

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL

Évelyn Taize Barrilli

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA QUALI-QUANTITATIVA DO  
AQUÍFERO FRATURADO SERRA GERAL, DA CIDADE DE  
CHAPECÓ (SC)**

Frederico Westphalen, RS  
2023

Évelyn Taize Barrilli

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA QUALI-QUANTITATIVA DO  
AQUÍFERO FRATURADO SERRA GERAL, DA CIDADE DE  
CHAPECÓ (SC)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) *campus* Frederico Westphalen, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental**.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Malva Andrea Mancuso

Frederico Westphalen, RS  
2023

Barrilli, Évelyn Taize  
AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA QUALI-QUANTITATIVA DO  
AQUÍFERO FRATURADO SERRA GERAL, DA CIDADE DE CHAPECÓ (SC)  
/ Évelyn Taize Barrilli.- 2023.  
97 p.; 30 cm

Orientadora: Malva Andrea Mancuso  
Coorientadora: Aline de Almeida Mota  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós  
Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, RS, 2023

1. Sistema Aquífero Serra Geral 2. Águas Subterrâneas  
3. Zona urbana 4. Hidrodinâmica 5. Hidroquímica I. Andrea  
Mancuso, Malva II. de Almeida Mota, Aline III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ÉVELYN TAIZE BARRILLI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**ÉVELYN TAIZE BARRILLI**

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA QUALI-QUANTITATIVA DO  
AQUÍFERO FRATURADO SERRA GERAL, DA CIDADE DE  
CHAPECÓ (SC)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) *campus* Frederico Westphalen, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental**.

Aprovada em 21 de dezembro de 2023.

---

**Malva Andrea Mancuso, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/Orientadora)

---

**Janete Facco, PhD. (UFSC)**

---

**Pedro Daniel da Cunha Kemerich, Dr. (UFSM)**

Frederico Westphalen, RS  
2023

Dedico à minha família, por sempre me incentivarem nos estudos e acreditarem no meu potencial.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela força e coragem de me manter no caminho e chegar até aqui.

Aos meus pais, Janete e Claozenir, aos meus irmãos, Andrey e Milena, pelo apoio, incentivo e carinho que foram fundamentais ao longo dessa jornada.

Ao meu namorado, amigo, companheiro Leonardo, que se manteve ao meu lado, seguindo a jornada de mestrado simultaneamente a mim. Muito obrigada por todas as vezes que não me deixou desistir e me entregou compreensão, amor e entusiasmo. Amo você!

As amigadas mais duradouras que mesmo em minha ausência demonstrando se faziam presentes e tornaram a caminhada mais leve e divertida.

À Leão Poços Artesianos por dispor das informações para realização desse estudo, em especial ao Fabio Carasek, contribuindo por todo o ensinamento técnico, empatia e amizade que me proporcionou durante minha passagem pela empresa. Agradeço também ao Vinícius Allebrandt, pelo apoio e ensinamentos enquanto estive fazendo parte da sua equipe.

A todos(as) os(as) amigos(as) e parentes que me acompanharam em mais essa trajetória acadêmica, meu mais sincero agradecimento.

À minha orientadora Malva, agradeço a paciência e compreensão no trajeto.



Tudo está certo, no seu lugar, cumprindo o seu destino. E eu me sinto completamente feliz. Mas, quando falo dessas pequenas felicidades certas, que estão diante de cada janela, uns dizem que essas coisas não existem, outros que só existem diante das minhas janelas, e outros, finalmente, que é preciso aprender a olhar, para poder vê-las assim.

(MEIRELES, 2016)

## **RESUMO**



# **AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA QUALI-QUANTITATIVA DO AQUÍFERO FRATURADO SERRA GERAL, DA CIDADE DE CHAPECÓ (SC)**

AUTORA: Évelyn Taize Barrilli  
ORIENTADORA: Malva Andrea Mancuso

Os poços tubulares profundos existentes no município de Chapecó (SC) têm sido amplamente utilizados como fonte de água para abastecimento público, industrial e agrícola na região, tornando-se fundamentais para a segurança hídrica local e complementando as possíveis deficiências da rede pública. O presente estudo teve por objetivo analisar dados de poços tubulares na área urbana do município de Chapecó (SC), com vista à interpretação de parâmetros hidrodinâmicos e hidroquímicos, fornecendo uma avaliação detalhada que vem auxiliar na gestão sustentável desse recurso. O estudo da hidrodinâmica dos poços foi realizado com base nas fichas de perfuração e cadastramento de 394 poços, utilizados para fins de abastecimento público e instalados na Formação Serra Geral. Os dados foram disponibilizados pela CPRM e pela empresa perfuradora Leão Poços Artesianos LTDA. De acordo com os resultados, foi mais intenso o número de perfurações a partir de 1987. Observa-se que a exploração das águas subterrâneas do SASG varia consideravelmente na cidade, sendo observadas vazões de 0,5 a 60,9 m<sup>3</sup>/h, entretanto, 75% dos poços apresentaram vazões de até 12 m<sup>3</sup>/h. As profundidades dos poços também variam de 54 a 932m e na zona mais central da cidade, os níveis estáticos são mais profundos, entre 55 e 163 m. Em relação à Capacidade Específica, 75% dos poços apresentaram valores de até 1,3 m<sup>3</sup>/h/m, sendo 0,32 m<sup>3</sup>/h/m a mediana de 100% do conjunto amostral. O estudo ainda permitiu constatar que as águas são predominantemente sódicas bicarbonatadas (40%) e fracamente sódicas, com salinidade baixa. De 394 poços analisados, 42% apresentaram parâmetros com valores acima do VMP para consumo humano, como o pH, que em 32,7% dos poços apresentou valores superiores a 9. A aplicação deste estudo busca contribuir para a gestão sustentável desse recurso, a médio e longo prazo, e possibilite o seu uso criterioso, regulamentado e fundamentado no conhecimento das características técnicas locais do sistema, de forma a possa continuar contribuindo para o desenvolvimento da cidade.

**Palavras-chave:** Sistema Aquífero Serra Geral. Águas Subterrâneas. Zona urbana. Hidrodinâmica. Hidroquímica.

## ABSTRACT

### QUALI-QUANTITATIVE HYDROGEOLOGICAL EVALUATION OF THE FRACTURED SERRA GERAL AQUIFER, IN THE CITY OF CHAPECÓ (SC)

AUTHOR: Évelyn Taize Barrilli

ADVISOR: Malva Andrea Mancuso

The existing deep well systems in the municipality of Chapecó (SC) have been widely used as a water source for public, industrial, and agricultural supply in the region, becoming crucial for local water security and supplementing potential deficiencies in the public water network. This study aimed to analyze data from tubular wells in the urban area of Chapecó (SC), focusing on the interpretation of hydrodynamic and hydrochemical parameters, providing a detailed assessment to assist in the sustainable management of this resource. The hydrodynamic study of the wells was based on drilling records and registration of 394 wells used for public water supply and installed in the Serra Geral Formation. The data were provided by CPRM and the drilling company Leão Poços Artesianos LTDA. According to the results, the number of drillings increased significantly from 1987 onwards. Groundwater exploitation in the Serra Geral Aquifer System (SASG) varies considerably in the city, with flow rates ranging from 0.5 to 60.9 m<sup>3</sup>/h. However, 75% of the wells had flow rates of up to 12 m<sup>3</sup>/h. Well depths also vary from 54 to 932m, and in the central zone of the city, static water levels are deeper, ranging from 55 to 163 m. Regarding Specific Capacity, 75% of the wells had values of up to 1.3 m<sup>3</sup>/h/m, with 0.32 m<sup>3</sup>/h/m as the median for 100% of the sample set. The study also found that the water is predominantly sodic-bicarbonate (40%) and weakly sodic, with low salinity. Out of 394 analyzed wells, 42% had parameters with values above the Maximum Permissible Values (MPV) for human consumption, such as pH, which exceeded 9 in 32.7% of the wells. The application of this study aims to contribute to the sustainable management of this resource in the medium and long term, enabling its judicious, regulated use based on knowledge of the local technical characteristics of the system, to continue contributing to the city's development.

Keywords: Serra Geral Aquifer System. Groundwater. Urban area. Hydrodynamics. Hydrochemistry.

## LISTA DE FIGURAS

### INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

FIGURA 1 – Localização da Região Hidrográfica do Meio Oeste (RH2) e das bacias hidrográficas dos rios Chapecó, Iraní e Bacias contíguas (que drenam para o Rio Uruguai). .....	22
FIGURA 2 – Mapa de Distribuição de Subdomínios Hidrogeológicos por Bacia Hidrográfica no estado de Santa Catarina. ....	27
FIGURA 3 – Evolução histórica, localização de usos do solo e principais atividades econômicas na zona urbana e entornos da cidade de Chapecó (SC) entre as décadas de 1920 e 2010. ....	31
FIGURA 4 – Situação das microbacias quanto à quantidade/qualidade da água, subdividida por Secretarias de Estado de Desenvolvimento Regional (SDR). ....	32
FIGURA 5 – Vazões das captações incrementais de todos os usos (totais), em L/s, não atendidas, segundo o Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica de 2009, definido pelo Comitê Chapecó Irani. ....	33
FIGURA 6 – Esquema de abastecimento urbano no município de Chapecó, por tipos de mananciais. ....	35
FIGURA 7 – Esquema de abastecimento urbano no Distrito Marechal Bormann, pertencente ao município de Chapecó, por tipos de mananciais. ....	36
FIGURA 8 – Arquivo de dados físico disponibilizado e consultado pela empresa Leão Poços Artesianos LTDA. ....	38
FIGURA 9 – Exemplo de ficha de perfuração de poço consultada dos dados físicos da empresa Leão Poços Artesianos LTDA. ....	39
FIGURA 10 – Exemplo de ficha de teste de vazão de poço consultada dos dados físicos da empresa Leão Poços Artesianos LTDA. ....	40

### CAPÍTULO 1

FIGURA 1 – Mapa de localização do município de Chapecó (SC), com ênfase na representação da área urbana do município. ....	45
FIGURA 2 – Distribuição do número de perfurações de poços tubulares profundos entre 1947 e 2022, entre o total de 394 poços perfurados no SASG na zona urbana de Chapecó (SC). ....	48

FIGURA 3 – Localização dos 394 poços tubulares perfurados no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na zona urbana do município de Chapecó (SC). .....	49
FIGURA 5 – Profundidade de instalação de 394 poços tubulares instalados na área urbana de Chapecó (SC). .....	50
FIGURA 6 – Níveis estáticos (NE) de 355 poços tubulares instalados na área urbana de Chapecó (SC). .....	52
FIGURA 7 – Capacidades específicas (Q/s) de 310 poços tubulares instalados na área urbana de Chapecó (SC). .....	54
FIGURA 8 – Vazões de 365 poços tubulares instalados na área urbana da cidade de Chapecó (SC). .....	55
FIGURA 9 – Estatística realizada com dados de Profundidade do poço, Nível Estático (NE), Nível Dinâmico (ND) (A) e Vazão de Estabilização (B), de 394 poços perfurados no SASG na zona urbana da cidade de Chapecó (SC). .....	55
FIGURA 10 – Rebaixamentos dos níveis de água subterrânea observados durante o bombeamento de poços instalados no SASG na área urbana da cidade de Chapecó (SC). .....	56

## **CAPÍTULO 2**

FIGURA 1 – Mapa de localização dos poços, com ênfase na representação da área urbana do município de Chapecó (SC). .....	67
FIGURA 3 – Distribuição espacial da concentração de cloreto (Cl <sup>-</sup> ) em mg/L no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) para 126 poços na cidade de Chapecó (SC). ....	74
FIGURA 4 – Distribuição espacial da concentração de nitrato (NO <sub>3</sub> ) em mg/L no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) para 126 poços na cidade de Chapecó (SC). ....	75
FIGURA 5 – Distribuição espacial do pH no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) para 126 poços na cidade de Chapecó (SC). .....	76
FIGURA 6 – Resultados da representação gráfica em % e Diagrama de Piper de 49 poços analisados quanto à classificação hidroquímica das águas subterrâneas na área urbana do município de Chapecó (SC). .....	81
FIGURA 7 – Distribuição percentual (%) das classes identificadas para os 49 poços sobre a área urbana de Chapecó (SC) conforme metodologia proposta por USSL para uso das águas subterrâneas na irrigação. ....	82

FIGURA 8 – Classificação das águas subterrâneas de 49 poços localizados na cidade de Chapecó (SC) para uso na irrigação, conforme a metodologia proposta por USSL..... **Erro! Indicador não definido.**

FIGURA 9 – Percentual (%) de presença das classes indicativas de risco de sódio (A) e de salinização (B) para os 49 poços analisados quanto à metodologia proposta por USSL para uso das águas subterrâneas na irrigação..... 85

## LISTA DE TABELAS

### INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

TABELA 1 – Incremento da população urbana na cidade de Chapecó (SC), entre as décadas de 1940 e 2010.....	30
TABELA 2 – Sistemas produtores e mananciais utilizados para abastecimento público em Chapecó (SC).....	34
TABELA 3 – Síntese da quantidade de poços levantados e análises realizadas no presente trabalho com as respectivas quantidades de poços considerados. ....	41

### CAPÍTULO 1

TABELA 1 – Interpretação do índice de correlação de Spearman. ....	47
TABELA 2 – Síntese das características construtivas dos 394 poços tubulares e hidrodinâmica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na área urbana do município de Chapecó (oeste de Santa Catarina). ....	50
TABELA 3 – Matriz de correlação dos parâmetros hidrodinâmicos de 394 poços instalados no SASG, na zona urbana do município de Chapecó (SC, Brasil).....	58

### CAPÍTULO 2

TABELA 1 – Classificação das águas para irrigação conforme as categorias propostas pela metodologia da USSL.....	70
TABELA 2 – Interpretação do índice de correlação de Spearman .....	71
TABELA 3 – Balanço Iônico e erro analítico nas águas subterrâneas de 49 poços da área urbana de Chapecó, que atenderam pelo menos um dos balanços iônicos a que foram submetidos. ....	77
TABELA 4 – Síntese dos resultados da análise de balanço iônico aceitos pelo método Custodio e Llamas (1983) aplicados aos 49 poços com erro aceito pelo método.....	78
TABELA 5 – Classificação hidroquímica das águas de 49 poços instalados na área urbana de Chapecó (SC).....	80
TABELA 6 – Classificação das águas para irrigação de 49 poços localizados na cidade de Chapecó (SC).....	84

TABELA 7 – Síntese dos resultados das características químicas da água subterrânea de poços tubulares profundos perfurados no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na área urbana do município de Chapecó(SC). .....	87
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
B.I.1	Balanco Iônico 1
B.I.2	Balanco Iônico 2
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA	Instituto de Meio Ambiente
PEGIBH	Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SDR	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional
SHPRH	Sistema Hidrográfico de Planejamento de Recursos Hídricos
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
1.1	OBJETIVOS .....	21
1.1.1	Objetivos geral .....	21
1.1.2	Objetivos específicos .....	21
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
2.1	REGIÃO HIDROGRÁFICA .....	21
2.2	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	22
2.2.1	Qualidade da água subterrânea e legislação brasileira.....	23
2.3	SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL .....	25
2.3.1	Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG).....	27
2.4	URBANIZAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS.....	29
2.4.1	Abastecimento de água no município de Chapecó .....	33
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA GERAL</b> .....	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL, NA ÁREA URBANA DE CHAPECÓ (SC)</b> .....	<b>42</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	42
4.1.1	Caracterização da área de estudo .....	44
4.2	METODOLOGIA .....	45
4.2.1	Obtenção de dados .....	45
4.2.2	Análise estatística dos resultados .....	46
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
4.4	CONCLUSÃO .....	59
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL, NA ÁREA URBANA DE CHAPECÓ (SC)</b> .....	<b>64</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	64
5.2	METODOLOGIA .....	66
5.2.1	Área de estudo.....	66
5.2.2	Obtenção de dados .....	68

5.2.3	Caracterização hidroquímica.....	68
5.2.4	Análise estatística e enquadramento dos parâmetros .....	71
5.3	RESULTADOS.....	72
5.3.1	Balanço Iônico .....	76
5.3.2	Diagrama de Piper.....	79
5.3.3	Classificação das águas para irrigação .....	82
5.3.4	Enquadramento de parâmetros .....	85
5.4	CONCLUSÃO .....	90
5.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS GERAIS.....</b>	<b>96</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental na sustentabilidade hídrica e no desenvolvimento socioeconômico da região oeste de Santa Catarina. Em termos quantitativos, a região sul do Brasil possui 15,5% dos poços perfurados no país, sendo que 14,5% deles (8259 poços) estão localizados no estado de Santa Catarina (CPRM, 2023).

A dependência das águas subterrâneas para suprir as necessidades de abastecimento do estado torna-se evidente nas pesquisas divulgadas pelo IBGE (2017), que indica 1145 pontos de captação de água doce no estado de Santa Catarina, dos quais 409 (35,7%) pontos são captam de fontes superficiais, 525 (45,8%) provém de água subterrânea por meio de poços profundos e 211 municípios (18,4%) têm captação por poços rasos.

Entre as principais cidades do oeste catarinense com demandas crescentes de abastecimento de água destaca-se a cidade de Chapecó, que conta atualmente com 267.991 habitantes residentes na área urbana (IBGE, 2022). A cidade teve um crescimento populacional de 37% nos últimos 12 anos (2010 a 2022), de acordo com o censo demográfico do IBGE (2010; 2022), representando um aumento significativo da demanda de água para o abastecimento. Segundo projeções de crescimento populacional, é esperado para os próximos 15 anos um aumento dessa demanda em até 9%, o que implica na necessidade de ampliação do sistema, que atualmente apresenta eficiência mínima de produção e baixo Índice de Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano (ISH-U) (ANA, 2021).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, o município de Chapecó captava diariamente um volume de 44.871,00 m<sup>3</sup> de água doce (IBGE, 2017), sendo que a região metropolitana de Chapecó era responsável, em 2020, pelo consumo diário de 39.810 m<sup>3</sup>/d (ANA, 2021).

Do ponto de vista histórico, o crescimento populacional do município teve um aumento significativo a partir da segunda metade da década de 1960. Entretanto, a transição demográfica do meio rural para o urbano só se consolidou na década de 1980, quando a população urbana passou a constituir 66% da população total residente no município (NASCIMENTO, 2015; FUJITA, 2008). Essa dinâmica demográfica, impulsionada também pela industrialização, resultou em diferentes transformações desse espaço, inclusive no âmbito hidrogeológico.

Segundo a ANA (2021) a cidade depende de mananciais superficiais (do Rio Lajeado São José e da Represa Rio Tigre), e subterrâneos (sete poços tubulares) para o abastecimento público, que são todos operados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Entretanto, dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS),

gerido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), indica a existência de 163 poços perfurados na área urbana de Chapecó, que contam com o respectivo cadastro no SIAGAS. Este banco de dados tem caráter nacional, mas, devido ao crescimento expressivo da perfuração de poços tubulares nos últimos anos é reconhecida a dificuldade em mantê-lo atualizado, assim é reconhecida a existência de poços tubulares profundos que foram perfurados sem a devida autorização ou licença por parte dos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos. Esses poços irregulares representam uma ameaça ao uso sustentável das águas subterrâneas, uma vez que sua construção pode ignorar questões de segurança e de qualidade da água, assim como o potencial de interferência do bombeamento com outros poços e aquíferos. O planejamento eficiente e a gestão do uso da água subterrânea, bem como o monitoramento e a avaliação adequada da sustentabilidade hídrica dos aquíferos enfrentam o desafio de complementar o banco de dados de poços, atualizando informações sobre a localização, as características de uso, a sua qualidade e quantidade, e a disponibilidade efetiva para exploração, de forma a possibilitar a gestão adequada do recurso e fundamentar a tomada de decisões (VELASCO, 2019; NEVES 2004).

Os poços tubulares profundos existentes no município de Chapecó (SC) têm sido amplamente utilizados como fonte de água para abastecimento público, industrial e agrícola na região, tornando-se fundamentais para a segurança hídrica local e complementando as possíveis deficiências da rede pública. Conseqüentemente, o município também possui grande relevância na região quanto à influência de captação do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), por ser o que realiza exploração de grandes volumes da água subterrânea. Neste contexto, o estudo hidrogeológico da região oeste de Santa Catarina é de extrema importância, uma vez que essas reservas hídricas subterrâneas desempenham um papel crucial na disponibilidade de água ao longo do ano, especialmente em períodos de escassez hídrica (FREITAS et al., 2002).

Considerando a relevância do recurso hídrico subterrâneo para o desenvolvimento socioeconômico da região e a necessidade de conhecer a real situação de exploração do SASG na área urbana, este estudo reúne dados hidrogeológicos da cidade de Chapecó, contemplando a atualização do banco de dados de poços tubulares profundos e a análise da quantidade e da qualidade das águas subterrâneas extraídas para uso doméstico, comercial e industrial na área urbana do município. Espera-se, finalmente, que os resultados obtidos possam contribuir como subsídio para a gestão sustentável desse recurso, a médio e longo prazo, e possibilite o seu uso criterioso, regulamentado e fundamentado no conhecimento das características técnicas locais do sistema, de forma a possa continuar contribuindo para o desenvolvimento da cidade.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivos geral

O objetivo deste estudo é realizar uma avaliação do aquífero fraturado Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na cidade de Chapecó (SC), com ênfase na análise quali-quantitativa do sistema, a fim de fornecer uma avaliação detalhada da situação de exploração (quantidade) e características de qualidade da água subterrânea.

### 1.1.2 Objetivos específicos

O estudo hidrogeológico desenvolvido na área urbana do município de Chapecó, tem por objetivos específicos:

- a) Quantificar o uso da água subterrânea na área urbana, indicando as diferentes demandas;
- b) Avaliar as características hidrodinâmicas do aquífero e a sua variabilidade espacial;
- c) Avaliar as características hidroquímicas das águas subterrâneas;
- d) Avaliar a condição de potabilidade das águas subterrâneas para consumo humano.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

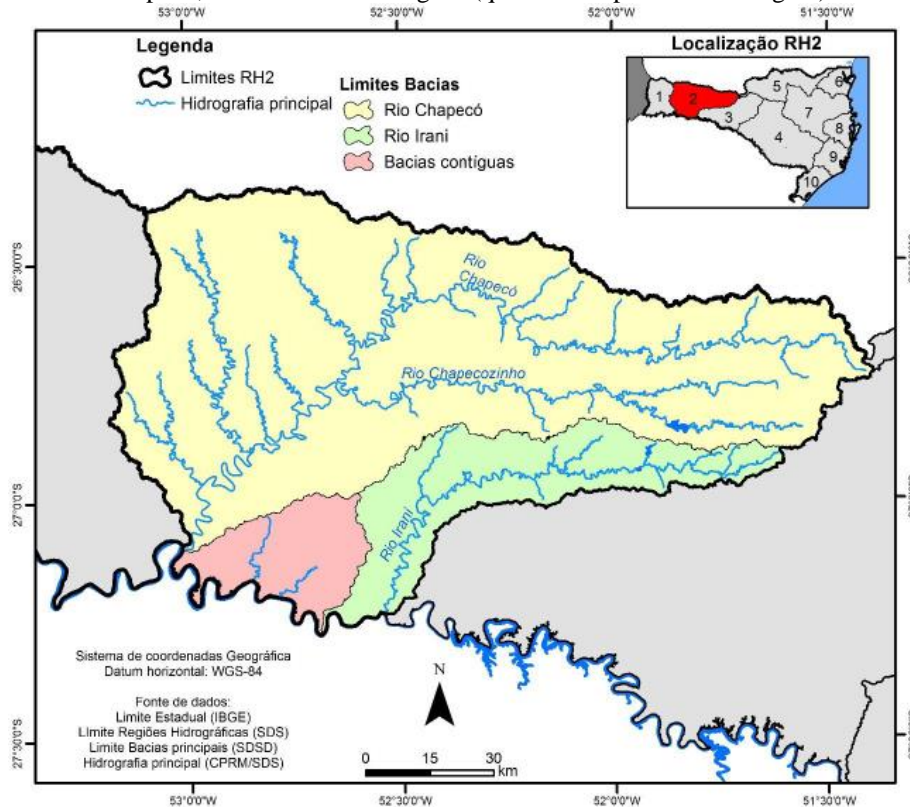
### 2.1 REGIÃO HIDROGRÁFICA

O estado de Santa Catarina, é dividido em três grandes Regiões Hidrográficas, que drenam para os rios Paraná, Uruguai e para Atlântico Sul. Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (PERH/SC 01/2017), Chapecó insere-se na Região Hidrográfica do Meio Oeste (RH2) a qual abrange a área de duas bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina, a Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó e a Bacia Hidrográfica do Rio Irani, além de bacias contíguas com sistemas de drenagem independentes, possuindo área total de 10.784 km<sup>2</sup> (SANTA CATARINA, 2017) (Figura 1). A área urbana, por sua vez, se distribui sobre duas microbacias, a do Lajeado Passo dos Índios e do Lajeado São José.

Um dos problemas potenciais para a qualidade das águas dos rios da região é a ausência de sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários nas cidades, que efetua o lançamento de efluentes nos corpos hídricos próximos, isso associado a práticas agrícolas de uso do solo

(entre elas a fertirrigação e a aplicação de agrotóxicos) e ao lançamento inadequado de dejetos suínos, compromete a qualidade da água utilizada para o abastecimento público na região (FREITAS et al., 2002; SILVA E BASSI, 2012; VOTTO, 1999). Além disso, os processos erosivos do solo também contribuem aumentando a turbidez dos rios, afetando a sua qualidade, como é o caso do rio Chapecó (ANA, 2018).

Figura 1 – Localização da Região Hidrográfica do Meio Oeste (RH2) e das bacias hidrográficas dos rios Chapecó, Iraní e Bacias contíguas (que drenam para o Rio Uruguai).



Fonte: SANTA CATARINA, (2017).

## 2.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental na segurança hídrica global, representando cerca de 97% das reservas de água doce do planeta. Essas águas são armazenadas nos aquíferos, preenchendo os poros das rochas e sedimentos abaixo da superfície do solo. Resultante do processo de infiltração após a precipitação, esse recurso natural não só influencia os processos de dinâmica superficial, mas também desempenha um papel crucial na circulação de contaminantes e na estabilidade de obras de engenharia, sendo afetado pelas condições estáticas ou dinâmicas da água no subsolo (AZEVEDO, FILHO e MANCUSO, 2018; FEITOSA et al., 2008; HIRATA et al, 2019).

Em âmbito geral, a água subterrânea compreende a parcela de água que se encontra abaixo da superfície terrestre, permeando por poros entre as rochas (aquíferos fissurais) e grãos (aquíferos sedimentares) em subsolo. Esta fonte hídrica encontra-se disponível em todas as regiões do globo, desempenhando um papel crucial como um importante recurso natural. As águas subterrâneas são vitais para a manutenção dos ecossistemas e para o abastecimento de água potável, reforçando a significância na busca por soluções sustentáveis de gestão e de preservação desses recursos hídricos (HIRATA et al, 2019; TUNDISI, 2003)

### **2.2.1 Qualidade da água subterrânea e legislação brasileira**

A presença de estruturas geológicas, como falhas e fraturas, pode modificar a qualidade da água ao permitir a mistura de águas com diferentes características geoquímicas. Problemas de qualidade natural das águas subterrâneas estão relacionados a elementos químicos resultantes do intemperismo e dissolução de minerais nas rochas, como ferro, manganês, dureza, flúor, cromo, bário e arsênio (FREITAS, 2016). Adicionalmente, a contaminação por nutrientes, especialmente nitrogênio, proveniente de fossas sépticas, pode ser uma questão preocupante devido à capacidade limitada de atenuação dos aquíferos (NICOLAI, 2001).

A qualidade da água subterrânea no Brasil, assim como a superficial, é embasada em legislações que norteiam o gerenciamento desses recursos. O Brasil possui a Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), conhecida como Lei das Águas, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos. Essa lei visa promover o uso racional e sustentável da água, incluindo a proteção da qualidade da água subterrânea. Além disso, o país conta com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e os Comitês de Bacias Hidrográficas, responsáveis pela gestão e regulamentação dos recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica.

A Lei das Águas estabelece que o uso da água é prioritário para o consumo humano, destacando a sua importância para atender às necessidades básicas da população. Isso significa que garantir o acesso à água potável e de qualidade para a população é uma das principais responsabilidades do Estado e das autoridades competentes. Além disso, a água é considerada um bem natural público, ou seja, um recurso de domínio público que pertence a todos, sem distinção. Isso reforça a ideia de que a água é um direito fundamental de todos os cidadãos e não deve ser tratada como uma mercadoria sujeita à comercialização para fins lucrativos.

A legislação também menciona o monitoramento dos mananciais, o que é fundamental para garantir a qualidade da água subterrânea utilizada para o abastecimento público. Por meio do monitoramento é possível identificar eventuais contaminações ou alterações nessas

qualidades, permitindo que medidas corretivas sejam tomadas de forma adequada e oportuna (TOLEDO & NICOLELLA, 2002).

As condições e padrões de qualidade da água subterrânea são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008), do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que é o responsável por definir as normas e diretrizes para a proteção e preservação dos recursos hídricos, incluindo a qualidade da água subterrânea.

Chapecó conta com a Lei Municipal nº 4413, de 30 de abril de 2002, que, regulamentada pelo Decreto nº 10892/2002, estabelece a criação do Sistema de Informações Municipais de Águas Subterrâneas - SIMAS. O Artigo 5º da lei atribui aos Fiscais de Obras e Posturas, sob supervisão da Secretaria de Planejamento, e aos Fiscais da Vigilância Sanitária a responsabilidade pela fiscalização dos trabalhos de perfuração de poços tubulares profundos, assegurando-lhes livre acesso aos locais desses poços. No Artigo 9º, destaca-se que o município organizará um cadastro de poços tubulares profundos, sendo as informações contidas neste cadastro de acesso público, conforme o Parágrafo Único.

Além disso, destaca-se a obrigatoriedade, conforme o Artigo 3º, § 2º, de apresentação periódica de laudo contendo análise físico-química e bacteriológica da água pelos responsáveis dos poços à Secretaria de Planejamento a cada 180 dias. Entretanto, não foram encontrados registros nos órgãos mencionados que confirmem a aplicação efetiva dessa legislação. Até dezembro de 2023, observa-se que a Lei nº 4413/2002 ainda não foi efetivamente implementada, da mesma forma como relatado por Facco (2018).

O órgão do estado de Santa Catarina responsável pela fiscalização do cumprimento das normas estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 396/2008 é o Instituto do Meio Ambiente (IMA). É importante que os órgãos de fiscalização atuem de forma efetiva para garantir que os padrões de qualidade da água sejam respeitados e que a água subterrânea seja protegida de possíveis fontes de contaminação.

A Portaria de PORTARIA GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), é uma normativa relevante no âmbito da saúde pública no Brasil, pois consolida as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde (SUS). O Anexo XX dessa portaria é especialmente importante, pois trata do Controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e estabelece o padrão de potabilidade da água indicando os parâmetros e os valores máximos permitidos para diversos contaminantes, como micro-organismos patogênicos, substâncias químicas, agrotóxicos, metais pesados e outras substâncias que possam comprometer a qualidade da água para consumo humano. Esses padrões de potabilidade



são fundamentais para garantir que a água distribuída à população esteja dentro de limites seguros e não represente riscos à saúde.

A qualidade da água destinada ao consumo humano é um aspecto crítico para a saúde pública, pois se a água estiver contaminada pode representar riscos sérios à saúde das pessoas, que poderão apresentar doenças gastrointestinais, infecções e outros problemas de saúde relacionados à ingestão de substâncias nocivas (FONSECA et al., 2000).

O monitoramento dessa qualidade (seja das águas superficiais como das águas subterrâneas) pode indicar a ocorrência de contaminação antrópica, possibilitando a tomada de medidas atempadamente. Tais questões exigem atenção contínua e monitoramento adequados de forma a garantir a preservação da qualidade das águas e a proteção da saúde pública (BERTONCINI, 2008; HIRATA et al. 2019; ROBERTSON et al., 1991), nomeadamente as subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), pela sua importância no abastecimento público (em zonas urbanas e rurais) da região oeste do estado de Santa Catarina. Estudos já indicam a presença de elevados níveis de Fe e Mn nas águas subterrâneas, que não atendem aos padrões estabelecidos pela legislação, assim como a presença de elementos, como Cd, Cu, Mg, Pb, Zn e compostos nitrogenados, e de bactérias como a *Escherichia coli*, resistentes a antimicrobianos (CARASEK, 2016; FACCO, 2018).

### 2.3 SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL

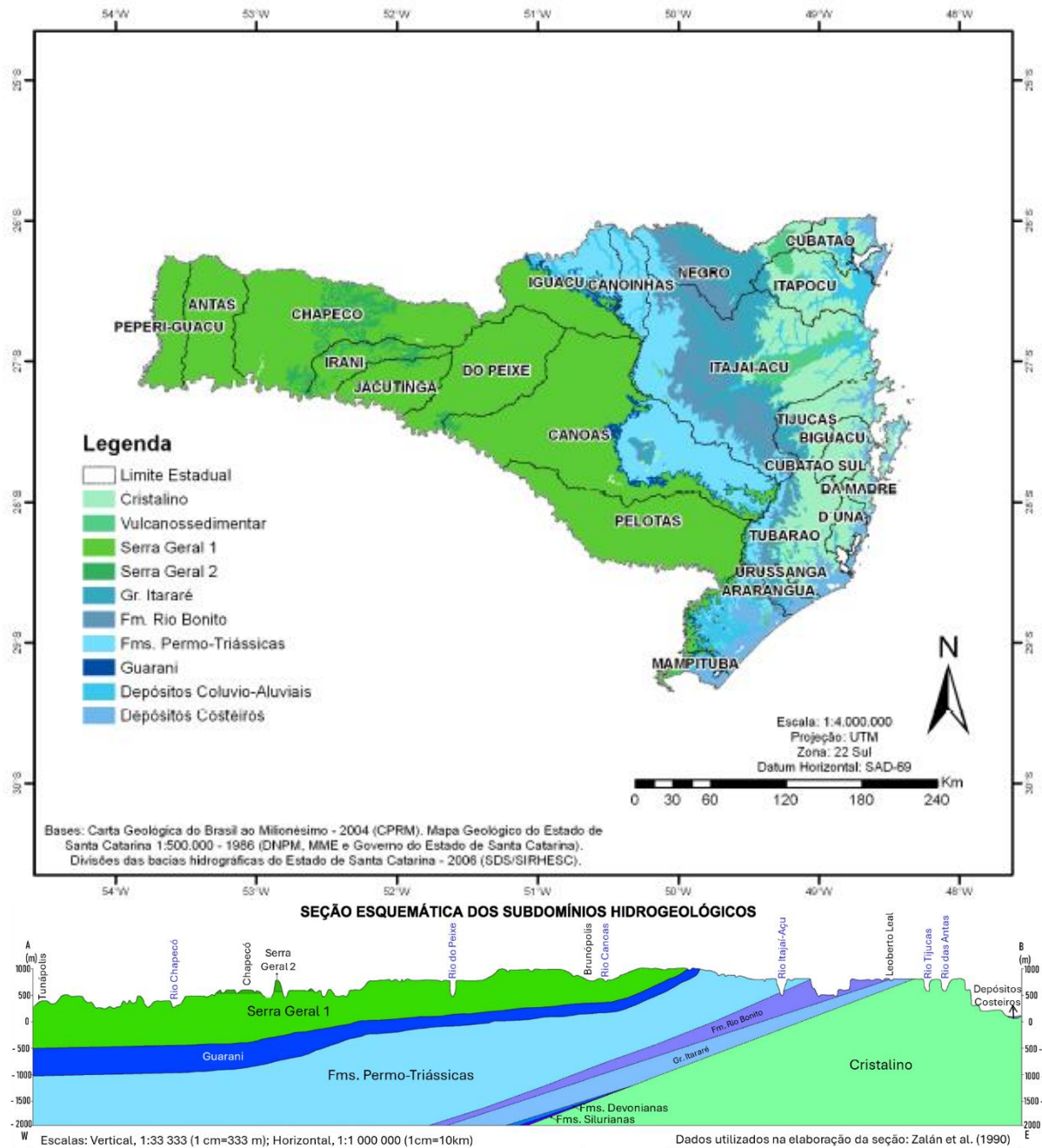
No município de Chapecó, assim como em todo oeste do estado de Santa Catarina, existem dois tipos de aquíferos: aquífero fissural ou fraturado (Sistema Aquífero Serra Geral), que se constitui um meio heterogêneo e anisotrópico com as condições de armazenamento e circulação da água restritas às discontinuidades das rochas, e o Sistema Aquífero Guarani (SAG), que é um aquífero poroso subjacente ao SASG (CARASEK, 2018; BONGIOLO et al., 2014; FREITAS, CAYE E MACHADO 2002; MACHADO, 2000).

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é uma reserva estratégica de água subterrânea que desempenha um papel fundamental no abastecimento hídrico da região de Chapecó, sendo o aquífero mais buscado para realizar a captação de água subterrânea. Ele recobre parcialmente quatro países: Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (DINIZ et. al., 2014). Por tanto, entender a sua capacidade de armazenamento, a recarga e a sua interação com outros aquíferos e com os recursos hídricos superficiais é essencial para a gestão sustentável desse recurso e para o desenvolvimento socioeconômico da região (MACHADO, 2000; FREITAS et al., 2002; ANA, 2007; CPRM, 2013).

O SASG é um dos maiores aquíferos em Santa Catarina, abrangendo 49,73% da superfície do estado (MACHADO, 2013). Para muitos municípios, este aquífero representa uma fonte significativa e, em muitos casos, única fonte de abastecimento de água (Figura 2). Embora não possua os maiores recursos de água subterrânea, a Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral (I e II) é considerada o aquífero mais importante do Estado, devido ao elevado número de poços perfurados, à facilidade e economicidade de exploração, bem como aos volumes expressivos de água que são extraídos dele (MACHADO, 2013; ANA, 2007).

O aquífero fraturado da formação Serra Geral (SASG), têm intrínseca relação com a bacia sedimentar do Paraná e a região hidrográfica do Rio Uruguai, podendo influenciar diretamente na qualidade e quantidade da água armazenada e disponível para uso no SASG. Sendo assim, investigar os aspectos geológicos e hidrológicos dessas áreas em conjunto com a avaliação do aquífero é de suma importância para adquirir um conhecimento abrangente do sistema hídrico local (FREITAS, 2002; MILANI et al., 2007).

Figura 2 – Mapa de Distribuição de Subdomínios Hidrogeológicos por Bacia Hidrográfica no estado de Santa Catarina.



Fonte: Adaptado de Cardoso (2007).

### 2.3.1 Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG)

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) se encontra entre as reservas de águas subterrâneas mais importantes do Brasil, ocupando cerca de 839.000 km<sup>2</sup> que se estendem por uma vasta área, abrangendo a Argentina, o Uruguai e o Paraguai. No Brasil, está presente em diversos estados, como Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná,

Santa Catarina e Rio Grande do Sul (FREITAS, CAYE E MACHADO 2002; ARAÚJO; FRANÇA; POTTER, 1995), mas a sua maior porção localiza-se na região sudoeste do país.

As rochas que compõem o SAG são de natureza predominantemente areno-argilosas, depositadas entre os períodos Triássico (225 m.a.) e Cretáceo (138 m.a.), sendo posteriormente confinadas pelos derrames basálticos Cretácicos, que ocorreram em uma área de mais de 1.194.000 km<sup>2</sup>, abrangendo as Bacias do Paraná e do Chaco-Paraná (FREITAS, CAYE E MACHADO 2002).

No estado de Santa Catarina o SAG se estende a oeste por 49.200 km<sup>2</sup>, mas encontra-se coberto pelas rochas da Formação Serra Geral, formadas pela solidificação das lavas basálticas, o que torna o aquífero confinado em toda sua extensão com espessuras podem chegar aos 450 metros (FREITAS, CAYE E MACHADO 2002; MACHADO, 2016). Nessa região, existem dois tipos de poços que alcançam o Aquífero Guarani: os perfurados pela PETROBRÁS e PAULIPETRO, para pesquisas de hidrocarbonetos e os poços tubulares destinados à captação de água, construídos por empresas de perfuração (FREITAS, ECKERT E CAYE, 2001). Nas porções leste e sudeste dos limites da área estudada, onde as litologias afloram, o aquífero se comporta como livre, com recarga por meio da pluviometria.

Estudos têm indicado a existência de mistura hídrica entre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e o Sistema Aquífero Guarani (SAG) através de fraturas tectônicas, com infiltração ascendente e recarga meteórica. Essa constatação tem levado à inclusão da expressão de Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na literatura mais atual, assim como a evidências de conectividade hidráulica entre os dois sistemas, especialmente nos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (NANNI et al., 2013; PORTELLA, 2005).

Do total da área do Sistema Aquífero Guarani, aproximadamente 12,8% estão representados pelas zonas de afloramento, totalizando 153 mil km<sup>2</sup>. Dessa área, 67,8% estão localizados no Brasil, 30,1% no Paraguai e 2,1% no Uruguai. Cerca de 1.000.000 de km<sup>2</sup> do aquífero encontram-se sotopostos às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Figura 2). Esses dois sistemas são interligados por falhamentos de grande porte, o que levou à proposta de gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas, denominada "Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral" (SAIG/SG) no Projeto da Rede Guarani/Serra Geral (SCHEIBE & HIRATA, 2008).

Em virtude da magnitude e importância do Aquífero Guarani e sua interligação com o Sistema Aquífero Serra Geral, é fundamental a implementação de uma gestão integrada e sustentável desses dois sistemas, visando à preservação desse patrimônio natural e ao atendimento das necessidades das populações e do desenvolvimento socioeconômico regional.

## 2.4 URBANIZAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS

O município de Chapecó (SC), com uma taxa de urbanização de 91,6% (IBGE, 2010) destaca-se como principal centro urbano e polo econômico do oeste catarinense. Esse desenvolvimento econômico é impulsionado pelo agronegócio, tornando Chapecó uma das principais regiões produtoras de grãos e proteína animal no Brasil. Em estudos de Bellani (1990) e Hass (2003) descreve-se que a sede do município de Chapecó mudou algumas vezes de local, de 1917 a 1931, por razões de ordem política e econômica. No princípio, estava situada no Passo, alternando-se com Xanxerê, até que, em 1931, passou para a localidade de Passo dos Índios, onde atualmente se situa a cidade de Chapecó. Sendo conhecida por seu traçado urbano ortogonal, planejado desde 1931, enfrentou conflitos de uso e qualidade urbana e ambiental, uma vez que a malha urbana foi sobreposta sem considerar os aspectos naturais existentes (ZENI, 2007). É de destacar que o crescimento da cidade esteve fortemente relacionado ao setor agroindustrial desde a década de 1950, o que levou ao desenvolvimento do setor terciário, prestação de serviços e comércio, impactando significativamente a região oeste do estado. A expansão urbana ocorreu com a criação de bairros residenciais, áreas industriais e melhorias na infraestrutura viária. Na década de 1990, foram oficializados mais 40 novos loteamentos, ampliando ainda mais o perímetro urbano da cidade, enquanto entre os anos de 2000 até 2009, foram aprovados 52 novos loteamentos na cidade, dando continuidade à expansão municipal. Com o crescimento populacional e a urbanização (Figura 3 e 4), a cidade enfrenta desafios, como a necessidade de um planejamento urbano adequado e a gestão sustentável dos recursos naturais, incluindo a o abastecimento de água (NASCIMENTO, 2015; FACCO, 2014).

A área urbana de Chapecó abrange as microbacias de Lajeado Passo dos Índios e Lajeado São José, e o seu traçado urbano foi influenciado pelas atividades econômicas e pelos cursos d'água em períodos específicos, como o ciclo da erva mate e da madeira nas décadas de 1920 a 1950, o ciclo das agroindústrias e indústrias complementares nas décadas de 1960 a 1980, e o ciclo contemporâneo de construção civil, hidroelétricas e turismo nas décadas de 1990 a 2010. Nas décadas de 1970 e 1980, Chapecó experimentou uma explosão demográfica, com a população urbana crescendo de forma mais acelerada do que a rural, mesmo com a diminuição territorial causada pelos desmembramentos derivando na criação de vários municípios (Figura 3) (BALDISSERA, 2016; FACCO, 2014).

Tabela 1 – Incremento da população urbana na cidade de Chapecó (SC), entre as décadas de 1940 e 2010.

Ano	Total	Pop. Urbana	%	Pop. Rural	%
1940	44.327	4.128	9.31	40.199	90.69
1950	96.604	9.736	10.08	86.868	89.92
1960	52.089	10.939	21	41.150	79.00
*1970	50.117	20.591	41.08	29.526	58.92
1980	83.864	55.286	65.92	28.578	34.08
1991	123.050	96.751	78.62	26.299	21.38
1998	135.884	119.578	88.00	16.306	12.00
2010	183.561	168.159	91.60	15.402	8.40

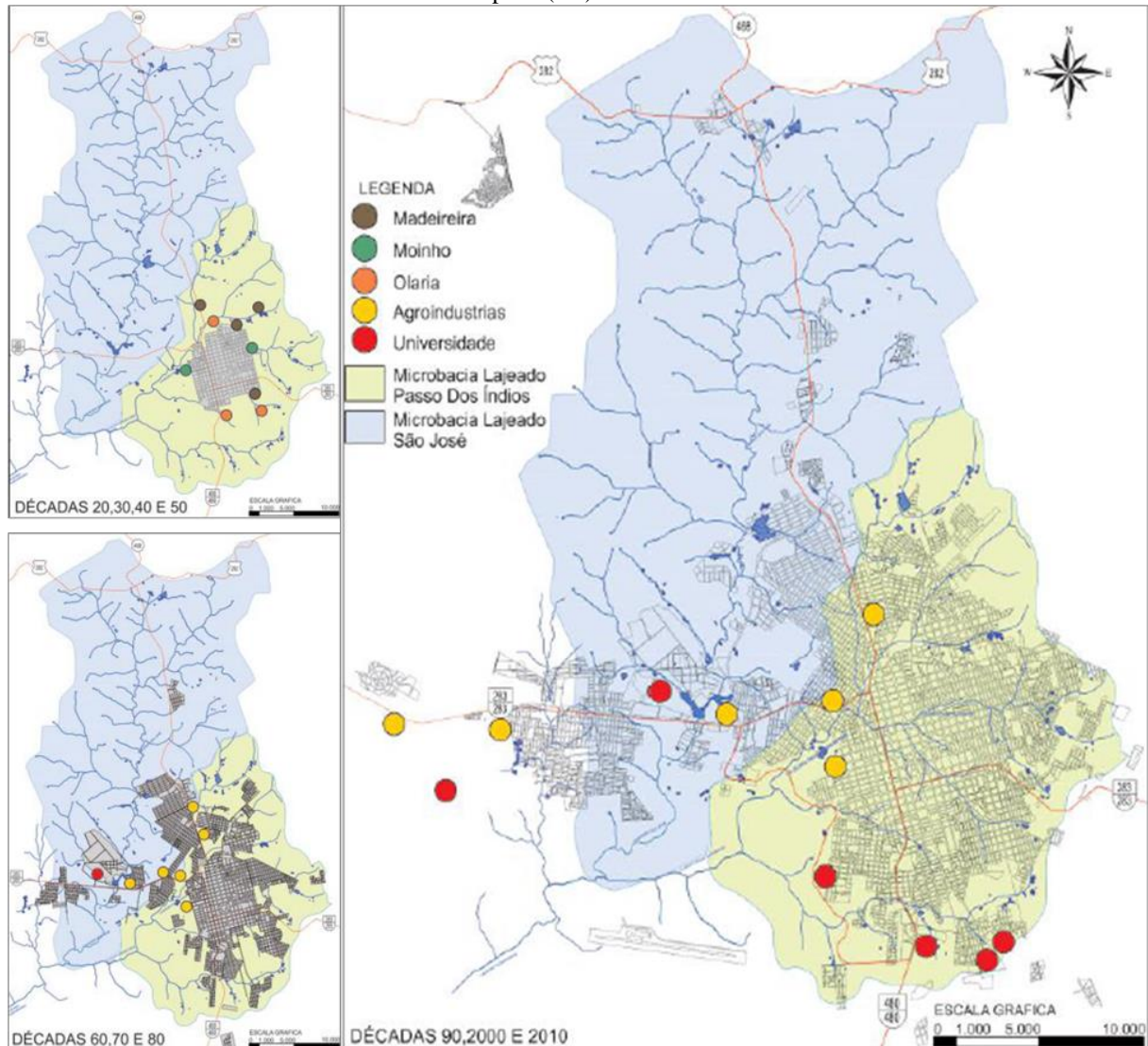
\*Na década de 1970, já haviam desmembrado vários municípios de Chapecó, o que explica a diminuição da população.

Fonte: FACCO, (2014).

No entanto, o crescimento urbano e a ação antrópica tiveram impactos ambientais negativos, resultando na contaminação das águas superficiais e subterrâneas. A poluição por despejo de efluentes domésticos, agroindustriais e industriais, bem como a remoção de florestas ripárias e ocupação inadequada do solo, contribuíram para a degradação das bacias hidrográficas e a ocorrência de enchentes recorrentes (BALDISSERA, 2013; 2016).

A urbanização de Chapecó expandiu-se principalmente para oeste e norte da cidade, onde se localiza a microbacia Lajeado São José de captação de água para o abastecimento público e teve quatro Planos Diretores: Plano de Desenvolvimento Urbano 1974, Plano Diretor Físico-Territorial de 1990, Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial de 2004, revisado em 2007 e Plano Diretor de 2014 que vigora até a atualidade (BALDISSERA, 2016; CHAPECÓ/SC, 2014; FACCO, 2014). No entanto, problemas de escassez de água persistem tanto para a população como para as indústrias. Apesar de atualizada ao longo dos anos, a legislação urbana ainda enfrenta desafios para garantir um ordenamento territorial sustentável.

Figura 3 – Evolução histórica, localização de usos do solo e principais atividades econômicas na zona urbana e entornos da cidade de Chapecó (SC) entre as décadas de 1920 e 2010.



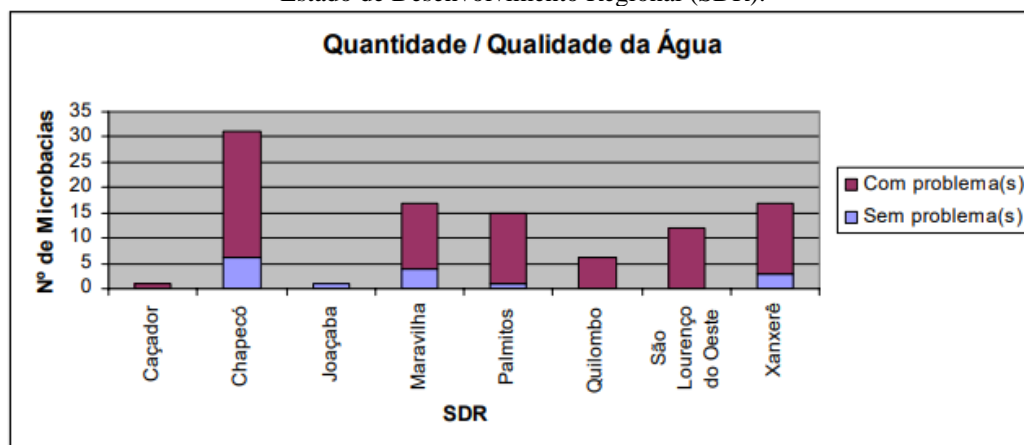
Fonte: Adaptado de Baldissera (2016).

É importante destacar que o desenvolvimento urbano da cidade de Chapecó está estreitamente relacionado ao crescimento do setor agroindustrial, mas também enfrenta desafios significativos relacionados à gestão da água e ao equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade.

No Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica (PEGIBH) do rio Chapecó de 2009 (SANTA CATARINA, 2009), entre outros objetivos relacionados à segunda etapa de elaboração, está a estimativa da disponibilidade hídrica superficial e a disponibilidade hídricas subterrânea. Na data, já tinha sido constatada a deficiência de informações sobre as águas subterrâneas. Os relatórios de diagnóstico também indicaram problemas quanto à quantidade e qualidade das águas (SANTA CATARINA, 2009). Através de estudos para cada Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional (SDR) em suas respectivas microbacias, foi

observado quantas dessas apresentavam-se com ou sem problemas referente à quantidade e/ou qualidade (Figura 4).

Figura 4 – Situação das microbacias quanto à quantidade/qualidade da água, subdividida por Secretarias de Estado de Desenvolvimento Regional (SDR).



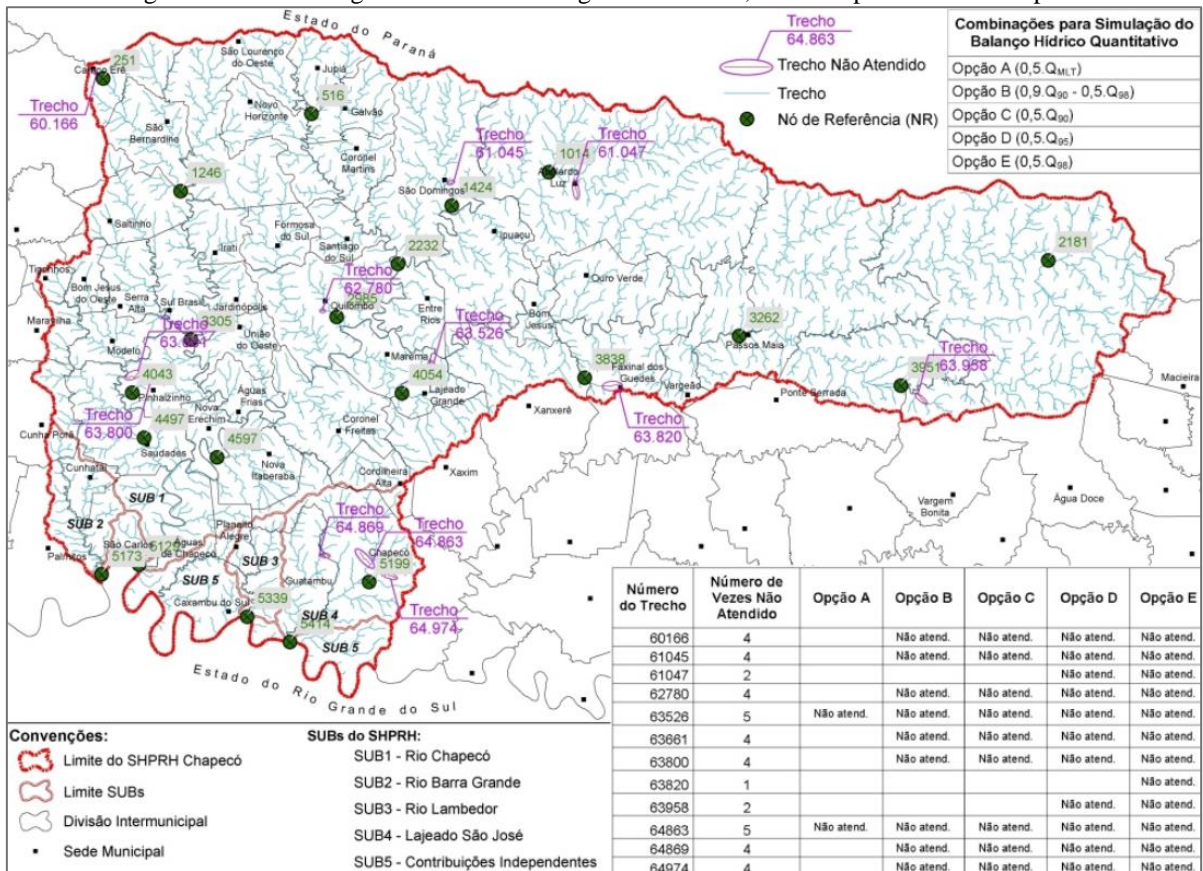
Fonte: SANTA CATARINA (2009).

O balanço hídrico permitiu identificar trechos de corpos hídricos com vazões não atendidas, como no caso do Sistema Hidrográfico de Planejamento de Recursos Hídricos (SHPRH) de Chapecó, o que resultou em déficit (falta d'água) em 12 dos 4.671 trechos (Figura 5). Além disso, o plano indica que somente a área do Município de Chapecó consome o correspondente a 34% do volume de água subterrânea extraída nos pontos de captação oficialmente existentes na Bacia do Rio Chapecó.

Os relatórios do Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica (SANTA CATARINA, 2009) não foram mais atualizados desde a data, mas, devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico, acredita-se numa piora desses cenários, ressaltando ainda mais a necessidade de conhecer os recursos hídricos subterrâneos e proceder a uma gestão adequada, principalmente considerando que o abastecimento por águas subterrâneas são uma alternativa para suprir as demandas, principalmente em períodos de seca, como a que ocorreu em 2020 na região.



Figura 5 – Vazões das captações incrementais de todos os usos (totais), em L/s, não atendidas, segundo o Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica de 2009, definido pelo Comitê Chapecó Irani.



Fonte: SANTA CATARINA (2009).

#### 2.4.1 Abastecimento de água no município de Chapecó

Na área urbanizada do município de Chapecó, a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) está presente desde 20 de julho de 1973 no município, sendo que o município é atualmente abastecido por meio da captação de águas provenientes dois mananciais superficiais e de águas subterrâneas provenientes de sete poços profundos instalados no SASG (Tabela 2) (CASAN, 2014). Segundo esquema disponibilizado pela ANA (2021), conforme Figura 6, para o perímetro urbano são captados de mananciais superficiais, tratada e distribuída uma vazão de água potável de 500L/s (1800m<sup>3</sup>/h). Além disso, quanto às captações subterrâneas, totalizam 16,3L/s (58,7m<sup>3</sup>/h) provindos de cinco poços. O Plano Municipal de Saneamento de Chapecó constitui um dos instrumentos do Sistema Municipal do Saneamento e foi institucionalizado com a sanção da Lei Municipal nº 5326/2007 (CHAPECÓ/SC, 2007), que instituiu a Política Municipal de Saneamento e cria o Conselho Municipal de Saneamento e o Fundo Municipal de Água e Esgoto. Em 2021, foi realizada uma audiência pública sobre Plano de Saneamento Básico de Chapecó, com o objetivo de fazer uma revisão do plano, que

estabelece metas e responsabilidades para obras de drenagem, saneamento e abastecimento de água.

Tabela 2 – Sistemas produtores e mananciais utilizados para abastecimento público em Chapecó (SC).

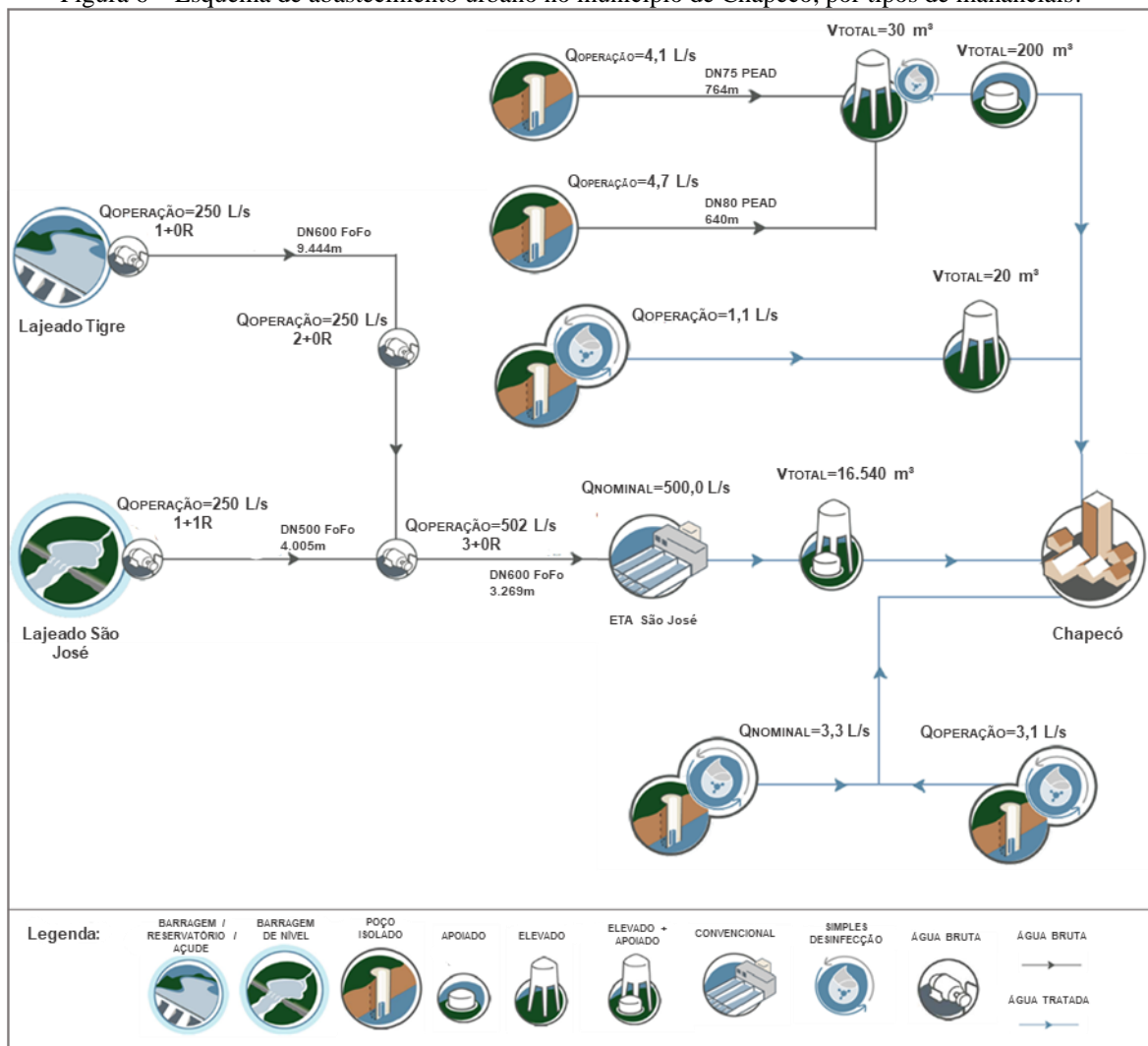
<b>Nomenclatura</b>	<b>Tipo de sistema</b>	<b>Classe de manancial</b>
ETA/Chapecó	Isolado	Rio Lajeado São José, Represa Rio Tigre
Poço 01	Isolado	Poço tubular
Poço 02	Isolado	Poço tubular
Poço 03	Isolado	Poço tubular
Poço Distrito Industrial	Isolado	Poço tubular
Poço São Pedro	Isolado	Poço tubular
Poço Vederti	Isolado	Poço tubular
Poço Vila Real	Isolado	Poço tubular

Fonte: Adaptado de ANA (2021).

Segundo estudo realizado pela PROSUL – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda. em 2013 (PROSUL, 2013), para o Plano de Saneamento para os Sistemas de Água e Esgotamento Sanitário, o município de Chapecó é atendido pelo abastecimento público de água no perímetro urbano, na sede do Distrito de Marechal Bormann e no Distrito Industrial Flávio Baldissera. O abastecimento da cidade é realizado por meio de captação superficial na bacia do Lajeado São José e nos referidos Distritos é realizada por meio de poços tubulares, gerenciados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), atual concessionária dos serviços de abastecimento público. Os Distritos de Alto da Serra, Figueira e Goio-Ên e o restante da área rural do município não possuem rede pública de abastecimento de água sendo a captação realizada localmente por poços com tratamento básico (CHAPECÓ/SC, 2013). Conforme a Figura 8, especificamente para o Distrito Marechal Bormann, é captada e distribuída a água de três poços para a comunidade, representando cerca de 10L/s (36,0m<sup>3</sup>/h) armazenados em reservatório de 75m<sup>3</sup>.

A análise dos dados apresentados pelos estudos de Silva e Kirchneim (2011) e Comassetto et al. (2014) revela uma situação preocupante em relação à disponibilidade e uso das águas subterrâneas na Mesorregião Oeste de Santa Catarina. Os autores apontam para o comprometimento das reservas de água subterrânea, que varia significativamente entre as bacias hidrográficas, indicando as bacias do Rio Irani, Jacutinga e Peperi-Guaçu como as mais críticas.

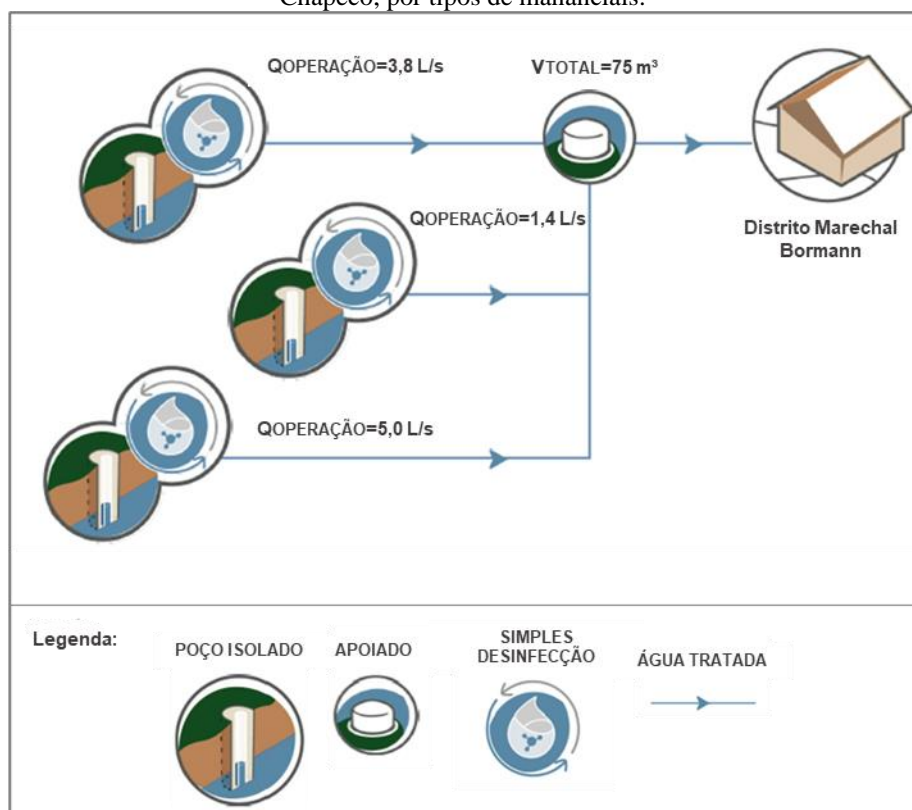
Figura 6 – Esquema de abastecimento urbano no município de Chapecó, por tipos de mananciais.



Fonte: Adaptado de ANA (2021).

O estudo de Comassetto et al. (2014), realizado na bacia do Rio Jacutinga, destaca a existência de um número significativo de poços, muitos dos quais operando clandestinamente, o que sugere que essa situação se estenda para toda a Mesorregião Oeste, onde poderia haver cerca de 30.000 poços profundos perfurados sem a devida regulamentação. Essa exploração não regulamentada pode comprometer ainda mais a disponibilidade hídrica, a qualidade da água e, conseqüentemente, afetar o abastecimento das populações e as atividades econômicas locais. Além disso, é alarmante a presença de uma elevada taxa de extração clandestina de água subterrânea em todas as bacias estudadas. Isso significa que muitos poços estão operando sem a devida outorga de uso da água, o que é fundamental para uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, pois a situação pode levar a uma exploração descontrolada e não planejada do recurso, agravando ainda mais a situação de escassez e comprometendo o equilíbrio hidrológico da região.

Figura 7 – Esquema de abastecimento urbano no Distrito Marechal Bormann, pertencente ao município de Chapecó, por tipos de mananciais.



Fonte: Adaptado de ANA (2021).

Em paralelo, ao discutir a captação de águas subterrâneas por meio de poços tubulares profundos, é essencial levar em consideração a demanda crescente de água em áreas urbanas. Os dados do Atlas Águas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2021) indicam um aumento significativo na demanda hídrica urbana, como no caso da cidade de Chapecó. O crescimento populacional acelerado e a projeção de demanda hídrica para 2035 ressaltam a necessidade de abordagens sustentáveis para aumentar a oferta.

Na última década, a cidade de Chapecó experimentou um aumento significativo da população urbana, ultrapassando as estimativas da ANA (2021) para 2035, que eram de 242.640 pessoas. Segundo os dados do censo de 2022 (IBGE, 2022) atualmente são 254.785 pessoas residindo na área urbana. Esse crescimento populacional acelerado aumenta de forma proporcional a demanda hídrica urbana (para consumo, o comércio e o desenvolvimento industrial).

Nesse sentido, a integração do uso de poços tubulares profundos nas políticas de gestão hídrica urbana se revela como uma possibilidade para suprir as demandas crescentes de abastecimento (ANA, 2021). Contudo, é imprescindível garantir a legalidade da operação dos

poços, por meio das devidas outorgas de uso, e a sustentabilidade do aquífero, mediante a realização de estudos que possibilitem desenvolver diretrizes para a exploração do sistema.

### 3 METODOLOGIA GERAL

O estudo dos poços tubulares da área de estudo indicada iniciou-se na consulta de fontes de dados de poços e integrando as informações em um banco de dados próprio. Além das informações de poços profundos constantes no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (163 poços cadastrados) (CPRM, 2023), também foi consultado um arquivo físico disponibilizado pela empresa Leão Poços Artesianos LTDA conforme demonstrado na Figura 8 o que permitiu o compilado de 232 poços cadastrados até jun. 2022. Para o segundo capítulo desse trabalho ainda foram consultados dados dos autores Carasek (2016) (48 poços) e Facco (2018) (47 poços). Por tanto, para o capítulo II foram compiladas as informações de 489 poços tubulares profundos da cidade de Chapecó (SC). Essa abordagem buscou garantir uma análise abrangente, possibilitando compor ao todo uma base de dados de 394 poços analisados no capítulo I e 489 poços no capítulo II, todos com informações existentes na área urbana do município de Chapecó.

Os parâmetros analisados no capítulo I deste estudo foram: cota da superfície (geomorfologia da área), coordenadas geográficas (espacialização), nível dinâmico (ND), nível estático (NE), profundidade da perfuração (Prof.), vazão (Q), vazão específica (Q/s), Entrada de água Inicial (EI), Entrada de água Final (EF), Diâmetro de Perfuração ( $\emptyset$  de Perf.), Espessura de solo até o topo do basalto e quantidade de revestimento.

Os parâmetros hidroquímicos levantados para o capítulo II foram: sódio ( $\text{Na}^+$ ); potássio ( $\text{K}^+$ ); cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ); magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ); cloretos ( $\text{Cl}^-$ ); carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ); bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ); sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L, além da Condutividade Elétrica (CE), em  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o pH. Para a análise de enquadramento de qualidade da água subterrânea foram analisados os parâmetros: alumínio (Al); cádmio (Cd); chumbo (Pb); cobre (Cu); cloreto ( $\text{Cl}^-$ ); Dureza total; ferro total (Fe T); fluoretos ( $\text{F}^-$ ); manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ); nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ); nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ); pH; sódio ( $\text{Na}^+$ ); Sólidos Totais Dissolvidos (STD); sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ); e zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ).

Os dados provenientes do SIAGAS foram coletados a partir do *site* da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2023) e os dados da empresa perfuradora Leão Poços Artesianos LTDA. foram coletados individualmente de um sistema interno de gestão de dados e de arquivos físicos disponibilizados pela empresa, com data de registro entre 1947 e 2022

(Figura 8). As figuras 9 e 10 demonstram uma das fichas consultadas referentes à perfuração e teste de vazão, respectivamente. Esses registros manuais, preenchidos pelos trabalhadores durante as operações de campo, colaboraram para a análise com dados práticos e observações diretas do processo de perfuração e produção dos poços.

Após a compilação, todos os dados foram individualmente avaliados e selecionados (de acordo com a qualidade da informação), gerando, assim, um banco de dados próprio de poços perfurados na cidade, que foi utilizado para análise realizada neste estudo. Para a seleção desses poços foram descartadas as fontes de captação instaladas em zona rural, como as captações de poços do tipo cacimba e nascentes, assim como poços profundos com informações incoerentes ou na sua maior parte incompletas.

Figura 8 – Arquivo de dados físico disponibilizado e consultado pela empresa Leão Poços Artesianos LTDA.



Fonte: Própria autora.

Figura 9 – Exemplo de ficha de perfuração de poço consultada dos dados físicos da empresa Leão Poços Artesianos LTDA.

**Boletim de Perfuração LP350**

Proprietário		Município				
Início		Local				
28-05-10		Chapeço - SC				
Término		Modelo Perfuratriz				
29-05-10		Rob. Pneumática				
Perfuratriz		Sondador e Auxiliar				
LP-350		A				
Profundidade	Início	Término	Profundidade	Início	Término	Autorizo perfurar o poço até a profundidade
0	4		196	200		De 00 Até 160 MTS
4	8		200	203		Nome
8	12		203	206		Assinatura
12	16		206	209		Autorizo perfurar o poço até a profundidade
16	20		209	212		De
20	24		212	215		Até
24	28	10:45	215	218		Nome
28	32	11:11	218	221		Assinatura
32	36	11:12	221	224		Autorizo perfurar o poço até a profundidade
36	40	11:25	224	227		De
40	44	11:39	227	230		Até
44	48	11:41	230	233		Nome
48	52	11:57	233	236		Assinatura
52	56	12:04	236	239		Data
56	60	12:10	239	242		Declaro(amos) ter acompanhado as medições
60	64	12:19	242	245		Dos serviços prestados, estando concluído
64	68	12:23	245	248		Conforme firmado em contrato, sendo verídicos
68	72	12:33	248	251		Os contantes nesta ficha.
72	76	12:38	251	254		Assinatura
76	80	12:45	254	257		Nome:
80	84	12:51	257	260		CNPJ/CPF:
84	88	12:59	260	263		Data
88	92	13:11	263	266		Observações
92	96	13:17	266	269		
96	100	13:20	269	272		
100	104	13:29	272	275		
104	108	13:35	275	278		
108	112	13:38	278	281		
112	116	13:48	281	284		
116	120	13:50	284	287		
120	124	13:56	287	290		
124	128	14:01	290	293		
128	132	14:06	293	296		
132	136	14:16	296	299		
136	140	14:21	299	302		
140	144	14:26	302	305		
144	148	14:31	305	308		
148	152	14:37	308	311		
152	156	14:35	311	314		
156	160	14:46	314	317		
160	164	160 MTS	317	320		
164	168		320	323		
168	172		323	326		
172	176		326	329		
176	180		329	332		
180	184					
184	188					
188	192					
192	196					
Selo	Revestimento	Tipo	Filtro	Tipo	Horímetro compressor inicial	Horímetro compressor final
19 MTS	29 MTS			Inox	224.6	
Vazão	Pré-Filtro	Tipo	Saliência		Percurso	
10.000 LH			44, 104, 128		MTS	
Diâmetro inicial do Bit		Diâmetro final do Bit		Diesel	Km Percorrido	Visto Técnico
150.6		150.4				

Tubo Mandria 14 MTS 9" 11  
 8 - A. 44 MTS - 200 LH  
 104 MTS - 1300 LH  
 128 MTS - 8.000 LH

Fonte: Própria autora.

Figura 10 – Exemplo de ficha de teste de vazão de poço consultada dos dados físicos da empresa Leão Poços Artesianos LTDA.

Cliente: [Redacted]		Local: [Redacted]		Data: 31/15/2010		
Município: <i>drogueira</i>		Prof. Do poço: <i>760</i>		Prof. Da bomba: <i>150mts</i>		
Hora início: <i>7h2</i>		Hora término: <i>23h</i>		Nível estático: <i>707</i>		
Modelo bomba:		Dist. Energia:		Dist. Poco caixa:		
Teste realizado por:			Tipo energia( )220 ( )380 ( )440v		Crivo:	
T(min)	T(tambor)	ND(m)	SW(m)	Q(msh)	Q/SW	Recuperacao
1	<i>78</i>	<i>1087</i>	<i>7</i>	<i>10153</i>		<i>10850 050</i>
3	<i>78</i>	<i>10810</i>	<i>60/0</i>	<i>10153</i>		<i>10800 050</i>
5	<i>78</i>	<i>10830</i>	<i>60/0</i>	<i>10153</i>		<i>10820 030</i>
10	<i>78</i>	<i>10830</i>	<i>60/0</i>	<i>10153</i>		<i>10850 020</i>
15	<i>78</i>	<i>10840</i>	<i>60/0</i>	<i>10153</i>		
20	<i>78</i>	<i>10850</i>	<i>60/0</i>	<i>10153</i>		
25	<i>78</i>	<i>10860</i>	<i>60/0</i>	<i>10153</i>		
30	<i>78</i>	<i>10865</i>	<i>60/5</i>	<i>10153</i>		
40	<i>78</i>	<i>10875</i>	<i>61/0</i>	<i>10153</i>		
50	<i>78</i>	<i>10885</i>	<i>61/0</i>	<i>10153</i>		
60	<i>78</i>	<i>10890</i>	<i>60/5</i>	<i>10153</i>		
80	<i>78</i>	<i>10895</i>	<i>60/5</i>			
100	<i>78</i>	<i>10900</i>	<i>60/5</i>	<i>10153</i>		
120	<i>78</i>	<i>10905</i>	<i>60/5</i>	<i>10153</i>		
150	<i>78</i>	<i>10915</i>	<i>60/5</i>	<i>10153</i>		
180	<i>78</i>	<i>10925</i>	<i>60/6</i>			
240	<i>78</i>	<i>10950</i>	<i>62/5</i>	<i>10153</i>		
300	<i>79</i>	<i>10965</i>	<i>67/5</i>	<i>10025</i>		
360	<i>79</i>	<i>10980</i>	<i>67/5</i>	<i>10025</i>		
420	<i>79</i>	<i>10990</i>	<i>67/0</i>	<i>10025</i>		
480	<i>79</i>	<i>11010</i>	<i>67/0</i>	<i>10025</i>		
540	<i>79</i>	<i>11010</i>	<i>60/6</i>	<i>006</i>		
600						
660						
720						
780						
840						
900						
960						
1020						
1080						
1140						
1200						
1260						
1320						
1380						
1440						
1500						

OBSERVAÇÕES.....

DATA: [Redacted]

Assinatura Responsável pelo teste: [Redacted]

Assinatura Responsável cliente: [Redacted]

*EA= 44,00 - 300*  
*104,00 - 1.500*  
*129,00 - 8.000*

*Q = 7.000l/dia*  
*PB = 144,00 m*  
*VD = 115,00 m*  
*desnente 13:00 a 1 dia*  
*01/06/10*

Fonte: Própria autora.

A Tabela 3 detalha o número de poços levantados para cada capítulo e identifica quantos poços foram selecionados para análises específicas. Ou seja, na tabela a seguir é possível



verificar, por exemplo, que para análise do parâmetro de vazão de estabilização foram considerados 365 poços do total de 394. Por tanto, essa tabela serve como um guia para direcionar as análises apresentadas nos Capítulos I e II permitindo uma melhor interpretação dos resultados.

Tabela 3 – Síntese da quantidade de poços levantados e análises realizadas no presente trabalho com as respectivas quantidades de poços considerados.

Capítulo	Total de poços compilados	Parâmetro / Análise	Nº de poços considerado	Fonte
I	394	Evolução histórica (ano da perfuração)	394	SIAGAS e Leão Poços
		Profundidade total	394	
		Cota de Base	362	
		Nível Estático	355	
		Nível Dinâmico	323	
		Vazão estabilização	365	
		Vazão Específica	310	
		Piezometria	387	
		Revestimento	225	
		Nº de entradas de água	222	
		Entrada de água inicial	162	
		Entrada de água final	162	
		Rebaixamento	325	
		Espessura de solo	201	
Matriz de Correlação	394			
II	489	Enquadramento de parâmetros	394	SIAGAS, Leão Poços, Facco (2018) e Carasek (2016)
		Zoneamento de pH	126	
		Zoneamento de Cloretos	126	
		Zoneamento de Nitrato	95	Facco (2018) e Carasek (2016)
		Análise hidroquímica	49	
		Balanço Iônico	49	
		Diagrama de Piper	49	
		Classificação das águas para irrigação	49	

Fonte: Elaborada pela autora.

## **4 CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL, NA ÁREA URBANA DE CHAPECÓ (SC)**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental na segurança hídrica global, representando cerca de 97% das reservas de água doce do planeta. O acúmulo dessa água é resultante do processo de infiltração após a precipitação, que além de influenciar os processos de dinâmica superficial, também desempenha um papel crucial no acúmulo e fluxo das águas subterrâneas, na circulação de contaminantes e na estabilidade de obras de engenharia, que são afetadas pelas condições estáticas e/ou dinâmicas das águas de subsolo (AZEVEDO, FILHO e MANCUSO, 2018; FEITOSA et al., 2008; HIRATA et al, 2019).

Em âmbito geral, a água subterrânea compreende a parcela de água que se encontra abaixo da superfície terrestre, permeando os poros entre as rochas (aquíferos fissurais) e entre os grãos (aquíferos sedimentares). Este recurso encontra-se disponível em todas as regiões do planeta, desempenhando um papel crucial no abastecimento público de água potável e na manutenção dos ecossistemas, reforçando a significância na busca por soluções sustentáveis de gestão e de preservação do mesmo (HIRATA et al, 2019; TUNDISI, 2003)

Os estudos sobre as águas subterrâneas, são essenciais se consideramos a demanda crescente de água em áreas urbanas e a possibilidade de utilizar captações de água subterrâneas como alternativa para suprir as necessidades existentes por água potável. Dados do Atlas Águas, Segurança Hídrica no Abastecimento, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2021) indicam um aumento significativo da demanda hídrica urbana, como no caso da cidade de Chapecó (SC). Na última década, a cidade experimentou um aumento considerável da população urbana, ultrapassando as estimativas da ANA (2021) para 2035, que eram de 242.640 pessoas. Segundo os dados do censo de 2022 (IBGE, 2022), atualmente existem 254.785 pessoas residindo na área urbana. Esse crescimento populacional acelerado aumenta de forma proporcional a demanda hídrica urbana (para o consumo direto, o comércio e o desenvolvimento industrial).

Segundo a ANA (2021) a cidade depende de mananciais superficiais (do Rio Lajeado São José e da Represa Rio Tigre) e subterrâneos (sete poços tubulares) para suprir essa demanda

por água potável, todos operados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Entretanto, dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), gerido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2023), indica a existência de 163 poços perfurados na área urbana de Chapecó. Uma das dificuldades no controle da exploração do recurso hídrico subterrâneo é o controle do número real de poços em operação e o banco de dados nacional (SIAGAS) enfrenta desafios para estar atualizado, devido ao notável aumento da perfuração de poços tubulares nos últimos anos. Este cenário evidencia a existência de poços tubulares profundos perfurados sem a necessária autorização ou licença dos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos. Esses poços irregulares representam uma ameaça ao uso sustentável das águas subterrâneas, pois sua construção pode negligenciar questões de segurança hídrica, de qualidade da água e o potencial de interferência entre as captações assim como o de exaurir o sistema. O planejamento eficiente e a gestão do uso das água subterrânea, bem como o monitoramento e a avaliação adequada da sustentabilidade hídrica do conjunto de captações a explorar o aquífero enfrentam o desafio de complementar o banco de dados de poços, atualizando as informações sobre a localização, as características de uso, a sua qualidade e quantidade explorada e a disponibilidade real dos sistemas para exploração, de forma a possibilitar a gestão adequada do recurso e fundamentar a tomada de decisões (VELASCO, 2019; NEVES 2004).

Os poços tubulares profundos existentes no município de Chapecó (SC) têm sido amplamente utilizados como fonte de água para o abastecimento público, industrial e agrícola, tornando-se fundamentais para a segurança hídrica local e complementando as possíveis deficiências da rede pública. Conseqüentemente, o município também possui relevância na região quanto à influência das captações no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), por explorar grandes volumes de água subterrânea desse sistema. Neste contexto, o estudo hidrogeológico da região oeste de Santa Catarina é de extrema importância, uma vez que essas reservas hídricas subterrâneas desempenham um papel crucial na economia da região e na disponibilidade de água para consumo humano ao longo do ano, especialmente nos períodos de escassez hídrica (FREITAS et al., 2002).

Considerando a relevância do recurso hídrico subterrâneo do SASG para o desenvolvimento socioeconômico da cidade de Chapecó e a necessidade de conhecer a real situação de exploração do sistema dentro do perímetro urbano, este estudo tem por objetivo avaliar a base de dados de poços tubulares profundos da cidade de Chapecó, contemplando a análise do aquífero quanto à sua capacidade de abastecimento, a situação de exploração do recurso quanto à qualidade e quantidade, de forma a contribuir com subsídios para a sua gestão

sustentável, a médio e longo prazo. O uso criterioso, fundamentado e regulamentado das águas subterrâneas, baseado no conhecimento das características técnicas locais do sistema, possibilitará a sustentabilidade da exploração, e a contínua contribuição para o desenvolvimento da cidade.

#### **4.1.1 Caracterização da área de estudo**

O município de Chapecó está localizado no Planalto Catarinense, a oeste do estado de Santa Catarina, e abrange uma área total de 624,846 km<sup>2</sup>, dos quais 66 km<sup>2</sup> correspondem à área urbana. A cidade de Chapecó é um importante centro urbano e polo econômico da região do oeste catarinense. Sua população, chegou a 254.781 habitantes em 2022, experimentando um crescimento significativo de 38,81% em relação ao Censo de 2010 (IBGE, 2022).

Chapecó é atravessada pelas rodovias BR-480 (Norte-Sul) de saída para o Rio Grande do Sul e pela BR-283 (Leste-Oeste), que dá saída para o município de Planalto Alegre. Também, se tem acesso à cidade pela rodovia estadual SC-282, que a comunica com o município de Cordilheira Alta, e pela SC-157, que tem acesso quem chega desde o município de Coronel Freitas. O desenvolvimento urbano se deu principalmente nos arredores dessas principais rodovias, o que definiu o atual perímetro urbano (Figura 1).

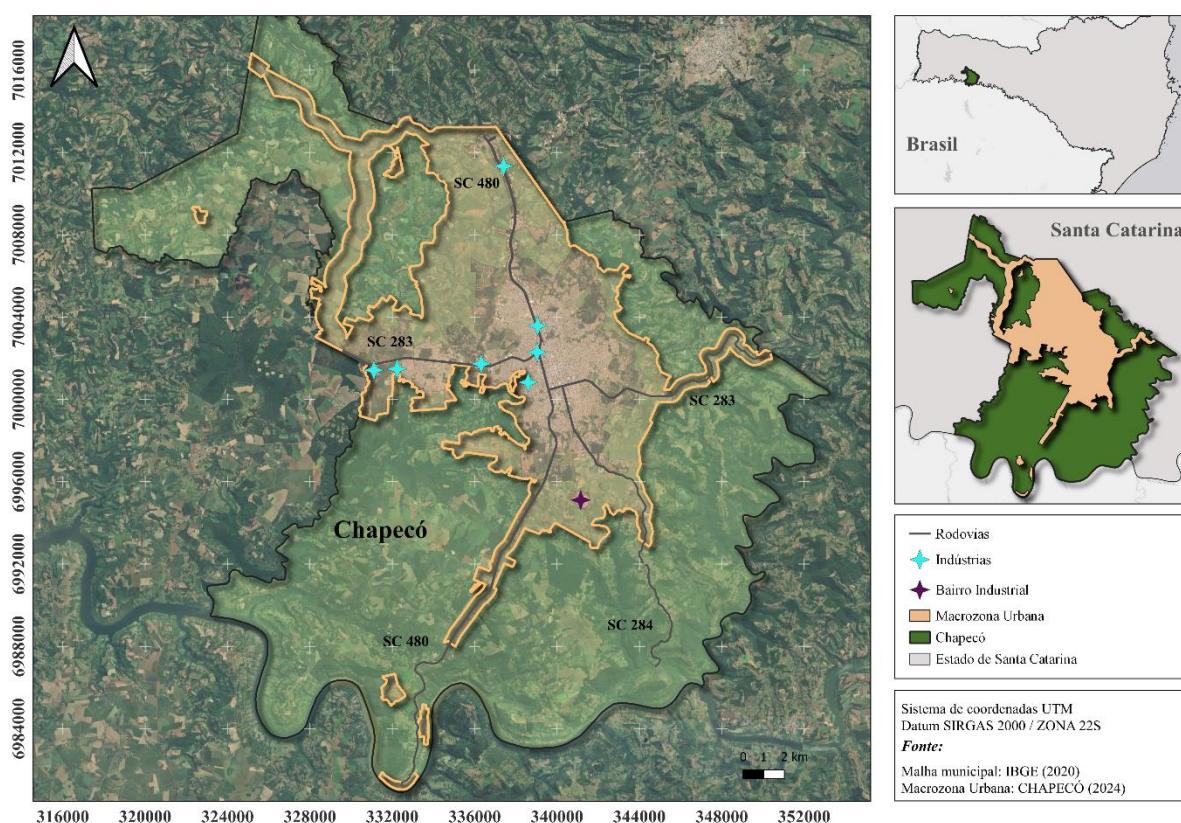
O clima de Chapecó é subtropical úmido (Cfa) de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (1928), com precipitação pluviométrica anual variando de 1.800 a 1.900 mm (PINTO et al., 2011). Segundo análises de Matiola (2019) a temperatura média mínima está entre 14°C e 19°C e temperatura média máxima está entre 25°C e 29°C.

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (PERH/SC) (SANTA CATARINA, 2017), Chapecó está inserido na Região Hidrográfica do Meio Oeste (RH2), que compreende duas bacias hidrográficas do estado: a Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó e a Bacia Hidrográfica do Rio Irani, além de bacias contíguas com sistemas de drenagem independentes. A área urbana de Chapecó abrange as microbacias de Lajeado Passo dos Índios e Lajeado São José, onde o desenvolvimento estruturado da cidade ocorreu ao longo das diferentes fases econômicas, desde a colonização até o ciclo contemporâneo. Essas bacias hidrográficas são essenciais para fornecer água para as mais diversas utilidades, incluindo abastecimento doméstico, industrial, agropecuário, comercial e de condomínios.

Apesar do desenvolvimento econômico, o município enfrenta desafios relacionados à gestão da água e à sustentabilidade ambiental. A Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) é responsável pelo abastecimento de água nas áreas urbanas e, no caso

de Chapecó, utiliza sete mananciais subterrâneos (poços profundos) e dois mananciais superficiais (Rio Lajeado São José e da Represa Rio Tigre) para atender às demandas de consumo urbano (ANA, 2021). Atualmente pode-se encontrar sete grandes indústrias inseridas na área urbana e um bairro destinado à instalação de indústrias, conforme destacado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Chapecó (SC), com ênfase na representação da área urbana do município.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## 4.2 METODOLOGIA

### 4.2.1 Obtenção de dados

Para realizar a análise hidrodinâmica quantitativa dos recursos hídricos do SASG foram compilados dados de poços profundos constantes no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (163 poços cadastrados) (CPRM, 2023) e na empresa perfuradora Leão Poços Artesianos LTDA. (232 poços cadastrados até jun. 2022), possibilitando compor ao todo uma base de dados de 394 poços tubulares profundos com informações existentes na área urbana do município de Chapecó. Os parâmetros analisados neste estudo foram: cota da

superfície (geomorfologia da área), coordenadas geográficas (especialização), nível dinâmico (ND), nível estático (NE), profundidade da perfuração (Prof.), vazão (Q), vazão específica (Q/s), Entrada de água Inicial (EI), Entrada de água Final (EF), Diâmetro de Perfuração ( $\emptyset$  de Perf.), Espessura de solo até o topo do basalto e quantidade de revestimento.

Os dados provenientes do SIAGAS foram coletados a partir do *site* da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2023) e os dados da empresa perfuradora Leão Poços Artesianos LTDA. foram coletados individualmente de um sistema interno de gestão de dados e de arquivos físicos disponibilizados pela empresa, com data de registro entre 1947 à 2022. Após a compilação, todos os dados foram individualmente avaliados e selecionados (de acordo com a qualidade da informação), gerando, assim, um banco de dados próprio de poços perfurados na cidade, que foi utilizado para análise realizada neste estudo. Para a seleção desses poços foram descartadas as fontes de captação instaladas em zona rural, como as captações de poços do tipo cacimba e nascentes, assim como poços profundos com informações incoerentes ou na sua maior parte incompletas.

#### **4.2.2 Análise estatística dos resultados**

A análise estatística básica (máxima, média, mínima, quartis e correlação) foi realizada para auxiliar a análise preliminar dos parâmetros hidrogeológicos e como exploratória, permitindo uma avaliação prévia das características hidrogeológicas quantitativas do aquífero fraturado. A produção de gráficos e parte da análise estatística foi realizada por meio do software Microsoft Excel (2022).

As análises estatísticas de correlação foram realizadas no programa PAleontological SStatistics (PAST) (HAMMER, 2017).

O coeficiente de correlação de Spearman ( $R^2$ ) gerado pelo teste pode variar de -1 a 1, e mede a direção e a força da correlação entre as duas variáveis classificadas. As categorias de interpretação podem variar, mas foi convencionada a Tabela 1 – Interpretação do índice de correlação de Spearman. Tabela 1 para interpretação do grau de correlação entre os parâmetros.

Tabela 1 – Interpretação do índice de correlação de Spearman.

<b>Valor de R<sup>2</sup> (+ ou -)</b>	<b>Interpretação</b>
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Adaptado de Baba (2014).

Ou seja, se  $R^2$  for próximo de 1, há uma correlação positiva forte (à medida que uma variável aumenta, a outra também aumenta proporcionalmente). Se  $R^2$  for próximo de -1, há uma correlação negativa forte (à medida que uma variável aumenta, a outra diminui proporcionalmente). Se  $R^2$  for próximo de 0, há correlação linear muito fraca ou inexistente (para valores de 0), entre as variáveis.

A produção de mapas foi realizada com auxílio do software QGis (OSGEO, 2022), tendo como base o perímetro da área urbana disponibilizado pelo setor de geoprocessamento do município de Chapecó (SC) conforme área delimitada durante a elaboração do Plano Diretor de 2014 (CHAPECÓ, 2014) georreferenciado de acordo com o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

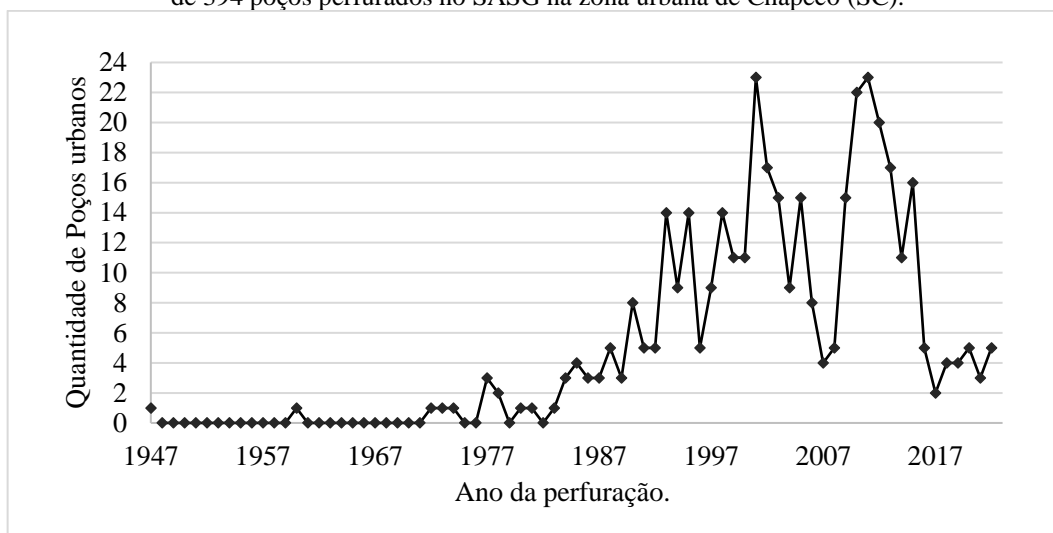
#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação hidrodinâmica de poços tubulares profundos na zona urbana do município de Chapecó (SC) é um estudo importante para garantir a compreensão das características e as capacidades dos poços perfurados em uma região em constante crescimento e com elevada demanda hídrica. A partir dos dados dos poços cadastrados foi constituído o banco de dados da zona urbana do município de Chapecó, com 394 poços tubulares profundos perfurados entre os anos de 1974 e 2022.

Inicialmente foi analisada a evolução histórica da quantidade de perfurações de poços tubulares profundos dentro do perímetro urbano, abrangendo o período de 1947 a 2022 (Figura 10). Dos 394 poços avaliados, 12 foram perfurados até 1982 (observam-se importantes lacunas de dados, com 0 poços perfurados, por períodos de 10 anos a partir de 1949 e de 1961), constatando-se um crescimento significativo a partir de 1983. Nos registros de poços do SASG é possível destacar os anos de 2001, 2010 e 2011 com 22 a 23 poços construídos por ano (Figura 2). O avanço no número de poços para abastecimento é condizente com o desenvolvimento

urbano da cidade, que se consolidou-se na década de 1980, quando houve a transição de zona rural para urbana (NASCIMENTO, 2015; FUJITA, 2008).

Figura 2 – Distribuição do número de perfurações de poços tubulares profundos entre 1947 e 2022, entre o total de 394 poços perfurados no SASG na zona urbana de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

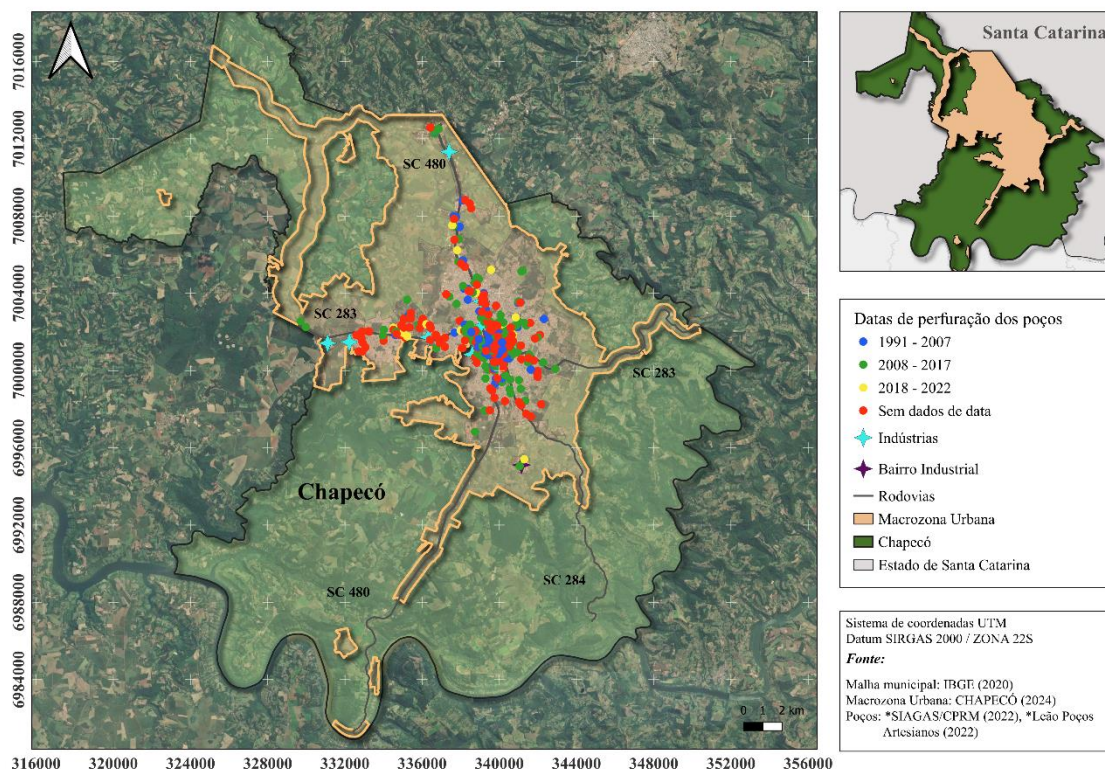
A espacialização dos poços realizada a partir dos dados de localização (coordenadas UTM) permitiu identificar a concentração de perfurações na parte central da zona urbana (no entorno da Avenida Getúlio Vargas), que coincide atualmente com o principal centro comercial da cidade, onde se localizam os edifícios maiores, os principais pontos turísticos e os prédios históricos (Figura 3). Também, se observa uma tendência de instalações de poços ao longo dos eixos rodoviários, tanto no sentido Norte-Sul (BR-480), na direção do Rio Grande do Sul, quanto Leste-Oeste (BR-283) na direção de Planalto Alegre.

O crescimento da demanda por águas subterrâneas se torna evidente ao analisar a evolução temporal da instalação de poços nas últimas décadas, entre 1947 e 1987 constam perfurados 26 poços, nas décadas seguintes, o crescimento do uso das águas subterrâneas se intensifica, com a perfuração de mais 77 poços até 1997; 127 poços de 1998 a 2007; e 136 poços entre 2008 e 2017. Nos últimos cinco anos, mais 21 poços se incorporaram ao conjunto, localizados, principalmente, nas zonas de expansão da malha urbana (Figura 3).

O incremento no número de poços perfurados refletiu no aumento das vazões exploradas, que somam uma extração de 696,551 m<sup>3</sup>/h entre 1988 e 1997, passando para 893,37 m<sup>3</sup>/h entre 1998 e 2007, e atingindo 1.197,8 m<sup>3</sup>/h (em média 8,8 m<sup>3</sup>/h por poço) na década seguinte.



Figura 3 – Localização dos 394 poços tubulares perfurados no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na zona urbana do município de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A análise estatística dos dados (Tabela 2), indica que os poços perfurados sobre o SASG na cidade de Chapecó apresentam uma profundidade média de 152,6 m e que em 75% das perfurações dos casos não ultrapassam os 165 m de profundidade. Além disso, de acordo com a descrição da instalação, o solo mais a rocha alterada possuem espessura média de 14,33 m, a partir do qual ocorre a perfuração em rocha sã (os basaltos da Formação Serra Geral). Os poços com maior profundidade situam-se a oeste (com 759 m), a sul (com 871 m) e a leste (com 932 m), na área urbana (Figura 4).

A profundidade do revestimento dos poços varia de 6,0 a 60,0 metros, em média é de 23,42 metros, assim como indicado por Freitas e Caye (2003), refletindo a preocupação de proteção da parte superior do poço para evitar infiltrações nessa zona que comprometam a qualidade da água.

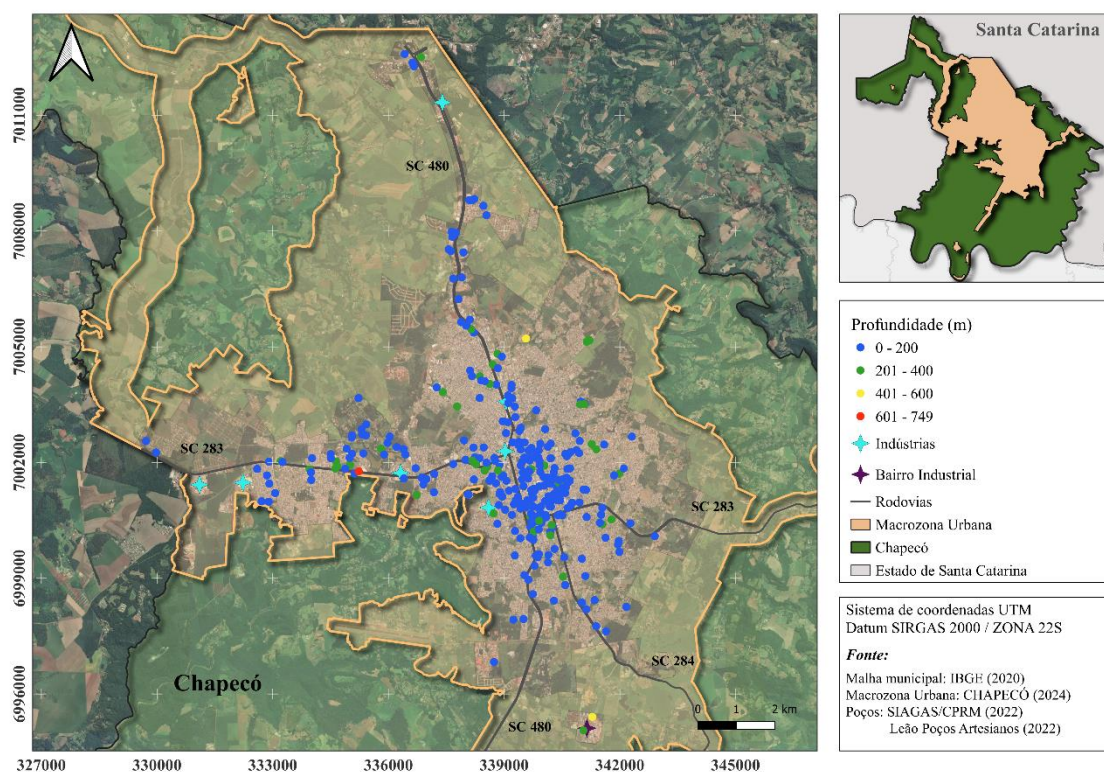
Avaliando a cota de base dos poços, essas atingem altitudes maiores (757 m) em zonas mais elevadas do relevo e menores (535 m) nas depressões do relevo. A maior parte das perfurações, 75% dos casos, tem a sua base até os 681 m de altitude.

Tabela 2 – Síntese das características construtivas dos 394 poços tubulares e hidrodinâmica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na área urbana do município de Chapecó (oeste de Santa Catarina).

Característica do Poço	Percentil 25%	Percentil 75%	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Nº de Poços
Profundidade total (m)	110,8	165,0	932,0	152,6	141,0	54,0	394
Cota de Base (m)	654,00	681,00	757,00	666,64	668,00	535,00	362
Nível Estático (m)	16,20	91,30	350,00	56,58	46,39	0,78	355
Nível Dinâmico (m)	76,52	131,00	390,00	104,01	101,50	4,44	323
Vazão estabilização (m <sup>3</sup> /h)	4,29	12,00	60,92	8,94	7,69	0,50	365
Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m)	0,09	1,30	15,00	1,20	0,32	0,01	310
Piezometria (m)	579,07	648,54	736,00	612,05	615,00	9,00	387
Revestimento (m)	14,00	31,00	60,00	23,42	20,00	6,00	225
Nº de entradas de água	1,00	3,00	6,00	2,13	2,00	1,00	222
Entrada de água inicial (m)	35,00	90,25	240,00	64,16	57,00	9,00	162
Entrada de água final (m)	97,00	153,25	600,00	131,32	128,50	26,00	162
Espessura de solo (m)	7,00	20,00	57,00	14,33	12,00	1,00	201

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 4 – Profundidade de instalação de 394 poços tubulares instalados na área urbana de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A profundidade efetiva da circulação da água subterrânea em meio fissural é variável, e pode ser inferida por meio da análise das zonas de entradas de água (fissuras saturadas) observadas durante a perfuração do poço. Nos aquíferos fraturados, esse parâmetro aponta para

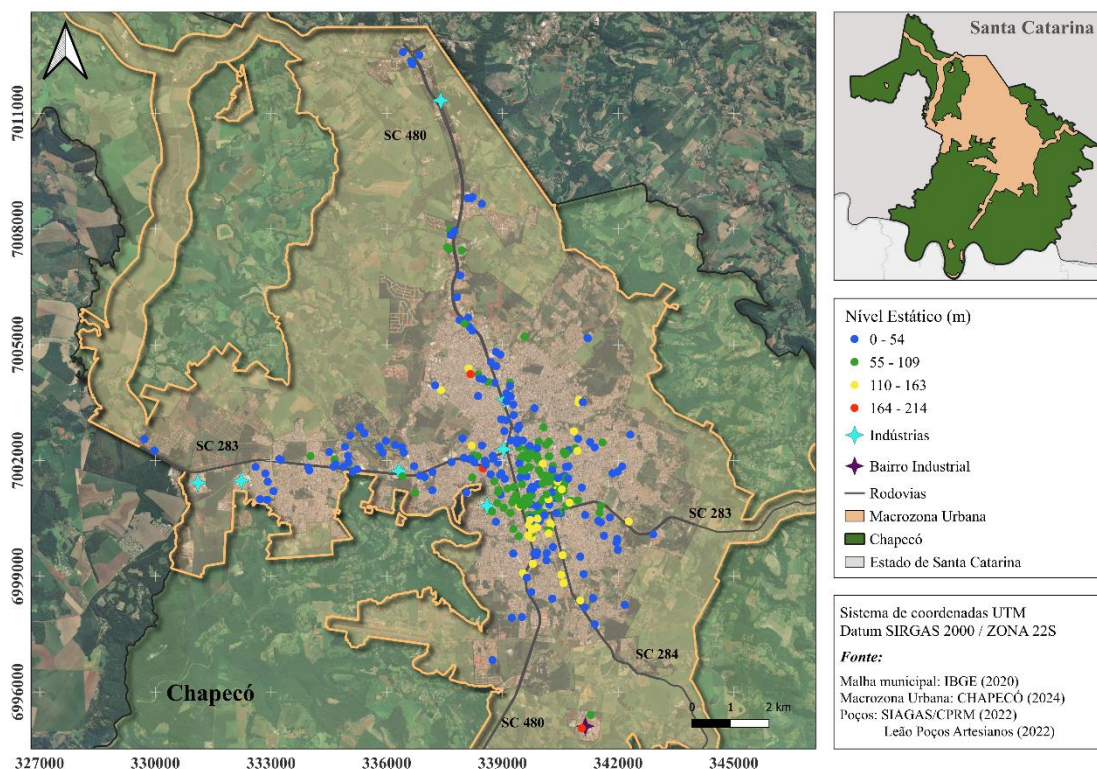
a interceptação de uma zona de fissura saturada na formação rochosa e, no caso dos poços instalados na cidade de Chapecó, foi identificada em 56,49% dos 394 poços analisados. Os poços apresentaram entre 1 e 6 entradas d'água, em média 2,0 por poço. A profundidade média da última zona de fratura com entrada de água está em torno dos 130 m e a profundidade máxima observada foi num poço de 932 m, perfurado pela Casan em 2022, com duas entradas de água registradas, a 90 e a 600 metros de profundidade. A profundidade significativamente maior desse poço tubular, foi devido ao objetivo inicial de atingir o Aquífero Guarani; entretanto, como apresentou vazão suficiente para o atendimento da comunidade próxima, a perfuração foi encerrada antes de atingir o referido aquífero.

De 394 poços, 75% interceptaram até três zonas de fratura saturada. Contudo, o maior número de entradas de água na captação não resultou em aumento correspondente da vazão dos poços, a ausência de correlação significativa foi confirmada pelo teste de correlação. A perfuração com maior quantidade de fissuras interceptadas (6), apresentou vazão de 9,9 m<sup>3</sup>/h e profundidade de 162 m.

Quanto ao nível estático, que se refere à profundidade da água no poço quando este está em repouso, os dados revelam que 75% dos poços têm um nível estático de até 91,3 m, e em 25% deles o nível estático é inferior a 16,2 m. A profundidade máxima do nível de água foi registrada num poço com 821 m de profundidade, sendo de 350 m. Em média, o nível estático é de 56,6 m, mas a maioria dos poços tem NE inferiores à média, representados pela mediana de 46,4 m.

Na zona mais central da cidade, os níveis estáticos são mais profundos, entre 55 e 163 m (Figura 5), o que sugere uma eventual influência entre as captações relacionada à proximidade entre eles e à exploração do recurso. Destaca-se que, em alguns casos, os poços estão a poucos metros de distância um do outro, e foram perfurados no mesmo aquífero. O raio de influência de um poço em bombeamento pode ser determinante para prever interferências entre poços vizinhos. Quando os cones de rebaixamento se sobrepõem, a interferência mútua pode comprometer a eficiência e até a inviabilidade de exploração do poço, tornando-o seco (FEITOSA, 2008; SILVA et al., 2017; REGINATO et al., 2023).

Figura 5 – Níveis estáticos (NE) de 355 poços tubulares instalados na área urbana de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

A subsuperfície desempenha uma série de papéis nos complexos processos de urbanização, incluindo o desenvolvimento de edifícios, a construção de estradas, o fornecimento de água, a drenagem, o saneamento e até mesmo a eliminação de resíduos sólidos. Nesse complexo uso do subsolo, também estão inseridos os aquíferos, como sistemas de abastecimento direto de águas no ambiente urbano, apresentando uma relação estreita de causa e consequência com os processos de urbanização pela sua interação em subsolo. A proximidade entre os poços e a ausência de planejamento para a exploração conjunta, associado a análise espacial dos NE, apontam para a interferência entre eles, decorrente da ausência de alocação estratégica e, conseqüentemente, de previsão dos efeitos a longo prazo (GOGU et al., 2015).

O nível dinâmico (ND) refere-se à profundidade da água subterrânea medida no poço durante ou logo após o bombeamento. Os ND dos poços instalados no SASG, na cidade de Chapecó indicam que 75% dos poços têm nível dinâmico de até 131 m, mas em 25% deles o nível dinâmico é igual ou inferior a 76,5 m. A profundidade máxima do nível d'água registrado durante o bombeamento foi de 390 metros, sendo a média e a mediana muito próximas, de 104 m e de 101,5 m respectivamente.

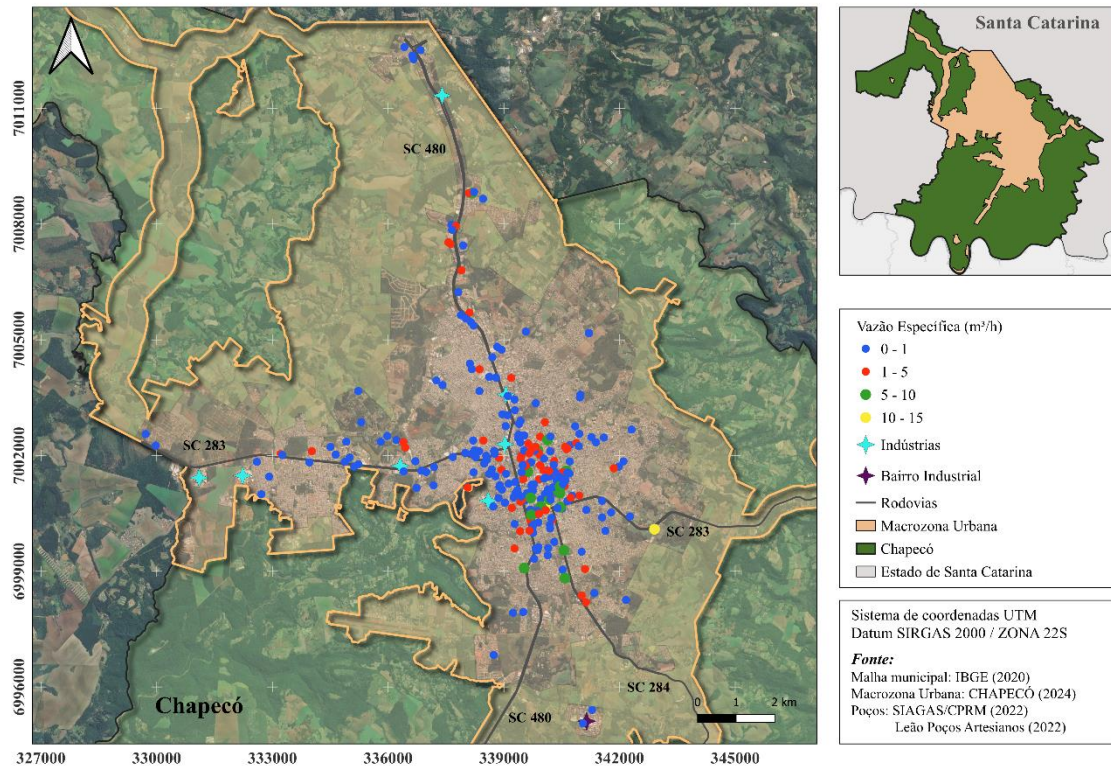
Os níveis potenciométricos refletem as cotas topográficas, e variam de 9 a 736 m, com a maioria dos poços (75%) apresentando níveis de água a cotas inferiores a 648,5 m e em 25% deles os níveis potenciométricos são inferiores a cota de 579,1 metros.

No banco de dados de poços que foi avaliado, os poços tubulares têm a produção expressa por dois parâmetros, a vazão de estabilização ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) e a capacidade específica ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ). O mapeamento dos parâmetros hidrodinâmicos pode auxiliar na identificação de áreas com maior produtividade aquífera, sendo relevante para estimar a disponibilidade de água em uma determinada região. A espacialização das vazões pode ser uma ferramenta útil para planejar a construção e novos poços, pela identificação das áreas com maior vazão que podem ser mais propícias para a perfuração (Figura 7).

Dos 310 poços com informação, a média da vazão específica foi de  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , mas a mediana foi de  $0,320 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Nota-se, portanto, ampla variação desse parâmetro entre os poços. É possível que, a variabilidade nas capacidades específicas dos poços, pode refletir nos pequenos rebaixamentos dos níveis de água durante o bombeamento, a ocorrência de baixas vazões ou possíveis erros de registro dos dados no momento do teste de vazão (Figura 6 e Figura 8).

Em relação às vazões específicas, predominam poços com vazões específicas da ordem de  $1,30 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (75%) e se distribuem por toda a área urbana, sem estabelecer tendências, apresentando somente dois poços a sul da área que apresentam capacidades específicas mais elevadas (Figura 6).

Figura 6 – Capacidades específicas (Q/s) de 310 poços tubulares instalados na área urbana de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

As vazões estabilizadas encontram-se entre 0,5 e 60,92 m<sup>3</sup>/h com média de 8,87 m<sup>3</sup>/h. É possível observar na Figura 8A a presença de *outliers* no boxplot que estão associados aos valores extremos de profundidade total de poços. O *outlier* superior foi encontrado no poço localizado ao leste da cidade, no bairro Boa vista, apresentando profundidade final de 932 m, com NE nos 161,5m, vazão de 9,9m<sup>3</sup>/h e duas entradas de água, a inicial em 90m e a final em 600m. Já em relação ao outlier de vazão (Figura 8B) o poço de maior produtividade situa-se a oeste da área (Figura 7), no bairro Efapi, apresentando vazão de 60,92 m<sup>3</sup>/h com profundidade de 201m. Reginato *et al.* (2023), que avaliou poços de alta produtividade no Nordeste do Rio Grande do Sul, também no SASG, analisando os dados de vazão constatou que a maioria dos poços apresentam valores entre 25 e 35 m<sup>3</sup>/h (67%), sendo que para a capacidade específica a maior parte foi inferior a 1m<sup>3</sup>/h/m (44%) ou entre 1 e 2 m<sup>3</sup>/h/m (42%).

Figura 7 – Vazões de 365 poços tubulares instalados na área urbana da cidade de Chapecó (SC).

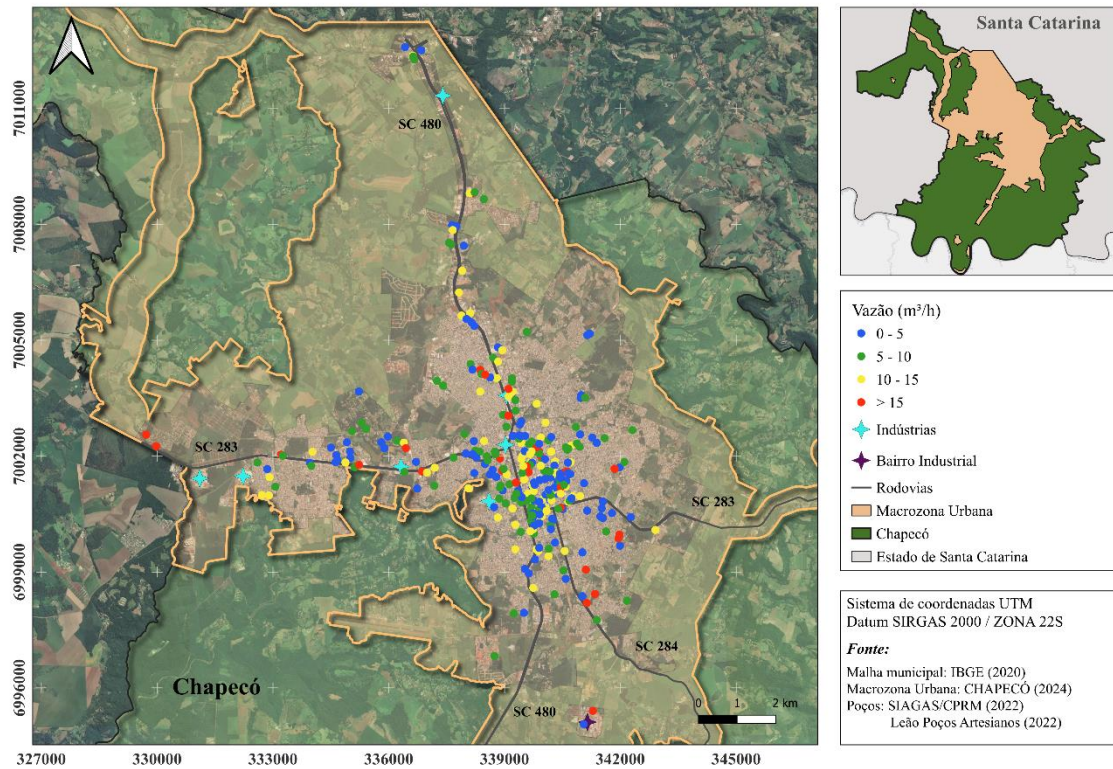
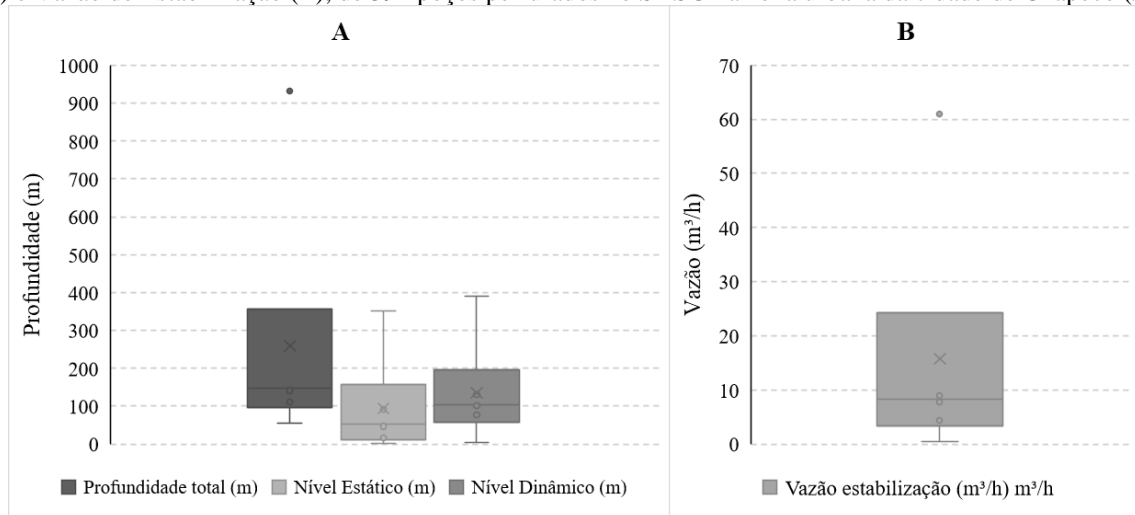


Figura 8 – Estatística realizada com dados de Profundidade do poço, Nível Estático (NE), Nível Dinâmico (ND) (A) e Vazão de Estabilização (B), de 394 poços perfurados no SASG na zona urbana da cidade de Chapecó (SC).

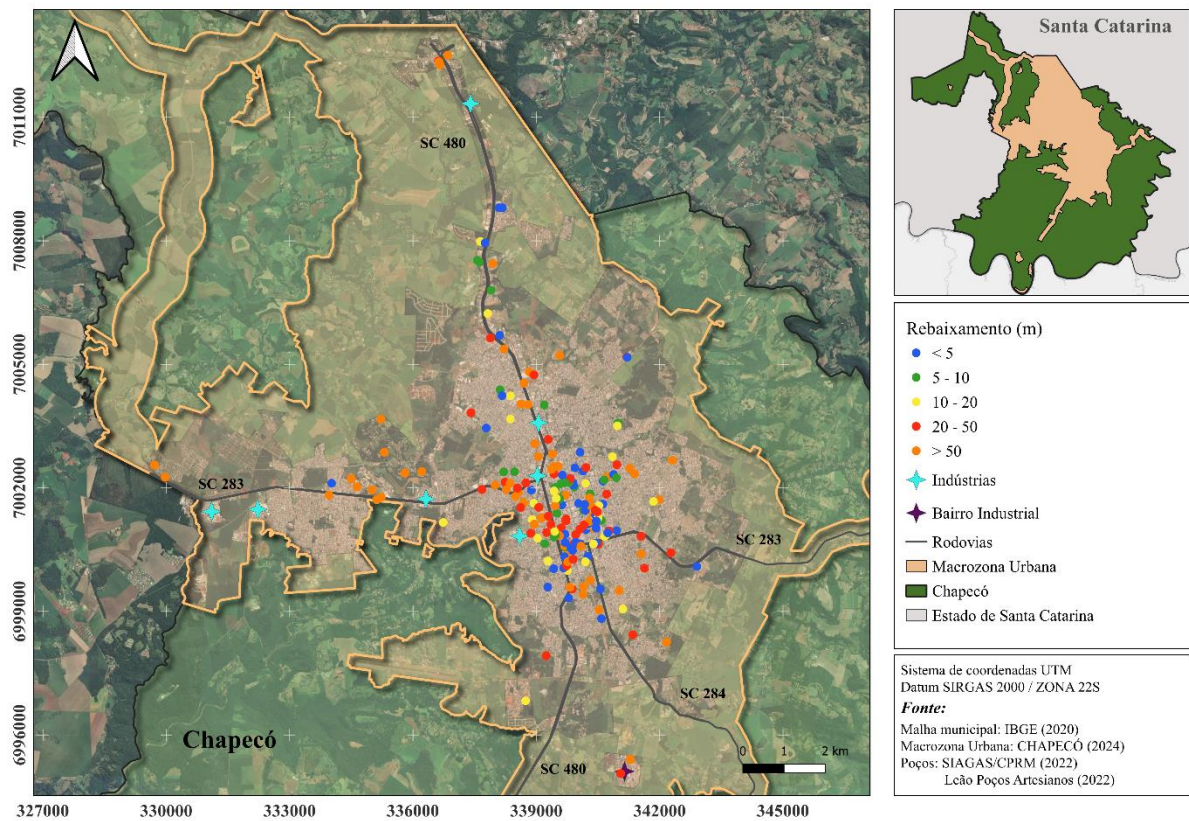


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A análise de correlação entre os 16 parâmetros hidrodinâmicos e construtivos dos 394 poços avaliados (Tabela 3) indica as relações de proporcionalidade entre as diferentes variáveis, que apresentam correlações entre positivamente forte (+1) e negativamente forte (-1) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A interpretação desses resultados indica as

intensidades das relações entre as variáveis (que pode ser direta ou indiretamente proporcional), o que pode ser útil para identificar quais são fatores que estão mais fortemente relacionados e, conseqüentemente, que podem ter influência mútua no seu comportamento. Considerando que o universo de dados não apresenta uma distribuição normal, foi aplicado o teste de correlação de Spearman, que resultou em 120 correlações, das quais 84 (70%) foram positivas e 36 (30%) negativas, sendo que a maioria (40%) enquadrada na categoria de correlação muito fraca. Também ocorreram 19 (16%) correlações moderadas, 10 (8%) correlações fortes e apenas em dois casos a correlação foi muito forte (Tabela 4).

Figura 9 – Rebaixamentos dos níveis de água subterrânea observados durante o bombeamento de 325 poços instalados no SASG na área urbana da cidade de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Entre as correlações muito forte destacam-se as correlações entre as capacidades específicas e os rebaixamentos (-0,91) (indiretamente proporcional) e entre as espessuras do basalto e a profundidade dos poços (0,97) (diretamente proporcional), que resultam de fatores que evidentemente influenciam quantitativo um do outro; ou seja, quanto mais profundo o poço for, maior a espessura do basalto atravessado; e quanto maior for o rebaixamento do nível de água durante o bombeamento menor é a capacidade específica do poço.



A maior espessura do solo requer maior profundidade de revestimento, o que reflete na forte correlação entre ambos (0,71). A profundidade do poço, entretanto, apresenta uma forte correlação positiva, de  $R^2=0,89$ , com a profundidade da bomba, indicando a influência na sua instalação dentro do poço tubular (quanto mais profundo o poço, mais profunda é instalada a bomba). A profundidade do poço também possibilita a interceptação de fissuras mais profundas, que possam contribuir com água subterrânea para a captação, o que pode ser corroborado pela forte correlação entre essas variáveis ( $R^2 =0,74$ ). Entretanto, não necessariamente poços mais profundos interceptarão maior número de fissuras ( $R^2 =0,14$ ). Outro fator diretamente relacionado à profundidade dos poços é o nível dinâmico, pois a maior profundidade da captação possibilita um nível dinâmico mais profundo ( $R^2 =0,72$ ) e a instalação da bomba a maior profundidade ( $R^2 =0,79$ ), indicando uma forte correlação positiva entre esses fatores.

A capacidade específica possui correlação moderada positiva, com a vazão ( $R^2 =0,66$ ), entretanto, a análise não indica influência significativa de outros fatores, apontando para a variabilidade hidrodinâmica típica do meio fraturado.

Os níveis potenciométricos mais elevados estão moderadamente relacionados a entradas de água também menos profundas, níveis dinâmicos mais elevados e menor profundidade de instalação das bombas ( $R^2$  entre 0,44 e 0,46).

O estudo de Peterlini, Pinese e Celligoi (2020) investigou a relação entre a espessura do solo e a produtividade hídrica de poços do SASG na região Norte do Paraná. Os autores verificaram que quanto maior a espessura de solo, menor é a vazão e a capacidade específica dos poços. Neste estudo, entretanto, não se confirma qualquer correlação importante entre a espessura dos solos e a vazão ou com a capacidade específica, observa-se apenas uma correlação positiva fraca (entre 0,21 e 0,28) com os níveis de água subterrânea (estáticos e dinâmicos) e com a espessura dos basaltos. Portanto, no contexto do SASG na cidade de Chapecó, a espessura do solo parece ter uma influência limitada sobre as vazões e a capacidade específica dos poços, indicando a eficácia do revestimento no isolamento da parte superior da captação.

Tabela 3 – Matriz de correlação dos parâmetros hidrodinâmicos de 394 poços instalados no SASG, na zona urbana do município de Chapecó (SC, Brasil).

	Cota (m)	Prof. (m)	PB (m)	Nº Entradas	Ef (m)	Ei (m)	Espessura do Solo (m)	Espessura Basalto (m)	Prof. Revest. (m)	Ø de Perf (mm)	Q (m³/h)	Q/s (m³/h/m)	Sw (m)	ND (m)	NE (m)	NP (m)	
<b>Cota (m)</b>																	
<b>Prof. (m)</b>	0,24																
<b>PB (m)</b>	0,25	0,89															
<b>N_Entradas</b>	0,11	0,14	0,18														
<b>Ef (m)</b>	0,28	0,74	0,83	0,38													
<b>Ei (m)</b>	0,17	0,41	0,48	-0,27	0,50												
<b>Espessura do Solo (m)</b>	0,41	0,40	0,31	-0,01	0,29	0,26											
<b>Espessura Basalto (m)</b>	0,15	0,97	0,86	0,15	0,70	0,38	0,21										
<b>Prof. Revest. (m)</b>	0,32	0,35	0,23	-0,01	0,28	0,28	0,71	0,25									
<b>Ø de Perf (mm)</b>	0,04	0,30	0,15	0,02	0,16	0,13	0,12	0,30	0,17								
<b>Q (m³/h)</b>	-0,09	-0,23	-0,23	0,21	-0,03	-0,08	-0,16	-0,23	-0,05	0,20							
<b>Q/s (m³/h/m)</b>	0,05	-0,21	-0,20	0,07	-0,01	0,04	-0,06	-0,25	-0,03	-0,08	0,66						
<b>Sw (m)</b>	-0,16	0,18	0,18	0,01	0,04	-0,04	0,01	0,25	0,03	0,19	-0,34	-0,91					
<b>ND (m)</b>	0,23	0,72	0,79	0,12	0,68	0,41	0,28	0,71	0,22	0,21	-0,42	-0,45	0,39				
<b>NE (m)</b>	0,37	0,46	0,52	0,14	0,61	0,50	0,26	0,38	0,16	0,02	-0,09	0,27	-0,43	0,56			
<b>NP (m)</b>	0,20	-0,33	-0,44	-0,10	-0,46	-0,38	-0,07	-0,31	0,00	0,02	0,04	-0,27	0,37	-0,44	-0,76		

Nota: Profundidade (Prof.), Profundidade da bomba (PB), Número de entradas de água (N\_entradas), Entrada Final (Ef), Entrada Inicial (Ei), Revestimento (Revest), Diâmetro de perfuração (Ø de Perf), Vazão (Q), Vazão Específica (Q/s), Rebaixamento (Sw), Nível Dinâmico (ND), Nível Estático (NE), Nível Potenciométrico (NP).

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Destaca-se, na análise da influência da profundidade final das fissuras ( $E_f$ ) interceptadas pelas captações a sua relação direta com a profundidade das primeiras fissuras interceptadas ( $E_i$ ), indicando que o sistema de fraturamento responde com níveis de água menos profundos em captações que interceptam fissuras mais próximas da superfície ( $R^2 = 0,79$ ), e que também refletem em níveis dinâmicos menos profundos ( $R^2 = 0,58$ ), resultando em correlações moderadas positivas.

A disparidade entre a vazão combinada dos poços estudados e as estimativas de crescimento das demandas de água para 2035, segundo o Atlas da ANA (ANA, 2021) é significativa. Se somadas as vazões de todos os poços que compõem a base de dados deste estudo, e que apresentam dados sobre a vazão de exploração, se obtém o total de 3.261 m<sup>3</sup>/h (905,9 L/s) de extração de águas subterrâneas dentro do perímetro urbano de Chapecó. Em comparação com a demanda de água estimado pela ANA para o abastecimento até 2035 (ANA, 2021), esse valor superou em aproximadamente duas vezes o valor da demanda prevista, que é de 504 L/s. Entretanto, é importante ressaltar que alguns poços se encontram desativados ou atualmente inexistem (especialmente os poços mais antigos), além disso os poços reunidos nesse estudo são parte de um conjunto atualmente existente, visto que muitos poços não estão cadastrados no SIAGAS e foram perfurados por outras companhias que não a Leão Poços, pelo que não são parte do universo aqui avaliado. É, portanto, inevitável pensar que a demanda hídrica pode ser muito maior, se considerarmos a existência de poços que abastecem as diversas indústrias alimentícias instaladas na área urbana de Chapecó e que possuem elevada demanda diária pelo recurso.

#### 4.4 CONCLUSÃO

A avaliação hidrodinâmica dos poços tubulares profundos em Chapecó, SC, revela informações importantes sobre as características desses poços em uma região de intensa urbanização e demanda hídrica crescente. A compilação de um banco de dados com 394 poços, localizados na área urbana, permitiu a análise detalhada de diferentes parâmetros hidrodinâmicos e hidroquímicos do SASG e relacionados às captações, proporcionando uma visão abrangente do comportamento e da exploração do aquífero fissurado na região.

A análise histórica revela um aumento expressivo no registro de poços a partir de 1987, correlacionado com o desenvolvimento urbano da cidade nesse período. Além disso, a localização dos poços destaca uma concentração significativa na área central da zona urbana,

destacando uma interferência entre os poços próximos, o que influenciam seus níveis estáticos que se demonstram mais profundos nessa zona.

Diversos parâmetros, como a profundidade média dos poços, espessura do manto de alteração, quantidade de revestimento, e a cota de base, oferecem noções sobre a configuração dos poços na região. A presença de diferentes profundidades e número de entradas de água indica uma variedade considerável nos perfis dos poços, demonstrando complexidades nas características hidrodinâmicas da área.

A espacialização das vazões não demonstrou tendências na área estudada, no entanto, existem *outliers* que chegam a 60,92 m<sup>3</sup>/h enquanto na maioria dos poços (até 75%) demonstram vazões inferiores a 12 m<sup>3</sup>/h.

Os dados apresentados refletem também uma análise detalhada das correlações entre os parâmetros hidrodinâmicos e construtivos dos poços analisados na área urbana. Os resultados evidenciam diversas correlações significativas entre os parâmetros estudados. Por exemplo, a relação entre as capacidades específicas e os rebaixamentos (-0,91) e entre as espessuras do basalto e a profundidade dos poços, são fatores fortemente interligados.

Outras correlações, como a forte relação entre a profundidade do poço com a interceptação de fissuras mais profundas contribuem com a captação de água subterrânea. No entanto, a profundidade do poço não se correlaciona à quantidade de fissuras encontradas, o que não afeta a quantidade de água que pode ser extraída do poço.

Além disso, a análise das vazões combinadas dos poços estudados em comparação com as projeções do Atlas da ANA para 2035 revela uma disparidade significativa. A demanda de água, já demonstrada como alta pela vazão combinada dos poços estudados, supera em quase o dobro as estimativas para o futuro. Esta discrepância ressalta a necessidade de considerar fontes de demanda não contempladas no estudo, como indústrias, que podem impactar substancialmente a necessidade de água na região.

As questões inerentes à hidrogeologia urbana representam um desafio significativo para cidades no mundo todo, demandando um enfoque tão criterioso quanto outras áreas de planejamento urbano. Embora os problemas relacionados às águas subterrâneas em ambientes urbanos sejam, em grande parte, previsíveis, o principal ponto reside na ausência de antecipação adequada. Com frequência, as ações em relação a esses problemas são reativas, respondendo a situações emergenciais em vez de serem resultado de um planejamento estruturado e preventivo.

A falta de um conhecimento aprofundado do ambiente subterrâneo e da complexa interação entre as águas subterrâneas e as infraestruturas urbanas acarreta consequências de

ordem econômica, ambiental, social, jurídica e política para cidades ao redor do mundo (Gogu, 2023). Essas implicações desafiadoras surgem devido à abordagem reativa e à falta de antecipação, refletindo-se em tomadas de decisão que muitas vezes carecem de um embasamento detalhado sobre a inter-relação entre o subsolo e a dinâmica urbana.

A importância desses estudos reside na compreensão detalhada das características dos poços tubulares em áreas urbanas, o que é essencial para um planejamento hidrogeológico eficaz. Essas informações são fundamentais para a gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em regiões em crescimento, onde a demanda por água é significativa. Esses estudos podem auxiliar na alocação estratégica de poços, evitando interferências entre eles e garantindo a disponibilidade contínua de água subterrânea para a população.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Mananciais e Sistemas por Município**.

Brasília: ANA, 2021. Disponível em:

<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf>. Acesso em: 17 jun. 2023.

AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; MANCUSO, M. A. Águas subterrâneas. *In*: OLIVEIRA, A. M. do S.; MONTICELI, J. J. (ed.). **Geologia de Engenharia e Ambiental**. São Paulo: Tribo da Ilha, 2018. p. 181-201.

BABA, R. K., VAZ, M. S. M. G. e COSTA, J. da. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online]. 2014, v. 29, n. 4 [Acessado 4 Novembro 2023], pp. 515-526. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-778620130611>>. Epub 24 Nov 2014. ISSN 1982-4351.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Banco de dados de poços (SGB/CPRM). Serviço Geológico do Brasil / CPRM. 2023. Disponível em: <[https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)> Acesso em: 25 fev. 2023.

CHAPECÓ. **Lei Complementar nº 541**, de 26 de novembro de 2014. Aprova o Plano Diretor de Chapecó – PDC. Chapecó, 2014. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/plano-diretor-chapeco-sc>. Chapecó, SC: Diário Oficial da União, 2014.

FEITOSA, F. A. C., MANOEL FILHO, J., FEITOSA, E. C., & DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FREITAS, M. A. DE, & CAYE, B. R. Poços tubulares no aquífero fraturado Serra Geral do oeste de Santa Catarina. **Águas Subterrâneas**. 2003. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23998>>.

FREITAS, M. A. de; CAYE, B. R.; MACHADO, J. L. F.; ANTUNES, R. B.; MIRANDA JUNIOR, G. X de. Água subterrânea: um recurso vital para o Oeste Catarinense. **Águas Subterrâneas**, 2002.

FUJITA, C. **Dilema urbano-ambiental na formação do território brasileiro**: desafios ao planejamento urbano no Brasil. Tese (Doutorado – Área de Concentração: Paisagem e Ambiente) – FAUUSP, São Paulo, 2008.

GOGU, C. R. Urban Hydrogeology Studies. **Water**. 2022, 14, 1819.  
<https://doi.org/10.3390/w14111819>.

HAMMER, Ø. Paleontological STatistics Version 3.15. Reference manual. Natural History Museum. University of Oslo, 2017, 253 p.

HIRATA, R., SUHOGUSOFF, A. V., MARCELLINI, S. S., VILLAR, P. C., & MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: IGc/USP. 2019. Disponível em:  
<[http://igc.usp.br/igc\\_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf](http://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf)>. Acesso em: 29 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em:  
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/chapeco/panorama>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

KÖPPEN, W., E GEIGER, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes

MATIOLA, C. **A avaliação dos elementos climáticos, socioeconômicos e sua relação com o Aedes aegypti nos municípios de Chapecó/SC e Itajaí/SC**. Dissertação (Mestrado Profissional em Clima e Ambiente). Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p.42, 2019.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Excel, versão 2311. Editora: Microsoft Corporation, 2022.

NASCIMENTO, E. Chapecó: evolução urbana e desigualdades socioespaciais. In: BRANDT, M. e NASCIMENTO, E. (Orgs.). **Oeste de Santa Catarina: Território, Ambiente e Paisagem**. São Carlos: Pedro & João Editores, 2015. p. 97-153.

NEVES, M. A., MORALES, N., PEREIRA, S. Y., & ALBUQUERQUE FILHO, J. L. Análise das informações disponíveis sobre poços tubulares profundos e seu uso no diagnóstico da variação temporal do nível d' água e da produtividade dos aquíferos da bacia do rio Jundiá (SP). **Águas Subterrâneas**, 2004. Disponível em:  
<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23307> Acesso: em 01 dez. 2023.

OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION (OSGEO). QGis for Desktop Windows. Versão 3.16.16. 2023.

PETERLINI, G.; PINESE, J. P. P.; CELLIGOI, A. Fatores geológicos e pedológicos que influenciam na produtividade hídrica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região Norte do estado do Paraná. **Caminhos de geografia**, Uberlândia. v. 21, n. 78, p 173-191. 2020.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil**: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM, 2011.

PREFEITURA DE CHAPECÓ. Mapa urbano básico. Disponível em: <<https://web.chapeco.sc.gov.br/documentos/Croquis/>>. Acesso em: 25, nov 2023.

REGINATO, P. A. R.; STRIEDER, A. J. Condicionantes geológicas da ocorrência de ferro e manganês em aquíferos fraturados da formação Serra Geral. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2007. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22165>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). PERH/SC: Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Síntese. 2017. Disponível em: <[www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa\\_e/perh\\_sc\\_plano\\_de\\_acoes-2017-final.pdf](http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_e/perh_sc_plano_de_acoes-2017-final.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2023.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI**: Enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa/IIIE, 2003. 248 p.

VELASCO, C. Quase 90% dos poços artesianos do Brasil são clandestinos, aponta estudo. **G1**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/02/14/quase-90-dos-pocos-artesianos-do-brasil-sao-clandestinos-aponta-estudo.ghtml>>. Acesso em: 23 jun. 2023.

## **5 CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL, NA ÁREA URBANA DE CHAPECÓ (SC)**

### **5.1 INTRODUÇÃO**

O crescimento populacional em Chapecó, município situado na região oeste de Santa Catarina, aliado às atividades industriais e agrícolas em constante expansão, tem gerado uma crescente demanda por água. Tanto a concessionária de abastecimento de água quanto os poços tubulares profundos tornaram-se fontes essenciais para suprir essa necessidade. No entanto, a rápida expansão econômica da cidade está diretamente ligada à escassez de água potável de qualidade, agravada por períodos de estiagem e uma gestão inadequada dos recursos hídricos (FACCO, 2018).

As águas subterrâneas são amplamente utilizadas na região de Chapecó, não apenas pela facilidade de acesso, mas também pela qualidade, muitas vezes resultante da infiltração no solo e do processo de filtração natural (REBOUÇAS, 2008). O aquífero fissural, predominante em rochas ígneas como o basalto, desempenha um papel crucial no fornecimento de água subterrânea. Originado por processos vulcânicos e resfriamento de silicatos em fusão, o basalto, quando fissurado, apresenta-se como um bom aquífero, favorecendo o armazenamento de água (CELLIGOI, 1999; TODD E MAYS, 2005; HARTMANN et al., 2010).

A região oeste dos estados de Santa Catarina e do Paraná, assim como a região norte e noroeste do Rio Grande do Sul, têm como principal fonte de águas subterrâneas o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SCHEIBE E HIRATA, 2008). O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), do qual Chapecó faz parte, é um aquífero fraturado com elevada permeabilidade secundária por fraturas. Estudos indicam que as águas do SASG têm tipologia predominantemente bicarbonatada cálcica e magnesianas, sendo essenciais para o abastecimento em vários estados, incluindo Santa Catarina (MOCELIN E FERREIRA, 2010; MENTE, 2008; SCHEIBE E HIRATA, 2008). Contudo, as atividades antrópicas, especialmente as relacionadas ao uso e ocupação do solo, influenciam significativamente a dinâmica de recarga do SASG (HOFFMANN, 2017; QUAGGIO et al., 2018).

No contexto das legislações e normas, A Resolução CONAMA 396/2008 (BRASIL 2008) e a Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde 888/2021 (BRASIL, 2021) estabelecem diretrizes e valores máximos permitidos para garantir a qualidade dessas águas



para consumo humano. A Portaria de Consolidação nº 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021) estabelece requisitos essenciais para os sistemas de abastecimento de água com captações de mananciais subterrâneos. Parâmetros como fluoreto, cloreto, dureza total, ferro, manganês, sódio, sulfato e sólidos totais dissolvidos (STD) são regulamentados por essa Portaria, garantindo a qualidade da água para o consumo humano.

Apesar da presença de um considerável volume de água superficial e alta pluviometria anual, a região enfrenta períodos recorrentes de escassez de água, intensificado por fatores como: variações climáticas e atividades agropecuárias prejudiciais, como a contaminação dos mananciais superficiais por dejetos de suínos e agrotóxicos, desmatamento, erosão e assoreamento dos rios (FREITAS, CAYE E MACHADO, 2003; PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). A composição hidroquímica dessas águas é influenciada pela interação com as rochas, dissolvendo minerais ao circular entre elas (SHAKYA et al., 2019; XIAO et al., 2021). A qualidade das águas subterrâneas na região de Chapecó é vulnerável a diversas fontes de contaminação, além do fato de ter ocorrido um descontrole na perfuração de poços antigamente, acarretando a construção de poços clandestinos, conforme destacado por Facco et al. (2018). A falta de esgotamento sanitário, dejetos animais, resíduos de agrotóxicos e agroindústrias são fatores preponderantes que demandam um monitoramento rigoroso desse recurso natural.

Carasek (2018), ao investigar a região oeste de Santa Catarina, constatou níveis elevados de ferro (Fe) e manganês (Mn) em 31% e 85% das amostras, não atendendo aos padrões do Ministério da Saúde. Além disso, em 100 poços analisados foram identificados a presença de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e que estava relacionada à ocupação do solo, especialmente em áreas urbanas, evidenciando a contaminação nas zonas urbanas devido a práticas inadequadas, principalmente no que se refere ao descarte inadequado de esgoto.

Estudos recentes em regiões próximas indicam que a hidroquímica das águas subterrâneas do SASG no norte do Rio Grande do Sul também apresenta desafios significativos, como elevadas concentrações de sulfato e sódio, além de pH acima de 9 (NERY, 2023). Mancuso (2021) também investigou o aquífero fraturado Serra Geral no Rio Grande do Sul, região noroeste, destacando que, apesar de 78% das águas atenderem aos padrões de potabilidade, alguns poços apresentaram concentrações de ferro total e fluoreto acima do permitido.

Dada a predominância do uso de poços tubulares profundos na captação de água na área urbana, é imprescindível reunir dados hidrogeológicos específicos para Chapecó. Essas informações são essenciais para uma avaliação abrangente do aquífero fraturado Serra Geral,

entendendo sua capacidade de fornecimento de água, problemas e, acima de tudo, garantindo a sustentabilidade desse recurso para a comunidade.

Ao considerar a necessidade de explorar o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no contexto da área urbana de Chapecó (SC), o propósito deste estudo é avaliar a qualidade das águas subterrâneas provenientes de poços tubulares profundos. Isso será realizado por meio da análise de conformidade com os limites estabelecidos na Resolução CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008) e na Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde 888/2021 (BRASIL, 2021) para águas de consumo humano. Além disso, busca-se caracterizar a hidroquímica das águas subterrâneas, contribuindo para subsidiar a gestão do uso dessas águas, considerando os aspectos qualitativos do sistema.

## 5.2 METODOLOGIA

### 5.2.1 Área de estudo

O município de Chapecó, localizado no Planalto Catarinense, abrange uma área total de 624,846 km<sup>2</sup>, dos quais 66,00 km<sup>2</sup> correspondem à área urbanizada. Chapecó é um importante centro urbano e polo econômico na região do Oeste Catarinense. Sua população, que chegou a 254.781 habitantes em 2022, experimentou um crescimento significativo de 38,81% em relação ao Censo de 2010 (IBGE, 2022).

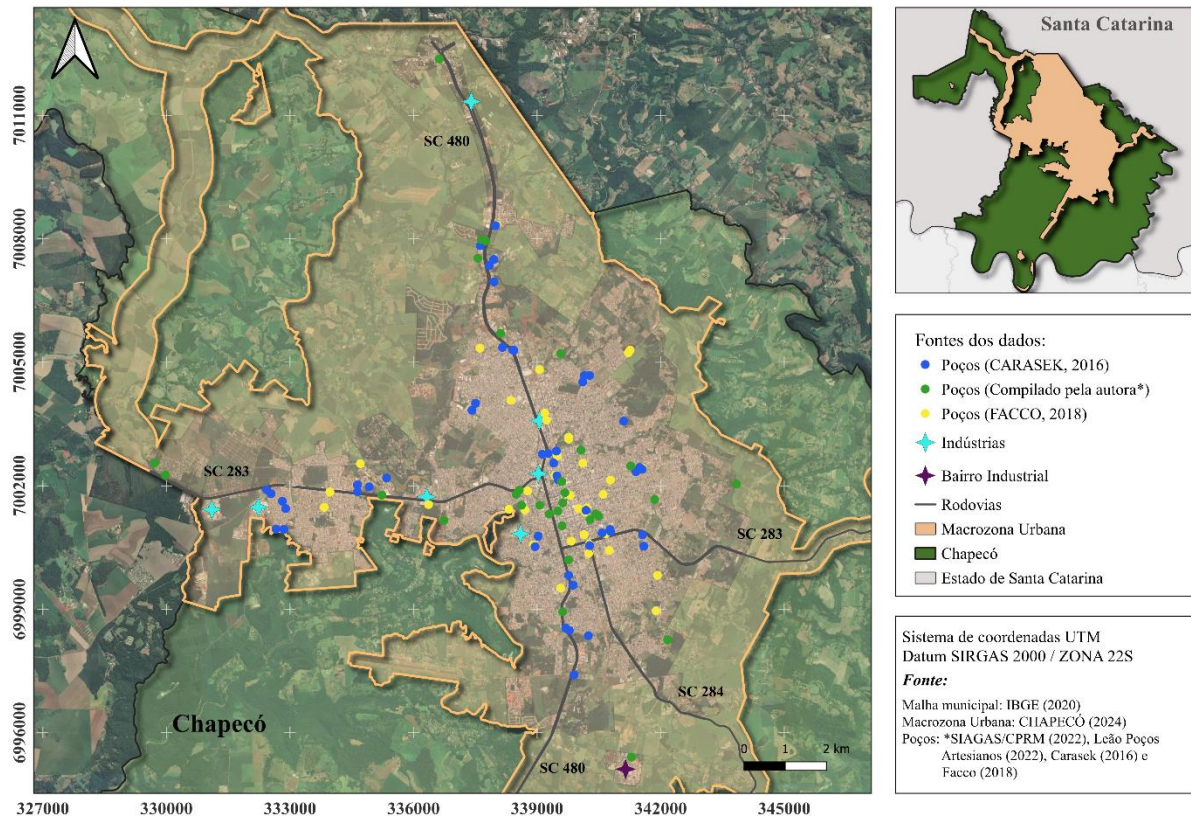
O clima de Chapecó é subtropical úmido, Cfa de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (1928), com precipitação pluviométrica anual variando de 1.800 a 1.900 mm (PINTO et al., 2011), onde o relevo do tipo planaltos contribui diretamente nas condições de recarga e descarga das unidades hidroestratigráficas presentes. Segundo análise de Matiola (2019) a temperatura média mínima de 14°C a 19°C e temperatura média máxima de 25°C a 29°C.

Apesar do desenvolvimento econômico, o município enfrenta desafios relacionados à gestão da água e à sustentabilidade ambiental. A Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) é responsável pelo abastecimento de água nas áreas urbanas, utilizando sete mananciais subterrâneos (poços profundos) e dois mananciais superficiais.

Chapecó é atravessada pelas rodovias BR-480 (Norte-Sul) de saída para o Rio Grande do Sul, BR-283 (Leste-Oeste) saída para Planalto Alegre. Também se tem acesso à rodovia estadual SC-282 de saída para Cordilheira Alta e a SC-157 com saída para Coronel Freitas. Nota-se com isso que o desenvolvimento urbano se deu principalmente nos arredores dessas

principais rodovias e formou a zona urbana que está demonstrada na Figura 1. Na figura a seguir, além dos poços analisados, estão demonstradas as principais indústrias que estão instaladas dentro da área estudada, o bairro industrial e as rodovias principais que cruzam o município.

Figura 1 – Mapa de localização dos poços, com ênfase na representação da área urbana do município de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Conforme apontado pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (PERH/SC) (SANTA CATARINA, 2017), Chapecó está inserido na Região Hidrográfica do Meio Oeste (RH2), abrangendo duas bacias hidrográficas: a Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó e a Bacia Hidrográfica do Rio Irani, além de bacias contíguas com sistemas de drenagem independentes. A área urbana de Chapecó abrange as microbacias de Lajeado Passo dos Índios e Lajeado São José, desempenhando um papel crucial ao longo das diferentes fases econômicas, desde a colonização até o ciclo contemporâneo. Essas bacias hidrográficas são fundamentais para fornecer água para diversas finalidades, incluindo abastecimento doméstico, industrial, agropecuário, comercial e condominial.

## 5.2.2 Obtenção de dados

As informações recolhidas para análise qualitativa são provenientes do SIAGAS (163 poços), do sistema de dados interno pertencente à empresa Leão Poços Artesianos LTDA. (231 poços) e dos autores Carasek (2016) (48 poços) e Facco (2018) (47 poços). Não foram realizadas análises próprias, somente avaliação dos dados coletados. Por tanto, foram compiladas as informações de 489 poços tubulares profundos da cidade de Chapecó (SC). Os parâmetros hidroquímicos levantados foram: sódio ( $\text{Na}^+$ ); potássio ( $\text{K}^+$ ); cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ); magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ); cloretos ( $\text{Cl}^-$ ); carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ); bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ); sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L, além da Condutividade Elétrica (CE), em  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o pH. Para a análise de enquadramento de qualidade da água subterrânea foram analisados os parâmetros: alumínio (Al); cádmio (Cd); chumbo (Pb); cobre (Cu); cloreto ( $\text{Cl}^-$ ); Dureza total; ferro total (Fe T); fluoretos ( $\text{F}^-$ ); manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ); nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ); nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ); pH; sódio ( $\text{Na}^+$ ); Sólidos Totais Dissolvidos (STD); sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ); e zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ). Os dados provenientes do SIAGAS foram coletados a partir do *site* e os da empresa perfuradora foram coletados de sistema e arquivos físicos disponibilizados que estiveram sendo arquivados desde 1947 em seus registros. Ambos os dados foram avaliados e trabalhados estatisticamente conforme demonstrados na seção de resultados desse trabalho gerando, assim, um banco de dados próprio para análise.

## 5.2.3 Caracterização hidroquímica

O processo iniciou-se com a seleção dos poços considerados propícios para a análise hidroquímica, com base nos resultados do balanço iônico. Posteriormente, essas amostras foram submetidas à avaliação do diagrama de Piper, que permitiu a análise dos cátions e ânions em miliequivalentes por litro (meq/L), e aplicação do método de classificação das águas para irrigação. Esse procedimento possibilitou a identificação dos íons predominantes e a classificação hidroquímica das águas subterrâneas na região.

### 5.2.3.1 Balanço iônico

Para ter uma análise hidroquímica completa, a concentração total, expressa em meq/L ou mg/L, de íons positivos (cátions) e íons negativos (ânions), deve ser aproximada (ou o mais próximo possível) para que se tenha um Balanço Iônico, ou seja, o equilíbrio entre esses íons.

Baseado nisso, a aplicação do cálculo do balanço iônico colabora na identificação de possíveis erros analíticos, e permite a identificação de algum íon não analisado, mas presente em grandes quantidades na amostra (FEITOSA, 2008).

O coeficiente de erro da análise foi determinado pelo Erro prático ( $E_p$ ) do método de Custódio e Llamas (1983), que considera a condutividade elétrica como referência, e outro o de Logan (1965) que considera os valores dos íons (ânions ou cátions).

No contexto da área urbana de Chapecó, a primeira etapa desse processo envolveu a seleção de amostras que apresentaram resultados aceitáveis no balanço iônico, com base no erro prático ( $E_p$ ). Esse parâmetro considera as discrepâncias entre os valores dos ânions e cátions, proporcionando uma avaliação crítica da consistência dos dados.

A metodologia adotada para o balanço iônico segue o método proposto por Custódio e Llamas (1983), que se mostrou eficiente na identificação de amostras inconsistentes. Aquelas que não atendem aos critérios estabelecidos por esse método são descartadas das análises hidroquímicas subsequentes. Do total de 489 amostras submetidas ao balanço iônico, apenas 49 apresentaram equilíbrio entre cátions e ânions e foram consideradas para análises adicionais. Isso significa que a quantidade de carga positiva é igual à quantidade de carga negativa na amostra, indicando um equilíbrio químico sendo crucial para garantir a confiabilidade dos resultados analíticos (HOLLER, 2009).

A precisão analítica é um aspecto fundamental na interpretação do balanço iônico. Conforme sugerido por Feitosa et al. (2008), o erro do balanço iônico não deve exceder 10% para que a análise seja considerada analiticamente correta. No entanto, para águas pouco mineralizadas, onde a quantificação de íons com baixas concentrações é desafiadora, são admitidos erros na ordem de 30% (LLAMAS E CUSTODIO, 2002).

É importante reconhecer que altos valores de erro no balanço iônico podem ser atribuídos a diferentes fatores, tais como erros analíticos ou de cálculo, a presença de íons não considerados nas equações, a natureza pouco mineralizada da água ou mesmo resultados atípicos (HOUNSLOW 1995, FEITOSA et al. 2008). A atenção a esses detalhes é fundamental para assegurar a integridade e confiabilidade dos resultados obtidos nas análises hidroquímicas, contribuindo assim para uma interpretação mais precisa da qualidade das águas subterrâneas na região de Chapecó.

### 5.2.3.2 Diagrama de Piper

O diagrama de Piper, por sua vez, desempenhou a função de permitir a classificação e comparação de diferentes grupos de águas com base em seus íons dominantes. Essa abordagem proporcionou uma compreensão mais aprofundada da variabilidade das características químicas das águas subterrâneas na área estudada.

### 5.2.3.3 Classificação das águas para irrigação

Neste estudo, foi empregado um método adicional de interpretação hidroquímica das águas, que consiste na classificação para irrigação, levando em consideração o potencial dessas águas para a atividade agrícola predominante na bacia. Essa classificação é baseada na concentração dos íons sódio, potássio, cloreto e sulfato, juntamente com parâmetros como sais dissolvidos, condutividade elétrica e concentração total de cátions. Acredita-se que esses elementos exercem alguma influência no crescimento das espécies vegetais (FUNCEME, 2015). O software Qualigraf é utilizado para calcular o SAR (razão de adsorção de sódio) e apresentar de forma gráfica e tabular a categoria de cada amostra, seguindo a classificação proposta pelo United States Salinity Laboratory (USSL) (Tabela 1) (FUNCEME, 2015).

Tabela 1 – Classificação das águas para irrigação conforme as categorias propostas pela metodologia da USSL.

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>
C0	Águas de muito baixa Salinidade, que podem ser utilizadas sem restrição para irrigação.
C1	Águas de Salinidade Baixa: podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes quanto à salinização do solo.
C2	Águas de Salinidade Média: devem ser usadas com precaução, em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-siltosos, quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ser cultivados, na maioria dos casos, sem perigo.
C3	Águas de Alta Salinidade: só podem ser usadas em solos bem drenados. Apenas vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados.
C4	Águas de Salinidade Muito Alta: geralmente não servem para irrigação, todavia podem ser excepcionalmente utilizadas em solos arenosos, permeáveis, abundantemente irrigados. Apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados.
C5	Águas de Salinidade Extrema: utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e, unicamente para palmeiras
S1	Águas Fracamente Sódicas: presta-se ao cultivo de quase todos os vegetais.

Tabela 1 – Classificação das águas para irrigação conforme as categorias propostas pela metodologia da USSL.

(continuação)

S2	Águas Medianamente Sódicas: podem ser utilizadas para solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica e com boa permeabilidade.
S3	Águas Altamente Sódicas: há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo nos solos gipsíferos. Exigem tratamento especial do solo e podem ser utilizadas em vegetais com alta tolerância.
S4	Águas Extremamente Sódicas: geralmente imprestáveis para irrigação, salvo se a salinidade global é fraca ou pelo menos média. Podem ser aplicadas em solos altamente drenáveis, ricos em carbonatos

Fonte: Adaptado Feitosa et al. (2008).

#### 5.2.4 Análise estatística e enquadramento dos parâmetros

A análise estatística básica (máxima, média, mínima, quartis e correlação) foi realizada para auxiliar a análise preliminar dos parâmetros hidrogeológicos e como exploratória, permitindo uma avaliação prévia das características hidrogeológicos quantitativas do aquífero fraturado. A produção de gráficos e parte da análise estatística foi realizada por meio do software Microsoft Excel (2022).

As análises estatísticas de correlação foram realizadas no programa PAleontological STatistics (PAST) (HAMMER, 2017).

O coeficiente de correlação de Spearman ( $R^2$ ) gerado pelo teste pode variar de -1 a 1, e mede a direção e a força da correlação entre as duas variáveis classificadas. As categorias de interpretação podem variar, mas foi convencionada a Tabela 2 para interpretação do grau de correlação entre os parâmetros.

Tabela 2 – Interpretação do índice de correlação de Spearman

Valor de $R^2$ (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Adaptado de Baba (2014).

Ou seja, se  $R^2$  for próximo de 1, há uma correlação positiva forte (à medida que uma variável aumenta, a outra também aumenta proporcionalmente). Se  $R^2$  for próximo de -1, há

uma correlação negativa forte (à medida que uma variável aumenta, a outra diminui proporcionalmente). Se  $R^2$  for próximo de 0, há correlação linear muito fraca ou inexistente (para valores de 0), entre as variáveis.

A produção de mapas foi realizada com auxílio do software QGis (OSGEO, 2022), tendo como base o perímetro da área urbana disponibilizado pelo *site* do município de Chapecó (SC) (PREFEITURA DE CHAPECÓ, 2023) georreferenciado de acordo com o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Para a análise da adequação das águas para consumo humano, foram avaliados os parâmetros selecionados com base nas diretrizes de qualidade estipuladas pela Resolução CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008) e pela Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde nº 888/2021 (BRASIL, 2021).

### 5.3 RESULTADOS

A avaliação das águas subterrâneas provenientes do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), no sul do Brasil, revela a complexidade dos processos físicos e químicos que ocorrem no intemperismo das rochas que compõem o aquífero fraturado. A principal fonte de íons solúveis nessas águas é derivada dos processos de alteração mineral, que englobam hidratação/hidrólise, dissolução, precipitação, oxi-redução e complexação (AZEVEDO, FILHO e MANCUSO, 2018; FEITOSA et al., 2008). É interessante observar que essa análise se concentra nos processos naturais, excluindo fatores externos como contaminações das águas de recarga.

As informações recolhidas para análise qualitativa são oriundas de 163 poços cadastrados do SIAGAS, 231 poços do sistema de dados interno pertencente à empresa Leão Poços Artesianos LTDA., 49 poços de Carasek (2016) e 47 poços de Facco (2018). Por tanto, foram compiladas as informações de 489 poços tubulares profundos da cidade de Chapecó (SC), dos quais 126 foram utilizados para zoneamento dos principais parâmetros (Figuras 2 a 4) de qualidade e 49 para análises hidroquímicas (Diagrama de Piper e Classificação para uso na irrigação). É importante reconhecer que essa subamostra representa aproximadamente 10% do universo total de poços. Embora os resultados obtidos desses 49 poços possam oferecer informações relevantes, foi necessário interpretá-los com a devida cautela, levando em consideração a sua representatividade limitada diante dos 489 poços analisados, o que pode impactar a generalização das conclusões para a totalidade da população estudada. Portanto, é



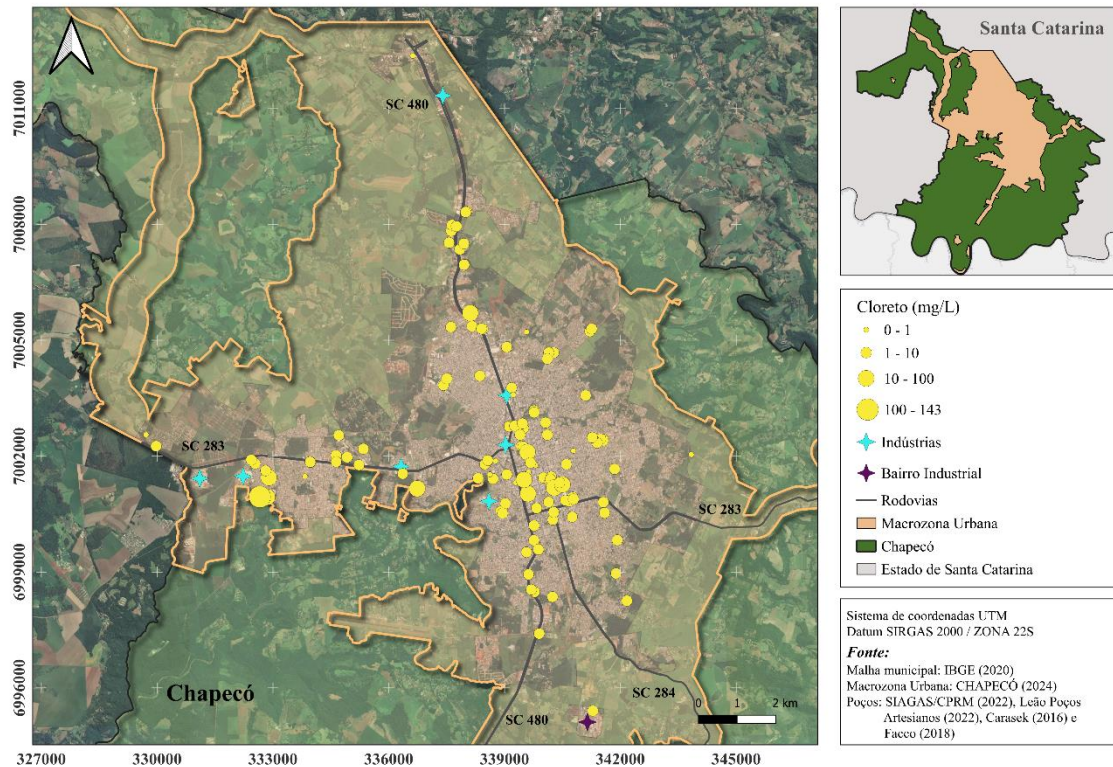
prudente considerar a análise hidroquímica como uma perspectiva específica e não necessariamente abrangente do estado geral da qualidade da água nos poços tubulares de Chapecó (SC).

Vale ressaltar ainda que, apesar do extenso banco de dados compilado, a caracterização hidroquímica do SASG baseou-se em um número variável de parâmetros de qualidade, oscilando entre 5 e 31, dependendo da disponibilidade de informações para cada poço e parâmetro específico.

A composição química das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é influenciada por diversas fontes de solutos, como gases atmosféricos, produtos do intemperismo de rochas e atividades humanas (HEM, 1989). Essas águas, predominantemente em estado iônico, apresentam a presença significativa de cátions e ânions, como sódio, cálcio, bicarbonato, cloreto, entre outros, devido à solubilidade desses compostos. Esse padrão está associado à evolução hidrogeoquímica natural, caracterizada pelo aumento de concentrações ao longo das linhas de fluxo e em áreas confinadas dos aquíferos (SANTOS, 2008). Apesar da boa qualidade geral das águas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no Brasil, observam-se pontualmente anomalias hidrogeoquímicas no aquífero. Concentrações elevadas de elementos como Fluoreto, Cloreto, Nitrato, Sulfato, Sódio, Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e pH têm sido registradas, excedendo as recomendações estabelecidas pelas normas vigentes, como a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria de Consolidação (PRC) nº5/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) (QUAGGIO et al., 2018).

Assim sendo, do total de poços, para 126 foi possível avaliar  $\text{Cl}^-$ , entre os quais houve apenas um poço com concentração elevada de 142mg/L. O poço em questão se situa a oeste da cidade, no bairro Jardim do Lago, a pouco mais de 300m de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de indústria frigorífica de suínos. Por sua vez o  $\text{Cl}^-$ , o que está presente em todas as águas naturais, sendo observados para águas subterrâneas valores médios de até 100mg/L e pode ser um indicativo de contaminação por efluentes sanitários (FEITOSA et al., 2008). Na área mais central da cidade ocorreu máxima de 21mg/L e em até 75% dos demais poços, ocorreram valores inferiores a 5,0mg/L (Figura 2).

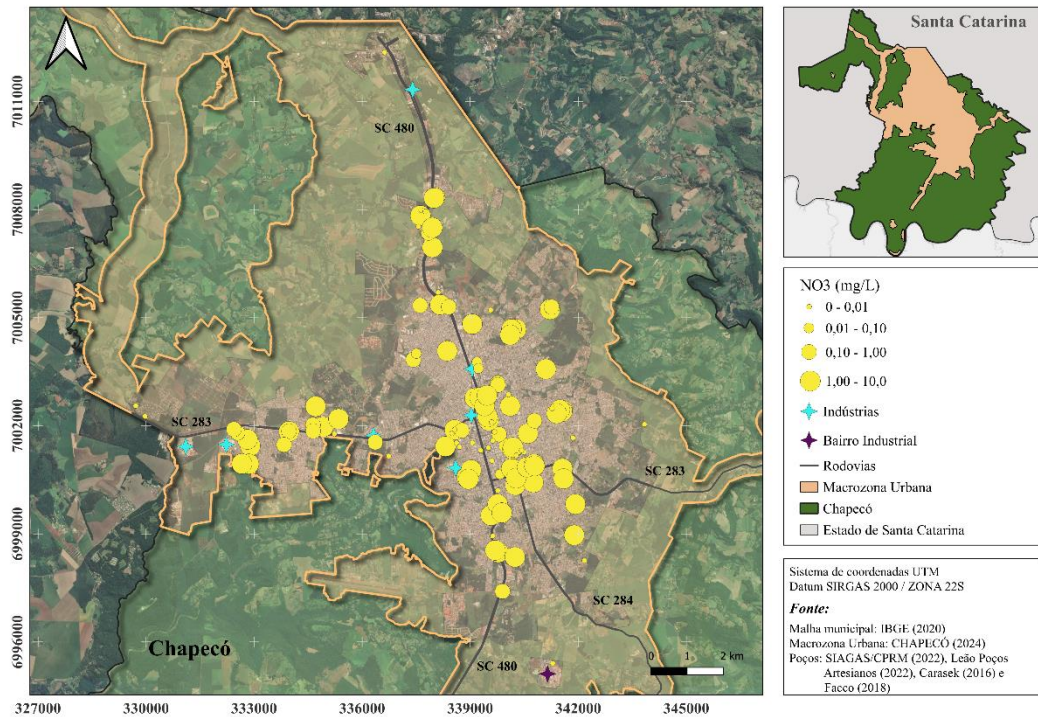
Figura 2 – Distribuição espacial da concentração de cloreto (Cl<sup>-</sup>) em mg/L no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) para 126 poços na cidade de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborada pela autora.

Em avaliação a concentrações de nitrato, para os 31 poços do banco de dados próprio, não havia registro de análise para esse parâmetro. Entretanto, para os 95 poços reunidos de Carasek (2016) e Facco (2018), todos apresentaram concentrações de  $\text{NO}_3^-$ , mesmo que baixas. Para os 126 poços analisados para  $\text{NO}_3^-$ , concluiu-se que em até 75% dos poços não ultrapassou 2,3 mg/L, onde o teor médio é de 1,48mg/L e máximo de 8,2mg/L. Esse valor máximo foi encontrado para um poço que se localiza ao sul, no bairro Palmital, próximo a uma indústria de bebidas (Figura 3). Da mesma forma, Nicolai (2001) avaliou concentrações de  $\text{NO}_3^-$  de 100 amostras de água de poços de Chapecó (SC) e em apenas um esse ânion não foi detectado, sendo a maior concentração de 6,6 mg/L. Nesse sentido, como o  $\text{NO}_3^-$  é, geralmente proveniente da decomposição de esgoto e fezes, por exemplo, teores acima de 5 mg/L podem ser indicativo de contaminação da água subterrânea por esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, resíduos de animais, entre outros (FEITOSA et al., 2008).

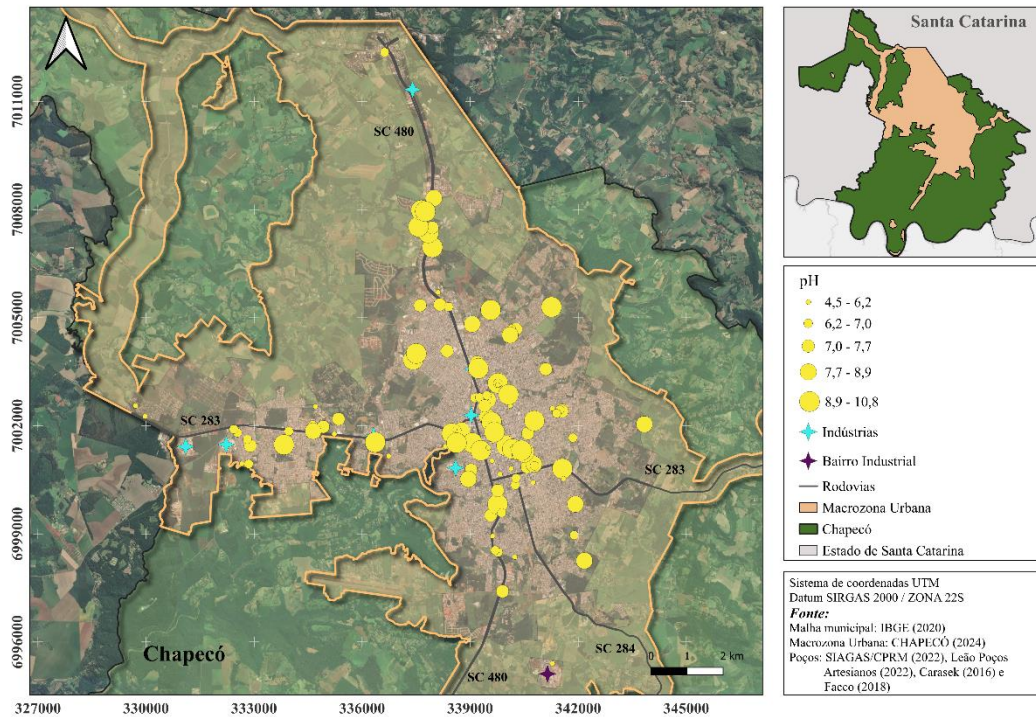
Figura 3 – Distribuição espacial da concentração de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) em mg/L no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) para 126 poços na cidade de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborado pela autora.

Outro parâmetro importante para avaliação da qualidade das águas subterrâneas é o pH, mesmo não influenciando diretamente sobre os consumidores finais (WHO, 2003). Dos 126 poços analisados com registros de pH na faixa 4,51 a 10,77, observou-se uma média de 7,7, mediana de 7,2 e percentil 75% de 8,86. Segundo Feitosa et al. (2008) a maioria das águas subterrâneas possui pH entre 5,5 e 8,5, podendo variar de 3 a 11 em casos excepcionais, sendo que os valores mais altos associam-se preferencialmente à alcalinidade de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos. Considerando que a faixa de pH ideal estabelecida pela Portaria nº 888 de 2021 (BRASIL, 2021) é de pH de 6 a 9, 38 poços se apresentaram com valores além dos limites considerados.

Figura 4 – Distribuição espacial do pH no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) para 126 poços na cidade de Chapecó (SC).



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3.1 Balanço Iônico

Foram compilados em um único banco de dados um total de 489 poços, mas somente 49 foram utilizados nesse estudo para a análise hidroquímica, em decorrência da disponibilidade de informações necessárias para a caracterização que, conseqüentemente, não permitiram realizar o balanço iônico a todos os poços. Com isso, 440 poços não foram inclusos na análise de balanços iônicos de Custodio & Llamas (1983) ou Logan (1965) respectivamente representados pela sigla B.I.1 e B.I.2. O balanço iônico dos 49 poços que atenderam a pelo menos um dos balanços estão representados na Tabela 3 e a síntese estatística desse balanço está representada na Tabela 4.

Tabela 3 – Balanço Iônico e erro analítico nas águas subterrâneas de 49 poços da área urbana de Chapecó, que atenderam pelo menos um dos balanços iônicos a que foram submetidos.

Nº ID	Na+K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Cl (meq/L)	CO <sub>3</sub> + HCO <sub>3</sub> (meq/L)	SO <sub>4</sub> (meq/L)	CE (µS/cm)	Σ CÁTIONS (meq/L)	Σ ÂNIONS (meq/L)	B.I.1 (%)	B.I.2 (%)	OBSERVAÇÃO
102E	0,050	0,080	0,099	0,467	0,000	0,039	0,0	0,229	0,507	75,57	37,79	Não atende B.I. 2
10C	0,431	0,586	0,148	0,099	0,944	0,010	142,3	1,165	1,053	10,05	5,03	OK
11C	0,412	0,588	0,158	0,099	0,947	0,010	142,4	1,159	1,057	9,21	4,61	OK
12C	0,211	0,714	0,568	0,161	1,160	0,034	181,9	1,493	1,355	9,71	4,85	OK
13C	1,619	0,378	0,075	0,079	1,416	0,007	183,4	2,072	1,502	31,90	15,95	Não atende B.I. 1
13F	1,233	0,657	0,169	0,051	1,354	0,850	252,3	2,060	2,254	9,01	4,51	OK
14C	1,653	0,125	0,026	0,079	1,311	0,033	170,4	1,803	1,424	23,54	11,77	OK
156E	0,874	0,700	0,296	0,135	1,967	0,012	117,0	1,870	2,114	12,28	6,14	OK
15C	0,431	0,784	0,121	0,121	1,121	0,006	146,2	1,336	1,248	6,76	3,38	OK
21E	2,727	0,140	0,158	0,480	3,404	0,004	199,2	3,025	3,888	24,97	12,48	OK
229E	1,096	0,740	0,055	0,043	1,103	0,648	198,7	1,892	1,793	5,35	2,68	OK
22C	1,968	0,460	0,097	0,099	2,786	0,004	232,3	2,525	2,888	13,43	6,71	OK
231E	1,350	0,320	0,041	0,028	1,328	0,152	143,7	1,712	1,508	12,64	6,32	OK
23C	0,605	0,999	0,488	0,181	2,622	0,059	331,0	2,092	2,861	31,06	15,53	Não atende B.I. 1
24C	0,403	0,681	0,145	0,040	1,275	0,001	155,6	1,228	1,316	6,88	3,44	OK
33E	3,279	0,040	0,002	0,161	2,948	0,021	250,0	3,321	3,130	5,92	2,96	OK
3F	0,537	1,297	0,175	0,088	1,872	0,129	241,5	2,010	2,088	3,83	1,92	OK
46C	0,209	0,157	0,133	0,141	0,436	0,106	60,7	0,499	0,683	31,27	15,64	Não atende B.I. 1
46F	0,484	0,827	0,165	0,031	1,433	0,104	165,7	1,475	1,568	6,06	3,03	OK
47C	0,564	0,468	0,163	0,040	1,000	0,013	118,1	1,194	1,052	12,70	6,35	OK
48C	0,412	0,573	0,146	0,079	0,928	0,012	142,0	1,131	1,019	10,47	5,23	OK
49C	0,244	0,236	0,177	0,121	0,629	0,024	80,6	0,657	0,774	16,42	8,21	OK
50C	0,300	0,663	0,220	0,220	0,980	0,014	168,2	1,183	1,214	2,58	1,29	OK
51C	1,637	0,076	0,079	0,059	1,439	0,020	185,0	1,792	1,519	16,50	8,25	OK
51F	0,740	1,188	0,294	0,031	1,800	0,458	275,5	2,221	2,289	2,99	1,49	OK
52C	0,790	0,753	0,074	0,141	1,367	0,017	189,7	1,617	1,525	5,88	2,94	OK
52F	0,560	0,379	0,030	0,014	0,977	0,104	120,3	0,970	1,095	12,14	6,07	OK
54F	1,287	1,265	0,178	0,031	2,839	0,123	35,3	2,730	2,993	9,20	4,60	OK
55F	0,706	0,735	0,091	0,150	1,787	0,148	239,8	1,533	2,084	30,47	15,23	Não atende B.I. 1
56F	0,609	0,930	0,226	0,079	0,351	0,104	44,6	1,765	0,534	107,13	53,56	Não atende B.I. 2
58C	0,466	0,585	0,129	0,121	0,885	0,044	144,0	1,180	1,050	11,69	5,84	OK
59C	1,471	0,870	0,087	0,161	1,950	0,047	257,5	2,428	2,158	11,78	5,89	Não atende B.I. 1
59F	1,958	0,589	0,001	0,025	2,360	0,104	271,2	2,548	2,490	2,30	1,15	OK
60C	0,276	0,250	0,180	0,240	0,354	0,058	87,7	0,706	0,652	8,09	4,05	OK
63F	1,673	0,527	0,104	0,110	1,564	0,104	214,2	2,304	1,778	25,80	12,90	OK
66C	0,432	0,579	0,147	0,079	0,928	0,012	142,4	1,158	1,019	12,80	6,40	OK
67C	0,425	0,585	0,154	0,079	0,908	0,017	142,3	1,163	1,004	14,74	7,37	OK
68C	0,418	0,363	0,091	0,079	0,954	0,026	146,1	0,872	1,059	19,35	9,68	OK
68F	0,617	0,588	0,152	0,076	1,049	0,104	147,5	1,357	1,229	9,89	4,95	OK
6E	0,971	0,280	0,118	0,056	1,743	0,072	127,0	1,369	1,871	30,97	15,48	Não atende B.I. 1
72F	3,805	0,259	0,001	0,062	0,213	0,104	49,9	4,065	0,379	165,87	82,93	Não atende B.I. 2
75C	3,834	0,027	0,002	0,141	3,724	0,041	342,0	3,863	3,906	1,12	0,56	OK
7C	1,437	0,366	0,067	0,079	2,356	0,010	172,5	1,870	2,445	26,66	13,33	OK
80E	2,526	0,040	0,041	0,009	2,897	0,021	180,7	2,607	2,926	11,55	5,77	OK
82F	0,586	0,828	0,104	0,079	1,360	0,025	135,7	1,518	1,464	3,61	1,81	OK
86F	1,500	0,815	0,080	0,079	1,711	0,056	207,9	2,395	1,846	25,86	12,93	OK
87F	0,386	0,905	0,058	0,040	0,928	0,029	144,7	1,349	0,996	30,06	15,03	Não atende B.I. 1
8C	1,639	0,361	0,065	0,079	1,426	0,010	185,2	2,066	1,515	30,74	15,37	Não atende B.I. 1
9C	0,413	0,583	0,149	0,079	0,914	0,010	142,2	1,146	1,004	13,18	6,59	OK

Fonte: Nº ID: C: Carasek (2016). E: dado compilado pela autora da base de dados da Leão Poços. F: Facco (2018).

Nota-se que os dados revelam a maior diferença nos valores de B.I.1 e B.I.2 entre os poços 72F e 75C, destacados na Tabela 3. O poço 72F, proveniente de Facco (2018), possui

concentrações mais elevadas de  $\text{Na}^+\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , o que pode contribuir significativamente para os valores altos de Balanço Iônico. Apesar das concentrações iônicas elevadas, a condutividade elétrica do poço 72F é relativamente baixa ( $49,9 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Já o poço 75C, proveniente de Carasek (2016), exibe a composição iônica mais baixa entre os poços analisados, com valores moderados para  $\text{Na}^+\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Nesse último caso, a presença de  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  em quantidades consideráveis sugere uma possível influência de bicarbonatos, o que pode contribuir para uma neutralização parcial das cargas iônicas. Contudo, a condutividade elétrica do poço 75C é a mais alta ( $342 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) entre os 49 poços analisados, sendo explicada pela maior concentração total de íons ( $\text{Na}^+\text{K}^+$  e  $\text{CO}_3^{2-}+\text{HCO}_3^-$ ) na água. Os valores resultantes entre esses cátion e ânions ( $\text{Na}^+\text{K}^+=3,834\text{meq}/\text{L}$  e  $\text{CO}_3^{2-}+\text{HCO}_3^-=3,724\text{meq}/\text{L}$ ) também explica o motivo pelo qual esse poço possui o menor erro percentual nos balanços iônicos.

Entre os poços avaliados neste estudo, verifica-se que não foram encontrados valores extremos para os parâmetros contemplados no balanço, sendo que a C.E., obteve a maior diferença da mediana (Tabela 4). Esse parâmetro indica a presença de sais dissolvidos, sendo necessário considerar esses valores em relação aos padrões aceitáveis para uso da água.

Tabela 4 – Síntese dos resultados da análise de balanço iônico aceitos pelo método Custodio e Llamas (1983) aplicados aos 49 poços com erro aceito pelo método.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Mediana	3º Quartil
$\text{Na}^+\text{K}^+$ (meq/L)	0,050	3,83	0,62	1,50
$\text{Ca}^{2+}$ (meq/L)	0,027	1,30	0,59	0,74
$\text{Mg}^{2+}$ (meq/L)	0,001	0,57	0,12	0,16
$\text{Cl}^-$ (meq/L)	0,009	0,48	0,08	0,14
$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ (meq/L)	0	3,72	1,33	1,80
$\text{SO}_4^{2-}$ (meq/L)	0,001	0,85	0,03	0,10
CE (meq /L)	0	342,00	155,60	199,20
$\Sigma$ CÁTIONS (meq/L)	0,229	4,07	1,62	2,09
$\Sigma$ ÂNIONS (meq/L)	0,379	3,91	1,50	2,11
<b>B.I.1 (%) Custodio e Llamas (1983)</b>	1,120	165,87	12,28	25,80
<b>B.I.2 (%) Logan (1965)</b>	0,560	82,93	6,14	12,90

Fonte: Elaborado pela autora.

A presença de sódio e potássio ( $\text{Na}^+\text{K}^+$ ) colaboram para revelar informações sobre a salinidade das águas subterrâneas na cidade estudada (FEITOSA, 2008), com isso, nota-se que, a mediana e o 3º quartil indicam uma predominância de águas com baixa concentração desses

íons. Além disso, os resultados referentes a presença de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) e bicarbonatos e carbonatos ( $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ ) que estão relacionados à dissolução de minerais magnesianos dissolução de minerais carbonáticos, respectivamente, indicam uma variação moderada, com a mediana apontando para uma concentração relativamente baixa. Já a presença de sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) é um indicativo da influência de processos redox e os resultados sugerem uma baixa concentração desse íon nas águas subterrâneas.

A concentração de cálcio ( $Ca^{2+}$ ) destaca a contribuição das rochas calcárias na formação do aquífero. A mediana sugere uma presença moderada, enquanto o 3º quartil indica a ocorrência de águas com níveis mais elevados desse íon. Esses resultados juntamente com os somatórios de cátions e ânions refletem a heterogeneidade das condições hidroquímicas, haja vista a variação considerável com a mediana.

A importância dessas águas subterrâneas por se localizarem em área urbana é significativa e a quantidade limitada de dados utilizados destaca a necessidade contínua de monitoramento e pesquisa para obter uma visão abrangente e precisa da hidroquímica do aquífero.

### 5.3.2 Diagrama de Piper

O diagrama de Piper, como uma ferramenta gráfica, permitiu visualizar a composição química das águas subterrâneas com base nos íons principais, como cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), sódio ( $Na^+$ ), bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), e cloreto ( $Cl^-$ ). Os resultados fornecidos para os 49 poços são categorizados em quatro principais tipos de água, cada um representando uma combinação específica desses íons (Figura 5 e Tabela 5).

A maioria dos poços (aproximadamente 40%) apresenta características de água sódica bicarbonatada. Nery (2023), também destaca a prevalência de águas sódicas bicarbonatadas no SASG I, com 66 poços apresentando essa característica na Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea (BHRV), no noroeste do Rio Grande do Sul.

Tabela 5 – Classificação hidroquímica das águas de 49 poços instalados na área urbana de Chapecó (SC).

Nº ID	Na+K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Cl (meq/L)	CO <sub>3</sub> + HCO <sub>3</sub> (meq/L)	SO <sub>4</sub> (meq/L)	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS
3F	12,60	25,95	2,13	3,10	114,20	6,20	Cálcica Bicarbonatada
13F	28,60	13,14	2,06	1,80	82,60	40,80	Sódica Bicarbonatada
46F	11,20	16,55	2,00	1,10	87,40	5,00	Cálcica Bicarbonatada
51F	17,00	23,77	3,57	1,10	109,80	22,00	Cálcica Bicarbonatada
52F	14,20	7,58	0,37	0,50	59,60	5,00	Sódica Bicarbonatada
54F	30,00	25,30	2,16	1,10	173,20	5,90	Mista Bicarbonatada
55F	16,40	14,71	1,11	5,30	109,00	7,10	Mista Bicarbonatada
56F	18,20	18,61	2,75	2,80	21,40	5,00	Cálcica Bicarbonatada
59F	45,00	11,79	0,01	0,90	144,00	5,00	Sódica Bicarbonatada
63F	43,00	10,55	1,26	3,90	95,40	5,00	Sódica Bicarbonatada
68F	15,00	11,77	1,85	2,70	64,00	5,00	Mista Bicarbonatada
72F	89,20	5,18	0,01	2,20	13,00	5,00	Sódica Bicarbonatada
82F	13,80	16,56	1,27	2,80	83,00	1,20	Cálcica Bicarbonatada
86F	34,80	16,31	0,97	2,80	104,40	2,70	Sódica Bicarbonatada
87F	10,20	18,10	0,70	1,40	56,60	1,40	Cálcica Bicarbonatada
7C	33,33	7,32	0,82	2,80	90,00	0,50	Sódica Bicarbonatada
8C	37,96	7,23	0,79	2,80	87,00	0,50	Sódica Bicarbonatada
9C	10,67	11,66	1,82	2,80	55,80	0,50	Cálcica Bicarbonatada
10C	11,20	11,72	1,80	3,50	57,60	0,50	Cálcica Bicarbonatada
11C	10,68	11,77	1,92	3,50	57,80	0,50	Cálcica Bicarbonatada
12C	5,37	14,28	6,91	5,70	70,80	1,62	Mista Bicarbonatada
13C	37,44	7,57	0,91	2,80	86,40	0,34	Sódica Bicarbonatada
14C	38,40	2,49	0,32	2,80	80,00	1,60	Sódica Bicarbonatada
15C	11,13	15,68	1,47	4,30	68,40	0,28	Cálcica Bicarbonatada
22C	46,02	9,21	1,18	3,50	121,40	0,18	Sódica Bicarbonatada
23C	14,91	19,99	5,93	6,40	160,00	2,81	Mista Bicarbonatada
24C	9,77	13,62	1,76	1,40	77,80	0,05	Cálcica Bicarbonatada
46C	6,17	3,13	1,62	5,00	26,60	5,11	Mista Bicarbonatada
47C	13,81	9,36	1,98	1,40	61,00	0,60	Mista Bicarbonatada
48C	10,66	11,47	1,77	2,80	56,60	0,57	Cálcica Bicarbonatada
49C	6,91	4,72	2,15	4,30	38,40	1,13	Mista Bicarbonatada
50C	8,08	13,27	2,67	7,80	59,80	0,67	Cálcica Bicarbonatada
51C	38,01	1,51	0,96	2,10	87,80	0,97	Sódica Bicarbonatada
52C	18,66	15,06	0,90	5,00	83,40	0,80	Mista Bicarbonatada
58C	12,27	11,70	1,57	4,30	54,00	2,09	Mista Bicarbonatada
59C	34,24	17,41	1,06	5,70	119,00	2,26	Sódica Bicarbonatada
60C	7,21	5,00	2,19	8,50	21,60	2,77	Mista Bicarbonatada
66C	11,28	11,59	1,79	2,80	56,60	0,59	Cálcica Bicarbonatada
67C	11,08	11,70	1,87	2,80	55,40	0,80	Cálcica Bicarbonatada
68C	10,82	7,27	1,10	2,80	58,20	1,26	Mista Bicarbonatada
75C	88,46	0,53	0,02	5,00	159,00	1,97	Sódica Bicarbonatada
102E	1,26	1,60	1,20	16,57	0,00	1,89	Mista Cloretada
156E	20,93	14,00	3,60	4,80	120,00	0,57	Mista Bicarbonatada
6E	22,76	5,60	1,44	2,00	65,00	3,44	Sódica Bicarbonatada
229E	25,87	14,81	0,67	1,53	59,00	31,10	Sódica Bicarbonatada
231E	31,25	6,40	0,50	1,00	80,50	7,30	Sódica Bicarbonatada
80E	58,10	0,80	0,50	0,30	123,00	1,00	Sódica Bicarbonatada
21E	62,78	2,80	1,92	17,00	125,00	0,21	Sódica Bicarbonatada
33E	75,50	0,80	0,02	5,69	122,00	1,00	Sódica Bicarbonatada

Fonte: Nº ID: C: Carasek (2016). E: dado compilado pela autora da base de dados da Leão Poços. F: Facco (2018).

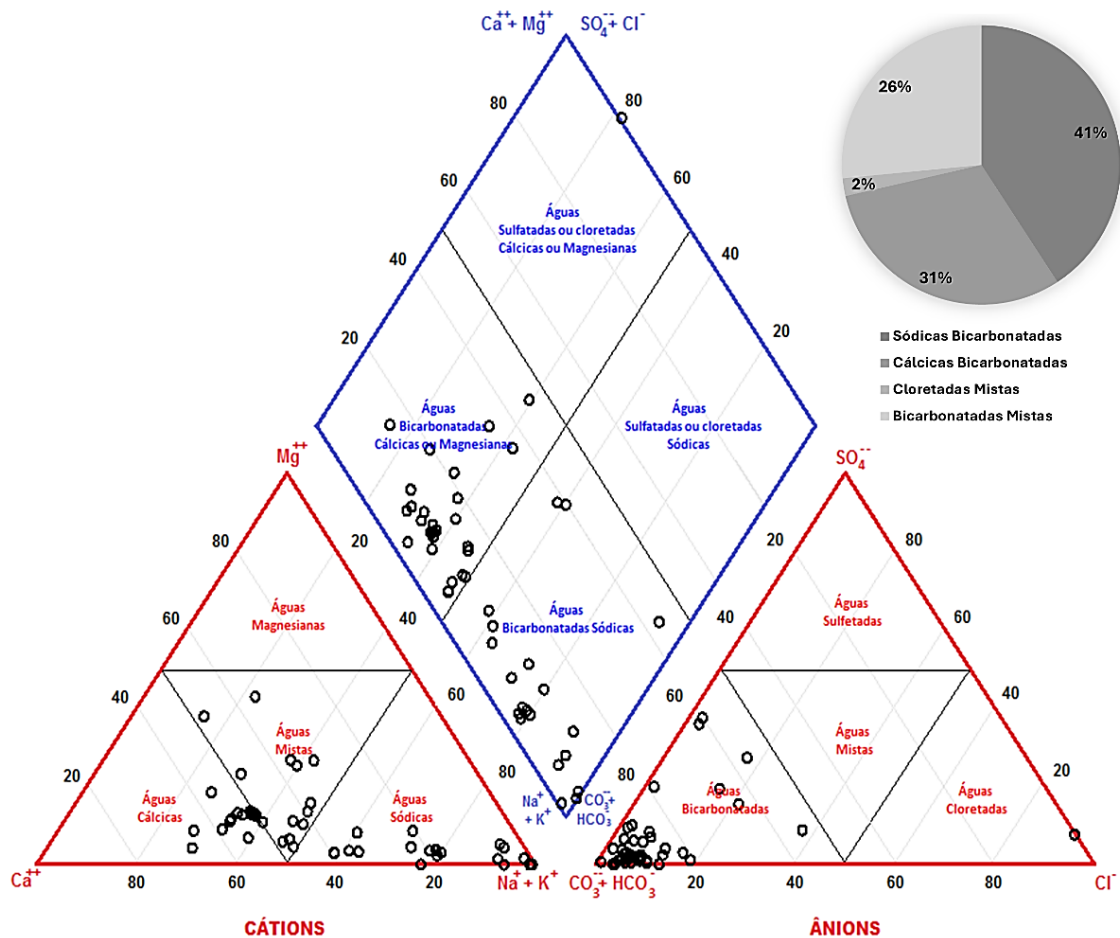
Cerca de um quarto dos poços (26,53%) exibem características de água bicarbonatadas mistas. De maneira semelhante, Ribeiro (2019) evidenciou a ocorrência de 3 classes principais para os 42 poços estudados no município de Caxias do Sul (RS), inseridos no SASG



apresentando águas bicarbonatadas mistas (47%), bicarbonatadas cálcicas (30%) e bicarbonatadas sódicas (14%). Reginato et al. (2013) também contribuiu com informações sobre amostras de águas do SASG, coletadas na região nordeste do Rio Grande do Sul, apresentando uma classificação diversificada, com destaque para águas bicarbonatadas sódicas (38%), bicarbonatadas cálcicas (33%), e águas bicarbonatadas mistas (25%).

Além disso, contribuindo com a variedade de classes, em 30,6% (15 poços) foram encontradas águas Cálcicas bicarbonatadas, e a parcela restante, que contempla apenas 1 poço (2%), se caracterizou em cloretada mista. Uma distribuição variada nos tipos de água indica uma heterogeneidade na composição química das águas subterrâneas na região. Essa diversidade pode ser resultado de diferentes processos geológicos, condições hidrogeológicas locais e interações entre a água subterrânea e as formações rochosas (REBOUÇAS, 1998; ANA, 2005).

Figura 5 – Resultados da representação gráfica em % e Diagrama de Piper de 49 poços analisados quanto à classificação hidroquímica das águas subterrâneas na área urbana do município de Chapecó (SC).



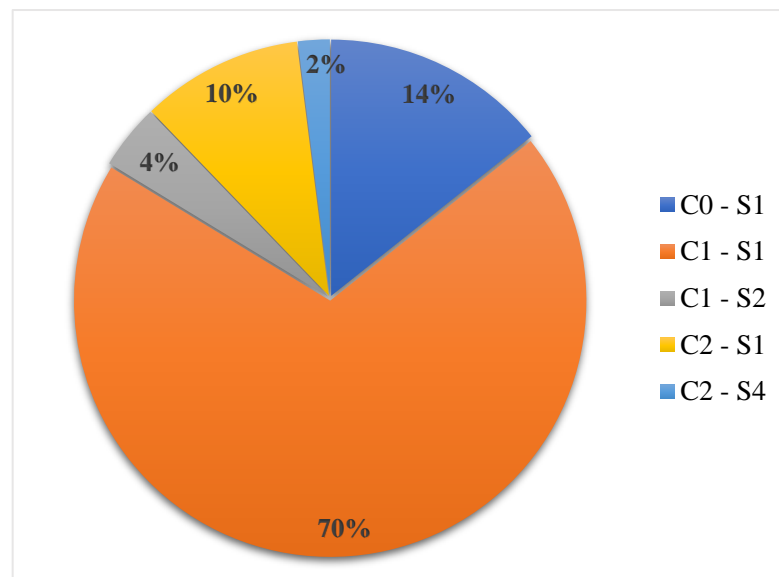
Fonte: Elaborada pela autora.

### 5.3.3 Classificação das águas para irrigação

A classificação das águas para irrigação ocorreu foi realizada com os mesmos 49 poços submetidos à análise do Diagrama de Piper, permitindo identificar as principais classes obtidas conforme a metodologia proposta por USSL (Tabela 6, Figura 6 e Figura 8).

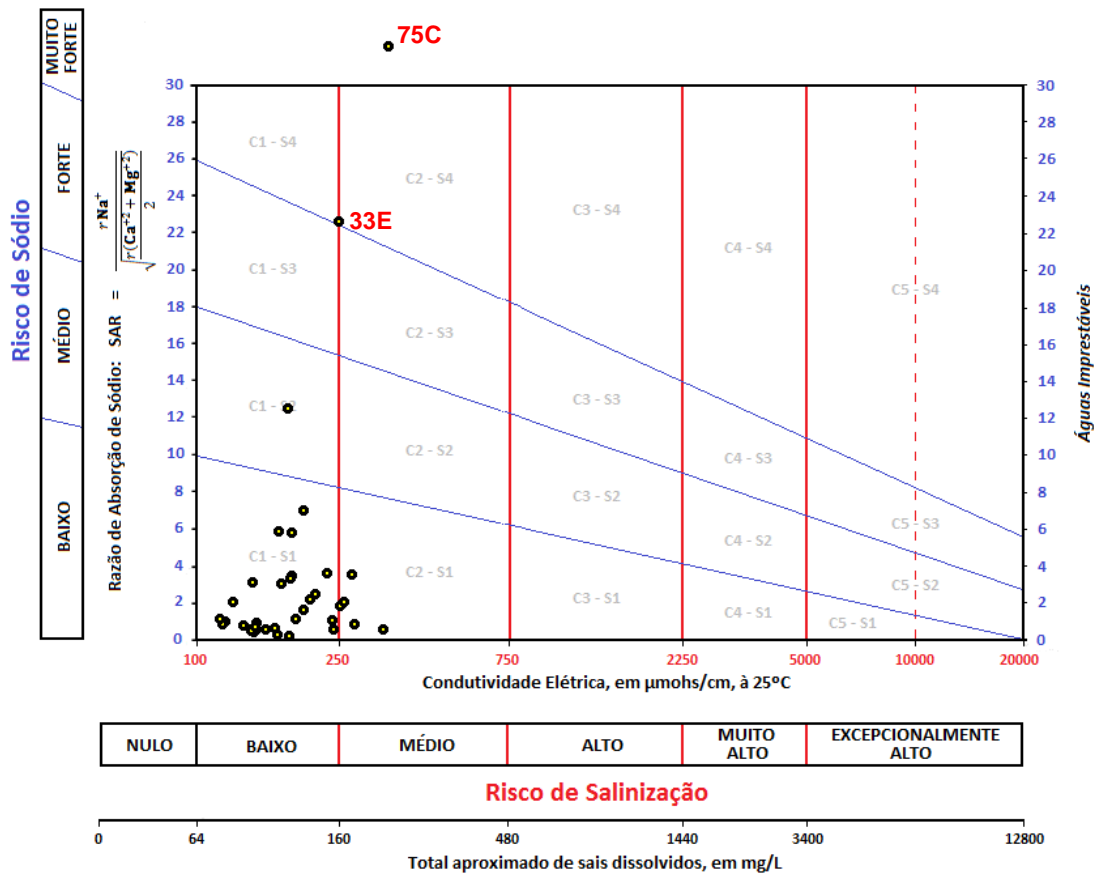
Observa-se que as classes predominantes nos poços analisados foram C1 – S1 (34 poços, 69,4%), C0 – S1 (7 poços, 14,3%), C2 – S1 (5 poços, 15%), C1 – S2 (2 poços, 4,1%) e C2 – S4 (1 poço, 2%) (Figura 6). Essa predominância indica que as águas subterrâneas na região são majoritariamente de salinidade baixa, permitindo a irrigação da maioria das culturas e apresentando baixo risco de salinização do solo. Além disso, são classificadas como fracamente sódicas, o que as torna adequadas para o cultivo. Essa conclusão corrobora com Freitas et al. (2002), que explica que de modo geral, as águas do aquífero fraturado basáltico não apresentam restrições quanto a sua utilização na irrigação, estando predominantemente nas classes C1-S1 e C2-S1.

Figura 6 – Distribuição percentual (%) das classes identificadas para os 49 poços sobre a área urbana de Chapecó (SC) conforme metodologia proposta por USSL para uso das águas subterrâneas na irrigação.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 7 – Classificação das águas subterrâneas de 49 poços localizados na cidade de Chapecó (SC) para uso na irrigação, conforme a metodologia proposta por USSL.



Fonte: Elaborada pela autora.

Nota-se ainda na Figura 7 que os poços destacados (75C e 33E) e em destaque na Tabela 6, se diferiram dos demais principalmente no quesito risco de sódio, ambos classificando-se na categoria S4, sendo consideradas águas extremamente sódicas.

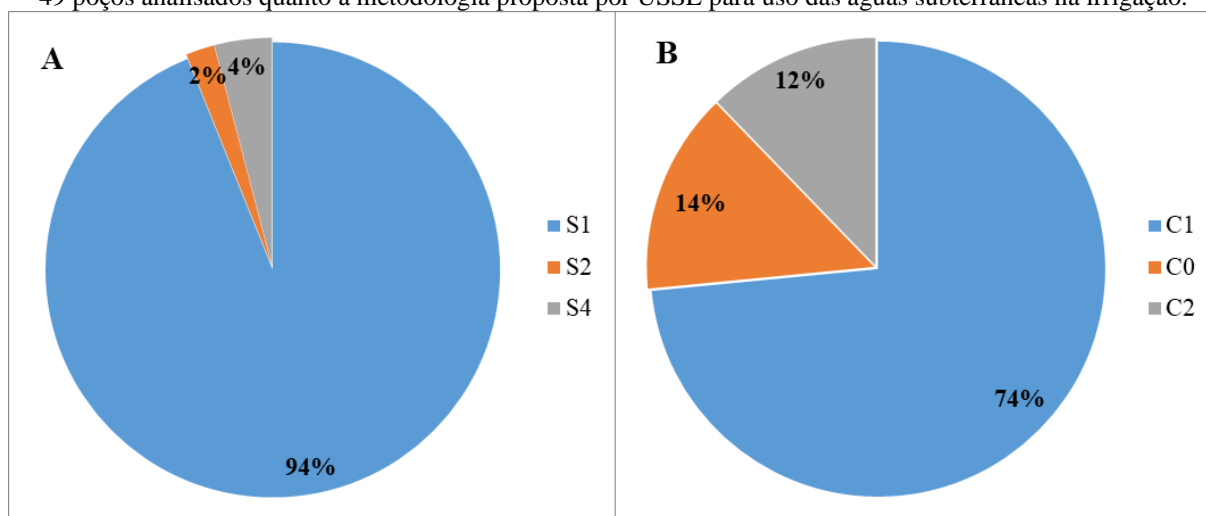
Quanto ao risco de sódio e risco de salinização, observa-se que 94% (46) dos poços apresentaram águas fracamente sódicas (S1) e em 73% (36) dos poços as águas apresentaram salinidade baixa (C1) (Figura 8). No entanto, em 4% das amostras (2 poços) as águas foram extremamente sódicas (S4), conforme mencionado anteriormente para os poços 75C e 33E. Além disso, 6 poços (12%) classificam-se como águas de salinidade média, as quais devem ser usadas com precaução em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-siltosos, quando houver uma lixiviação moderada do solo. Por outro lado, 7 poços (14%) apresentam-se como águas de muito baixa salinidade, podendo ser utilizadas sem restrições para irrigação.

Tabela 6 – Classificação das águas para irrigação de 49 poços localizados na cidade de Chapecó (SC).

Nº ID	Na+K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	CE (µS/cm)	SAR (RAS)	CLASSIFICAÇÃO
3F	12,00	25,95	2,13	241,50	0,61	C1 - S1
13F	28,00	13,14	2,06	252,30	1,90	C2 - S1
46F	11,00	16,55	2,00	165,70	0,68	C1 - S1
51F	17,00	23,77	3,57	275,50	0,86	C2 - S1
52F	11,00	7,58	0,37	120,30	1,06	C1 - S1
54F	29,00	25,30	2,16	35,30	1,49	C0 - S1
55F	16,00	14,71	1,11	239,80	1,08	C1 - S1
56F	8,00	18,61	2,75	44,60	0,46	C0 - S1
59F	45,00	11,79	0,01	271,20	3,60	C2 - S1
63F	32,00	10,55	1,26	214,20	2,48	C1 - S1
68F	13,00	11,77	1,85	147,50	0,93	C1 - S1
72F	85,00	5,18	0,01	49,90	10,26	C0 - S1
82F	13,00	16,56	1,27	135,70	0,83	C1 - S1
86F	34,00	16,31	0,97	207,90	2,21	C1 - S1
87F	7,00	18,10	0,70	144,70	0,44	C1 - S1
7C	32,60	7,32	0,82	172,50	3,05	C1 - S1
8C	37,30	7,23	0,79	185,20	3,51	C1 - S1
9C	7,82	11,66	1,82	142,20	0,56	C1 - S1
10C	8,05	11,72	1,80	142,30	0,58	C1 - S1
11C	7,76	11,77	1,92	142,40	0,55	C1 - S1
12C	4,11	14,28	6,91	181,90	0,22	C1 - S1
13C	36,90	7,57	0,91	183,40	3,37	C1 - S1
14C	37,40	2,49	0,32	170,40	5,93	C1 - S1
15C	8,15	15,68	1,47	146,20	0,53	C1 - S1
22C	44,10	9,21	1,18	232,30	3,63	C1 - S1
23C	12,49	19,99	5,93	331,00	0,63	C2 - S1
24C	8,52	13,62	1,76	155,60	0,58	C1 - S1
46C	2,85	3,13	1,62	60,70	0,33	C0 - S1
47C	11,74	9,36	1,98	118,10	0,91	C1 - S1
48C	7,78	11,47	1,77	142,00	0,56	C1 - S1
49C	3,75	4,72	2,15	80,60	0,36	C0 - S1
50C	5,22	13,27	2,67	168,20	0,34	C1 - S1
51C	37,10	1,51	0,96	185,00	5,81	C1 - S1
52C	17,46	15,06	0,90	189,70	1,18	C1 - S1
58C	8,50	11,70	1,57	144,00	0,62	C1 - S1
59C	33,20	17,41	1,06	257,50	2,09	C2 - S1
60C	5,13	5,00	2,19	87,70	0,48	C0 - S1
66C	7,99	11,59	1,79	142,40	0,58	C1 - S1
67C	7,88	11,70	1,87	142,30	0,56	C1 - S1
68C	7,90	7,27	1,10	146,10	0,72	C1 - S1
75C	87,70	0,53	0,02	342,00	32,16	C2 - S4
102E	1,00	1,60	1,20	0,00	0,15	C0 - S1
156E	18,87	14,00	3,60	117,00	1,16	C1 - S1
6E	21,69	5,60	1,44	127,00	2,11	C1 - S1
229E	24,25	14,81	0,67	198,70	1,67	C1 - S1
231E	30,75	6,40	0,50	143,70	3,15	C1 - S1
80E	58,00	0,80	0,50	180,70	12,53	C1 - S2
21E	62,56	2,80	1,92	199,20	7,05	C1 - S1
33E	75,20	0,80	0,02	250,00	22,67	C1 - S4

Fonte: Nº ID: C: Carasek (2016). E: dado compilado pela autora da base de dados da Leão Poços. F: Facco (2018).

Figura 8 – Percentual (%) de presença das classes indicativas de risco de sódio (A) e de salinização (B) para os 49 poços analisados quanto à metodologia proposta por USSL para uso das águas subterrâneas na irrigação.



Fonte: Elaborada pela autora.

### 5.3.4 Enquadramento de parâmetros

Avaliando o total de poços (394 do banco de dados compilado do SIAGAS e Leão Poços), quanto ao enquadramento com os padrões estipulados pela Portaria do Ministério da Saúde nº 888 de 2021, (BRASIL, 2021) e CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008 (BRASIL, 2008), elaborou-se a Tabela 7 com a síntese dos compostos com cadastro de análise para água subterrânea. A partir dos resultados disponíveis para os poços estudados, as análises encontradas dispunham desde análises básicas, somente de pH e turbidez, até as mais completas, com 32 parâmetros, sendo a minoria dos casos.

Dos poços que possuíam análises cadastradas, foram encontradas amostras com valores acima do VMP admitidos pela Portaria de Consolidação nº 888/2021 (BRASIL, 2021) nos parâmetros Cloreto (1,3%), pH (32,7%), Turbidez (5,4%), Fluoreto (1,5%), Cor aparente (8,6%), Nitrato (4,1%), Ferro total (6,1%), Manganês (3,9%), Sódio (3,1%) e STD (3,1%). A Resolução CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008) se difere da Portaria apenas por ser menos restritiva para dois parâmetros: STD e Cádmiio. Não havia cadastro de nenhum poço com análise para Cádmiio. Para STD, levando em consideração o VMP indicado na referida Resolução CONAMA, nenhum poço, dos 32 com análise, excedeu o preconizado em relação ao STD (Tabela 7).

Além dos parâmetros que estão contemplados nas normativas mencionadas, foram inclusos na Tabela 7 a estatística de outros 13 parâmetros que estavam cadastrados para alguns poços como: Cálcio Total, Magnésio, Alcalinidade, Hidróxidos, Carbonatos, Bicarbonatos,

Condutividade Elétrica, DBO, DQO, Dióxido de Carbono, Fosfato Total, Potássio e Sílica dissolvida.

A análise dos resultados do parâmetro pH foi possível em 113 poços na região. Os 113 poços apresentaram uma média de pH de 7,946, com valores variando de 5 a 10,77, e mediana de 8,0. O terceiro quartil foi de 9,37, indicando uma dispersão significativa dos dados. Além disso, 37 poços estão acima do Valor Máximo Permitido (V.M.P) pela Portaria nº 888 de 2021 (BRASIL, 2021) que estabelece a faixa de pH de 6 a 9, sugerindo uma preocupação com a alcalinidade/acidificação das águas subterrâneas. Facco (2017) destaca que a alteração do pH pode estar associada a fatores como disposição inadequada de resíduos, uso de pesticidas e fertilizantes.

Carasek (2016) também ressaltou a presença de valores de pH fora dos padrões na área urbana na cidade de Chapecó, tendendo a serem mais ácidos (média de 7,4) e, provavelmente associados à infiltração de matéria orgânica. Ele também menciona a correlação com a quantidade excessiva de poços ativos na zona urbana, sugerindo superexploração como possível influência na variação do pH. Nery (2023) reporta resultados similares, com uma mediana de pH de 7,9 em poços urbanos, com uma variação entre 5 e 10.

Segundo Feitosa (2008) o pH é essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água, no entanto apresentam relação direta fraca ( $R^2 = 0,38$ ) e moderada ( $R^2 = 0,44$ ), respectivamente. A alcalinidade, por sua vez, apresentou média de 88,28 mg/L de 43 poços com análise e o dióxido de carbono dissolvido, dos 20 poços cadastrados, apresentou média de 6,05 mg/L.

Apenas um dos 65 poços apresentou concentração de fluoreto acima do VMP, atingindo 2,18mg/L. Em relação ao sódio, dos 32 poços analisados, apenas um excedeu o limite do VMP, registrando concentrações máximas de 574,35mg/L. Quanto ao cloreto, entre os 72 resultados obtidos, apenas um poço atingiu a concentração de 250mg/L, ultrapassando o VMP. Em uma avaliação qualitativa realizada por Formentini, Mancuso e Albuquerque Filho (2016) sobre as águas do SASG na BHRV, constatou-se que 35 dos poços analisados apresentaram valores acima do VMP para fluoreto, sódio, sulfatos, cloretos e condutividade elétrica.

Tabela 7 – Síntese dos resultados das características químicas da água subterrânea de poços tubulares profundos perfurados no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na área urbana do município de Chapecó(SC).

Parâmetro	Unidade	Poços com análise	Média	Mínimo	Máximo	Mediana	3º Quartil	V.M.P MS <sup>1</sup>	V.M.P Conama <sup>2</sup>	Nº de poços acima do V.M.P
<b>Cloreto</b>	mg/L	72	11,97	0	250	6,295	13,89	250,00	250,00	1
<b>Dureza Total</b>	mg/L	72	36,77	0	178	18,92	51,75	300,00	nc	0
<b>Nitrito</b>	mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L	69	0,05	0	0,25	0,03	0,05	1,00	1,00	0
<b>pH</b>	-	113	7,95	5	10,77	8	9,37	6 - 9	nc	<b>37</b>
<b>Turbidez</b>	NTU	129	1,82	0	55	0,54	1,2	5,00	nc	7
<b>Fluoreto</b>	mg/L	65	0,30	0	2,18	0,2	0,41	1,50	1,50	1
<b>Cor Aparente</b>	ppm	70	7,17	0	75	5	7,375	15,00	nc	6
<b>Nitrato</b>	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	73	3,23	0	33,4	1,33	3,9	10,00	10,00	3
<b>Ferro Total</b>	mg Fe/L	65	0,11	0	2,42	0,03	0,05	0,30	0,30	4
<b>Manganês</b>	mg Mn/L	51	0,03	0	0,44	0,02	0,03	0,10	0,10	2
<b>Sódio</b>	mg Na/L	32	54,45	0	574,35	29,88	62,14	200,00	200,00	1
<b>STD</b>	mg/L	32	137,85	0	524	115,7	180,5	500,00	1000,00	1
<b>Sulfato</b>	mg SO <sub>4</sub> /L	31	11,38	0,21	188	3	3,22	250,00	250,00	0
<b>Zinco</b>	mg Zn/L	3	0,07	0	0,17	0,04	0,105	5,00	5,00	0
<b>Cromo</b>	mgCr/L	5	0,0001	0,007	0,007	0,007	0,007	0,05	nc	-
<b>Cobre</b>	mg Cu/L	5	0,0001	0,006	0,006	0,006	0,006	2,00	2,00	0
<b>Chumbo</b>	mg Pb/L	5	0,0001	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01	0
<b>Alumínio</b>	mgAl/L	4	0,07	0,04	0,13	0,06	0,0925	5,00	0,20	0
<b>Cálcio Total</b>	mg Ca/L	65	7,90	0	47,3	2,8	13,2	nc	nc	-
<b>Magnésio</b>	mg Mg/L	65	3,32	0	101	1,5	1,94	nc	nc	-
<b>Alcalinidade Total</b>	mg/L	43	88,28	0	166	96	123,5	nc	nc	-
<b>Hidróxidos</b>	mg/L	30	10,39	0	160	0	7,88	nc	nc	-
<b>Carbonatos</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	38	35,57	0	110	27	59	nc	nc	-
<b>Bicarbonatos</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	35	51,31	0	163	46	90,50	nc	nc	-
<b>CE</b>	µS/cm	147	177,55	13	958	148	221,00	nc	nc	-
<b>DBO</b>	mg/L	22	1,82	0	5,5	1,3	2,19	nc	nc	-
<b>DQO</b>	mg/L	22	16,53	0	40,7	12	34,55	nc	nc	-
<b>Dióxido de Carbono</b>	mg/L	20	6,05	0	60	3	3	nc	nc	-
<b>Fosfato</b>	mg/L	24	0,26	0,03	0,96	0,205	0,48	nc	nc	-
<b>Potássio</b>	mg/L	31	1,06	0,08	2,06	1,1	1,62	nc	nc	-
<b>Sílica Dissolvida</b>	mg/L	29	26,83	0	96	25,35	36,97	nc	nc	-

<sup>1</sup>V.M.P. MS: Valor Máximo Permitido pelo Ministério da Saúde Portaria nº 888 de 2021, (BRASIL, 2021).

<sup>2</sup>V.M.P. CONAMA: Valor Máximo Permitido pelo CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, (BRASIL, 2008).

nc - Não consta nenhuma especificação de V.M.P.

Fonte: Elaborada pela autora.

Apenas um dos 65 poços apresentou concentração de fluoreto acima do VMP, atingindo 2,18mg/L. Em relação ao sódio, dos 32 poços analisados, apenas um excedeu o limite do VMP, registrando concentrações máximas de 574,35mg/L. Quanto ao cloreto, entre os 72 resultados obtidos, apenas um poço atingiu a concentração de 250mg/L, ultrapassando o VMP. Em uma avaliação qualitativa realizada por Formentini, Mancuso e Albuquerque Filho (2016) sobre as águas do SASG na BHRV, constatou-se que 35 dos poços analisados apresentaram valores acima do VMP para fluoreto, sódio, sulfatos, cloretos e condutividade elétrica.

Para os metais (Zn, Cr, Cu, Pb e Al) se obteve no máximo 5 poços com análise e nenhum deles extrapolou o VMP. Para compostos nitrogenados como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NO}_2^-$ , baseou-se em 73 e 69 poços, respectivamente, onde apenas para  $\text{NO}_3^-$  ocorreram 3 poços (4,1%) que estão em desacordo com o VMP pelas normativas avaliadas. Quanto aos metais e compostos nitrogenados, Carasek (2016) relata que, embora metais e compostos nitrogenados estejam dentro dos limites de potabilidade nos 50 poços urbanos que analisou em Chapecó (SC), observou a presença de  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  em todos os poços analisados, indicando uma possível influência antrópica. Nery (2023) também destaca a associação dos poços urbanos com maiores quantidades de  $\text{NO}_3^-$ , Cd, Cu e  $\text{NH}_4^+$ , enquanto os poços rurais são caracterizados por Fe, Mn e pH.

Os resultados para Fe e Mn indicam que algumas amostras excedem os valores máximos permitidos (V.M.P) estabelecidos pelo Ministério da Saúde e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Em relação ao ferro, a média de 0,11 mg/L sugere uma presença natural desse metal na água subterrânea. Entretanto, quatro poços (de um total de 65) apresentam concentrações acima do V.M.P, indicando possíveis problemas estruturais na construção dos poços. A explicação de Facco et al. (2018) corrobora essa observação, sugerindo que a entrada direta de água superficial em alguns poços durante eventos pluviométricos pode aumentar a concentração de ferro, especialmente em áreas com elevado teor desse metal no solo. Além disso, a demanda de oxigênio disponível nas águas superficiais pode acelerar processos de oxidação das rochas ígneas, contribuindo para a presença de ferro na água.

A literatura também destaca que o ferro é frequentemente encontrado em águas subterrâneas devido à dissolução desse íon das rochas vulcânicas que possuem minerais ferromagnesianos, os quais, quando quimicamente intemperizados acabam por fornecer os elementos de Fe e Mn para os solos e, conseqüentemente, para as águas que circulam por eles (REGINATO E STREIDER *apud* HAUSMAN, 1995, p. 5). A concentração de ferro está diretamente relacionada ao tipo de solo, à pluviosidade e ao tipo de formação geológica, conforme discutido por Celligoi (1999).



Quanto ao manganês, a média de 0,03 mg/L indica uma concentração relativamente baixa. Contudo, dois poços (de um total de 51) apresentam valores acima do V.M.P. As explicações fornecidas por Carasek (2016) e as considerações gerais sobre a presença de manganês em recursos hídricos subterrâneos indicam a influência da formação geológica, especialmente a presença de minérios como biotita, pirolusita e rodocrosita. Esses minerais podem levar a variações nas concentrações de manganês na água subterrânea. A presença de Mn está associada ao contato da água com minérios específicos, e concentrações acima de 0,05 mg/L podem impactar a potabilidade da água (CELLIGOI, 1999).

O parâmetro C.E. foi o que se obteve maior quantidade de poços com essa análise (147 poços) apresentando valor médio de 177,55  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , variando de 13,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 958,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 221,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o 3º quartil. O valor máximo sugere a presença de fontes de poluição ou contaminação que podem estar relacionadas a atividades urbanas. Freitas (2016) dividiu em quatro classes os valores de CE a partir da Análise Exploratória de Dados de 7620 poços que captam água do SASG no norte/noroeste do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina, e considerou como anômalos os resultados acima de 378,35  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e são decorrentes de salinidade elevada, uma vez que está diretamente relacionada à quantidade de íons dissolvidos na água. Conforme a distribuição da salinidade realizada em classes por Freitas (2016), apenas 2% das águas coletadas são jovens, infiltradas recentemente pela recarga meteórica através do manto de alteração da rocha ígnea ( $\text{CE} < 117,35 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), e 78% são águas típicas do SASG (entre 117,35 e 378,35  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Portanto, a presença de compostos iônicos, como cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos, pode contribuir para os valores observados.

O poço que apresentou valor mais alto só possuía cadastro de análise de cor (1 ppm), turbidez (0,4 NTU) e CE (958,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), no entanto, possui profundidade elevada em relação aos demais poços de 871m. Freitas e Roisenberg (2016) explicam que existe uma zona estrutural na Formação Alto Uruguai/Meio Oeste que está limitada pelos rios Irani e do Peixe, de direção N60°E. A espessura, dessa zona, varia de 400 a 1000 metros e a condutividade atinge um valor máximo de 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se assemelhando ao resultado avaliado.

Embora as normativas avaliadas limitem a cor aparente em até 15ppm, Feitosa et al. (2008) explica que para ser potável, uma água não deve apresentar nenhuma cor de considerável intensidade. No presente estudo, 6 poços, dos 70 contemplados na análise, excederam o limite estipulado, resultando em média de 7,37ppm e alcançando valor máximo de 75ppm. Segundo a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), a cor na água é desencadeada pela presença de substâncias húmicas, taninos e por metais como ferro e manganês e resíduos industriais fortemente coloridos (FUNASA, 2013). No entanto, para esse poço não foram cadastradas

análises de outros parâmetros que pudessem explicar o valor elevado, além da turbidez que foi de 55 NTU. Segundo o teste de correlação a cor aparente teve relação direta forte com o ferro ( $R^2 = 0,87$ ), magnésio ( $R^2 = 0,88$ ) e teor de cálcio ( $R^2 = 0,89$ ) corroborando com a explicação da FUNASA.

A dureza total dos 72 poços com registro de análise não demonstrou poços fora dos padrões de potabilidade estabelecidos. No entanto esse parâmetro apresentou uma correlação muito forte com o cloreto ( $R^2 = 0,96$ ) e nitrato ( $R^2 = 0,95$ ), indicando uma interdependência entre esses dois parâmetros. Além disso, foram observadas correlações fortes com ferro ( $R^2 = 0,87$ ), cálcio ( $R^2 = 0,86$ ), magnésio ( $R^2 = 0,85$ ), fluoreto ( $R^2 = 0,78$ ) e alcalinidade ( $R^2 = 0,71$ ). O sulfato também mostrou uma correlação moderada com a dureza, evidenciada por um  $R^2$  de 0,58. Feitosa et al. (2008) aborda a dureza da água e suas relações com diferentes íons, destacando que a dureza total é a soma da dureza temporária (ou de carbonatos) e a dureza permanente (ou de não carbonatos). Com base nisso, o autor explica que a dureza total é, portanto, produzida pelos íons de cálcio e de magnésio que se combinam com os íons de sulfato, cloreto, nitrato e outros.

#### 5.4 CONCLUSÃO

A caracterização físico-química das águas subterrâneas no SASG permitiu a identificação e quantificação dos principais constituintes químicos presentes no aquífero fraturado. Esse conhecimento é essencial para compreender a qualidade da água disponível nessa importante fonte hídrica para o município.

Em resumo, a pesquisa realizada com poços urbanos perfurados no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na cidade de Chapecó revelou uma complexidade nas características hidroquímicas dessas águas subterrâneas. A compilação de dados envolveu 489 poços, dos quais apenas 49 foram utilizados para análises hidroquímicas devido à disponibilidade de informações necessárias para a caracterização. A exclusão de poços na análise de balanços iônicos destacou a necessidade de mais dados abrangentes para compreender completamente a diversidade hidroquímica da região.

Houve predominância de águas sódica bicarbonatada em cerca de 40% dos poços, enquanto aproximadamente 26,5% exibiram características de água bicarbonatadas mistas, apontando para processos geoquímicos distintos entre as diferentes tipologias encontradas.

Ao avaliar os poços em relação aos padrões estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 888 de 2021 (BRASIL, 2021) e CONAMA nº 396 de 2008 (BRASIL, 2008), a

pesquisa identificou uma variação significativa nas análises realizadas. As amostras apresentaram uma gama de parâmetros analisados, desde análises básicas até as mais completas. Observou-se que, dos poços com análises cadastradas, alguns excediam os VMP em diversos parâmetros de acordo com a Portaria, principalmente para pH com 32,7% dos poços, destacando preocupações potenciais com a qualidade da água subterrânea.

A comparação dos resultados indica que a qualidade da água subterrânea na região é afetada por influências geológicas, atividades antrópicas e uso do solo. A variação nos valores de pH destaca a complexidade das interações entre diferentes parâmetros e processos que podem impactar a qualidade da água subterrânea.

Esses resultados apontam para a necessidade contínua de monitoramento e gestão efetiva dos recursos hídricos subterrâneos em Chapecó, visando garantir a segurança e sustentabilidade do abastecimento de água na região. Com isso, futuros estudos, em maior quantidade de poços e com análises mais completas, poderão responder de forma mais precisa o comportamento do aquífero e colaborar para avaliar as mudanças ao longo do tempo e implementar medidas de gestão adequadas para garantir a sustentabilidade do recurso hídrico na região.

## 5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil** - Cadernos de Recursos Hídricos, Volume 5.- Brasília-DF, 2005. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes>. Acesso em 26 de Out. de 2023.

BABA, R. K., VAZ, M. S. M. G. e COSTA, J. da. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online]. 2014, v. 29, n. 4 [Acessado 4 Novembro 2023], pp. 515-526. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-778620130611>>. Epub 24 Nov 2014. ISSN 1982-4351.

BRASIL. **Portaria n. 888**, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n° 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 mai. 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 19 jun. 2022.

BRASIL. **Resolução n° 396**, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Conama. Brasília.

CARASEK, F. L. **Qualidade da água subterrânea do Sistema Aquífero Serra Geral na região Oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Unochapecó, Chapecó, 2015. 74p.

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Geografia**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 91-97, jan/jun. 1999.

CHAPECÓ. **Lei n° 4413**, de 30 de abril de 2002. (Regulamentada pelo Decreto n° 10892/2002). Dispõe sobre a criação do sistema de informações municipais de águas subterrâneas - SIMAS e dá outras providências. Chapecó, SC: Diário Oficial da União, 2002.

CHAPECÓ. **Lei Complementar n° 541**, de 26 de novembro de 2014. Aprova o Plano Diretor de Chapecó – PDC. Chapecó, 2014. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/plano-diretor-chapeco-sc>. Chapecó, SC: Diário Oficial da União, 2014.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterránea**. Segunda ed. Barcelona: 1983.

FACCO, J. **Os usos e a qualidade das águas do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral-SAIG/SG no município de Chapecó(SC)**. 2018. 318p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191070?show=full>. Acesso em: 17 julho 2023.

FORMENTINI, J.; MANCUSO, M.A.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. Estruturação de base de dados de qualidade das águas subterrâneas voltada para a gestão da Bacia do Rio da Várzea, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental** (RBGEA), v.6, p.88–97, 2016.

FREITAS, M E ROISENBERG, A. Análise exploratória de dados de condutividade elétrica nas águas do sistema aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Águas Subterrâneas**, 31(1):1-17, 2016.

FREITAS, M. A.; CAYE, B. R.; MACHADO, J.F.L. **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do estado de Santa Catarina**: Projeto oeste de Santa Catarina/PROESC. Porto Alegre: CPRM/SDM(SC)/SDA(SC)/EPAGRI. 100 p. 2003.

FREITAS, M. A.; CAYE, B. R.; MACHADO, J.F.L; ANTUNES, R.B. E MIRANDA JUNIOR, G.X. **Água Subterrânea**: um recurso vital para o oeste catarinense. In: XII **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 2002, São Paulo. Anais [...] ABAS, 2002.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). Qualigraf v.1.17. 2015. Disponível em: < <http://www3.funceme.br/qualigraf/>>. Acesso em: 18 abr. 2023.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE - FUNASA. **Manual prático de análise da água**, 4 ed, Brasília, 2013.

HAMMER, Ø. Paleontological Statistics Version 3.15. Reference manual. Natural History Museum. University of Oslo, 2017, 253 p.

HEM, J.D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Third Edition. Alexandria: U.S Geological **Survey Water-Supply**, 1989. 272p.

HOFFMANN, G. P. **Efeitos da modificação do uso da terra sobre o comportamento do escoamento em área de descarga do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral**. 2017. 255 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

HOUNSLOW, A.W. Water quality data analysis and interpretation. **CRC Press**, Boca Raton, p 416, 1995.

HOLLER, F. J. **Princípios de Análise Instrumental**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 1055 p., il. ISBN 9788577804603.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/chapeco/panorama>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

LLAMAS, M. R.; CUSTODIO, E. Intensive use of groundwater: a new situation which demands proactive action. **Intensive use of groundwater**: challenges and opportunities, p. 13-31, 2002.

LOGAN, J. The Interpretation of Chemical Analyses of Water. 1º Ed, U.S. **Agency for International Development**. 1965.

MANCUSO, M. A. & SANTOS, C. E. Avaliação hidrogeológica quali-quantitativa do aquífero fraturado Serra Geral, localizado no noroeste do Rio Grande do Sul. **Geologia USP**. Série

Científica, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 71-88, 2021. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v21-176588. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/183948>. Acesso em: 2 out. 2023.

MANCUSO, M. A.; SANTOS, C. E. Avaliação hidrogeológica quali-quantitativa do aquífero fraturado Serra Geral, localizado no noroeste do Rio Grande do Sul. **Geologia USP. Série Científica**, v. 21, n. 1, p. 71-88, 2021.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Excel, versão 2311. Editora: Microsoft Corporation, 2022.

MOCELLIN, R. C.; FERREIRA, F. J. F. **Conectividade e compartimentação dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani no sudoeste do estado do Paraná, Brasil**. In: **REVISTA BRASILEIRA DE GEOCIÊNCIAS**. 39(3): 567-579, setembro de 2009. Disponível em: <[www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/7699/7126](http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/7699/7126)>. Acesso em: 23 Nov. 2023

NERY, B. J. **Potencialidade hídrica do sistema aquífero serra geral da bacia hidrográfica do Rio da Várzea**. 2023. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2023. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/28513/DIS\\_PPGEA\\_2023\\_NERY\\_BIANCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/28513/DIS_PPGEA_2023_NERY_BIANCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 15 nov. 2023

NICOLAI, Gilberto. **Avaliação das concentrações de nitratos na água subterrânea do município de Chapecó(SC)**. 2001. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and earth system sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PREFEITURA DE CHAPECÓ. Mapa urbano básico. Disponível em: <<https://web.chapeco.sc.gov.br/documentos/Croquis/>>. Acesso em: 25, nov 2023.

QUAGGIO, C. S., GASTMANS, D., KIRCHHEIM, R., & BATISTA, L. V. Variações na composição das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral em território brasileiro e sua relação com anomalias hidrogeoquímicas. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, p. 283-294, 2018.

REBOUÇAS, A. C. Importância da água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C et. al. (Org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

REBOUÇAS, A. da C. Desenvolvimento das águas subterrâneas no Brasil. In: X Congresso Brasileiro de águas subterrâneas – **Revista Águas Subterrâneas**. – São Paulo: 1998 11p. ISSN (Eletrônico) 2179- 9784. Disponível em: <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1178/showToc>.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; SCHNEIDER, V. E. Caracterização hidroquímica do sistema aquífero Serra Geral na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, v. 27, n. 1, 2013.

REGINATO, P. A. R.; STRIEDER, A. J. CONDICIONANTES GEOLÓGICOS DA Ocorrência de ferro e manganês em aquíferos fraturados da formação Serra Geral. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2007. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22165>>. Acesso em: 29 nov. 2023.

RIBEIRO, M. E.; VARGAS, T.; DAL BOSCO, V.; MAIER, D. C.; BELLADONA, R. **Caracterização hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no município de Caxias do Sul, RS**. In: **XXIII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2019. Foz do Iguaçu (PR). Anais [...]. ABRHidro – Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). PERH/SC: Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Síntese. 2017. Disponível em: <[www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa\\_e/perh\\_sc\\_plano\\_de\\_acoes-2017-final.pdf](http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_e/perh_sc_plano_de_acoes-2017-final.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2023.

SANTOS, A. C. **Noções de hidroquímica**. In: FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 323-357.

SCHEIBE, L.F; HIRATA, R. **O contexto tectônico dos sistemas aquíferos Guarani Serra geral em Santa Catarina: Uma revisão**. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 105, 2008, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008, p. 1-14.

SHAKYA, B. M., NAKAMURA, T., SHRESTHA, S. D., & NISHIDA, K. Identifying the deep groundwater recharge processes in an intermountain basin using the hydrogeochemical and water isotope characteristics. **Hydrology Research**, [S.L.], v. 50, n. 5, p. 1216-1229, jul. 2019. IWA Publishing. <<http://dx.doi.org/10.2166/nh.2019.164>>

TODD, D.K.; MAYS, L.W. Groundwater hydrology. 3. ed. USA: John Willey & Sons. 2005.

WHO. 2003. pH in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for **Drinking-water Quality**. Geneva, WHO Press. (WHO/SDE/ WSH/03.04/12).

XIAO, J., WANG, L., CHAI, N., LIU, T., JIN, Z., & RINKLEBE, J. Groundwater hydrochemistry, source identification and pollution assessment in intensive industrial areas, eastern Chinese loess plateau. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 278, p. 116930, jun. 2021. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116930>>.

## 6 REFERÊNCIAS GERAIS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de Gestão do Exercício 2018**. 152p, 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-aud/relatorio-de-gestao/relatorio\\_ana\\_2018\\_venviada\\_tcu\\_compressed.pdf/view](https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-aud/relatorio-de-gestao/relatorio_ana_2018_venviada_tcu_compressed.pdf/view). Acesso em: 17 jun. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos. 2007. Disponível em: [https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes#cadernos\\_de\\_recursos\\_hidricos](https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes#cadernos_de_recursos_hidricos). Acesso em: 17 de junho de 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Mananciais e Sistemas por Município**. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil - Cadernos de Recursos Hídricos, Volume 5.- Brasília-DF, 2005**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes>. Acesso em 26 de Out. de 2023.
- ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. **Arcabouço hidrogeológico do aquífero gigante do mercosul (Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai): Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Missiones e Taquarembó**. In: **MERCOSUL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 1, 1985, Curitiba. Anais do... Curitiba: ABAS, 1995. 10 p.
- AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; MANCUSO, M. A. Águas subterrâneas. In: OLIVEIRA, A. M. do S.; MONTICELI, J. J. (ed.). **Geologia de Engenharia e Ambiental**. São Paulo: Tribo da Ilha, 2018. p. 181-201.
- BABA, R. K., VAZ, M. S. M. G. e COSTA, J. da. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online]. 2014, v. 29, n. 4 [Acessado 4 Novembro 2023], pp. 515-526. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130611>. Epub 24 Nov 2014. ISSN 1982-4351.
- BALDISSERA, A. D. **A cidade e as águas: Chapecó e a microbacia do lajeado São José**. 2013. 226p. Dissertação (Mestrado em Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/123027>. Acesso em: 17 julho 2023.
- BALDISSERA, A. D; REIS, A. F. Recursos hídricos, preservação ambiental e qualificação urbana: Chapecó e a microbacia do Lajeado São José. **Oculum Ensaios**, v. 13, n. 2, p. 293-312, 2016
- BELLANI, E. M. **Santos Marinho e Passos Maia: a política no Velho Chapecó (1917-1931)**. Chapecó: Litoprint Editora, 1990.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. In: **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**. São Paulo- SP, junho de 2008.
- BONGIOLO, A. B. S., FERREIRA, F. J. F., BITTENCOURT, A. V. L., SALAMUNI, E. Connectivity and magnetic-structural compartmentalization of the Serra Geral and Guarani



Aquifer Systems in central state of Paraná (Paraná Basin, Brazil). **Revista Brasileira de Geofísica**, 32(1), 141-160, 2014. <https://doi.org/10.22564/rbgf.v32i1.402>

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

BRASIL. **Portaria n. 888**, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 mai. 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 19 jun. 2022.

BRASIL. **Resolução nº 396**, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Conama. Brasília.

CARASEK, F. L. **Qualidade da água subterrânea do Sistema Aquífero Serra Geral na região Oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Unochapecó, Chapecó, 2015. 74p.

CARDOSO, F. B da F.; OLIVEIRA, F. R. de, NETO, P. L. V., & PAZ, R. N. Mapa dos domínios hidrogeológicos de Santa Catarina: uma ferramenta para gestão das águas subterrâneas do estado. XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia Sul-Sudeste. **Brazilian Association of Groundwater/ABAS**, Gramado, 2007. Águas Subterrâneas, 2007.

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Geografia**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 91-97, jan/jun. 1999.

CHAPECÓ. **Lei nº 5326**, de 7 de dezembro de 2007. Dispõe sobre a política municipal de saneamento básico, cria o conselho municipal de saneamento e o fundo municipal de água e esgoto. Chapecó, SC: Diário Oficial da União, 2007.

CHAPECÓ. **Lei Complementar nº 541**, de 26 de novembro de 2014. Aprova o Plano Diretor de Chapecó – PDC. Chapecó, 2014. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/plano-diretor-chapeco-sc>. Chapecó, SC: Diário Oficial da União, 2014.

CHAPECÓ. **Plano de Saneamento para os Sistemas de Água e Esgotamento Sanitário do Município de Chapecó (PMC)**. 2013. Disponível em: <<https://web.chapeco.sc.gov.br/documentos/Documentos/Acesso%20%C3%A0%20Informa%C3%A7%C3%A3o/docs/Saneamento/plano%20saneamento%20agua%20e%20esgoto.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

COMASSETO, V.; MATTHIENSEN, A.; ALVES, J.; FAVASSA, C. T. A.; YABIKU, V. M.; WASKIEWIC, M. E.; BÓLICO, J. **Diagnóstico das águas subterrâneas na Bacia do Rio Jacutinga e Contíguos**. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 2014. Belo Horizonte (MG). Anais [...] Belo Horizonte: ABAS.

Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). **Relatório anual de qualidade da água distribuída**. 2014. Disponível em:

<[https://www.casan.com.br/ckfinder/userfiles/files/rel\\_anu\\_qual\\_agua\\_2014/sro/chapeco/chapeco.pdf](https://www.casan.com.br/ckfinder/userfiles/files/rel_anu_qual_agua_2014/sro/chapeco/chapeco.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2023.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Banco de dados de poços (SGB/CPRM). Serviço Geológico do Brasil / CPRM. 2023. Disponível em: <[https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)> Acesso em: 25 fev. 2023.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterránea**. Segunda ed. Barcelona: 1983.

DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, R. D. C. D. PAULA, T. L. F. D. **Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo**: Nota técnica. Escala 1:5.000.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 45p. 2014.

FACCO, J. **Os usos e a qualidade das águas do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral-SAIG/SG no município de Chapecó(SC)**. 2018. 318p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191070?show=full>. Acesso em: 17 julho 2023.

FACCO, J.; FUJITA, C.; BERTO, J. L. Agroindustrialização e urbanização de Chapecó(SC) (1950 – 2010): uma visão sobre os impactos e conflitos urbanos e ambientais. **Redes. Revista do Desenvolvimento Regional**, vol. 19, núm. 1, enero-abril, 2014, pp. 187- 215.

FEITOSA, F. A. C., MANOEL FILHO, J., FEITOSA, E. C., & DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FONSECA, J. C. L. D.; MARCHI, M. R. R. D.; FONSECA, J. C. L. D. Substâncias químicas perigosas à saúde e ao ambiente. **Programa Internacional de Segurança Química– Organização Mundial de Saúde**, 2000.

FORMENTINI, J.; MANCUSO, M.A.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. Estruturação de base de dados de qualidade das águas subterráneas voltada para a gestão da Bacia do Rio da Várzea, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA)**, v.6, p.88–97, 2016.

FREITAS, A. F. **Hidrogeoquímica e isotopia de águas com alta salinidade do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, Brasil**. 2016. Tese (Doutorado). Porto Alegre: Instituto de Geociências – UFRGS, 2016.

FREITAS, M E ROISENBERG, A. Análise exploratória de dados de condutividade elétrica nas águas do sistema aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Águas Subterráneas**, 31(1):1-17, 2016.

FREITAS, M. A. DE, & CAYE, B. R. Poços tubulares no aquífero fraturado Serra Geral do oeste de Santa Catarina. **Águas Subterráneas**. 2003. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23998>>.

FREITAS, M. A. de; CAYE, B. R.; MACHADO, J. L. F.; ANTUNES, R. B.; MIRANDA JUNIOR, G. X de. Água subterránea: um recurso vital para o Oeste Catarinense. **Águas Subterráneas**, 2002.

FREITAS, M. A. de; ECKERT, R. M.; CAYE, B. R. **Projeto Oeste de Santa Catarina-PROESC: Diagnóstico dos Recursos Hídricos Subterráneos do Oeste do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: CPRM, 2001.

FREITAS, M. A.; CAYE, B. R.; MACHADO, J.F.L. **Diagnóstico dos recursos hídricos**

**subterrâneos do oeste do estado de Santa Catarina:** Projeto oeste de Santa Catarina/PROESC. Porto Alegre: CPRM/SDM(SC)/SDA(SC)/EPAGRI. 100 p. 2003.

FREITAS, M. A.; CAYE, B. R.; MACHADO, J.F.L; ANTUNES, R.B. E MIRANDA JUNIOR, G.X. **Água Subterrânea:** um recurso vital para o oeste catarinense. In: XII **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 2002, São Paulo. Anais [...] ABAS, 2002.

FUJITA, C. **Dilema urbano-ambiental na formação do território brasileiro:** desafios ao planejamento urbano no Brasil. Tese (Doutorado – Área de Concentração: Paisagem e Ambiente) – FAUUSP, São Paulo, 2008.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). Qualigraf v.1.17. 2015. Disponível em: < <http://www3.funceme.br/qualigraf/>>. Acesso em: 18 abr. 2023.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE - FUNASA. **Manual prático de análise da água**, 4 ed, Brasília, 2013.

GOGU, C. R. Urban Hydrogeology Studies. **Water**. 2022, 14, 1819. <https://doi.org/10.3390/w14111819>.

HAMMER, Ø. PAleontological STatistics Version 3.15. Reference manual. Natural History Museum. University of Oslo, 2017, 253 p.

HASS, M. **O linchamento que muitos querem esquecer:** Chapecó, 1950- 1956. ed. rev. Chapecó: Argos, 2003.

HEM, J.D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Third Edition. Alexandria: U.S Geological **Survey Water-Supply**, 1989. 272p.

HIRATA, R., SUHOGUSOFF, A. V., MARCELLINI, S. S., VILLAR, P. C., & MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: IGc/USP. 2019. Disponível em: <[http://igc.usp.br/igc\\_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf](http://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf)>. Acesso em: 29 jul. 2023.

HOFFMANN, G. P. **Efeitos da modificação do uso da terra sobre o comportamento do escoamento em área de descarga do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral**. 2017. 255 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

HOLLER, F. J. **Princípios de Análise Instrumental**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 1055 p., il. ISBN 9788577804603.

HOUNSLOW, A.W. Water quality data analysis and interpretation. **CRC Press**, Boca Raton, p 416, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/chapeco/panorama>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

KÖPPEN, W., E GEIGER, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes

LLAMAS, M. R.; CUSTODIO, E. Intensive use of groundwater: a new situation which demands proactive action. **Intensive use of groundwater: challenges and opportunities**, p. 13-31, 2002.

LOGAN, J. *The Interpretation of Chemical Analyses of Water*. 1º Ed, U.S. **Agency for International Development**. 1965.

MACHADO, J. L. F. **Comparação entre o Sistema Aquífero Guarani (SAG) em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul**. In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XIX**, 2016, Campinas-SP. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28695>>.

MACHADO, J. L. F. **Mapa hidrogeológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2013. Escala 1:500.000. Cartas Hidrogeológicas Estaduais. Programa Disponibilidade Hídrica no Brasil. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa\\_hidro\\_sc.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_hidro_sc.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2023.

MACHADO, J. L. F., & FREITAS, M. A. de. **HIDROQUÍMICA DO AQUÍFERO SERRA GERAL NO OESTE DE SANTA CATARINA**. **Águas Subterrâneas**. 2000. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23763>>.

MANCUSO, M. A.; SANTOS, C. E. Avaliação hidrogeológica quali-quantitativa do aquífero fraturado Serra Geral, localizado no noroeste do Rio Grande do Sul. **Geologia USP. Série Científica**, v. 21, n. 1, p. 71-88, 2021.

MATIOLA, C. **A avaliação dos elementos climáticos, socioeconômicos e sua relação com o Aedes aegypti nos municípios de Chapecó/SC e Itajaí/SC**. Dissertação (Mestrado Profissional em Clima e Ambiente). Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p.42, 2019.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Excel, versão 2311. Editora: Microsoft Corporation, 2022.

MILANI, E. J., RANGEL, H. D., BUENO, G. V., STICA, J. M., WINTER, W. R., CAIXETA, J. M., & NETO, O. P. Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, 15(2), 183-205, 2007.

MOCELLIN, R. C.; FERREIRA, F. J. F. **Conectividade e compartimentação dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani no sudoeste do estado do Paraná, Brasil**. In: **REVISTA BRASILEIRA DE GEOCIÊNCIAS**. 39(3): 567-579, setembro de 2009. Disponível em: <[www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/7699/7126](http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/7699/7126)>. Acesso em: 23 Nov. 2023

NANNI, A. S.; ROISENBERG, A.; HOLLANDA, M. H. B. M. de; MARIMON, M. P. C.; VIERO, A. P.; SCHEIBE, L. F. Fluoride in the Serra Geral Aquifer System: source evaluation using stable isotopes and principal component analysis. **Journal of Geological Research**, [S.L.], v. 2013, p. 1-9, 29 ago. 2013. Hindawi Limited. <<http://dx.doi.org/10.1155/2013/309638>>.

NASCIMENTO, E. Chapecó: evolução urbana e desigualdades socioespaciais. In: BRANDT, M. e NASCIMENTO, E. (Orgs.). **Oeste de Santa Catarina: Território, Ambiente e Paisagem**. São Carlos: Pedro & João Editores, 2015. p. 97-153.

NERY, B. J. **Potencialidade hídrica do sistema aquífero serra geral da bacia hidrográfica do Rio da Várzea**. 2023. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em

Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2023.  
Disponível em:

[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/28513/DIS\\_PPGEA\\_2023\\_NERY\\_BIANCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/28513/DIS_PPGEA_2023_NERY_BIANCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 15 nov. 2023

NEVES, M. A., MORALES, N., PEREIRA, S. Y., & ALBUQUERQUE FILHO, J. L.

Análise das informações disponíveis sobre poços tubulares profundos e seu uso no diagnóstico da variação temporal do nível d' água e da produtividade dos aquíferos da bacia do rio Jundiá (SP). **Águas Subterrâneas**, 2004. Disponível em:

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23307> Acesso: em 01 dez. 2023.

NICOLAI, Gilberto. **Avaliação das concentrações de nitratos na água subterrânea do município de Chapecó(SC)**. 2001. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION (OSGEO). QGIS for Desktop Windows. Versão 3.16.16. 2023.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and earth system sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PETERLINI, G.; PINESE, J. P. P.; CELLIGOI, A. Fatores geológicos e pedológicos que influenciam na produtividade hídrica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região Norte do estado do Paraná. **Caminhos de geografia**, Uberlândia. v. 21, n. 78, p 173-191. 2020.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil**: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM, 2011.

PORTELA Filho, C.V.; FERREIRA, F.J.F.; ROSA Filho, E.F.; ROSTIROLLA, S.P. Compartimentação magnética-estrutural do sistema aquífero Serra Geral e sua conectividade com o Sistema Aquífero Guarani na região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná). **Rev. Bras. Geociênc.** 35(3):369-381, 2005.

PREFEITURA DE CHAPECÓ. Mapa urbano básico. Disponível em: <  
<https://web.chapeco.sc.gov.br/documentos/Croquis/>>. Acesso em: 25, nov 2023.

PROSUL. Projetos, Supervisão e Planejamento. **Plano de saneamento para os setores de abastecimento de água e esgotamento sanitário do município de Chapecó/SC**. 339p. 2013. Disponível em:

<<https://web.chapeco.sc.gov.br/documentos/Documentos/Acesso%20C3%A0%20Informa%C3%A7%C3%A3o/docs/Saneamento/plano%20saneamento%20agua%20e%20esgoto.pdf>>

QUAGGIO, C. S., GASTMANS, D., KIRCHHEIM, R., & BATISTA, L. V. Variações na composição das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral em território brasileiro e sua relação com anomalias hidrogeoquímicas. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, p. 283-294, 2018.

REBOUÇAS, A. C. Importância da água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C et. al. (Org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

REBOUÇAS, A. da C. Desenvolvimento das águas subterrâneas no Brasil. In: X Congresso Brasileiro de águas subterrâneas – **Revista Águas Subterrâneas**. – São Paulo: 1998 11p. ISSN (Eletrônico) 2179- 9784. Disponível em:  
<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1178/showToc>.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; SCHNEIDER, V. E. Caracterização hidroquímica do sistema aquífero Serra Geral na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, v. 27, n. 1, 2013.

REGINATO, P. A. R.; STRIEDER, A. J. CONDICIONANTES GEOLÓGICOS DA Ocorrência de ferro e manganês em aquíferos fraturados da formação Serra Geral. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2007. Disponível em:  
 <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22165>>. Acesso em: 29 nov. 2023.

RIBEIRO, M. E.; VARGAS, T.; DAL BOSCO, V.; MAIER, D. C.; BELLADONA, R. **Caracterização hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no município de Caxias do Sul, RS**. In: **XXIII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2019. Foz do Iguaçu (PR). Anais [...]. ABRHidro – Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

ROBERTSON, W; CHERRY, J; SUDICKY, E. 1991. Groundwater contamination from two small septic systems on sand aquifers. **Groundwater** 29(1):82-92  
 <<https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1991.tb00500.x>>

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). PERH/SC: Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Síntese. 2017. Disponível em:  
 <[www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa\\_e/perh\\_sc\\_plano\\_de\\_acoes-2017-final.pdf](http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_e/perh_sc_plano_de_acoes-2017-final.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2023.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável – SDS. Diretoria de Recursos Hídricos – DRHI. **Plano estratégico de gestão integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó – Florianópolis (SC)**. SDS/MPB engenharia. (2009).

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). PERH/SC: Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Síntese. 2017. Disponível em:  
 <[www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa\\_e/perh\\_sc\\_plano\\_de\\_acoes-2017-final.pdf](http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_e/perh_sc_plano_de_acoes-2017-final.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2023.

SANTOS, A. C. **Noções de hidroquímica**. In: FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 323-357.

SCHEIBE, L.F; HIRATA, R. **O contexto tectônico dos sistemas aquíferos Guarani Serra geral em Santa Catarina: Uma revisão**. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 105, 2008, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008, p. 1-14.

SHAKYA, B. M., NAKAMURA, T., SHRESTHA, S. D., & NISHIDA, K. Identifying the deep groundwater recharge processes in an intermountain basin using the hydrogeochemical and water isotope characteristics. **Hydrology Research**, [S.L.], v. 50, n. 5, p. 1216-1229, jul. 2019. IWA Publishing. <<http://dx.doi.org/10.2166/nh.2019.164>>

SILVA, C. L. da; BASSI, N. S. S. Análise dos impactos ambientais no Oeste Catarinense e das tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Suínos e Aves. **Informe Gepec**, v. 16, n. 1, p. 128-143, 2012.

SILVA, D. R. A. da; KIRCHHEIM, R. E. Informações Hidrogeológicas do Estado de SC. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, nº 19. 2011, Maceió. Anais[...]. Maceió: ABRH, 2011. p. 1-18, 2011.

TODD, D.K.; MAYS, L.W. Groundwater hydrology. 3. ed. USA: John Willey & Sons. 2005.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Water Quality Index For Agricultural And Urban Watershed Use. **Sci. agric.** (Piracicaba, Braz.), Jan./Mar. 2002, v.59, n.1, p.181-186. ISSN 0103-9016.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa/IIE, 2003. 248 p.

VELASCO, C. Quase 90% dos poços artesanais do Brasil são clandestinos, aponta estudo. **G1**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/02/14/quase-90-dos-pocos-artesianos-do-brasil-sao-clandestinos-aponta-estudo.ghtml>>. Acesso em: 23 jun. 2023.

VOTTO, A. G. **Zoneamento da poluição hídrica causada por dejetos suínos no extremo oeste de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. 1999.

WHO. 2003. pH in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for **Drinking-water Quality**. Geneva, WHO Press. (WHO/SDE/ WSH/03.04/12).

XIAO, J., WANG, L., CHAI, N., LIU, T., JIN, Z., & RINKLEBE, J. Groundwater hydrochemistry, source identification and pollution assessment in intensive industrial areas, eastern Chinese loess plateau. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 278, p. 116930, jun. 2021. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116930>>.

ZENI, V. L. F. **Desenvolvimento de cenários visando a mitigação de impactos ambientais em rios urbanizados: o caso do rio Passo dos Índios – Chapecó – SC**. (Dissertação Mestrado). Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Chapecó, 2007.