcalino, somente um pouco abaixo do VMP.

Tabela 18. Valores dos parâmetros do IQAS, encontrados para poço nº 95, a partir das análises físico-químicas e bacteriológicas de 2013 e 2015. (\*) Concentrações acima dos VMP estabelecidos pela PRT 2914.

Parâmetro	Unidade	Valores em 2013	Valores em 2015
<i>E. coli</i>	NMP/100ml	< 1	< 1
Nitrato	mg/L	1,069	0
Dureza total	mg/L	14	26
Fluoreto	mg/L	1,762*	0,743
Cloreto	mg/L	40,87	27,87
Alumínio	mg/L	0	0,046
Ferro	mg/L	0,298	5,804*
Manganês	mg/L	0,172*	1,07*
pH	-	9,97*	9,44
Sulfato	mg/L	3,286	46,715

Fonte: Comitê Jacutinga.

No vilarejo de Nova Teutônia, visitou-se o poço investigado, que fica em uma propriedade muito próximo do Rio Ariranha (cerca de 2 m da sua margem esquerda). Na investigação de campo, constataram-se diversos problemas construtivos como a ausência de laje de proteção e cercamento, assim como altura do tubo saliente inferior ao mínimo exigido (Figura 34). Além disso, a moradora entrevistada nos relatou que, em épocas de regime pluvial intenso, o nível do rio se eleva acima da boca do poço, chegando a danificar suas instalações elétricas, o que só evidencia a locação equivocada do poço.

Figura 34. Fotografia do poço n° 95, situado em Nova Teutônia, Seara, evidenciando sua proximidade com o Rio Ariranha (ao fundo) e seus problemas construtivos. No canto esquerdo inferior, o IQAS para 2015.



Fonte: acervo do autor.

As águas subterrâneas, que abastecem toda a comunidade, são destinadas para todos os usos, principalmente domésticos. De acordo com os moradores locais e conforme observado em campo, não existem muitas atividades agropecuárias potencialmente poluidoras. A maioria da população migra, durante o dia, até o centro urbano para exercer suas atividades, e os que ficam praticam agricultura de subsistência.

#### 7.2.2.1.8 Poço n° 96

Ainda no interior do Município de Seara, agora na Linha São Rafael, encontra-se o poço comunitário n° 96 que abastece nove famílias, bem como a escola e o centro comunitário. Apesar de ter enquadrado as águas desse poço na classe regular em 2013 (IQAS = 81,09), o mesmo cálculo, para os dados de 2015, revelou uma qualidade muito ruim para o consumo humano, registrando a pior nota entre os 100 poços analisados e o menor valor possível deste índice (IQAS = 0).

Essa nota “zero” deve-se ao grande aumento da concentração da bactéria *E. coli* de um ano para o outro, com valor de 178,5 NMP por 100 ml, quando a norma é a ausência desse microrganismo (Tabela 19). Além disso, percebe-se, em 2013 principalmente, altos valores de nitrato em relação aos demais poços analisados, muito próximo do limite recomendado.

Tabela 19. Resultado das análises físico-químicas e bacteriológicas de 2013 e 2015 do poço nº 96, para os parâmetros considerados no IQAS. (\*) Concentrações acima dos VMP estabelecidos pela PRT 2914.

Parâmetro	Unidade	Valores em 2013	Valores em 2015
<i>E. coli</i>	NMP/100ml	< 1	178,5*
Nitrato	mg/L	9,442	6,418
Dureza total	mg/L	20	138
Fluoreto	mg/L	0,190	0
Cloreto	mg/L	22,29	31,58
Alumínio	mg/L	0	0,030
Ferro	mg/L	0,227	0
Manganês	mg/L	0,012	0
pH	-	7,55	7,33
Sulfato	mg/L	0	0

Fonte: Comitê Jacutinga.

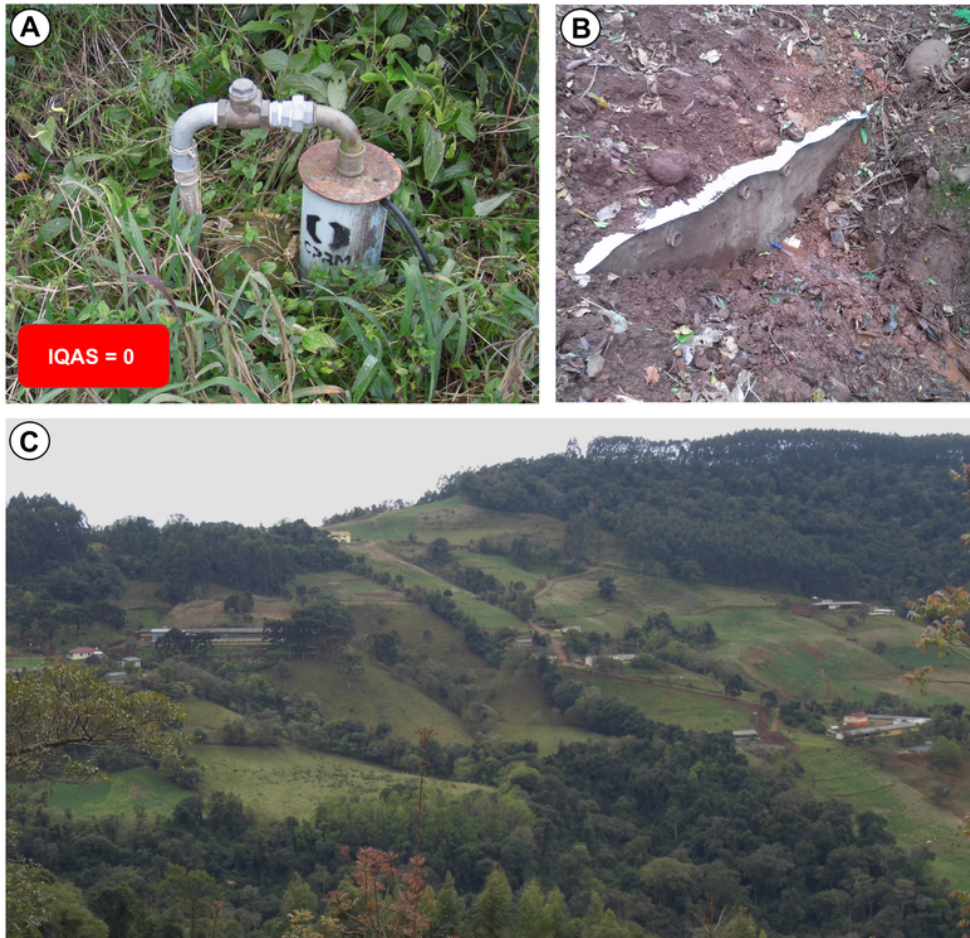
Em campo, observou-se a ausência de laje de proteção e cercamento do poço (Figura 35 - A). Este se encontra no terço médio de paisagem ou encosta, ao lado dos galpões de criação de suínos, distante cerca de 2 m apenas do terreno de manejo onde a superfície estava coberta pelos dejetos destes animais. Além disso, há bastante ferrugem no lacre e nas tubulações.

O proprietário das terras, onde se localiza o poço comunitário, possui três fontes modelo Caxambu (Figura 35 - B) situadas acima da captação de água subterrânea e da maioria dos chiqueiros. De acordo com o morador, existem várias nascentes na região, que são utilizadas principalmente por aqueles que vivem nas partes mais baixas do relevo.

Quanto aos usos, a água subterrânea atende toda a demanda da população residente junto à sede da comunidade (terço superior da paisagem). A medida que se desce no relevo, aumenta a quantidade de nascentes, e estas passam a ser utilizadas em conjunto com o poço. É o que acontece na propriedade visitada, as fontes servem para suprir a necessidade de dessedentação animal.

Por fim, destaca-se que a principal atividade da localidade é a criação de aves e suínos, principalmente. O que é evidenciado pela paisagem repleta de aviários e chiqueiros, instalados, com frequência, nas áreas de encosta (Figura 35 - C).

Figura 35. Fotografias tiradas na Comunidade de São Rafael, interior de Seara. A) Poço comunitário nº 96 e seu IQAS para 2015, registrando a pior nota entre os poços analisados. B) Proteção de nascente baseada no modelo Caxambu com vistas para a parede externa, na parte inferior o tubo de saída d'água e três tubos na parte superior que evitam o extravasamento. C) Paisagem local, vista da estrada de acesso à comunidade.



Fonte: acervo do autor.



## 8 DISCUSSÃO

Avaliando os valores encontrados para cada parâmetro das análises físico-químicas e bacteriológicas, é possível estabelecer uma relação entre os dois cenários temporais através de uma abordagem comparativa entre os resultados encontrados neste trabalho - para as análises da água subterrânea realizadas em 2015 - e o que foi apontado por Comasseto et al. (2014) referente aos dados de 2013.

Neste aspecto, observou-se uma redução da quantidade de poços com, pelo menos, uma variável em desacordo com a PRT 2914, que era 76 % e passou para 68,68 % em 2015. Da mesma forma, o número e a frequência de variáveis acima dos limites previstos pela legislação também diminuíram. No primeiro ano, de todos os parâmetros analisados, 10 extrapolaram os limites da portaria em, pelo menos, uma análise e, no total, registraram-se 117 casos de desconformidade. Já em 2015, apenas seis variáveis apresentaram valores acima dos VMP (em, pelo menos, uma análise), somando, ao todo, 103 irregularidades.

Quanto aos parâmetros em desconformidade, coliformes totais e *E. coli* figuraram como dois dos principais limitadores para qualidade da água em ambos os anos, representando cerca de 75 % da frequência entre as variáveis problemáticas. O pH aparece em seguida por apresentar, principalmente valores muito alcalinos. Porém de 2013 para 2015, observou-se uma diminuição de frequência de poços com esse parâmetro fora do intervalo recomendado. Fe e Mn também apresentaram concentrações acima dos VMP's nos dois anos de amostragem, com aumento dos casos em 2015. Além disso, o excesso de amônia, apesar de pouco frequente, mostrou-se recorrente. Por fim, valores acima do permitido para flúor, alumínio, sulfato e nitrato foram detectados somente em 2013, com frequência relativamente baixa.

A Tabela 20 indica as prováveis origens desses parâmetros. Os valores elevados de Fe e Mn são relacionáveis com as litologias que compõem o SASG, e já foram relatados como sendo oriundos da alteração e posterior dissolução de seus constituintes primários ferromagnesianos, ou ainda, por reações entre a água e materiais de construção e instalação do poço (CAMPOS, 2004; MANASSES et al., 2011; REGINATO et al., 2012; REGINATO; STRIEDER, 2007). Já o registro de concentrações elevadas de sulfato e fluoreto, assim como pH muito alcalino, podem indicar mistura de águas por recarga ascendente a partir do SAG (FRAGA, 1992; MANASSES et al., 2011; NANNI, 2008; REGINATO; AHLERT; SCHNEIDER, 2013). Quanto às condicionantes externas, amônia e nitrato em concentrações elevadas podem indicar contaminação orgânica por fertilizantes por exemplo (REGINATO et al., 2012; RESENDE, 2002), além disso, destaca-se que a presença da bactéria *E. coli* é um

forte indicador de contaminação fecal a partir de animais endotérmicos (COLVARA; LIMA; SILVA, 2009; CUSTODIO; LLAMAS, 1983; MATTHIENSEN; OLIVEIRA, 2015), o que é de se esperar haja visto os fortes impactos das atividades agropecuárias na região, fato confirmado a partir das observações registradas durante a investigação de campo.

Tabela 20. Relação de parâmetros que se apresentaram em desacordo com o padrão de qualidade para consumo humano e suas possíveis origens.

Parâmetros	Provável origem
<i>Escherichia coli</i>	Contaminação fecal <sup>2,3,6</sup>
Nitrato e amônia	Contaminação por atividades agropecuárias <sup>8,11</sup>
Ferro e manganês	Alteração e dissolução de minerais ferromagnesianos dos basaltos do Grupo Serra Geral (e. g. piroxênios, olivina, celadonita, jarosita, saponita) <sup>5,8,9</sup> e/ou Contato com o revestimento do poço, conjunto moto-bomba e tubulação <sup>1</sup>
Sulfato, fluoreto e pH alcalino	Mistura de águas com o SAG <sup>4,5,7,10</sup>

Fontes: Campos (2004)<sup>1</sup>, Colvara, Lima e Silva (2009)<sup>2</sup>, Custodio e Llamas (1983)<sup>3</sup>, Fraga (1992)<sup>4</sup>, Manasses et al. (2011)<sup>5</sup>, Matthiensen e Oliveira (2015)<sup>6</sup>, Nanni (2008)<sup>7</sup>, Reginato et al. (2012)<sup>8</sup>, Reginato e Strieder (2007)<sup>9</sup>, Reginato, Ahlert e Schneider (2013)<sup>10</sup>, Resende (2002)<sup>11</sup>.

De maneira geral, o índice (IQAS) desenvolvido neste trabalho mostrou que a maioria das águas subterrâneas dos poços comunitários ainda preserva uma boa qualidade para consumo humano. Ademais, comparando os resultados para os dois anos, percebe-se uma diminuição da classe de qualidade regular e respectivo aumento da melhor classe de qualidade em 2015 - o que corrobora com a diminuição da quantidade e frequência de variáveis em desacordo com a portaria. Além disso, observando a disposição espacial desses resultados, não foi possível observar nenhuma correlação ou controle geográfico, geológico ou hidrogeológico significativo. Apenas uma fraca tendência de concentração de IQAS ruim no setor sul da bacia - próximo ao Rio Uruguai - no interior dos municípios de Concórdia e Alto Bela Vista. Da mesma forma, na parte norte da bacia, junto a uma faixa SW-NE - correspondente aos aquíferos pouco produtivos do mapa hidrogeológico - ocorrem boa parte dos poços com qualidade ruim no último ano.

De qualquer modo, a frequência de poços com qualidade ruim para o consumo humano, cerca de 10 % em ambos os anos, apesar de relativamente baixa, evidencia significativos problemas no abastecimento, sabendo que se tratam de poços comunitários que destinam suas águas para inúmeras famílias da região. A análise temporal do IQAS mostrou outro agravante, a recorrência do enquadramento na pior classe do índice em quatro poços (nº

16, 64, 65 e 85), revelando a persistência da contaminação no aquífero e o contato crônico da população com água de qualidade ruim. Além disso, os nove poços que tiveram suas águas classificadas como ruins em 2015 (poços nº 01, 16, 18, 42, 64, 65, 85, 95 e 96), visitados na etapa de campo, foram encarados como alvos prioritários dessa discussão por representarem o último cenário temporal de amostragem. Nesse contexto, percebe-se que o principal fator limitante da qualidade das águas da bacia é a presença da bactéria *E. coli* em concentrações muito elevadas, como observado para os poços nº 18, 42, 64, 65, 85 e 96. Em seguida, registra-se a influência dos elementos Fe e Mn que, muitas vezes, rebaixaram a nota do IQAS, como observado nos poços nº 01, 16, 42 e 95. Por fim, o pH, assim como o sulfato e fluoreto, favoreceram a diminuição do valor do índice em alguns casos (poços nº 18, 64 e 95).

Para esses poços que obtiveram IQAS ruim em 2015, o reconhecimento de campo foi fundamental para compreender a realidade de cada comunidade, assim como, as potenciais fontes de poluição que interferem na qualidade da água subterrânea. Em campo, observou-se que a maioria dos poços comunitários visitados estão situados próximos das instalações de criação de animais (suínos e aves principalmente) e que, em boa parte desses, registrou-se a ocorrência de concentrações elevadas de *E. coli*, como observado nos poços nº 18, 64, 65 e 96. Aliado a isso, o quadro agrava-se com a grande quantidade de problemas construtivos, como a falta de laje sanitária, que acompanhado do selo, é uma das principais barreiras para contaminantes superficiais. A condição extrema dessa problemática é o caso do poço nº 89, localizado no Município de Xavantina, que foi abandonado e, como observado pelas fotografias, encontra-se totalmente aberto e sem nenhuma proteção. Nesse aspecto, também foram relatadas queixas dos moradores por falta de instrução na construção dos poços, bem como da necessidade de arcarem com os custos de manutenção destes. Além disso, o elevado valor de dureza total obtido para o poço nº 64, foi evidenciado, em campo, através da reclamação dos moradores locais sobre a presença de incrustação em encanamentos e a ineficiência na utilização de produtos detergentes.

Nesse contexto, eventuais problemas de saúde humana podem estar associados ao consumo continuado dessas águas, que não estão de acordo com os limites recomendados pela legislação. Possivelmente, os casos mais frequentes devem estar relacionados com a recorrência de concentrações elevadas de *E. coli*, o que favorece o aparecimento de doenças de veiculação hídrica como, por exemplo, disenteria bacilar e febre tifoide e paratifoide (CARROLL, 2014; COLVARA; LIMA; SILVA, 2009; CUSTODIO; LLAMAS, 1983; FEITOSA et al., 2008). O consumo continuado e em excesso de Mn pode levar ao desenvolvimento de manganismo, uma doença que afeta o sistema nervoso central e apresenta

sintomas semelhantes ao Mal de Parkinson (DIETER; BAYER; MULTHAUP, 2005). Segundo Custodio e Llamas (1983), a amônia, dependendo de sua concentração e permanência do contato, pode ser tóxica ao ser humano. Além disso, de acordo com Churchill (1980), a dureza elevada pode ser associada à ocorrência de distúrbios estomacais e urolitíase, ou seja, o desenvolvimento de cálculos renais.

Em campo, também foi possível identificar as fontes alternativas ao abastecimento humano comprometido, tanto aquelas já utilizadas quanto as potencialidades de cada comunidade. De modo geral, observou-se que as fontes naturais, provedoras de água subsuperficial, figuram como principais alternativas, muito utilizadas ao longo de toda bacia conjuntamente e como complementação às captações subterrâneas, como observado no caso dos poços nº 01, 16, 18, 64, 65 e 96. Foi observada a ampla utilização de proteção de fontes modelo Caxambu que, conforme relatado por Comassetto (2013), é uma tecnologia social que apresenta boa relação custo-benefício e é amplamente difundida na região, possuindo grande importância na preservação das nascentes e, conseqüentemente, na manutenção da qualidade dessas águas. Além disso, em vários locais, como nas comunidades dos poços nº 01 e 16, os moradores relataram que somente utilizam os poços por conveniência, visto que a vazão das fontes seria suficiente para suprir todas as demandas locais.

De outro modo, foi observado que, em poucas comunidades, os moradores possuem cisternas para armazenar águas de chuva, por exemplo, nas proximidades dos poços nº 18 e 85. Se considerarmos que as taxas de precipitação anuais para a região, apresentam uma média de 1800 mm/ano, o aproveitamento das águas de chuva é subestimado (MARCHESAN; ALVES; MILANI, 2016; EPAGRI, 2002). Essa possibilidade de captação foi, recentemente, recomendada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas em seu Manual para captação e uso doméstico de água de chuva (IPT, 2015). Neste trabalho, o Instituto demonstra que cada milímetro de chuva, precipitado sobre um metro quadrado de telhado, gera um litro de água. Considera-se que a média de consumo de uma família rural composta de 4 pessoas, incluindo todas as formas de uso, é de 360 L/dia e que o valor recomendado para consumo humano, neste mesmo cenário, seria de 8 L/dia (WHO, 2011). Sabendo disso, assim como a possibilidade de captação através dos telhados de residências e instalações agropecuárias (e.g. aviários e chiqueiros), considerando uma média de área de telhado de 100 m<sup>2</sup> por família, a utilização das águas de chuva superaria a demanda total e supriria as necessidades de consumo humano, quanto à quantidade, em mais de 60 vezes.

Portanto, a utilização dessas fontes alternativas, valorizando as potencialidades das águas meteóricas e subsuperficiais, mostra-se fundamental também na preservação dos

volumes dos reservatórios subterrâneos. Como observado por Comassetto et al. (2014), a alta demanda associada às baixas vazões registradas para o SASG na região revela a problemática da superexploração desse sistema. Fato comprovado, localmente, pela constatação da existência de um poço que foi desativado por ser considerado como seco (i. e. com vazões inferiores às necessidades). Conforme Rocha e Jorba (1982), isso acontece, geralmente, quando a vazão de exploração é mal dimensionada, não refletindo os reais limites de produção do poço. O que faz com que, muitas vezes, a extração seja superior à capacidade do aquífero, levando, a médio e longo prazo, a problemas como o rebaixamento do nível dinâmico e queda acentuada na produtividade do poço (“poço seco”).

Por fim, ressalta-se a gestão integrada das águas como principal mecanismo de preservação de seus aspectos qualitativos e quantitativos, considerando o potencial dos diferentes reservatórios, superficiais, subsuperficiais e subterrâneos, bem como a contínua interação entre estes. Exemplo disso foi observado na visita aos poços nº 16 e 18, em Vargem Bonita, onde os moradores utilizam as nascentes e a água de chuva como complementação à captação subterrânea.

## 9 CONCLUSÃO

Com o término deste trabalho, conclui-se que, apesar da vulnerabilidade e do risco de contaminação eminente, os reservatórios subterrâneos ainda representam uma das fontes mais confiáveis, do ponto de vista qualitativo. Porém, os problemas aqui apontados indicam uma mudança desse panorama, principalmente devido às características intrínsecas aos aquíferos, como as altas concentrações de elementos prejudiciais à saúde humana. Aliado a isso, fatores externos como os impactos das atividades agropecuárias da região e prolongados períodos de estiagem, que vêm sendo registrados nas últimas décadas, levam as pessoas e gestores a buscarem os poços como solução de curto prazo para o abastecimento, ao invés de incentivar o empoderamento das comunidades e a adoção de tecnologias sociais vinculadas à captação de águas subsuperficiais e de chuvas, dando assim mais autonomia local de gestão.

Nesse contexto, a elaboração de um IQAS, exclusivo para esta bacia, foi fundamental para classificar a qualidade das suas águas subterrâneas que são destinadas ao consumo humano, a fim de localizar os cenários mais problemáticos e, assim, compreender as realidades locais, bem como suas limitações e potencialidades. Desse modo, enfatiza-se o papel da gestão integrada das águas na manutenção do equilíbrio ambiental. Isso porque leva em consideração as particularidades de cada sistema, como os aspectos socioeconômicos, a disponibilidade hídrica e as condicionantes atmosféricas, hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas. Esses fatores, por sua vez, influenciam nos padrões de fluxo, na capacidade de armazenamento e nas interações entre as águas e os meios nos quais percolam, refletindo, conseqüentemente, na quantidade e qualidade das águas disponíveis no sistema.

Portanto, conclui-se que a utilização do IQAS comprovou sua relevância técnico-científica como importante ferramenta de gestão das águas, pois permite, por exemplo, que o comitê estabeleça prioridades e a concentre seus esforços nas áreas mais problemáticas. Além disso, o IQAS permite sintetizar e transmitir as informações com mais clareza, principalmente para o público em geral. Desse modo, permite que os moradores das comunidades rurais conheçam melhor sua realidade local e, a partir disso, possam gerir suas águas de forma autônoma, integrada e local, visto que estes são, de fato, os principais atores da gestão das águas da bacia.

Finalmente, destaca-se que esse índice, bem como todos os resultados obtidos através deste trabalho serão repassados para o Comitê Jacutinga, para que sejam utilizados quando necessário, por exemplo, na realização de novas análises, a fim de constatar as condições atuais e estabelecer relações temporais. Esta ação reflete diretamente o compromisso da UFSC para com a sociedade que a mantém. Como proposta para pesquisas futuras, ressalta-se

a importância da elaboração de trabalhos que integrem, para toda a bacia, as informações acerca das potencialidades das diferentes formas de captação, utilizando, por exemplo, os dados do Projeto Nascentes e do Projeto Cisternas, ambos de autoria do Comitê Jacutinga.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12244:2006**: Poço tubular — Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 10 p. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=3245>>. Acesso em: 21 jun. 2017, através da Base de Dados da Biblioteca Universitária da UFSC.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12212:2017**: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 17 p. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=376338>>. Acesso em: 03 out. 2017, através da Base de Dados da Biblioteca Universitária da UFSC.

ALMEIDA, Rosa Alencar Santana de. **Índice de qualidade de águas subterrâneas destinada ao uso na produção de água potável (IQUAS)**. 2007. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007. Disponível em: <[www.ppec.ufba.br/site/system/files/2007\\_Rosa\\_Alencar\\_0.pdf](http://www.ppec.ufba.br/site/system/files/2007_Rosa_Alencar_0.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2017.

ALMEIDA, Rosa Alencar Santana de; OLIVEIRA, Iara Brandão de. Aplicação do Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS) destinado ao uso para consumo humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2008. p. 01 - 12. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23341>>. Acesso em: 22 set. 2017.

ALMEIDA, Rosa Alencar Santana de; OLIVEIRA, Iara Brandão de. Índice de Qualidade da Água Subterrânea bruta (IQASB) utilizada na produção de água potável em estações de tratamento. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 31-45, 13 set. 2010. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v24i1.18484>. Acesso em: 11 jun. 2017.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água**. Brasília: ANA/ENGEORPS/COBRAPE. 2010.



ANA, Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**. Brasília: ANA 2012. 264 p. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 maio 2017.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Portal da Qualidade das Águas**. 2017. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/>>. Acesso em: 16 maio 2017.

BARISON, Marcelo Ribeiro . Águas Subterrâneas. In: CAPAZ, Rafael; NOGUEIRA, Luiz. **Ciências ambientais para engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 123-155. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9788535277395>>. Acesso em: 11 maio 2017.

BERNER, Elizabeth Kay; BERNER, Robert A. **Global environment: water, air, and geochemical cycles**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 376 p.

BOLLMANN, Harry Alberto. Metodologia para avaliação ambiental integrada. In: MAIA, Nilson Borlina; MARTOS, Henry Lesjak; BARELLA, Walter (Org.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001. p. 15-46.

BOSCARDIN BORGHETTI, Nadia Rita; BORGHETTI, José Roberto; ROSA FILHO, Ernani Francisco da. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2004. 214 p.

BRASIL. Constituição (1981). Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Lei Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981**. Brasília, DF, Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm)>. Acesso em: 05 jul. 2017.

BRASIL. 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, Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 05 abr. 2017.

BRASIL. Resolução nº 357 ,de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Ministério do Meio Ambiente**: Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia\\_controle\\_qualidade\\_agua.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília, 2007. 40 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/167/\\_publicacao/167\\_publicacao28012009044356.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2017.

BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Ministério da Estado da Saúde**: Sistema de Legislação da Saúde. Brasília, DF, 14 dez. 2011. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 05 mar. 2017.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013. 150 p. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manual\\_pratico\\_de\\_analise\\_de\\_agua\\_2.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf)>. Acesso em: 04 maio 2017.

CADILHAC, Laurent; ALBINET, Maurice (Org.). **Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines**: Rapport de présentation. França: Ministère de L'écologie Et Du Développement Durable, 2003. 22 p. Disponível em: <<http://www.davar.gouv.nc/portal/pls/portal/docs/1/30410252.PDF>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

CALHEIROS, Herlane Costa; GOMES, Mônica Regina; ESTRELLA, Percy Máximo Anco. Calidad de las aguas meteóricas en la ciudad de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. *Ambiente e Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Taubaté, v. 9, n. 2, p.336-346, abr. 2014. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1329>.

CAMPOS, Heraldo Cavalheiro Navajas Sampaio. Águas subterrâneas na Bacia do Paraná. *Geosul*, Florianópolis, v. 19, n. 37, p.47-65, jun. 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/viewFile/13558/12430>>. Acesso em: 03 out. 2017.

CARROLL, Karen C. Bacteriologia. In: BROOKS, Geo F et al. **Microbiologia médica: de Jawetz, Melnick e Adelberg**. 26. ed. Porto Alegre: Amgh, 2014. Cap. 3. p. 141-405. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/bibicbs/livros-novos/microbiologia-medica-de-jawetz-melnick-adelberg>>. Acesso em: 20 set. 2017.

CEDERSTROM, D J. **Água Subterrânea: uma introdução**. Rio de Janeiro: Usaid, 1964. 280 p.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo 2012 - 2014**. São Paulo: CETESB, 2014. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2013 - 2015**. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

CHEBOTAREV, I. I. Metamorphism of natural waters in the crust of weathering - 3. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 198-212, out. 1955. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(55\)90053-3](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(55)90053-3).

CHURCHILL, D. N. et al. Urolithiasis: A Study of Drinking Water Hardness and Genetic Factors. **J Chron Dis**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.347-348, abr. 1980. [Http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4684-8977-4\\_59](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4684-8977-4_59).

COLVARA, Júlia Goldbeck; LIMA, Andréia Saldanha de; SILVA, Wladimir Padilha da . Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 12, n. 1, p.01-14, jan. 2009. Disponível em: <[http://bjft.ital.sp.gov.br/artigos/especiais/especial\\_2009/v11\\_edesp\\_03.pdf](http://bjft.ital.sp.gov.br/artigos/especiais/especial_2009/v11_edesp_03.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2017.

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

COMASSETTO, Vilmar et al. Qualidade da água de fontes superficiais modelo Caxambu em propriedades rurais do oeste catarinense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2011. p. 01 - 20.

COMASSETTO, Vilmar et al. Diagnóstico das Águas Subterrâneas na Bacia do Rio Jacutinga e Contíguas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18, 2014, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2014. p. 1 - 20. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/assubterraneas/article/view/28279>>. Acesso em: 09 abr. 2017.

CUNHA, Gustavo Garcia da et al. Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, Noroeste do Rio Grande do Sul e sua relação espacial com a tectônica rúptil. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 43, n. 1, p.55-68, abr. 2016. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/4301/044301.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2017.

CUSTODIO, Emilio; LLAMAS, Manuel Ramón. **Hidrología subterránea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1983. 1557 p. (Tomo I).

DESCOVI FILHO, Leônidas Luiz Volcato. **Geomorfoestruturas e Compartimentação Tectônica do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral no Estado de Santa**

**Catarina, Brasil.** 2015. 224 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/169498>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

DI BERNARDO, Luiz. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 1993. 481p.

DIETER, Hermann H.; BAYER, Thomas A.; MULTHAUP, Gerd. Environmental Copper and Manganese in the Pathophysiology of Neurologic Diseases (Alzheimer's Disease and Manganism). **Acta Hydrochimica et Hydrobiologica**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.72-78, abr. 2005. [Http://dx.doi.org/10.1002/ahch.200400556](http://dx.doi.org/10.1002/ahch.200400556).

DOMENICO, Patrick A; SCHWARTZ, Franklin W. **Physical and chemical hydrogeology.** New York: John Wiley & Sons, 1990. 824 p.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Atlas Climatológico de Santa Catarina.** Florianópolis, EPAGRI, 2002.

EUA - Estados Unidos da América. USGS - UNITED STATES OF GEOLOGICAL SURVEY. **The Water Cycle.** Disponível em: <<https://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>>. Acesso em: 29 maio 2017

FEITOSA, Fernando A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FEITOSA, Fernando A. C; MANOEL FILHO, João. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID/UFPE, 2000. 391 p.

FENZL, Norbert. **Introdução à hidrogeoquímica.** Belém: Universidade Federal do Pará, 1988. 189 p.

FERNÁNDEZ-VÍTORIA, Vicente Conesa. **Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental.** 3. ed. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1997. 412 p

FERREIRA, Pricilla Costa et al. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. **Revista Latino-americana de Enfermagem**, São Paulo, v. 16, n. 1, p.01-08, fev. 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/2814/281421887023.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2017.

FRAGA, Carlos Gilberto. **Origem do fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná**. 1992. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FREEZE, R Allan; CHERRY, John A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1979. 604 p.

FREITAS, Marcos Alexandre de, et al. Água subterrânea: um recurso vital para o oeste catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: Abas, 2002. p. 1 - 8. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22722>>. Acesso em: 22 set. 2016.

FREITAS, Marcos Alexandre de et al. Avaliação do Potencial Hidrogeológico, Vulnerabilidade Intrínseca e Hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p.31-41, maio 2012. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=62&SUMARIO=829>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

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/SDA-SC/EPAGRI, 2002. 110 p. Disponível em: <[http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/biblioteca\\_visualizar\\_arquivos.jsp?idEmpresa=1&idPasta=182](http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/biblioteca_visualizar_arquivos.jsp?idEmpresa=1&idPasta=182)>. Acesso em: 22 set. 2016.

FREITAS, Marcos Alexandre de; ROISENBERG, Ari; ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. 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. 2016. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v30i1.28518>.

GONÇALVES, Rute Isabel Landeiro de Sousa. **Metodologia para acreditação dos métodos de análise de sólidos suspensos e dissolvidos em águas**. 2009. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2009. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/59242>>. Acesso em: 17 maio 2017.

HANTUSH, Mahdi S. Hydraulics of wells. In: CHOW, Ven Te (Ed.). **Advances in Hydroscience**. New York: Academic Press, 1964. p. 281-432.

HARTMANN, Léo Afraneo. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo até o recente. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p.174-182, 31 out. 2014. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x13236>.

HEATH, Ralph C. **Basic ground-water hydrology**. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 1983. 86 p. Disponível em: <<https://pubs.er.usgs.gov/publication/wsp2220>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva**. 2015.

IRITANI, Mara Akie ; EZAKI, Sibebe. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2009. 104 p. Disponível em: <[www.igeologico.sp.gov.br](http://www.igeologico.sp.gov.br)>. Acesso em: 11 ago. 2017.

KARMANN, Ivo. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, Wilson. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Cap. 7. p. 113-138.

MACHADO, J. L. F. **Mapa hidrogeológico do estado de Santa Catarina**. Escala: 1:500.000. Porto Alegre : CPRM, 2012. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel\\_mapa\\_hid\\_sc.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_mapa_hid_sc.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2016.

MACHADO, José Luiz Flores. **Mapa hidrogeológico do estado de Santa Catarina: relatório.** Porto Alegre: CPRM, 2013. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas\\_publicacoes/rel\\_mapa\\_hid\\_sc.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/rel_mapa_hid_sc.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2016.

MACHADO, J. L. F; FREITAS, M. A. de. 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. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23763>>. Acesso em: 16 set. 2016.

MANASSES, Fabio. et al. Estudo hidrogeológico da Formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 65, n. 1, p.59-67, 31 dez. 2011. <http://dx.doi.org/10.5380/geo.v65i0.13558>.

MARCHESAN, Jairo; ALVES, Jonatas; MILANI, Maria Luiza (Org.). **Água e desenvolvimento regional: análises e propostas tecnológicas para gestão de recursos hídricos no território do Alto Uruguai Cat.** São Paulo: Liberars, 2016. 147 p.

MARTINS, Renata Fátima. **Avaliação da qualidade das águas de chuva de Florianópolis, Tubarão, Criciúma e São Martinho, com ênfase na caracterização das influências marinhas e continentais simuladas utilizando o modelo hysplit.** 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/90987>>. Acesso em: 18 maio 2017.

MATTHESS, Georg. **The properties of groundwater.** New York: John Wiley & Sons, 1982. 406 p.

MATTHIENSEN, Alexandre; OLIVEIRA, Michael de Mello. **Comunicado Técnico: 531.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1040759/principais-problemas-de-qualidade-da-agua-subterranea-da-regiao-do-alto-uruguai-catarinense-e-subsidios-para-resolve-los>>. Acesso em: 21 abr. 2017.



MESTRINHO, Suely Schuartz Pacheco. Qualidade e classificação das águas subterrâneas. In: GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia; GONÇALVES, Valter Galdiano (Org.). **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Cap. 4.

MILANI, Edison José et al. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.265-287, 2007.

MIRZA, Ambreen et al. Aluminium in brain tissue in familial Alzheimer's disease. **Journal Of Trace Elements In Medicine And Biology**, [s.l.], v. 40, n. 1, p.30-36, mar. 2017. [Http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.12.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.12.001).

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: < <http://www.more.ufsc.br/> > . Acesso em 10 abril 2017.

NANNI, Arthur Schmidt. **O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul**: origem e condicionamento geológico. 2008. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

OLIVEIRA, Iara B ; NEGRÃO, F. I; ROCHA, T. S. Determinação do Índice de Qualidade da Água Subterrânea – IQAS, com base nos dados de poços tubulares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2004. p. 1 - 13. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23432>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

OLIVEIRA, Iara B. de; NEGRÃO, Francisco Inácio; SILVA, Alessandra Gomes Lopes Sampaio. Mapeamento dos Aquíferos do Estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 21, n. 1, p.123-138, 1 dez. 2007. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v21i1.16176>. Acesso em: 10 abr. 2017.

OPENGIS.CH. **QField**. 2017. Disponível em: <<http://www.qfield.org/>>. Acesso em: 04 out. 2017

OSM. **Open Street Map**. 2017. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/copyright>>. Acesso em: 05 set. 2017.

PEATE, David W; HAWKESWORTH, Chris J; MANTOVANI, Marta S M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**, [s.l.], v. 55, n. 1-2, p.119-139, dez. 1992. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00301125>. Acesso em: 16 dez. 2016.

PINTO, Nelson L. de Sousa; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 278 p.

PRATES, Arlene M M; MANZOLLI, Judite I; MIRA, Marli A F B . Hidrografia de Santa Catarina. **Geosul**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p.69-76, 1986. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/issue/view/1214>>. Acesso em: 15 maio 2016.

REGINATO, Pedro Antonio Roehe et al. Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do aquífero livre localizado no manto de alteração da Formação Serra Geral, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 7, n. 2, p.143-162, 31 ago. 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.903>.

REGINATO, Pedro Antonio Roehe; AHLERT, Siclério; SCHNEIDER, Vania Elisabete. Caracterização hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 27, n. 1, p.65-78, 6 abr. 2013. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/27061/17696>>. Acesso em: 23 out. 2016.

REGINATO, Pedro Antônio Roehe; STRIEDER, Adelar José. Condicionantes geológicos da ocorrência de ferro e manganês em aquíferos fraturados da Formação Serra Geral. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUL-SUDESTE, 1., 2007, Gramado. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2007. p. 01 - 08. Disponível em:

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22165/14521>>. Acesso em: 05 out. 2017.

RESENDE, Álvaro Vilela de. **Agricultura e Qualidade da Água**: Contaminação da Água por Nitrato. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/546464/agricultura-e-qualidade-da-agua-contaminacao-da-agua-por-nitrato>>. Acesso em: 23 set. 2017.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José M. de. **Tratamento de água**: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blücher, 1991. 332 p.

ROCHA, Gerônimo Albuquerque; JORBA, Antonio Ferrer. **Manual de operação e manutenção de poços**. 3. ed. São Paulo: DAAE, 1982. 96 p.

SANTA CATARINA (Estado). Decreto nº 652, de 03 de setembro de 2003. Cria o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e suas Bacias Hidrográficas Contíguas e aprova o seu regimento interno. **Decreto Nº 652, de 3 de Setembro de 2003**. Florianópolis, SC, Disponível em: <<http://www.pge.sc.gov.br/index.php/legislacao-estadual-pge>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

SANTA CATARINA. SDS - SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. **Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e contíguas**: relatório síntese. Concórdia: SDS, 2012. 166 p. Disponível em: <<http://comitejacutinga.com.br/biblioteca/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

SCHEIBE, Luiz Fernando; HIRATA, Ricardo César Aoki. 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. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1178>>. Acesso em: 18 set. 2016.

SILVA, Benedito Cláudio da; CALHEIROS, Herlane Costa. Águas Superficiais. In: NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; CAPAZ, Rafael Silva (Org.). **Ciências ambientais para**

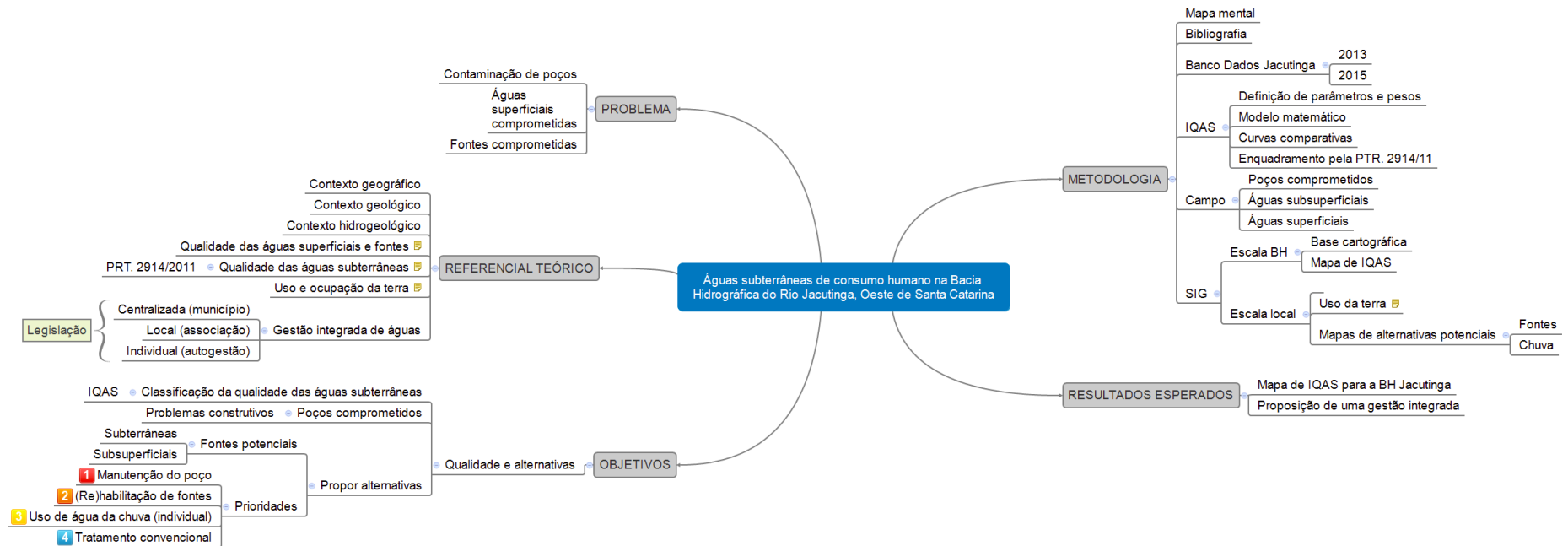
**engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap. 4. p. 85-122. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9788535277395>>. Acesso em: 11 maio 2017.

TODD, David Keith. **Hidrologia de águas subterrâneas**. São Paulo: Blucher, 1959.

WILDNER, W. et al. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil. Subprograma de Cartografia Geológica Regional.

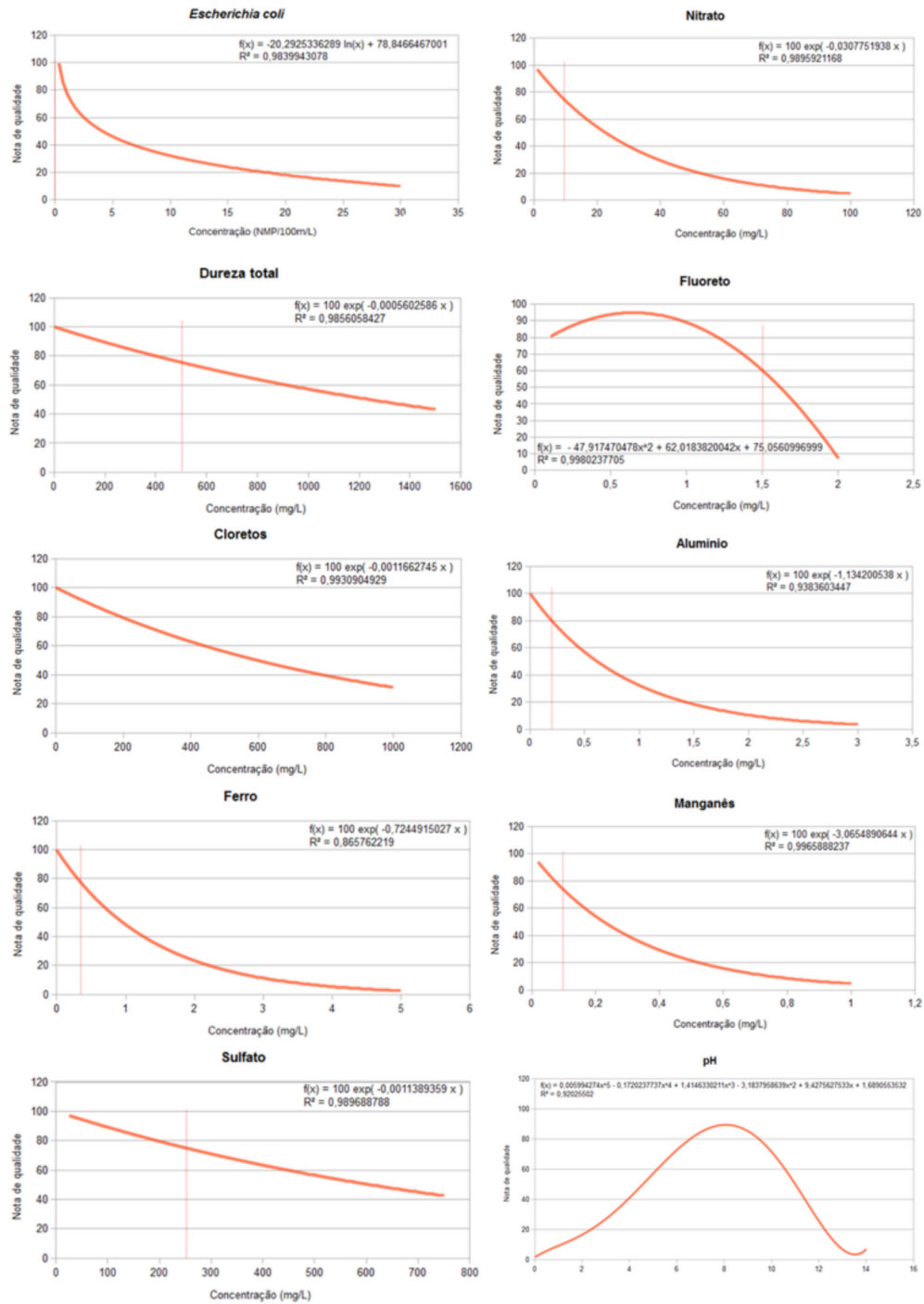
WHO - World Health Organization. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4. ed. Malta: Gutenberg, 2011. 541 p. Disponível em: <[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2017

Anexo A. Mapa mental elaborado na fase inicial deste trabalho.



Fonte: do autor.

Anexo B. Gráficos com as curvas de qualidade vs valor de cada valor que compõe o IQAS.



Fontes: do autor, baseado nas curvas de Almeida e Oliveira (2010), Oliveira, Negrão e Rocha (2004), CETESB (2014, 2016), e nos VMP estabelecidos pela PRT. 2914 (BRASIL, 2011).

Anexo C. Tabela com os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas, referente aos parâmetros que compõem o IQAS, realizadas em 2013.

Poço	UTM E	UTM N	Município	pH	Alumínio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Dureza (mg/L)	Ferro (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Manganês (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100ml)
1	400166	7010796	Irani	8,68	0,000	9,29	30	0,822	0,047	0,337	0,000	12,757	< 1
2	418170	7011481	Irani	6,34	0,157	7,43	14	0,145	0,000	0,022	0,750	16,665	< 1
3	410883	7004081	Irani	9,69	0,018	7,43	10	0,000	0,398	0,000	1,230	13,420	< 1
4	407337	6999736	Irani	7,48	0,000	7,43	20	0,034	0,000	0,000	2,020	15,574	< 1
5	389571	7001983	Ipumirim	8,31	0,000	7,43	22	0,000	0,291	0,000	1,310	2,332	1
6	392708	7003280	Ipumirim	7,21	0,000	7,43	20	0,000	0,268	0,000	0,000	0,430	< 1
7	391344	7006941	Ipumirim	7,95	0,000	9,29	20	0,000	0,374	0,000	1,908	0,882	< 1
8	383723	7004727	Ipumirim	7,45	0,000	11,15	12	0,000	0,288	0,000	0,800	0,010	< 1
9	379732	7006483	Ipumirim	7,85	0,000	13,00	20	0,000	0,230	0,000	4,100	4,756	14,4
10	382838	7005926	Ipumirim	8,22	0,000	11,15	26	0,000	0,319	0,000	1,890	19,244	< 1
11	393044	7012588	Lindóia do Sul	10,35	0,000	7,43	30	0,260	0,108	0,075	0,830	4,703	< 1
12	389411	7007264	Lindóia do Sul	7,79	0,000	9,29	26	0,147	0,284	0,000	6,540	7,885	< 1
13	399066	6998828	Lindóia do Sul	6,11	0,000	7,43	24	0,148	0,126	0,000	2,440	1,824	< 1
14	397496	7003570	Lindóia do Sul	6,65	0,000	7,43	26	0,202	1,073	0,000	1,020	2,659	5,2
15	426874	7011316	Vargem Bonita	6,82	0,000	7,43	24	0,173	0,000	0,049	2,540	4,275	< 1
16	431420	7013391	Vargem Bonita	7,35	0,000	7,43	20	4,442	0,000	1,021	4,040	44,044	< 1
17	420321	7012836	Vargem Bonita	7,33	0,000	9,29	24	0,134	0,038	0,055	4,490	8,300	< 1
18	422357	7012955	Vargem Bonita	10,54	0,000	7,43	6	0,057	0,086	0,021	1,260	4,629	2
19	424157	7012533	Vargem Bonita	7,81	0,000	9,29	40	0,051	0,000	0,016	0,790	2,464	< 1
20	428173	7013875	Vargem Bonita	7,22	0,000	7,43	20	0,044	0,079	0,042	0,290	3,872	< 1
21	401079	7002646	Irani	7,34	0,000	11,15	28	0,065	0,000	0,036	4,750	7,812	< 1
22	417628	7008719	Irani	7,18	0,000	11,15	28	0,048	0,000	0,039	7,210	6,555	< 1
23	425267	6998515	Jaborá	8,34	0,000	9,29	20	0,031	0,000	0,000	1,040	0,000	< 1
24	425224	6992497	Jaborá	7,66	0,000	13,00	20	0,029	0,000	0,000	3,540	0,000	< 1
25	423027	6993381	Jaborá	9,69	0,000	18,58	12	0,040	0,040	0,000	0,040	0,000	< 1
26	422680	6994967	Jaborá	7,57	0,101	24,15	24	0,089	0,000	0,150	3,670	5,770	< 1
27	413678	7001144	Jaborá	10,06	0,130	7,43	12	0,209	0,010	0,000	0,000	16,420	< 1
28	418396	6997205	Jaborá	9,39	0,030	11,15	26	0,100	0,000	0,000	2,550	0,000	< 1
29	387908	6993744	Arabutã	7,51	0,088	11,15	24	0,110	0,500	0,000	5,160	7,606	< 1
30	386221	6995178	Arabutã	7,57	0,101	13,00	26	0,063	0,640	0,000	2,660	3,048	< 1
31	382843	6993371	Arabutã	7,89	0,000	11,15	26	0,070	0,380	0,000	6,730	5,827	1
32	380389	6996252	Arabutã	7,76	0,026	14,86	24	0,110	0,830	0,000	5,170	7,290	< 1
33	378712	7000717	Arabutã	7,71	0,134	11,15	20	0,000	0,450	0,000	4,900	4,172	< 1
34	379395	6993223	Arabutã	9,48	0,078	7,43	20	0,190	1,450	0,000	6,550	9,507	< 1

Poço	UTM E	UTM N	Município	pH	Alumínio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Dureza (mg/L)	Ferro (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Manganês (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100ml)
35	360286	6985464	Itá	7,35	0,140	7,43	22	0,007	0,290	0,000	1,620	0,000	< 1
36	364569	6985522	Itá	9,84	0,109	11,15	18	0,000	0,999	0,000	0,800	14,170	< 1
37	368922	6984243	Itá	7,54	0,071	11,15	34	0,016	0,130	0,000	2,750	0,000	1
38	378981	6989287	Itá	7	0,075	7,43	20	0,000	0,000	0,000	3,040	0,000	< 1
39	379150	6989006	Itá	7,7	0,152	13,00	24	0,000	0,400	0,000	3,000	0,000	< 1
40	378146	6992553	Itá	10	0,200	14,86	12	0,000	1,460	0,000	0,000	0,000	< 1
41	412032	6962910	Alto Bela Vista	7,86	0,159	18,58	44	0,123	0,040	0,051	0,000	94,650	< 1
42	405346	6972948	Alto Bela Vista	7,51	0,133	14,86	24	0,000	0,000	0,000	0,710	27,240	< 1
43	422652	6973460	Ipira	8,05	0,000	11,15	20	0,019	0,991	0,000	0,000	23,748	< 1
44	421884	6969344	Ipira	7,81	0,000	7,43	34	0,000	0,325	0,000	0,000	3,013	< 1
45	367546	7009687	Xavantina	8,2	0,000	7,43	14	0,026	0,282	0,082	0,000	0,000	< 1
46	368130	7011575	Xavantina	9,04	0,000	13,00	24	0,000	0,027	0,035	0,170	0,657	< 1
47	434215	6976263	Ouro	9,75	0,000	20,44	26	0,033	1,586	0,068	0,000	31,749	< 1
48	435318	6978827	Ouro	7,38	0,024	11,15	24	0,000	0,307	0,019	1,610	0,000	< 1
49	415137	6977883	Peritiba	8,14	0,000	74,13	12	0,025	0,263	0,012	0,000	45,429	< 1
50	408636	6977178	Peritiba	10,16	0,000	13,00	24	0,005	1,860	0,092	0,000	3,543	< 1
51	430318	7008237	Catanduvas	7,47	0,003	7,43	18	0,560	0,000	0,113	0,000	0,000	< 1
52	434664	7002162	Catanduvas	10,05	0,000	7,43	6	0,000	0,259	0,022	0,000	0,000	< 1
53	348211	6984228	Paial	9,73	0,000	16,72	10	0,037	1,810	0,019	2,135	28,000	< 1
54	352431	6988216	Paial	7,5	0,000	11,15	10	0,039	0,276	0,020	3,101	1,336	< 1
55	398949	6980737	Concórdia	7,86	0,017	11,15	16	0,000	0,165	0,000	0,130	3,953	< 1
56	400033	6982927	Concórdia	7,04	0,000	11,15	18	0,023	0,216	0,000	3,160	1,513	4,1
57	399608	6981417	Concórdia	7,89	0,056	9,29	16	0,000	0,334	0,000	0,620	5,418	3,1
58	400094	6982806	Concórdia	6,91	0,058	11,15	18	0,070	0,275	0,000	7,080	4,396	< 1
59	403323	6985059	Concórdia	9,67	0,000	7,46	26	0,000	0,339	0,000	0,000	4,653	< 1
60	401518	6984396	Concórdia	8,02	0,000	9,29	12	0,002	0,433	0,000	1,410	5,622	< 1
61	401961	6982007	Concórdia	7,45	0,000	11,15	26	0,000	0,310	0,000	1,740	10,921	< 1
62	394772	6993951	Concórdia	8,08	0,000	7,43	26	0,001	0,346	0,000	1,850	3,575	< 1
63	396965	6991172	Concórdia	7,4	0,011	7,43	20	0,000	0,276	0,000	3,480	5,449	< 1
64	391571	6984073	Concórdia	7,89	0,000	14,86	12	0,186	1,093	0,082	0,410	357,960	17,1
65	391601	6984265	Concórdia	7,67	0,000	11,15	24	0,029	0,349	0,035	7,440	33,869	39,7
66	389121	6984818	Concórdia	7,52	0,002	9,29	18	0,048	0,338	0,062	2,820	5,781	< 1
67	388500	6986351	Concórdia	7,72	0,000	9,29	24	0,000	0,367	0,001	0,560	4,851	< 1
68	387388	6984962	Concórdia	7,86	0,068	11,15	16	0,000	0,416	0,000	3,020	5,167	< 1
69	390762	6989461	Concórdia	7,46	0,000	11,15	14	0,000	0,425	0,000	2,420	3,834	< 1
70	383925	6988374	Concórdia	7,7	0,118	11,15	18	0,101	0,502	0,000	1,540	42,044	5,2
71	401287	6979582	Concórdia	7,23	0,000	7,43	16	0,030	0,133	0,032	2,220	4,413	< 1



Poço	UTM E	UTM N	Município	pH	Alumínio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Dureza (mg/L)	Ferro (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Manganês (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100ml)
72	399185	6973484	Concórdia	9,55	0,000	37,15	34	0,005	1,590	0,012	4,216	60,691	920,8
73	407390	6977202	Concórdia	7,53	0,000	22,29	20	0,000	0,327	0,019	6,030	34,545	< 1
74	406372	6979081	Concórdia	7,38	0,000	14,86	26	0,021	0,206	0,000	5,480	6,067	< 1
75	407031	6997568	Concórdia	7,24	0,000	13,00	24	0,000	0,190	0,025	3,530	2,344	< 1
76	408003	6998777	Concórdia	9,37	0,000	11,15	20	0,000	0,198	0,025	2,030	0,922	< 1
77	402782	6999660	Concórdia	7,09	0,000	9,29	20	0,130	0,155	0,011	0,770	1,385	42,0
78	407813	6992137	Concórdia	8,08	0,000	11,15	20	0,170	0,042	0,034	4,650	2,631	< 1
79	382515	6985283	Concórdia	7,56	0,036	11,15	20	0,210	0,205	0,005	2,160	5,125	< 1
80	379840	6984798	Concórdia	7,6	0,000	11,15	12	0,000	0,159	0,024	2,220	3,679	< 1
81	378133	6980866	Concórdia	8,23	0,000	7,43	26	0,210	1,075	0,024	2,980	15,205	< 1
82	385673	6980876	Concórdia	8,54	0,000	9,29	26	0,170	0,868	0,036	0,720	8,928	< 1
83	398076	6982609	Concórdia	7,54	0,000	9,29	18	0,019	0,148	0,012	1,307	1,281	< 1
84	394421	6979583	Concórdia	8,23	0,000	7,43	14	0,111	0,569	0,046	2,101	53,099	8,4
85	395450	6975838	Concórdia	6,43	0,000	7,43	16	0,242	0,000	0,075	1,845	26,801	19,5
86	391572	6975732	Concórdia	7,74	0,000	7,43	12	0,050	0,201	0,026	2,030	1,974	< 1
87	364879	7008899	Xavantina	7,84	0,221	11,15	26	0,000	0,145	0,006	10,110	4,088	< 1
88	362827	7007170	Xavantina	6,93	0,171	9,29	18	0,000	0,205	0,015	8,590	2,174	1,0
89	368823	7005915	Xavantina	7,6	0,153	18,58	26	0,000	0,257	0,001	2,480	11,707	< 1
90	365474	7004636	Xavantina	7,8	0,344	16,72	18	0,327	0,191	0,050	7,280	13,242	< 1
91	353705	7004578	Arvoredo	8,15	0,292	18,58	26	0,000	0,207	0,000	5,780	11,835	< 1
92	352270	7002041	Arvoredo	9,69	0,235	55,73	16	0,000	1,925	0,000	4,750	166,410	< 1
93	368654	6989075	Seara	7,44	0,003	35,30	24	0,067	0,148	0,016	2,768	0,000	< 1
94	364078	6993123	Seara	10,08	0,000	35,30	20	0,074	0,861	0,014	0,523	11,489	< 1
95	359234	6994549	Seara	9,97	0,000	40,87	14	0,298	1,762	0,172	1,069	3,286	< 1
96	372766	7003181	Seara	7,55	0,000	22,29	20	0,227	0,190	0,012	9,442	0,000	< 1
97	416743	6986393	P. Cas. Branco	7,25	0,000	20,44	18	0,056	0,105	0,030	4,679	0,000	< 1
98	422578	6985295	P. Cas. Branco	7,81	0,000	24,15	30	0,062	0,451	0,032	1,186	0,000	< 1
99	430399	7007443	Catanduvas	9,87	0,000	14,86	10	0,000	0,468	0,000	0,201	3,396	< 1
100	435396	7009103	Catanduvas	6,89	0,000	18,58	18	0,001	0,133	0,000	1,163	5,324	< 1

Anexo D. Tabela com os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas, referente aos parâmetros que compõem o IQAS, realizadas em 2015.

Poço	UTM E	UTM N	Município	pH	Alumínio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Dureza (mg/L)	Ferro (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Manganês (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100ml)
1	400166	7010796	Irani	8,98	0,036	39,01	42	0,537	0,000	0,641	0,000	0,000	<1
2	418170	7011481	Irani	7,08	0,022	35,30	76	0,051	0,000	0,000	0,729	0,000	<1
3	410883	7004081	Irani	7,25	0,021	35,30	80	0,019	0,000	0,025	2,356	0,000	<1
4	407337	6999736	Irani	7,96	0,005	55,73	44	0,030	0,148	0,035	0,000	0,000	<1
5	389571	7001983	Ipumirim	7,91	0,039	55,73	142	0,000	0,215	0,039	1,840	0,864	<1
6	392708	7003280	Ipumirim	6,61	0,019	50,16	92	0,000	0,203	0,036	2,343	0,738	<1
7	391344	7006941	Ipumirim	7,38	0,023	37,15	70	0,000	0,253	0,025	2,886	0,697	<1
8	383723	7004727	Ipumirim	7,44	0,049	42,73	92	0,000	0,157	0,074	2,209	5,441	<1
9	379732	7006483	Ipumirim	7,18	0,059	48,30	94	0,000	0,260	0,052	4,235	2,922	4,1
10	382838	7005926	Ipumirim	7,5	0,056	46,44	112	0,120	0,163	0,043	2,604	5,064	<1
11	393044	7012588	Lindóia do Sul	10,09	0,040	35,30	16	0,371	0,157	0,444	1,759	0,000	<1
12	389411	7007264	Lindóia do Sul	7,38	0,001	37,15	82	0,067	0,082	0,018	8,568	0,000	<1
13	399066	6998828	Lindóia do Sul	7,25	0,010	31,58	82	0,002	0,037	0,040	2,682	0,000	<1
14	397496	7003570	Lindóia do Sul	7,66	0,004	29,72	104	0,045	0,038	0,000	1,042	0,000	1
15	426874	7011316	Vargem Bonita	6,52	0,041	35,30	46	1,301	0,000	0,261	1,015	18,592	<1
16	431420	7013391	Vargem Bonita	7,05	0,018	33,44	90	1,547	0,000	0,977	2,073	7,924	<1
17	420321	7012836	Vargem Bonita	7,04	0,005	48,30	118	0,004	0,000	0,000	5,094	0,000	<1
18	422357	7012955	Vargem Bonita	9,93	0,000	46,44	12	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	17,1
19	424157	7012533	Vargem Bonita	7,23	0,000	44,59	70	0,012	0,000	0,000	1,142	0,000	<1
20	428173	7013875	Vargem Bonita	7,03	0,000	22,29	66	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	<1
21	401079	7002646	Irani	7,24	0,010	48,30	108	0,039	0,000	0,002	4,692	0,000	<1
22	417628	7008719	Irani	7,28	0,030	35,30	174	0,021	0,006	0,000	4,918	0,000	<1
23	425267	6998515	Jaborá	8,16	0,030	48,30	46	0,020	0,088	0,005	1,474	0,000	<1
24	425224	6992497	Jaborá	7,56	0,023	50,16	86	0,019	0,133	0,016	4,795	0,000	<1
25	423027	6993381	Jaborá	9,15	0,014	53,87	10	0,016	0,380	0,000	0,752	0,000	<1
26	422680	6994967	Jaborá	7,43	0,054	50,16	100	0,007	0,169	0,738	2,008	1,413	<1
27	413678	7001144	Jaborá	9,67	0,049	33,44	22	0,031	0,299	0,038	0,000	0,401	<1
28	418396	6997205	Jaborá	9,11	0,009	40,87	14	0,000	0,116	0,001	1,600	0,000	<1
29	387908	6993744	Arabutã	7,54	0,013	35,30	96	0,017	1,086	0,007	1,143	1,346	3,1
30	386221	6995178	Arabutã	7,27	0,017	39,01	120	0,000	0,074	0,051	1,951	0,000	<1
31	382843	6993371	Arabutã	7,85	0,023	40,87	84	0,019	0,252	0,000	1,038	4,649	<1
32	380389	6996252	Arabutã	7,52	0,028	46,44	60	0,000	1,113	0,073	4,887	1,416	<1

Poço	UTM E	UTM N	Município	pH	Alumínio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Dureza (mg/L)	Ferro (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Manganês (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100ml)
33	378712	7000717	Arabutã	7,5	0,019	40,87	96	0,000	0,214	0,063	2,141	2,833	<1
34	379395	6993223	Arabutã	9,05	0,013	33,40	22	0,012	0,821	0,092	0,056	2,629	<1
35	360286	6985464	Itá	7,44	0,000	31,58	90	0,006	0,052	0,000	3,270	0,000	<1
36	364569	6985522	Itá	9,48	0,000	50,16	26	0,045	0,581	0,003	0,000	16,205	<1
37	368922	6984243	Itá	7,43	0,000	59,45	130	0,031	0,015	0,000	0,625	0,000	<1
38	378981	6989287	Itá	7,42	0,021	50,16	86	0,025	0,000	0,261	1,823	0,000	<1
39	379150	6989006	Itá	7,17	0,000	39,01	124	0,034	0,007	0,005	3,111	0,000	<1
40	378146	6992553	Itá	9,48	0,000	37,15	10	0,030	0,340	0,000	0,021	0,000	<1
41	412032	6962910	Alto Bela Vista	7,24	0,000	72,45	92	1,108	0,035	0,090	0,647	0,000	<1
42	405346	6972948	Alto Bela Vista	7,68	0,000	55,73	210	0,299	0,215	0,148	0,000	19,572	31,8
43	422652	6973460	Ipira	7,84	0,013	35,30	112	0,000	0,607	0,000	1,471	9,532	<1
44	421884	6969344	Ipira	7,76	0,074	29,72	86	0,000	0,140	0,034	0,505	0,000	<1
45	367546	7009687	Xavantina	8,5	0,025	40,87	58	0,013	0,101	0,002	1,386	0,000	1
46	368130	7011575	Xavantina	7,79	0,013	55,73	100	0,017	0,000	0,013	1,125	0,000	<1
47	434215	6976263	Ouro	9,25	0,000	50,16	0	0,057	1,143	0,000	0,275	52,931	<1
48	435318	6978827	Ouro	7,17	0,000	27,87	128	0,023	0,167	0,021	1,290	0,000	<1
49	415137	6977883	Peritiba	7,47	0,000	53,87	82	0,051	0,007	0,027	2,394	0,000	<1
50	408636	6977178	Peritiba	9,62	0,000	102,18	4	0,053	1,315	0,000	0,000	0,000	<1
51	430318	7008237	Catanduvas	7,29	0,029	59,45	62	0,939	0,000	0,120	0,567	0,000	<1
52	434664	7002162	Catanduvas	10,05	0,022	44,59	0	0,034	0,145	0,030	0,403	0,000	<1
53	348211	6984228	Paial	9,22	0,000	50,16	14	0,070	0,850	0,013	0,000	5,148	<1
54	352431	6988216	Paial	7,45	0,004	35,30	70	0,051	0,000	0,000	0,787	0,000	<1
55	398949	6980737	Concórdia	7,14	0,104	46,44	60	0,025	0,150	0,083	0,218	0,000	<1
56	400033	6982927	Concórdia	7,52	0,032	44,59	84	0,031	0,055	0,000	4,180	0,000	<1
57	399608	6981417	Concórdia	7,83	0,102	39,01	66	0,039	0,026	0,035	0,684	0,000	<1
58	400094	6982806	Concórdia	7,13	0,024	40,87	80	0,003	0,000	0,000	3,486	0,000	<1
59	403323	6985059	Concórdia	9,51	0,083	46,44	20	0,048	0,000	0,071	0,000	0,000	<1
60	401518	6984396	Concórdia	7,65	0,078	50,16	68	0,000	0,000	0,080	2,552	0,000	<1
61	401961	6982007	Concórdia	7,49	0,091	37,15	78	0,089	0,237	0,042	1,713	13,537	<1
62	394772	6993951	Concórdia	7,99	0,014	40,87	92	0,000	0,062	0,000	1,155	0,000	<1
63	396965	6991172	Concórdia	7,78	0,008	33,44	102	0,056	0,065	0,040	4,728	0,000	<1
64	391571	6984073	Concórdia	8,07	0,020	57,59	478	0,000	0,522	0,022	0,057	153,540	42,6
65	391601	6984265	Concórdia	7,67	0,000	40,87	158	0,014	0,197	0,016	4,996	41,957	24,6
66	389121	6984818	Concórdia	7,46	0,000	35,30	64	0,000	0,105	0,021	1,888	0,000	1
67	388500	6986351	Concórdia	7,56	0,009	39,01	94	0,000	0,143	0,031	0,661	0,000	<1
68	387388	6984962	Concórdia	7,78	0,000	46,44	88	0,000	0,148	0,000	5,018	0,000	<1
69	390762	6989461	Concórdia	7,5	0,000	44,59	64	0,000	0,139	0,000	4,023	0,000	<1

Poço	UTM E	UTM N	Município	pH	Alumínio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Dureza (mg/L)	Ferro (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Manganês (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100ml)
70	383925	6988374	Concórdia	7,61	0,000	37,15	74	0,000	0,218	0,010	2,252	0,000	<1
71	401287	6979582	Concórdia	6,6	0,000	46,44	70	0,000	0,000	0,025	4,378	0,000	<1
72	399185	6973484	Concórdia	10,07	0,000	68,74	10	0,015	1,234	0,037	0,157	34,543	<1
73	407390	6977202	Concórdia	7,53	0,000	33,44	88	0,036	0,291	0,000	1,381	14,260	<1
74	406372	6979081	Concórdia	8,18	0,000	33,44	102	0,076	0,245	0,029	1,020	5,571	<1
75	407031	6997568	Concórdia	7,48	0,019	48,30	64	0,116	0,240	0,000	0,787	0,000	<1
76	408003	6998777	Concórdia	8,96	0,039	35,30	14	0,051	0,214	0,078	0,617	0,000	3,1
77	402782	6999660	Concórdia	7,29	0,005	39,01	62	0,058	0,202	0,000	0,416	0,000	<1
78	407813	6992137	Concórdia	8,07	0,005	37,15	74	0,000	0,172	0,019	2,716	0,000	<1
79	382515	6985283	Concórdia	7,79	0,010	65,02	94	0,058	0,139	0,036	4,972	0,000	<1
80	379840	6984798	Concórdia	7,49	0,006	37,15	80	0,059	0,237	0,000	3,054	0,000	<1
81	378133	6980866	Concórdia	8,56	0,017	37,15	58	0,007	0,552	0,018	1,701	0,000	<1
82	385673	6980876	Concórdia	8,56	0,003	37,15	42	0,000	0,699	0,052	0,247	0,000	<1
83	398076	6982609	Concórdia	8,52	0,000	29,72	110	0,000	0,030	0,033	5,536	0,000	<1
84	394421	6979583	Concórdia	8,91	0,000	27,87	86	0,102	0,417	0,034	0,632	67,782	2
85	395450	6975838	Concórdia	7,55	0,012	35,30	58	0,100	0,016	0,043	0,885	0,000	22,3
86	391572	6975732	Concórdia	7,93	0,006	29,72	40	0,050	0,060	0,000	2,471	0,000	<1
87	364879	7008899	Xavantina	7,42	0,024	37,15	116	0,024	0,000	0,000	5,732	0,000	<1
88	362827	7007170	Xavantina	7,26	0,021	40,87	74	0,007	0,000	0,016	4,483	0,000	1
89	368823	7005915	Xavantina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	365474	7004636	Xavantina	7,61	0,030	40,87	80	0,082	0,000	0,016	2,290	0,000	1
91	353705	7004578	Arvoredo	7,9	0,000	31,58	114	0,081	0,000	0,000	1,463	0,000	<1
92	352270	7002041	Arvoredo	9,2	0,000	81,74	0	0,076	0,727	0,000	0,000	78,308	<1
93	368654	6989075	Seara	7,31	0,007	39,01	104	0,000	0,062	0,000	1,246	0,000	<1
94	364078	6993123	Seara	9,6	0,002	35,30	6	0,000	0,403	0,000	0,000	4,806	<1
95	359234	6994549	Seara	9,44	0,046	27,87	26	5,804	0,743	1,076	0,000	46,715	<1
96	372766	7003181	Seara	7,33	0,030	31,58	138	0,000	0,000	0,000	6,418	0,000	178,5
97	416743	6986393	P. Cas. Branco	6,91	0,000	37,15	70	0,094	0,000	0,012	2,721	0,000	1
98	422578	6985295	P. Cas. Branco	7,58	0,000	33,44	74	0,019	0,101	0,027	0,000	0,000	<1
99	430399	7007443	Catanduvas	9,66	0,024	48,30	8	0,002	0,081	0,002	0,283	0,000	<1
100	435396	7009103	Catanduvas	7,73	0,014	37,15	28	0,011	0,058	0,000	1,007	0,000	<1