

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

EDUARDA RIECHEL

**ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO RURAL E URBANA: UMA
ANÁLISE DE POTABILIDADE E DE MULTIRESÍDUOS DE AGROTÓXICOS
EM POÇOS DE ABASTECIMENTO DE UM MUNICÍPIO DA REGIÃO DAS
MISSÕES - RS**

CERRO LARGO – RS

2021

EDUARDA RIECHEL

**ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO RURAL E URBANA: UMA
ANÁLISE DE POTABILIDADE E DE MULTIRESÍDUOS DE AGROTÓXICOS
EM POÇOS DE ABASTECIMENTO DE UM MUNICÍPIO DA REGIÃO DAS
MISSÕES - RS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para a obtenção de
grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária da Universidade Federal da Fronteira
Sul.

Orientadora: Prof^a. Dra. Alcione Aparecida de Almeida Alves

Co-orientador: Liziara da Costa Cabrera

CERRO LARGO – RS

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Riechel, Eduarda

ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO RURAL E URBANA: UMA ANÁLISE DE POTABILIDADE E DE MULTIRESÍDUOS DE AGROTÓXICOS EM POÇOS DE ABASTECIMENTO DE UM MUNICÍPIO DA REGIÃO DAS MISSÕES - RS / Eduarda Riechel. -- 2021. 92 f.

Orientadora: Pra. Dra. Alcione Alcione Aparecida de Almeida Alves

Co-orientadora: Pra. Dra. Liziara da Costa Cabrera Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro Largo, RS, 2021.

I. Alves, Alcione Alcione Aparecida de Almeida, orient. II. Cabrera, Liziara da Costa, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

EDUARDA RIECHEL

**ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO RURAL E URBANA: UMA
ANÁLISE DE POTABILIDADE E DE MULTIRESÍDUOS DE AGROTÓXICOS
EM POÇOS DE ABASTECIMENTO DE UM MUNICÍPIO DA REGIÃO DAS
MISSÕES – RS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

14/05/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dra. Alcione Aparecida de Almeida Alves – UFFS
Orientadora



Prof^a. Dra. Liziara Costa Cabrera – UFFS Co-orientadora



Prof^a. Dra. Aline Raquel Müller Tones – UFFS Banca

Dedico a minha família.

“A água é matéria e matriz da vida, mãe e meio. Não há vida sem água.”

(Albert Szent-Gyorgyi)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar esse tópico de agradecimentos, agradecendo a Deus pela vida que me concedeu, por me proporcionar perseverança e por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final, porque sem ele nada seria possível.

Sou grata a minha família, meus pais Jerônimo Riechel e Beatriz Riechel, as minhas irmãs Rúbia Beatriz Riechel e Débora Riechel, e ao meu cunhado Paulo André Callai por todo o incentivo e apoio incondicional, sempre estiveram presentes nos momentos difíceis e proporcionando todo o amparo possível, além de sempre me dar muito amor e suporte em toda a minha caminhada. E também aos meus sobrinhos Cecília e Nicolas que são o meu porto seguro e trouxeram muita felicidade e tranquilidade em todos os dias. Amo vocês.

À minha orientadora Alcione Aparecida de Almeida Alves por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa, também por todo o incentivo e dedicação do seu escasso tempo e por ter depositado a sua confiança além de me manter motivada em todo o processo.

A professora Liziera da Costa Cabrera, pelo auxílio no desenvolvimento desta pesquisa, principalmente no que tange as atividades desenvolvidas em laboratório. E aos técnicos de laboratório, Jonas Simon Dugatto, Fabiana Medeiros e Lucas Schnorrenberger de Oliveira pela assistência no manuseio de todos os equipamentos utilizados em laboratório e por sanar todas as dúvidas a respeito.

Sou grata a todos os meus colegas que sempre estiveram presentes, em especial, Thanity Kaufann, Willian Matias Pazdiora, Maria Eduarda, Bruna Ferreira de Oliveira, Leticia Slodkowski, Caroline Grings, Anelise Birckm, Mateus Pinheiro e Fernanda Stumm que foram meu porto seguro, e sempre estiveram do meu lado em todos os anos da faculdade e que sempre vou levar junto comigo dentro do meu coração.

Também gostaria de agradecer aos meus amigos de infância Karoliny da Silva Wegner, Alexandro Souza e Jeferson Daltoé, por sempre se manterem presentes na minha vida e de certa forma participarem dessa minha nova caminhada. Sempre vou ter vocês comigo.

Gostaria também de agradecer a Rafaela Morelato e Julia Villela pela disponibilidade de tempo em contribuir na análise e preparação das amostras em laboratório.

Gostaria de agradecer a todo o corpo docente por ter ensinado e transmitido vários conhecimentos em todos os anos cursados e que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão desse trabalho e a Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS *campus* Cerro Largo/RS por ter proporcionado um meio de estudo impecável e por disponibilizar os seus laboratórios para as nossas pesquisas.

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa conforme CHAMADA UNIVERSAL MCTIC/CNPq nº 28/2018 referente ao projeto – Reator de leito fixo com energia solar fotovoltaica empregado na remoção de agrotóxicos da água de abastecimento público na área rural.

A prefeitura do município de Santo Ângelo/RS, que aceitaram que este trabalho fosse desenvolvido em seus municípios e por nos acompanharem, em um primeiro momento, até os poços de coleta. Bem como por todas as informações repassadas, acerca do histórico, aspectos construtivos, monitoramento e qualidade da água dos poços estudados. Obrigada por não medirem esforços e contribuírem para que este trabalho fosse possível.

Obrigada a todos.

RESUMO

A água é um recurso essencial para a manutenção das necessidades humanas básicas e deve possuir qualidade suficiente para fins de ser considerada potável e, portanto, adequada para o abastecimento público. À vista disso, o presente trabalho teve por objetivo analisar a qualidade da água subterrânea na área rural e urbana do Município de Santo Ângelo/RS de acordo com parâmetros preconizados na Portaria de Consolidação (PC) n° 5/2017 do Ministério da Saúde (MS). O procedimento metodológico consistiu em realizar a coleta de água em 10 poços de abastecimento no Município de Santo Ângelo/RS, distribuídos igualmente em área rural e urbana. Nesses poços foram avaliados os parâmetros físico-químicos, absorvância (UV λ -254 nm), cloro ativo, condutividade elétrica, cor aparente, nitrato, oxigênio dissolvido (OD), pH, sólidos sedimentáveis, temperatura, turbidez, coliformes totais e 26 ingredientes ativos de agrotóxicos, sendo estes: 2,4-D, atrazina, azoxistrobina, bentazona, carbofurano, ciproconazol, clomazone, difenoconazol, epoxiconazol, fipronil, imazapique, imazetapir, imidacloprida, malationa, metsulfuron-metílico, penoxsulam, piraclostrobina, pirazossulfuron, pirimicarbe, propanil, profenofós, propiconazol, simazina, tebuconazol, tiametoxam e trifloxistrobina. Com relação aos parâmetros físico-químicos, foi possível constatar que o cloro ativo não atendeu aos valores entre 0,5 mg L⁻¹ a 2 mg L⁻¹ estabelecidos na PC n° 5/2017 do MS, nos locais P1, P3, P4, P5, P7, P8 e P9, sendo 4 destes de área rural e 3 da área urbana. Quanto aos coliformes totais, foi identificada a presença nos locais P2, P3 e P5, todos pertencentes à área rural, em desconformidade com a PC n° 5/2017 do MS, uma vez que, para o abastecimento público, os coliformes totais devem estar ausentes em 100 mL de água. Os parâmetros de turbidez, pH, cor aparente e nitrato apresentaram valores de acordo com o estabelecido na PC n° 5/2017 do MS em todos os locais de coleta. E, os parâmetros de temperatura, sólidos sedimentáveis, OD, condutividade elétrica e absorvância (UV λ -254 nm), não possuem valores máximos permitidos na referida PC. Acerca da determinação dos agrotóxicos, foram identificados 8 em 26 nas amostras, sendo estes: Atrazina (P5 e P6); Azoxistrobina (P7 e P9); Pirimicarbe (P2, P5, P7 e P10); Propiconazol (P7 e P9); Imazopique (P6), Tebuconazol (P1), Piraclostrobina (P4, P9 e P10) e; Profenofós (P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8 e P9). Porém todos estavam abaixo do seu respectivo limite de quantificação (LQM) e, embora presentes, nenhum dos agrotóxicos apresentou valores acima do limite máximo estabelecido pela PC n° 5/2017 do MS.

Palavras-chave: Poços subterrâneos. Resíduos de agrotóxicos. Água de consumo humano.

ABSTRACT

Water is an essential resource for the maintenance of basic human needs and must be of sufficient quality to be considered potable and, therefore, suitable for public supply. In view of this, the present study aimed to analyze the quality of groundwater in the rural and urban area of the Municipality of Santo Ângelo/RS according to parameters recommended in the Consolidation Ordinance (PC) n° 5/2017 of the Ministry of Health (MS). The methodological procedure consisted on collecting water from 10 supply wells in the municipality of Santo Ângelo/RS, distributed equally in rural and urban areas. In these wells, it was possible to analyse the physical-chemical parameters, absorbance (UV λ -254 nm), active chlorine, electrical conductivity, apparent color, nitrate, dissolved oxygen (OD), pH, sedimentable solids, temperature, turbidity, total coliforms and 26 active ingredients of pesticide, these being: 2,4-D, atrazine, azoxystrobin, bentazone, carbofuran, cyproconazole, clomazone, diphenconazole, epoxiconazole, fipronil, imazapique, imazetapyr, imidaclopride, malationa, metsulfuron-methyl, piroxysulfone, piroxysulfone, piroximone , propanil, profenophos, propiconazole, simazine, tebuconazole, thiamethoxam and trifloxystrobin. Regarding the physical-chemical parameters, it was possible to verify that the active chlorine did not meet the values between 0.5 mg L^{-1} to 2 mg L^{-1} established in PC n° 5/2017 of the MS, at locations P1, P3, P4, P5, P7, P8 and P9, 4 of which are from rural areas and 3 from urban areas. As for the total coliforms, the presence in the locations P2, P3 and P5, all belonging to the rural area, was identified, in non-compliance with the PC n° 5/2017 of the MS, since, for the public supply, the total coliforms must be absent in 100 mL of water. The parameters of turbidity, pH, apparent color and nitrate showed values according to the established in PC No. 5/2017 of the MS in all collection sites. Besides, the parameters of temperature, sedimentable solids, DO, electrical conductivity and absorbance (UV λ -254 nm), do not have maximum values allowed in that PC. Regarding the quantification of pesticides, 8 of 26 were identified in the samples, which are: Atrazine (P5 and P6); Azoxystrobin (P7 and P9); Pirimicarb (P2, P5, P7 and P10); Propiconazole (P7 and P9); Imazopique (P6), Tebuconazole (P1), Pyraclostrobin (P4, P9 and P10) and; Profenophos (P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8 and P9). However, all were below their respective limit of quantification (LQM) and, although present, none of the pesticides presented values above the maximum limit established by PC n° 5/2017 of the MS.

Keywords: Underground wells. Pesticide residues. Water for human consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais sistemas de aquíferos do Brasil	24
Figura 2 – Mananciais e Sistemas do Rio Grande do Sul	24
Figura 3 – Mapa localização de Santo Ângelo.....	41
Figura 4 – Características do Estado do Rio Grande do Sul	43
Figura 5 – Mapa dos pontos de amostragem no Município de Santo Ângelo	44
Figura 6 – Bairro Dido (área urbana).....	46
Figura 7 – Bairro Dr. Otávio (área urbana)	46
Figura 8 – Bairro Nova (área urbana)	47
Figura 9 – Bairro Garibaldi (área urbana)	47
Figura 10 – Bairro Sepé (área urbana)	47
Figura 11 – Buriti Sede (área rural)	48
Figura 12 – Ressaca da Buriti (área rural).....	48
Figura 13 – Buriti Norte (área rural).....	48
Figura 14 – Lajeado Miquim (área rural).....	49
Figura 15 – Maria Luiza (área rural).....	49
Figura 16 – Procedimento de coleta.....	49
Figura 17 – Etapas da preparação da amostra para análise de agrotóxico.....	56
Figura 18 – Coliformes Totais na área urbana.....	71
Figura 19 – Coliformes Totais na área rural.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores máximos permitidos de alguns padrões de potabilidade presentes na Portaria de Consolidação nº 888/2021 do MS	35
Tabela 2 – Comparação dos valores máximos permitidos (VMP) para compostos agrotóxicos em água de abastecimento público estabelecido pela legislação brasileira e as legislações mundiais.....	36
Tabela 3 – VMP de agrotóxicos descritos na Portaria de Consolidação nº 888/2021 do MS.....	37
Tabela 4 – Determinação dos agrotóxicos nas águas de pocos analisadas nas áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS.....	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Atividades antrópicas potencialmente geradoras de carga contaminante ao aquífero.....	27
Quadro 2 – Classificação toxicológica dos agrotóxicos	31
Quadro 3 – Dados gerais do município de Santo Ângelo/RS	41
Quadro 4 – Local de coleta das amostras.....	46
Quadro 5 – Equipamentos e referência metodológica utilizada para análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	51
Quadro 6 – Principais características e culturas dos agrotóxicos.....	53
Quadro 7 – Características gerais dos agrotóxicos em estudo.....	54
Quadro 8 – Síntese dos resultados obtidos	91

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Absorvância das áreas rurais e urbanas do município de Santo Ângelo/RS	58
Gráfico 2 – Cloro ativo nas áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS	60
Gráfico 3 – Condutividade elétrica das áreas rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS	61
Gráfico 4 – Cor aparente das áreas rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS ..	62
Gráfico 5 – Concentração de Nitrato das áreas rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS	63
Gráfico 6 – Oxigênio Dissolvido (OD) das áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS	65
Gráfico 7 – pH das áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS.....	67
Gráfico 8 – Temperatura nas áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS ..	68
Gráfico 9 – Turbidez das áreas rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS.....	69

LISTA DE SIGLAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATSDR	Agency for toxic Substances e Disease Registry
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CEVS/SES	Centro Estadual de Vigilância em Saúde da Secretaria Estadual da Saúde
CLAE/EM	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplado à Espectrometria de Massa
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DT ₅₀	Tempo de meia-vida
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESI	Ionização por Electrospray
ETA	Estação de Tratamento de Água
EUA	Estados Unidos da América
FEE	Fundação de Economia e Estatística
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
HPLC	High performance liquid chromatography
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IQAS	Índice de Qualidade da Água
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
K _{OC}	Coeficiente de adsorção no solo
K _H	Constante de Henry

LD	Limite de detecção
LQ	Limite de quantificação
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MOD	Matéria orgânica dissolvida
MS	Ministério da Saúde
NHMRC	National Health and Medical Research Council
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PTFE	Polímero Politetrafluoretileno
RS	Rio Grande do Sul
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SES	Secretária Estadual da Saúde
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
USEPA	United State Environmental Protection Agency
VIGIAGUA	Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVO	20
1.1.1 Objetivo Geral.....	20
1.2 JUSTIFICATIVA	21
2 MANANCIAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO	23
2.1 MANANCIAS SUBTERRÂNEOS	23
2.2 PRINCIPAIS POLUENTES/CONTAMINANTES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	26
2.2.1 Contaminação das águas subterrâneas por agrotóxicos	30
2.3 POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	33
2.4 LEGISLAÇÃO APLICADA NA POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA.....	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
3.1.1 Localização	40
3.1.2 Dados gerais.....	41
3.2 SELEÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	44
3.3 COLETA DAS AMOSTRAS PARÂMETROS.....	45
3.4 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS	51
3.5 DETERMINAÇÃO DE AGRÓTOXICOS.....	52
3.5.1.1 Preparo da amostra.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS	58
4.1.1 Absorvância λ - 254 mm.....	58
4.1.2 Cloro Livre.....	60
4.1.3 Condutividade Elétrica.....	61

4.1.4	Cor aparente.....	62
4.1.5	Nitrato.....	63
4.1.6	Oxigênio Dissolvido.....	65
4.1.7	pH.....	66
4.1.8	Sólidos Sedimentáveis	68
4.1.9	Temperatura.....	68
4.1.10	Turbidez.....	69
4.1.11	Coliformes Totais.....	70
4.2	DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE AGROTÓXICOS.....	72
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICE A.....	91

1 INTRODUÇÃO

Devido a poluição dos mananciais hídricos superficiais associado a inexistência destes recursos em termos de vazão de captação em alguns locais, bem como a crescente demanda por recursos hídricos, a utilização de águas subterrâneas tem sido uma alternativa para o abastecimento de água. Os mananciais hídricos subterrâneos são considerados abundantes, comumente apresentam alta qualidade e custo relativamente baixo de captação de água, principalmente considerando a condição inadequada de qualidade das águas superficiais associada ao elevado custo do tratamento. Desta forma, o recurso hídrico subterrâneo vem se tornando estratégico para desenvolvimento econômico da sociedade (CETESB, 2013).

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), define a água subterrânea como toda água produzida abaixo da superfície, que preenche os poros ou vazios intergranulares de rochas sedimentares, ou fissuras, fendas e rachaduras de rochas densas, estas águas têm um papel muito importante na conservação da umidade do solo, do fluxo de rios, lagos e brejos (ABAS, 2021), e de acordo com a Resolução nº 396/2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em seu Capítulo 1, Artigo 2º, águas subterrâneas e aquíferos são definidos como: “água existente natural ou artificialmente em solo subterrâneo” (Brasil, 2008)..

A utilização de água subterrânea para consumo humano é mais frequente em zonas rurais e suburbanas, no entanto, seu uso tem aumentado em função da contaminação das águas superficiais que conseqüentemente demandam processos de tratamento mais complexos de potabilização (GIGLIO *et al.*, 2015), pelo desenvolvimento de novas tecnologias para exploração da água subterrânea e devido a diminuição de gastos para abertura de poços (FERNANDES, 2011).

O destino final de efluente doméstico e industrial, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, os postos de combustíveis e a modernização da agricultura representam algumas das principais fontes de contaminação das águas subterrâneas. Aliada a estas, os poluentes emergentes, como por exemplo os agrotóxicos também tem contribuído para a degradação das qualidades destas águas, isto porque, o cultivo e manejo do solo exercem influência na qualidade das águas subterrâneas e nas taxas de recarga de alguns aquíferos e algumas práticas agrícolas são capazes de causar

contaminação difusa por nutrientes e resíduos de agrotóxicos, especialmente em áreas com solos pouco espessos e com boa drenagem (FOSTER, S; HIRATA, R, 1991).

Segundo a pesquisa de Munõz (2000), a presença de agrotóxicos nos mananciais hídricos subterrâneos tem sido comum, especialmente perto de áreas agrícolas. Nas áreas rurais, estes compostos são utilizados principalmente na agricultura enquanto que, nas áreas urbanas o uso destes compostos é relacionado a jardins particulares, áreas de lazer, campo esportivo, entre outros (FOSTER *et al.*, 2006).

No entanto, segundo Steffen e Antonioli (2011), menos de 0,1% dos agrotóxicos aplicados alcançam as pragas, ou seja, 99,9% têm o potencial de translocar para outros compartimentos ambientais. No ar, são originários de procedimentos de aplicação na pulverização em forma de aerossóis. No solo, são decorrentes da aplicação ou do descarte inadequado, que por percolação podem atingir o lençol freático, e por carreamento através da água da chuva, podem atingir as águas superficiais.

Desta forma, é eminente que exista monitoramento acerca da potabilidade das águas servidas a população e, no Brasil os órgãos de fiscalização do setor de saúde e empresas de abastecimento de água estão sujeitos ao preconizado na Portaria de Consolidação (PC) nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS), a qual estabeleceu o padrão de potabilidade de 40 compostos de agrotóxicos. Enquanto no estado do RS a Portaria RS/Secretaria Estadual da Saúde (SES) nº 320/2014 acrescentou mais 46 parâmetros de agrotóxicos na avaliação de potabilidade da água em território gaúcho (ZINI, 2016).

As águas subterrâneas podem ser contaminadas devido a algumas práticas agrícolas por meio da poluição difusa (RIBEIRO et al., 2007). Porém, após a contaminação da água subterrânea por agrotóxicos torna-se difícil a sua descontaminação, visto que os tratamentos convencionais não removem efetivamente estes componentes da água (GORZA, 2012; RUBBO, 2017). Deste modo, monitorar os agrotóxicos nestas águas tornou-se imprescindível para que a população seja abastecida com água potável.

1.1 OBJETIVO

Os objetivos foram norteados em geral e específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a potabilidade da água subterrânea no município de Santo Ângelo/RS em área rural e urbana de acordo com parâmetros físico-químicos e microbiológicos preconizados na PC n° 888/2021 do MS.

1.1.2 Objetivo Específico

Analisar os parâmetros físico-químicos: absorvância (UV λ -254 nm), cloro ativo (ppm), condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), cor aparente (uH), nitrato (mg L^{-1}), OD (mg L^{-1}), pH, sólidos sedimentáveis (mL L^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e turbidez (uT), como também determinar a presença/ausência de coliformes totais em água subterrânea utilizada para o abastecimento público em 10 poços localizados em área rural e urbana no município de Santo Ângelo/RS.

Determinar 26 compostos agrotóxicos sendo estes: 2,4-D, atrazina, azoxistrobina, bentazona, carbofurano, ciproconazol, clomazone, difenoconazol, epoxiconazol, fipronil, imazapique, imazetapir, imidacloprida, malationa, metsulfuron-metílico, penoxsulam, piraclostrobina, pirazossulfuron, pirimicarbe, propanil, profenofós, propiconazol, simazina, tebuconazol, tiametoxam e trifloxistrobina. por meio da técnica analítica em Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada a Espectrometria de Massas, do inglês, *High Performance Liquid Chromatography coupled to a Mass Spectrometer* (HPLC-MS) em 10 poços localizados em área rural e urbana no município de Santo Ângelo/RS.

Realizar análise comparativa entre os resultados dos parâmetros analisados e o preconizado na PC n° 888/2021 do MS

1.2 JUSTIFICATIVA

A água subterrânea não é apenas um produto econômico, este recurso é também considerado como uma importante fonte de abastecimento para o consumo humano em todo o mundo. No Brasil, o aquífero subterrâneo abastece 6.549.363 domicílios (19% do total), e, destes, 68,78% estão localizados na área rural, abrangendo 11,94% de toda a população nacional (IBGE, 1994).

Considera-se ainda que, a água utilizada para o consumo humano é também um dos importantes vetores de doenças (ISAAC-MARQUEZ *et al.*, 1994; GRABOW, 1996). As fontes de contaminação antropogênica em águas subterrâneas são em geral

diretamente associadas a despejos domésticos, industriais e ao chorume oriundo do descarte de resíduos sólidos que contaminam os lençóis freáticos. Recentemente, compostos agrotóxicos têm sido considerados também uma importante fonte de contaminação destes ambientes (FREITAS; ALMEIDA, 1998).

E, em virtude da falta de tratamento de água em especial no meio rural (IBGE, 2012) e da ineficiência do tratamento convencional de potabilização para remoção de compostos emergentes (DI BERNARDO; DANTAS, 2005), tais como os agrotóxicos, o presente estudo se torna relevante para a compreensão da potabilidade das águas servidas a população.

2 MANANCIAIS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO

As águas superficiais raramente estão livres de contaminação, mesmo nas bacias de mananciais com pouca ou nenhuma presença humana. Segundo Urban (1999), a ocupação desordenada de uma bacia provoca grandes alterações na qualidade da água, alterações estas geradas por atividades humanas, tais como a produção de esgotos, impurezas advindas do escoamento das águas das chuvas, atividades rurais e agrícolas com uso de compostos agrotóxicos, grande volume de sedimentos erodidos e de dejetos de animais.

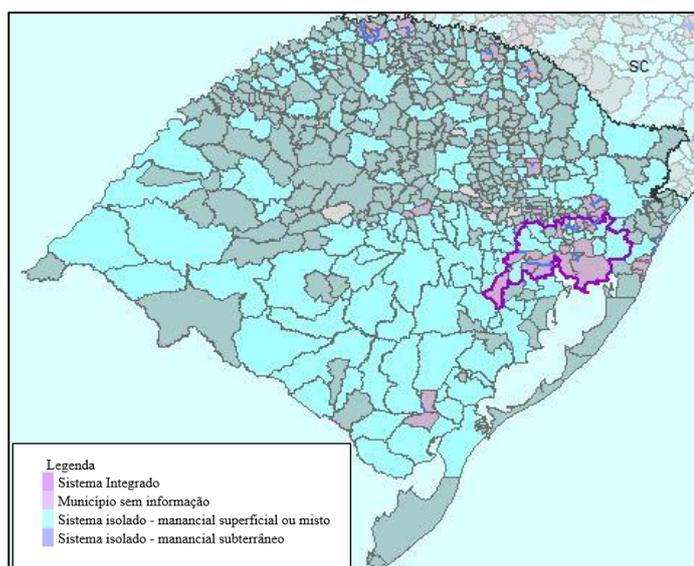
De acordo com a Gerência de Águas Subterrâneas da Agência Nacional de Águas (ANA), no Brasil, 47% dos municípios são abastecidos exclusivamente por mananciais superficiais, enquanto 39% das sedes municipais (2.153 municípios) são integralmente abastecidos por água subterrânea e outros 14% são abastecidos tanto por água superficial como por água subterrânea (ANA, 2010).

No Estado do Rio Grande do Sul o uso de mananciais subterrâneos é bem alto, sendo dos 286 municípios do Estado 59% são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas, enquanto que as águas de superfície são utilizadas para o abastecimento de 134 sedes urbanas (28% do total). Os demais municípios (13%) são abastecidos de forma mista, tanto superficial quanto subterrânea (ANA, 2010).

2.1 MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS

A água subterrânea pode ocorrer em duas zonas, a zona não saturada onde é a parte do solo que está parcialmente preenchida por água e a zona saturada ela fica abaixo da zona não saturada e é onde os poros e fraturas das rochas estão totalmente preenchidos (ABAS, 2020).

De acordo com a Resolução CONAMA n° 396 de 2008 em seu Art. 2° inciso III o aquífero é definido como “corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”. Os tipos de aquíferos são classificados em função da pressão das águas nas suas superfícies limítrofes (superior camada topo e inferior camada base) e em função da capacidade de transmissão de água, que são: aquífero livre, cujo limite superior é a superfície de saturação ou freático na qual todos os pontos se



Fonte: ANA, 2015.

Em áreas rurais e suburbanas, é mais frequente o uso da água subterrânea para consumo humano, mas devido à poluição das águas superficiais, o uso de água subterrânea tem aumentado, fazendo com que processos de tratamento mais complexos sejam necessários (GIGLIO *et al.*, 2015).

Há várias vantagens da utilização da água subterrânea para abastecimento público, dentre elas se destacam, a qualidade, por serem naturalmente protegidas (mas não imunes) da poluição e dos fatores poluidores, a quantidade, pois seu fluxo está sujeito a estiagem de longa duração é pequeno, não há perda considerável por evaporação, a tende a ser vantajosa e o custo e o tempo de execução da perfuração são inferiores ao custo de captação e transporte das águas superficiais (MMA, 2007).

A água de poços e fontes tem sido usada para uma variedade de fins, como abastecimento humano, irrigação, indústria e recreação. No Brasil, 15,6% dos domicílios usam apenas água subterrânea, 77,8% dos domicílios usam rede de abastecimento de água e 6,6% dos domicílios usam outras formas de abastecimento de água. É importante enfatizar que nos domicílios com rede de abastecimento de água, grande parte da população utiliza água subterrânea. Embora o uso da água subterrânea seja um complemento da água superficial em muitas regiões, a água subterrânea ainda é a principal fonte de água em outras partes do país e desempenha um papel importante no desenvolvimento social e econômico do país (IBGE, 2002).

Apesar de haverem várias prováveis fontes de contaminação das águas subterrâneas, de forma geral, no Brasil, essas águas são de boa qualidade e possuem

propriedades físico-químicas e bacteriológicas adequadas a diversos usos, incluindo o consumo de águas minerais (ANA, 2017). Porém há uma crescente preocupação para a saúde pública e ambiental relacionada com o risco de contaminação por agrotóxicos nos recursos hídricos, visto que a água subterrânea captada para consumo humano pode ser uma importante forma de exposição a estes compostos (FERNANDES NETO; SARCINELLI, 2009).

2.2 PRINCIPAIS POLUENTES/CONTAMINANTES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Na história da civilização humana, o solo tem sido usado para lidar com os resíduos gerados nas atividades diárias e tem certa capacidade de atenuar e contribuir para a degradação de grande parte dos resíduos. No entanto, nas últimas décadas, a quantidade e a composição dos resíduos e efluentes produzidos mudaram de ordem e magnitude, e a capacidade do solo de reter poluentes foi excedida. Desta forma, embora as águas subterrâneas sejam mais protegidas do que as águas superficiais, estas ainda podem ser poluídas quando os poluentes passam pela parte insaturada do solo (CETESB, 2013).

Na maioria dos casos, como a água do solo será repostada, as atividades realizadas no solo tendem a comprometer a qualidade das águas subterrâneas devido à infiltração do excesso de água da chuva no solo. Se a carga de poluição gerada pelas atividades humanas (urbana, indústria, agricultura, mineração) não for tratada adequadamente, e componentes específicos excederem a capacidade de atenuação da camada do solo, ocorrerá a poluição do aquífero (FOSTER *et al.*, 2002).

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) as principais fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas são: os lixões; aterros de resíduos sólidos mal operados; acidentes com substâncias tóxicas; atividades inadequadas de armazenamento, manuseio e descarte de matérias primas, produtos, efluentes e resíduos em atividades industriais, como indústrias químicas, petroquímicas, metalúrgicas, eletroeletrônicas, alimentícias, galvanoplastias, curtume, etc.; atividades minerárias que expõem o aquífero; sistemas de saneamento “*in situ*”; vazamento das redes coletoras de esgoto; o uso incorreto de agrotóxicos e fertilizantes; a irrigação que pode provocar problemas de salinização ou aumentar a lixiviação de contaminantes para a água

subterrânea e; outras fontes dispersas de poluição. No Quadro 1 estão apresentadas as principais atividades contaminantes nos aquíferos (CETESB, 2013).

Quadro 1 – Atividades antrópicas potencialmente geradoras de carga contaminante ao aquífero

Atividade	Característica da carga contaminante	
	Distribuição contaminante	Principal
Urbana		
Saneamento "in situ"	Urbano/Rural; Pontual/Difuso	Nutrientes; Patógenos fecais; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica
Vazamento de esgotos (a)	Urbano; Pontual/Linear	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Patógenos fecais; Nutrientes
Lagoas de oxidação (a)	Urbano/Rural; Pontual	Nutrientes; Patógenos fecais; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica
Aplicação de águas residuais e superfície (a)	Urbano/Rural; Pontual/Difuso	Nutrientes; Salinidade; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Patógenos fecais
Rios e canais de recepção (a)	Urbano/Rural; Pontual/Linear	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Salinidade; Metais
Lixiviado de lixões/aterros sanitários	Urbano/Rural; Pontual	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica
Tanques de combustível	Urbano/Rural; Pontual/Difuso	Salinidade; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica
Drenos de rodovias	Urbano/Rural; Pontual/Difuso	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Metais
Indústria		

Vazamento de tanques/tubos (b)	Urbano; Pontual/Difuso	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Metais
Derramamento acidental	Urbano; Pontual/Difuso	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Metais
lagoas de efluentes	Urbano; Pontual	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Metais; Salinidade
Lançamento de efluentes em superfície	Urbano; Pontual/Difuso	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Metais; Salinidade
Canais e rios receptores	Urbano; Pontual/Linear	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Metais; Salinidade
Lixiviado de resíduos sólidos	Urbano/Rural; Pontual	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Metais; Salinidade
Drenos e pátios	Urbano/Rural; Pontual	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Metais
Material em suspensão e gases	Urbano/Rural; Difuso	Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Metais
Agrícola		
a. Área de cultivo		
com agroquímicos	Rural; Difuso	Nutrientes; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica

com irrigação	Rural; Difuso	Nutrientes; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Salinidade
com lodos/resíduos	Rural; Difuso	Nutrientes; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Salinidade
com irrigação de águas residuais	Rural; Difuso	Nutrientes; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Salinidade; Patógenos fecais
b. Beneficiamento/criação de gado e animais		
lagoas de efluentes sem revestimento	Rural; Pontual	Nutrientes; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Patógenos fecais
lançamento em superfície	Rural; Pontual/Difuso	Nutrientes; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Salinidade; Patógenos fecais
Canais e rios receptores de efluentes	Rural; Pontual/Linear	Nutrientes; Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; Patógenos fecais
Extração mineral		
Desmonte hidráulico	Rural/Urbano; Pontual/Difuso	Salinidade; Metais
Descarga de água de drenagem	Rural/Urbano; Pontual/Difuso	Salinidade; Metais
Lagoa de decantação	Rural/Urbano; Pontual	Salinidade; Metais
Lixiviado de resíduos sólidos	Rural/Urbano; Pontual	Salinidade; Metais

Fonte: (FOSTER *et al.*, 2002), adaptado pelo autor. Onde: (a) Pode incluir componentes industriais; (b) Pode também ocorrer em áreas não industriais; (c) Intensificação apresenta aumento no risco de contaminação.

A atenção à poluição de lençóis freáticos é recente e restrita em nosso país, a razão para este fato é que, na maioria dos casos, ao contrário da poluição das águas superficiais, a poluição das águas subterrâneas é menos visível, especialmente para poluentes emergentes e por isso se torna mais difícil mensurar o problema (CUSTÓDIO, 1996).

2.2.1 Contaminação das águas subterrâneas por agrotóxicos

Desde a Revolução Verde o padrão da agricultura passou por mudanças gigantescas. Conquistas tecnológicas ao usar máquinas e equipamentos para substituir o trabalho humano e animal, uso de sementes selecionadas para aumento de produtividade, a recente adoção de sementes geneticamente modificadas. Isto também levou ao uso extensivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos (Cunha *et al.*, 2003).

De acordo com a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989 em seu art. 2º diz sobre agrotóxicos e afins:

I - Agrotóxicos e afins: a) os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos.

Os agrotóxicos também são classificados em função dos efeitos à saúde que decorrem da exposição do ser humano a produtos químicos, resultando em diferentes classes toxicológicas. Essa classificação representa o grau de toxicidade de uma substância, avaliado quantitativamente pela medida da DL₅₀, correspondente a dose de um agente tóxico, no caso o agrotóxico, capaz de produzir a morte de 50% da população em estudo (RUPPENTHAL, 2013). Em 23 de julho de 2019 a Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) aprovou o novo marco regulatório para os agrotóxicos, que torna mais claro os critérios de avaliação e de classificação dos produtos no Brasil (MAPA, 2019). Portanto, foram ampliadas de quatro para cinco as categorias da classificação toxicológica, de acordo com o descrito no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação toxicológica dos agrotóxicos

Classificação	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5	Não Classificado
	Extremamente tóxico	Altamente tóxico	Moderadamente tóxico	Pouco tóxico	Improvável de causar dano agudo	Não Classificado
Pictograma					Sem símbolo	Sem símbolo
Palavra de advertência	Perigo	Perigo	Perigo	Cuidado	Cuidado	Sem advertência
Classe de perigo						
Oral	Fatal se ingerido.	Fatal se ingerido.	Tóxico se ingerido.	Nocivo se ingerido.	Perigoso se ingerido.	-
Dinâmica	Fatal em contato com a pele.	Fatal em contato com a pele.	Tóxico em contato com a pele.	Nocivo em contato com a pele.	Pode ser perigoso em contato com a pele	-
Inalatório	Fatal se inalado.	Fatal se inalado.	Tóxico se inalado.	Nocivo se inalado.	Pode ser perigoso se inalado.	-
Cor da faixa	Vermelho PMS Red 199 C	Vermelho PMS Red 199 C	Amarelo PMS Yellow C	Azul PMS Blue 293 C	Azul PMS Blue 293 C	Verde PMS Green 347 C

Fonte: Adaptado pela ANVISA, 2019.

As características físico-químicas dos agrotóxicos inferem o fato desses agrotóxicos serem mais ou menos persistentes. A solubilidade em água, por exemplo fornece informações sobre o comportamento, transporte e destinação desses compostos, nos solos e nas águas e o valor da solubilidade expressa a polaridade da substância química, ou seja, quanto maior a quantidade de grupos hidrofílicos na molécula do agrotóxico, maior será sua afinidade por água e a sua solubilidade nesse meio (SOARES, 2011).

A persistência dos agrotóxicos e seus produtos de degradação no ambiente é normalmente medida pela meia-vida (DT_{50}). A meia-vida refere-se ao tempo necessário para que 50% da concentração inicial de um agrotóxico aplicado seja decomposta em produtos de degradação. Dessa forma, quanto mais tempo o agrotóxico estiver disponível no solo, maior tende a ser a possibilidade de lixiviar e atingir as águas subterrâneas (BROWN; INGIANNI, 2012).

O coeficiente de adsorção no solo (K_{oc}) indica o potencial de mobilidade no solo, ou seja, a tendência de um material em adsorver as partículas do solo, sendo dependente do tipo de solo e de seu pH. Enquanto que, a constante de Henry (K_H) mostra a tendência do agrotóxico a volatilizar ou permanecer na fase aquosa. Valores elevados desta constante indicam maior volatilização, enquanto valores baixos expressam aquelas substâncias que podem persistir no solo ou na água (PESSOA *et al.*, 2004).

Portanto, de acordo com as suas características, os agrotóxicos podem contaminar o solo, o ar, as águas superficiais e subterrâneas, podendo causar problemas relacionados à saúde humana, seja através da exposição direta (manuseio dos produtos) ou indireta (resíduos em alimentos e água) (NEMETHKONDA *et al.*, 2002).

Segundo Carneiro *et al.* (2015), os dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e do Observatório da Indústria dos Agrotóxicos da Universidade Federal do Paraná (UFPR), divulgados durante o II Seminário sobre Mercado de Agrotóxicos e Regulação, realizado em Brasília, Distrito Federal, em abril de 2012, destaca que, enquanto, nos últimos 10 anos, o mercado mundial de agrotóxicos cresceu 93%, o mercado brasileiro cresceu 190%. Conseqüentemente, o uso dos agrotóxicos nas lavouras tem sido considerado um importante agente de contaminação do solo e da água (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Em áreas de atividade agrícola, a principal preocupação é a contaminação dos recursos hídricos com resíduos de agrotóxicos, sendo que o principal mecanismo para avaliar o impacto do setor e promover políticas voltadas à saúde e o meio ambiente é o

monitoramento da qualidade das águas (GAMA; OLIVEIRA; CAVALCANTE, 2013). Esse monitoramento pode ser realizado através de análises laboratoriais periódicas da água e/ou solo, em função dos agrotóxicos utilizados em uma determinada cultura (FILIZOLA *et al.*, 2002; POSSAVATZ *et al.*, 2014).

No Rio Grande do Sul, estudos mostram que o glifosato está presente nos arrozais irrigados com água da Lagoa Mirim, e sua concentração supera o máximo permitido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). O uso de agrotóxicos ainda permanece, eles estão presentes em todas as análises de água nas regiões que possuem plantação de arroz do Brasil realizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) onde confirmaram que pelo menos um agrotóxico existe nas águas subterrâneas.

Nas planícies do interior da Laguna dos Patos e Santa Catarina, pode-se determinar que as amostras de água monitoradas contêm pelo menos um agrotóxico. Nas áreas da Fronteira Oeste, Depressão Central e Planície Costeira Externa à Laguna dos Patos apresentaram 89% das amostras de água contaminadas e as regiões da Campanha e Sul do Rio Grande do Sul apresentaram 78 e 63%, respectivamente (EMBRAPA, 2017).

Mesmo possuindo contaminação nas águas subterrâneas de abastecimento, para produzir água potável, um processo de tratamento deve ser selecionado para remover ou reduzir compostos indesejáveis da água bruta (RICHTER, 2009).

2.3 POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

O principal fator limitante na escolha de um processo unitário ou sistema de potabilização, a natureza da água bruta e a qualidade esperada da água a ser tratada (RICHTER, 2009).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 63,9% dos 5.507 municípios brasileiros têm abastecimento de água por meio de rede de distribuição (IBGE, 2019). Embora as Estações de Tratamento de Água (ETA) foram criadas para remover os riscos presentes nas águas das fontes de abastecimento por meio de uma combinação de processos e de operações de tratamento, nem sempre são existentes para a potabilização de água (CORSAN, 2015).

No meio urbano no Estado do Rio Grande do Sul comumente o tratamento da água é realizado pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), a qual busca manter o volume de água tratada dentro dos padrões de potabilidade exigidos pelo Anexo XX da PC n° 05/2017 do MS através do controle de qualidade realizado nas ETA's (CORSAN, 2015).

De acordo com a PC n° 5/2017 do MS está descrito em seu Art. 24 que “Toda água para consumo humano, fornecida coletivamente, deverá passar por processo de desinfecção ou cloração” Alterado pela PORTARIA GM/MS n° 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 “Art. 24 Toda água para consumo humano fornecida coletivamente deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos, conforme as disposições contidas no Art. 32. No tocante as águas subterrâneas destacam-se no Art. 33 que:

Os sistemas ou soluções alternativas coletivas de abastecimento de água supridas por manancial subterrâneo com ausência de contaminação por *Escherichia coli* devem realizar cloração da água mantendo o residual mínimo do sistema de distribuição (reservatório e rede)”. § 1º Quando o manancial subterrâneo apresentar contaminação por *Escherichia coli*, no controle do processo de desinfecção da água, devem ser observados os valores do produto de concentração residual de desinfetante na saída do tanque de contato e o tempo de contato expressos nos Anexos 4, 5 e 6 do Anexo XX ou a dose mínima de radiação ultravioleta expressa no art. 32, § 4º.

No meio rural, as propriedades geralmente não possuem os serviços prestados por sistemas de tratamento de água e esgoto operados por empresas de saneamento. São muito comuns as denominadas fossas nesses locais e a contaminação das águas subterrâneas acaba aumentando o risco de propagação de doenças (BERTONCINI, 2008). Nestes locais, a água consumida é comumente proveniente de poços artesianos, sendo que existe em muitos casos a imperícia na técnica na perfuração desses poços, além das incontáveis perfurações ilegais, levando a superexploração do recurso hídrico (TANAKA *et al.*, 2011). Além de haver uma defasagem de tratamento de água, sendo que ou não ocorre quaisquer tipos de tratamento ou possuem um tratamento simplificado composto pelos processos filtração e desinfecção (ANA, 2005).

Os serviços de saneamento e abastecimento de águas nas zonas rurais é considerado precário e notadamente as políticas governamentais priorizam as zonas urbanas deixando as áreas rurais por vezes desassistidas de potabilização da água (BRASIL, 2014). De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), 67,2% da população rural captam água de chafarizes e poços protegidos ou não, em cursos d'água sem nenhum tratamento e em outras fontes geralmente insalubres. E, 32,8% dos domicílios nas áreas rurais estão ligados a redes de abastecimento de água com ou sem canalização interna (FUNASA, 2014).

Geralmente a água captada por sistemas alternativos ou individuais não é apropriada para consumo humano. As soluções alternativas diferente dos sistemas tradicionais de tratamento nem sempre estão sob responsabilidade do poder público, a qual é repassada a população que normalmente residem em zonas rurais afastadas ou a periferia de centros urbanos (HELLER; PÁDUA, 2006). Considera-se ainda que, estabelecer um sistema de abastecimento de água nas comunidades rurais pode não ser uma tarefa fácil, sendo necessário sempre que for instalar um sistema de abastecimento de água em uma comunidade rural conhecer primeiro os hábitos da população (PILOTTO *et al.*, 2015).

2.4 LEGISLAÇÃO APLICADA NA POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA

No Brasil, a principal legislação vigente que trata da potabilidade da água para consumo humano e de águas subterrâneas é a PC de nº 5, de 28 de setembro de 2017, do MS (BRASIL, 2017), alterada o seu Anexo XX pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 202. Enquanto que, a Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas (BRASIL, 2008).

A PC nº 05/2017 do MS, em seu Anexo XX, dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e em seu Art 3º e Art 4º, a referida PC especifica que:

Art. 3º Toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água. Art. 4º Toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Referente a PC, em seu Anexo XX, alterada para o Anexo XII da PC 888/2021 do MS são apresentados os valores máximos permitidos (VMP) de substâncias, fatores físico-químicos e microbiológicos que orientam os padrões de qualidade para as águas de abastecimento. Alguns dos principais parâmetros, bem como seus respectivos VMP estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores máximos permitidos de alguns padrões de potabilidade presentes na Portaria de Consolidação nº 888/2021 do MS

Parâmetro	VMP
Absorvância (λ -254 nm)	-
Coliformes totais	Ausência em 100mL
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	-
Cor aparente (μH)	15
Fluoreto (mg L^{-1})	$\leq 1,5$
Nitrato (mg L^{-1})	≤ 10
Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1})	-
pH	6,0 a 9,5
Sólidos sedimentáveis (mg L^{-1})	-
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	-
Turbidez (μT)	5

Fonte: Adaptada da Portaria de Consolidação N° 888/2021 do MS.

São exigidas semestralmente também por esta portaria, análises de controle de 40 parâmetros de agrotóxicos por parte dos responsáveis pelo abastecimento público de água. Entretanto, cabe destacar que até o ano de 2017 havia 434 ingredientes ativos registrados para uso no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) sendo regulamentados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), indicando que existe 407 compostos que não possuem legislação para sua presença em água (VIEIRA *et al.*, 2017).

Em comparação a PC n° 5/2017 do MS, na Tabela 2 estão apresentados VMP em diferentes países e/ou organizações.

Portanto, o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, por sua relevância, desperta significativo interesse em diferentes países. O objetivo de viabilizar a utilização da água para as atividades humanas associada à manutenção dos serviços ambientais e da biodiversidade dos ecossistemas aquáticos representa, sem dúvida, um passo fundamental em direção à sustentabilidade (ACHLEITNER *et al.*, 2005; CARONE *et al.*, 2009).

Tabela 2 – Comparação dos valores máximos permitidos (VMP) para compostos agrotóxicos em água de abastecimento público estabelecido pela legislação brasileira e as legislações mundiais

Parâmetro ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Brasil	EUA	Australia	China
2,4 D + 2,4,5 T	30	70	30	30

Alacloro	20	2	-	-
Aldicarbe + Aldicarbesulfona +Aldicarbesulfóxido	10	-	4	-
Aldrin + Dieldrin	0,03	-	0,3	-
Atrazina	2	3	20	2
Carbendazim + benomil	120	-	90	-
Carbofurano	7	40	10	-
Clordano	0,2	2	2	-
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	30	-	10	-
DDT+DDD+DDE	1	-	9	1
Diuron	90	-	20	-
Endossulfan (a b e sais) (3)	20	-	20	-
Endrin	0,6	2	-	-
Glifosato + AMPA	500	700	1000	700
Lindano (gama HCH) (4)	2	0,2	10	2
Mancozebe	180	-	9	-
Metamidofós	12	-	-	-
Metolacloro	10	-	300	-
Molinato	6	-	4	-
Parationa Metflica	9	-	0,7	3
Pendimentalina	20	-	400	-
Permetrina	20	-	200	-
Profenofós	60	-	0,3	-
Simazina	2	4	20	-
Tebuconazol	180	-	-	-
Terbufós	1,2	-	0,9	-
Trifluralina	20	-	90	-

Fonte: Brasil (2011), China (2007), USEPA (2009), (COUNCIL DIRECTIVE, 1998), (NHMRC,2017).

Os valores máximos permitidos de alguns agrotóxicos foram alterados e também inseridos pela Portaria de Consolidação nº 888/2021 do MS, presentes na

Tabela 3 – VMP de agrotóxicos descritos na Portaria de Consolidação nº 888/2021 do MS

Parâmetro	VMP (µg/L)	Parâmetro	VMP (µg/L)
-----------	---------------	-----------	---------------

2,4 D	30	Hidroxi-Atrazina	120
Alacloro	20	Lindano (gama HCH) (4)	2
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	10	Melationa	60
Aldrin + Dieldrin	0,03	Mancozebe + ETU	8
Ametrina	60	Metamidofós + Acetato	7
Atrazina + S-Clorotriazinas (Deetil-Atrazina - Dea, Deisopropil-Atrazina - Dia e Diaminoclorotriazina -Dact)	2	Metolacloro	10
Carbendazim	120	Metribuzim	25
Carbofurano	7	Molinato	6
Ciproconazol	30	Paraquate	13
Clordano	0,2	Picloram	60
Clortalonil	45	Profenofós	0,3
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	30	Propargito	30
DDT+DDD+DDE	1	Protioconazol + ProticonazolDestio	3
Difenoconazol	30	Simazina	2
Dimetoato + ometoato	1,2	Tebuconazol	180
Diuron	20	Terbufós	1,2
Epoxiconazol	60	Tiametoxam	36
Fipronil	1,2	Tiodicarbe	90
Flutriafol	30	Tiram	6
Glifosato + AMPA	500	Trifluralina	20

Fonte: Adaptado pela Portaria de Consolidação nº 888/2021 do MS

Os países da Comunidade Europeia possuem como legislação de potabilidade de água, a Diretiva nº 98/83/EC. Essa diretiva não impede que os países membros da Europa elaborem seus próprios padrões de potabilidade, desde que sejam mais rigorosos que a presente diretiva. Ela contempla 26 parâmetros químicos, 20 parâmetros indicadores e quatro parâmetros microbiológicos. Em relação aos agrotóxicos, essa diretiva estabelece os parâmetros:

“agrotóxico” e “agrotóxico total”, sendo os VMP 0,10 e 0,50 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Dessa forma, para cada agrotóxico individual, a concentração máxima permitida é de 0,10 $\mu\text{g L}^{-1}$. Essa diretiva abre exceções para os agrotóxicos: aldrin, dieldrin, heptacloro e heptacloro epóxido, estabelecendo um VMP de 0,03 $\mu\text{g L}^{-1}$. Em relação ao para o parâmetro “agrotóxico total”, a soma das concentrações de todas as substâncias detectadas na água tem que ter concentração máxima de 0,50 $\mu\text{g L}^{-1}$ (COUNCIL DIRECTIVE, 1998). Esses valores, para os agrotóxicos, estão presentes desde a diretiva anterior, a Diretiva n° 80/778/CEE. A diferença é que nesta diretiva não havia exceções para os agrotóxicos individuais (COUNCIL DIRECTIVE, 1980).

Considera-se, portanto, que a PC n° 5/2017 do MS é menos restritiva quando em comparação com a legislação de outros países pois, a soma dos VMP dos 27 parâmetros de agrotóxicos regulamentados equivale a 1.353,03 $\mu\text{g L}^{-1}$ permitidos na água para consumo humano. De acordo com Bombardi (2017), a quantidade de agrotóxicos apresentadas na legislação brasileira é pequena em relação ao número total de compostos existentes. Porém sendo atualizada pela PC n° 888/2021 do MS com a soma dos VMP de 40 agrotóxicos equivalente a 1.677,13 $\mu\text{g L}^{-1}$.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item encontram-se descritos os materiais, os equipamentos e os métodos empregados nas análises dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e a quantificação de multiresíduos de agrotóxicos na água de abastecimento público rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS realizadas em campo (*in situ*) e em laboratório (*ex situ*) para este estudo utilizando-se da infraestrutura do Laboratório de Águas e Ecotoxicologia e do Laboratório de Química Instrumental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Cerro Largo/RS.

3.1 TIPO DE ESTUDO

A natureza da pesquisa foi de caráter descritivo e exploratório (MARCONI; LAKATOS, 2003). Descritiva, pois é um estudo empírico, cuja principal finalidade consiste na análise de fatos, ou seja, na identificação de valores de parâmetros que norteiam a potabilidade da água. Exploratória porque possui investigações empíricas em relação ao ambiente estudado. O estudo quantitativo considerou a determinação da potabilidade da água por meio de análises laboratorial para fins de obtenção de valores para a mensuração de parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

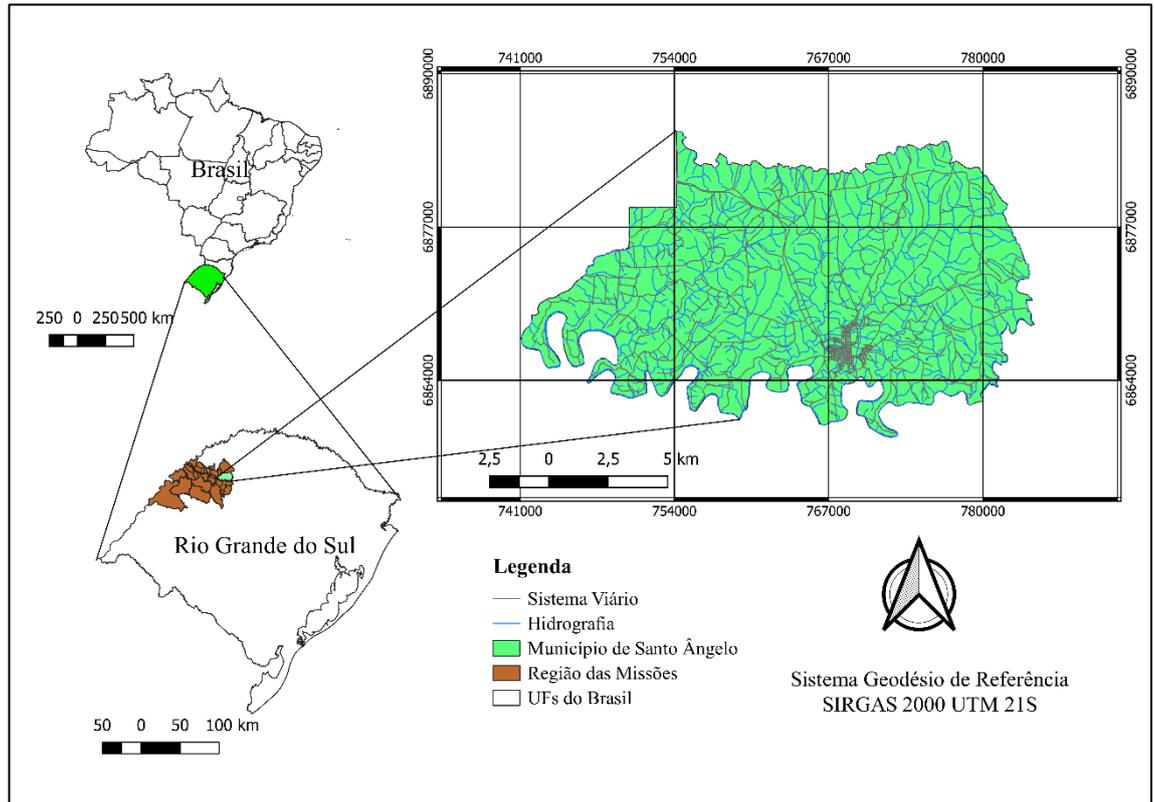
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A caracterização do município de Santo Ângelo perfaz a descrição sintetizada de localização, dados sociodemográficos, de clima e tipos de solos.

3.2.1 Localização

Santo Ângelo está localizado na encosta ocidental do planalto médio rio-grandense, região noroeste do estado, zona fisiográfica das missões. É o maior município da região das missões. Com altitude de 286 metros acima do nível do mar, localiza-se entre as coordenadas geográficas 28°07'11" a 28°22'26" de latitude sul e 54°05'36" a 54°33'55" de longitude oeste.

Figura 3 – Mapa localização de Santo Ângelo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

3.2.2 Dados gerais

No Quadro 3 estão dispostos dados gerais quanto ao município de Santo Ângelo/RS.

Quadro 3 – Dados gerais do município de Santo Ângelo/RS

Característica	Dados
Área (km ²)	679,34
População estimada	77,568 pessoas
Densidade (hab Km ⁻²)	116
Altitude (m)	28
Latitude (graus)	-28,3
Longitude (graus)	54,26
Clima	Subtropical
Conselhor Regional de Desenvolvimento (CORED)	Missões

Microrregião do IBGE	Santo Ângelo
Mesorregião do IBGE	Noroeste Rio-Grandense
Taxa de urbanização	75-100%

Fonte: Adaptado de PMSB de Santo Ângelo/RS, 2020.

Conforme dados fornecidos pelo IBGE (2021), a população soma 77.568 habitantes. A Densidade Demográfica é de 112,09 hab km² (FEE, 2006). O PIB per capita é de R\$ 13.982,97 (IBGE, 2008). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) no município é de 0.821 (PNUD, 2000). Santo Ângelo possui área territorial de 681,27 Km².

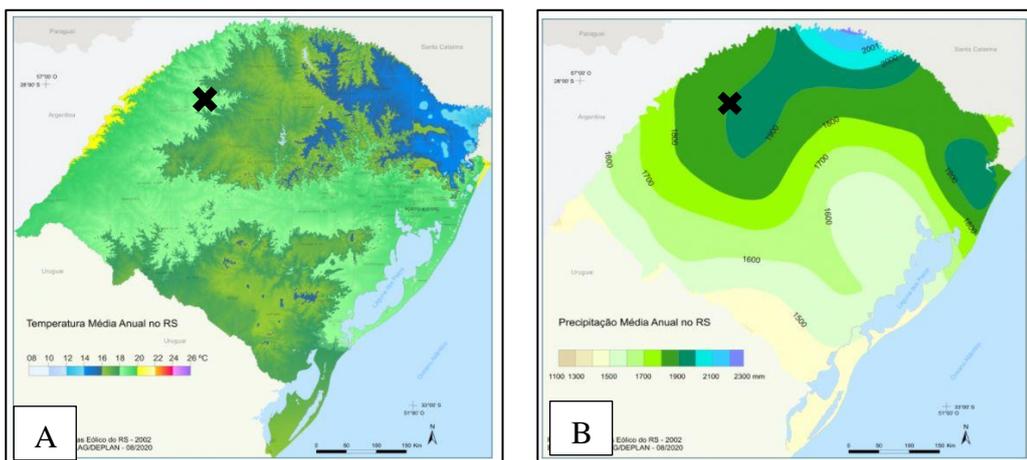
No tocante ao Clima, o Rio Grande do Sul é temperado do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido. As temperaturas durante o ano são bem características, com o verão bem quente e o inverno bem rigoroso. As temperaturas médias variam de 15 °C a 18 °C, podendo chegar em temperaturas negativa no inverno e 40°C no verão (Figura 4 A). A Evapotranspiração Potencial Anual está situada entre 700 mm e 1,200 mm e a Umidade relativa do ar média está entre 70 e 80%, com insolação entre 2.400 a 2.600 horas/sol/ano e radiação solar média de 360 a 430 cal cm⁻² dia⁻¹. Os ventos predominantes são moderados, de quadrantes Sudeste e Nordeste, com ocorrência de Sul (Minuano) e o Vento Norte. Em Santo Ângelo, o verão é longo, quente e abafado. O inverno é curto e ameno. O tempo é chuvoso e parcialmente nublado durante todo o ano. A temperatura ao longo do ano é geralmente entre 10 °C e 31 °C, raramente abaixo de 2 °C ou acima de 35 °C (WEATHER SPARK, 2020). É normal a ocorrência de geadas nos meses de junho a agosto, com média de 10 a 20 ocorrências anuais. As chuvas são bem distribuídas, com uma média de precipitação pluviométrica anual de 1.730 mm, com 80 a 100 dias chuvosos por ano, podendo haver eventuais ocorrências de granizo. Nas estações mais quentes, podem ocorrer estiagens prolongadas (Figura 4 B).

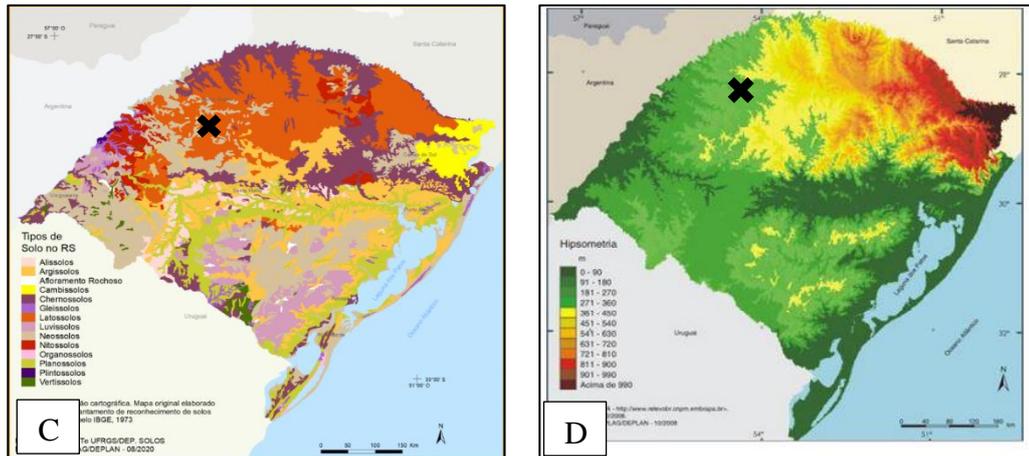
Em relação ao solo, o Rio Grande do Sul apresenta uma grande variedade de tipos de solo como consequência da complexidade da formação geológica e da ação climática e existente conforme apresentado na Figura 4 C. O município de Santo Ângelo possui solo Latossolo, que são profundos, bem drenados, ácidos e de baixa fertilidade, podendo apresentar toxidez por alumínio para as plantas. Esta relação entre a profundidade do solo com o relevo suave, os torna de boa aptidão agrícola, desde que corrigida a fertilidade química, podendo ser utilizados com culturas de inverno e de verão. São encontrados ainda os Neossolos que são solos pouco desenvolvidos e normalmente rasos, de formação muito recente, encontrados nas mais diversas condições de relevo e drenagem. O uso deste solo está restrito ao relevo e a baixa profundidade,

exigindo práticas conservacionistas severas. Em geral as áreas de relevo suave ondulado e ondulado podem ser utilizadas para pastagens permanentes e nas regiões de relevo forte ondulado para reflorestamento e fruticultura. Contudo, o tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho Distroférrico Típico (STRECK *et al.*, 2002), originado de basalto e arenito, de textura argilosa, relevo ondulado, substrato basáltico da unidade de mapeamento Santo Ângelo.

Já sobre o relevo, a região das missões constitui a encosta ocidental do planalto rio-grandense, sendo-lhe geologicamente, semelhante, isto é, contém um capeamento de efusivas triássicas sobre base de arenito. Conforme a divisão regional do Rio Grande do Sul, o município de Santo Ângelo pertence a região das missões com vegetação predominante de campos, havendo, contudo, mata de galeria ao longo de alguns de seus rios. O aspecto topográfico é de modo geral um declive mínimo, de leste a oeste, como continuação que é do planalto, em suaves ondulações de coxilhas. Na Figura 4 está apresentada a configuração do relevo do estado do Rio Grande do Sul, onde Santo Ângelo se enquadra com uma hipsometria de 271-360 (BECKER, 2008).

Figura 4 – Características do Estado do Rio Grande do Sul





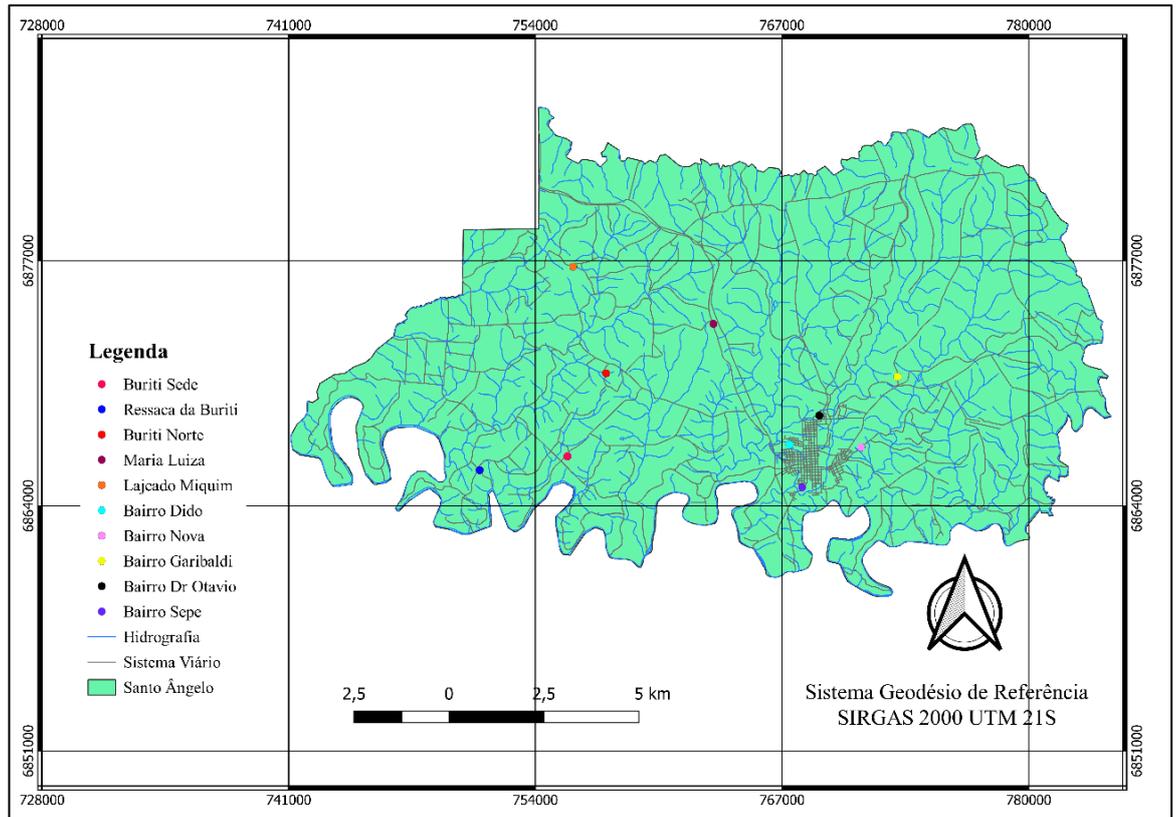
Fonte: (ATLAS SOCIOECONÔMICO RIO GRANDE DO SUL, 2018), (TIPOS DE SOLO, 2017), (BECKER, 2008). Nota: Temperatura média anual no Rio Grande do Sul (A), Precipitação média anual no Rio Grande do Sul (B), Tipos de solos do Rio Grande do Sul (C), Configuração do relevo do Estado do Rio Grande do Sul (D). Localização do Município de Santo Ângelo (X)

3.3 SELEÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Para o referido estudo foram selecionados cinco pontos da área urbana e cinco pontos da área rural do município de Santo Ângelo/RS, e em cada ponto foi escolhido um poço de abastecimento público como local de coleta (

Figura 5).

Figura 5 – Mapa dos pontos de amostragem no Município de Santo Ângelo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Na área rural estão localizados cinco pontos de coleta que são eles: Buriti Sede a qual abastece em média cerca de 199 usuários, Ressaca da Buriti que abastece 37 famílias (cerca de 111 usuários), Buriti Norte que abastece 16 famílias (em torno de 48 usuários), Maria Luiza que abastece 17 famílias (cerca de 51 usuários) e Lajeado Miquim abastecendo 15 famílias (cerca de 45 usuários), para se ter uma estimativa de usuários por ponto foi estabelecido 3 usuários por família. Na área urbana também temos 5 pontos de coletas que são: o Bairro Dido com mais de 5000 usuários, Bairro Nova, Bairro Garibaldi, Bairro Dr. Otávio com cerca de 8000 de usuários e o Bairro Sepé possuindo cerca de 4.000 usuários.

3.4 COLETA DAS AMOSTRAS PARÂMETROS

Realizou-se a coleta de amostras no dia 8 de fevereiro de 2021 nos poços e nos postos de saúde de abastecimento público nas áreas rurais e urbanas do município de Santo Ângelo/RS. Esta foi realizada prioritariamente no local dos poços quando o mesmo possuía uma torneira acoplada. Quando isso não foi possível, a coleta se deu no reservatório de água ou na residência mais próxima. No

Quadro 4 tem-se os locais de coleta e a área de cada amostra.

Quadro 4 – Local de coleta das amostras

Área	Local	Coleta	Coordenada Geográfica	
			Sul	Oeste
Rural	Buriti Sede	Poço	6866628,9270	755686,3232
	Ressaca da Buriti	Caixa d'água	6865889,0690	751063,1699
	Buriti Norte	Poço	6871032,3090	757725,1569
	Maria Luiza	Poço	6873643,8400	763386,2389
	Lajeado Miquim	Poço	6876685,3070	755996,4412
Urbano	Bairro Dido	Posto de Saúde	6867243,5620	767392,0239
	Bairro Nova	Residência	6867112,2090	771174,8607
	Bairro Garibaldi	Posto de Saúde	6870850,0610	773086,0990
	Bairro Dr. Otávio	Posto de Saúde	6868792,3500	768963,3146
	Bairro Sepe	Posto de Saúde	6864980,4360	768057,2285

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

No Bairro Nova a coleta foi realizada na residência mais próxima, pois o posto de saúde estava fechado e na Ressaca da Buriti a coleta foi realizada na caixa de água, pois não possuía acesso ao poço.

Nas Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 estão apresentados os locais de coletas das amostras para análise da área urbana.

Figura 6 – Bairro Dido (área urbana)



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 7 – Bairro Dr. Otávio (área urbana)



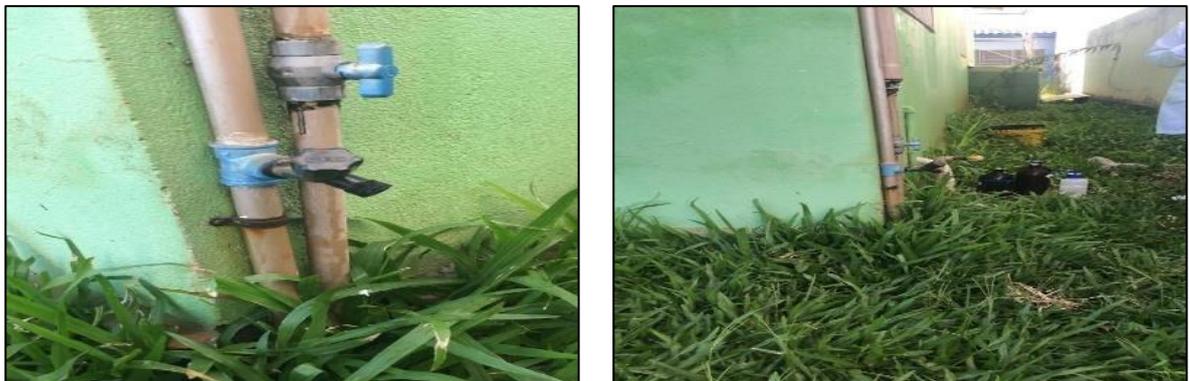
Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 8 – Bairro Nova (área urbana)



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 9 – Bairro Garibaldi (área urbana)



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 10 – Bairro Sepé (área urbana)



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Nas Figuras 12, 13, 14, 15 e 16 estão apresentados os locais de coletas das amostras para análise da área rural.

Figura 11 – Buriti Sede (área rural)



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 12 – Ressaca da Buriti (área rural)



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 13 – Buriti Norte (área rural)



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 14 – Lajeado Miquim (área rural)



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 15 – Maria Luiza (área rural)



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Na Figura 16 está apresentado o momento do procedimento de coleta.

Figura 16 – Procedimento de coleta



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para análise de parâmetros físico-químicos e para análise de agrotóxicos foram coletadas duas alíquotas de 1 L em frascos de vidro âmbar, as quais foram armazenadas e refrigeradas em caixas térmicas a $4\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ até sua análise.

As amostras de água foram coletadas imediatamente após a sua saída dos poços, que consiste em abrir a torneira durante dois minutos para que a água que estivesse na tubulação fosse descartada, exceto para a coleta no Bairro Nova e na Ressaca da Buriti que foram realizadas coletas em residência e em caixa de água.

Para análise de parâmetros microbiológicas coletou-se 100 mL de água, após a higienização das mãos e torneira com álcool 70%, em frascos plásticos estéreis e descartáveis. Após a coleta adicionava-se o meio de cultura COLItest® para promover o crescimento de bactérias do grupo coliformes. As amostras eram armazenadas e refrigeradas em caixa térmica a $4\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ até sua análise no Laboratório de Águas e Ecotoxicologia (Laboratório 114, bloco 3) da UFFS, campus Cerro Largo/RS. Alguns parâmetros foram analisados in situ, com a utilização da sonda multiparâmetro YSI Professional Plus, tais como pH, temperatura, OD e condutividade elétrica. Para estes parâmetros, coletava-se água em um béquer higienizado para assim realizar a leitura com a sonda multiparâmetro. Os demais ensaios ex situ foram efetuados posterior a chegada das amostras no Laboratório de Águas e Ecotoxicologia da UFFS, campus Cerro Largo/RS.

Todos os procedimentos de coleta das amostras de água foram realizados de acordo com Norma Brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) N° 9.898, de junho de 1987.

Os locais de coletas serão nomeados como ponto P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 e P10, sendo pertencentes à área rural os pontos P1, P2, P3, P4 e P5 e à área urbana os pontos P6, P7, P8, P9 e P10, de forma aleatória para fins de não especificação do local, os quais seguem sob sigilo com a autora do estudo.

3.5 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS

Foram analisados como parâmetros físico-químicos: o pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), OD (mg L^{-1}), sólidos sedimentáveis (mL L^{-1}), absorvância (λ -254 nm), cor aparente (uH), turbidez (uT), nitrato (mg L^{-1}) e Cloro ativo (ppm) e como parâmetros microbiológicos: coliformes totais, em cada amostra de água coletada nos poços de abastecimento. Todas as análises foram realizadas em triplicata, no laboratório de águas (Laboratório 114, bloco 3) da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Cerro Largo/RS, exceto condutividade elétrica, OD e temperatura que foram analisados por sonda multiparâmetro in loco e o cloro ativo foi analisado por fita teste.

A metodologia utilizada para determinação de cada parâmetro está expressa no Quadro 5 – Equipamentos e referência metodológica utilizada para análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Quadro 5 – Equipamentos e referência metodológica utilizada para análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Parâmetros	Unidade	Referência Metodológica	Equipamentos
Absorbância (λ ~ 254 nm)	–	5910b APHA(2) (2005)	Evolution 201 UV-Visível Spectrophotometer
Coliformes totais	P/N ⁽¹⁾	SM 9221 C APHA (2005)	Kit COLItest®
Condutividade elétrica	uS cm^{-1}	2510 B APHA (2005)	Sonda YSI Professional Plus
Cor aparente	uH	2120 B APHA (2005)	Colorímetro Del Lab
<i>Escherichia coli</i>	P N ⁻¹⁽¹⁾	SM 9221 F APHA (2005)	Kit COLItest®
Fluoreto	mg L^{-1}	4500 D APHA (2005)	PoliControl Aquacolor Flúor
Nitrato	mg L^{-1}	4500 B APHA (2005)	Evolution 201 UV-Visível Spectrophotometer
Oxigênio dissolvido	mg L^{-1}	4500 G APHA (2005)	Sonda YSI Professional Plus

pH	–	4500 APHA (2005)	Sonda YSI Professional Plus
Sólidos sedimentáveis	mg L ⁻¹	2550 APHA (2005)	Cone de Imhoff
Temperatura	°C	2550b APHA (2005)	Sonda YSI Professional Plus
Turbidez	uT	2130 APHA (2005)	Turbidímetro PoliControl AP 2000

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. Nota: (1) Positivo / negativo em 100 mL; (2) American Public Health Association, 2005.

3.6 DETERMINAÇÃO DE AGRÓTOXICOS

No Quadro 6 estão apresentados os agrotóxicos em estudo bem como, algumas de suas principais características e usos na agricultura.

Quadro 6 – Principais características e culturas dos agrotóxicos

Agrotóxicos	Principais Características					Principais culturas
	S (mg L ⁻¹)	DT ₅₀ Água (dias)	DT ₅₀ Solo (dias)	Koc (cm ³ /g)	KH (Pa.m ³ mol ⁻¹)	
2,4-D	311	7,5	<7	60	1,32x10 ⁻⁵	soja, trigo, milho
Atrazina	35	86	75	100	1,5x10 ⁻⁴	milho
Azoxistrobina	6,7	6,1	78	589	7,40x10 ⁻⁹	algodão, arroz, a veia, banana, cevada, soja e trigo
Bentazona	7112	-	20	55,3	7,2x10 ⁻⁵	feijão, soja, milho, trigo
Carbofurano	322	35	29	-	5x10 ⁻⁵	cana-de-açúcar, café, banana.
Ciproconazol	93	-	142	-	5x10 ⁻⁵	milho, café, soja, trigo
Clomazone	1212	>30	22,6	300	5,9x10 ⁻³	algodão, feijão, milho, trigo.
Difenoconazol	15	-	130	-	9,0x10 ⁻⁷	algodão, arroz, feijão, milho.
Epoxiconazol	7,1	-	354	-	4,71x10 ⁻⁴	soja, café, milho, trigo
Fipronil	3,78	-	142	-	2,31x10 ⁻⁴	algodão, soja, batata, cana-de-açúcar, milho.
Imazapique	2230	-	120	137	-	milho, soja.
Imazetapir	1400	-	90	52	1,30x10 ⁻²	feijão, soja
Imidacloprida	610	-	191	225	1,7x10 ⁻¹⁰	algodão, arroz, batata, cana-de-açúcar, citros, feijão, fumo, milho, soja, tomate, trigo.
Malationa	148	-	0,17	1800	1,00x10 ⁻³	tomate, soja, repolho, pêssego, maçã, citros, algodão.
Metsulfurom-metílico	2790	-	10	-	2,87x10 ⁻⁶	arroz, café, cana-de-açúcar, trigo, a veia.
Penoxsulam	408	-	73,2	-	2,94x10 ⁻¹⁴	arroz.
Piraclostrobina	1,9	-	32	9304	5,31x10 ⁻⁶	alho, batata, cebola, cenoura, feijão, soja, café, milho, trigo.
Pirazossulfurom	14,5	-	15	154	-	arroz.
Pirimicarbe	3100	33,3	86	1387	3,30x10 ⁻⁵	algodão
Propanil	130	1 a 2	2	239 a 800	3,6x10 ⁻⁶	arroz
Profenofós	28	-	7	2016	1,65x10 ⁻³	café, soja
Propiconazol	150	-	71,8	1086	9,20x10 ⁻⁵	feijão, soja, trigo
Simazina	5	96	60	130	5,60x10 ⁻⁵	milho
Tebuconazol	36	-	63	-	1,0x10 ⁻⁵	soja, alho, batata, beterraba, café, cebola, trigo, feijão, cenoura, milho
Tiametoxam	4100	-	50	56,2	4,70x10 ⁻¹⁰	café, batata, feijão, trigo, soja, milho, cebola
Trifloxistrobina	0,61	-	0,34	-	2,30x10 ⁻³	alho, cebola, cenoura, feijão, milho, soja, trigo

Fonte: IUPAC,2018. AGROLINK,2020. Obs: S (solubilidade em água), DT₅₀ água (meia-vida na água), DT₅₀ solo (meia-vida no solo), Koc (Coeficiente de adsorção à matéria orgânica) e KH (Coeficiente da Lei de Henry)

No Quadro 7 estão descritos os agrotóxicos selecionados para o estudo, bem como sua classe, grupo químico e classificação toxicológica.

Quadro 7 – Características gerais dos agrotóxicos em estudo

Agrotóxico	Classe	Grupo Químico	Classificação toxicológica
2,4-D	Herbicida	Ácido ariloxialcanóico	I
Atrazina	Herbicida	Triazina	III
Azoxistrobina	Fungicida	Estrobilurina	III
Bentazona	Herbicida	Benzotiadiazinona	III
Carbofurano	Inseticida	Carbamato	-
Ciproconazol	Fungicida	Triazol	III
Clomazone	Herbicida	Isoxazolidinona	III
Difenoconazol	Fungicida	Triazol	I
Epoxiconazol	Fungicida	Triazol	III
Fipronil	Inseticida	Pirazol	II
Imazapique	Herbicida	Imidazolinona	II
Imazetapir	Herbicida	Imidazolinona	III
Imidacloprida	Inseticida	Neonicotinóide	V
Malationa	Inseticida	Organofosforado	III
Metsulfurom -metílico	Herbicida	Sulfonilureia	III
Penoxsulam	Herbicida	Triazolopirimidina	III
Piraclostrobina	Fungicida	Estrobilurina	-
Pirazossulfurom	Herbicida	Sulfoniluréia	III
Pyrimicarb	Inseticida	Carbamato	II
Propanil	Herbicida	Anilida	III
Profenofós	Inseticida	Organofosforado	II
Propiconazol	Fungicida	Triazol	II
Simazina	Herbicida	Triazina	III
Tebuconazol	Fungicida	Triazol	IV
Tiametoxam	Inseticida	Neonicotinóide	III
Trifloxistrobina	Fungicida	Estrobilurina	II

Fonte: ANVISA, 2019; IUPAC, 2019.

3.6.1 Métodos de análise de agrotóxicos

O procedimento consistiu na validação de um método para determinar 26 agrotóxicos estudados em águas subterrâneas nas áreas rurais e urbanas de Santo Ângelo/RS utilizadas para abastecimento público. Para a extração e pré-concentração das amostras foi aplicada a técnica da Extração em Fase Sólida e para detecção e quantificação dos agrotóxicos fez-se uso do equipamento CLAE/EM da marca Shimadzu LC-MS 2020, com fonte de ionização por

Ionização por Electrospray (ESI), analisador de massa tipo Quadrupolo e sistema de aquisição de dados LabSolutions®. Os procedimentos para análise de agrotóxicos em amostras de água subterrânea foram realizados no Laboratório de Química Instrumental (laboratório 107, bloco 3) da UFFS, campus Cerro Largo/RS.

3.6.1.1 Preparo da amostra

Para impedir a contaminação os materiais comuns de laboratório, inclusive, os frascos de vidro âmbar utilizados na coleta passaram por um procedimento de limpeza especial. Todas as vidrarias utilizadas foram enxaguadas com água da torneira, água destilada e água ultra pura após, foram postas de molho por 24 h em Extran® 5% (detergente de alta pureza). Passadas as 24h, removeu-se o Extran® dos frascos e novamente as vidrarias são enxaguadas com água da torneira, água destilada e água ultrapura.

A preparação das amostras ocorreu em várias partes. Primeiramente foi realizada a filtração da amostra por membrana (acetato de celulose de 0,45 μm), que tem como finalidade a remoção de qualquer material sólido em suspensão que interfira nas análises, assim como comprometimento e entupimento do sistema cromatográfico, a filtração foi realizada com o auxílio de uma bomba de sucção, um kitassato, um copo de vidro, um funil, membranas filtrantes de acetato de celulose, garra para vedação dos itens e rolha de silicone, de acordo com a Figura 17 A.

Após as amostras serem filtradas, elas são transferidas para balões volumétricos até aferir 250 mL. Seguidamente as amostras são acidificadas a pH 3 com ácido fosfórico, a acidificação permite melhores recuperações para os agrotóxicos com características ácidas.

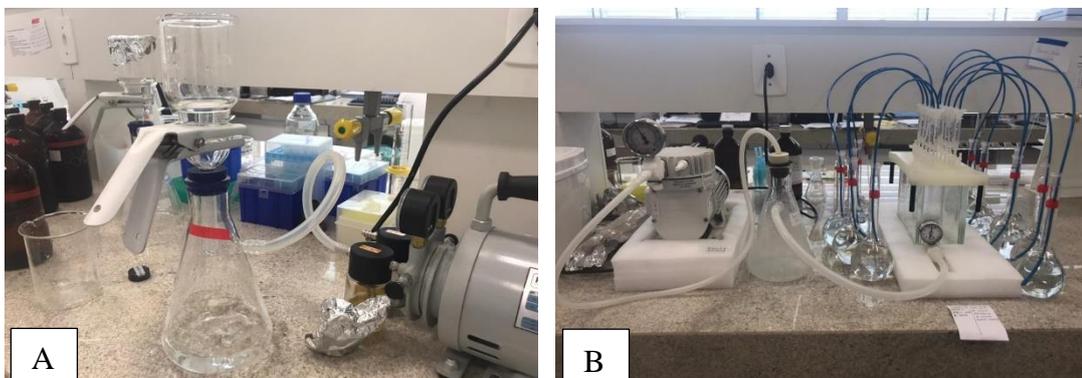
Com a finalidade de isolar os agrotóxicos presentes na amostra de água em um sorvente, utilizou-se o sistema SPE vacuum Manifold, onde faz-se necessário a ativação do sorvente, realizando o condicionamento dos cartuchos com C18e-c feito através da adição de 3 mL de metanol e 3 mL de água ultrapura acidificada a pH 3, em seguida conectou-se uma mangueira de politetrafluoretileno (PTFE) entre o balão volumétrico (contendo a amostra) e os cartuchos, dando início a extração. As alíquotas de 250 mL foram percoladas pelo cartucho a uma vazão de 10 mL min^{-1} controlada pela bomba à vácuo no sistema SPE vacuum Manifold. Como é demonstrado na Figura 17 B o sistema SPE foi montado com uma cuba de vidro, acompanhado de uma tampa de plástico com orifícios, onde foram encaixados os cartuchos C18 (Manifold),

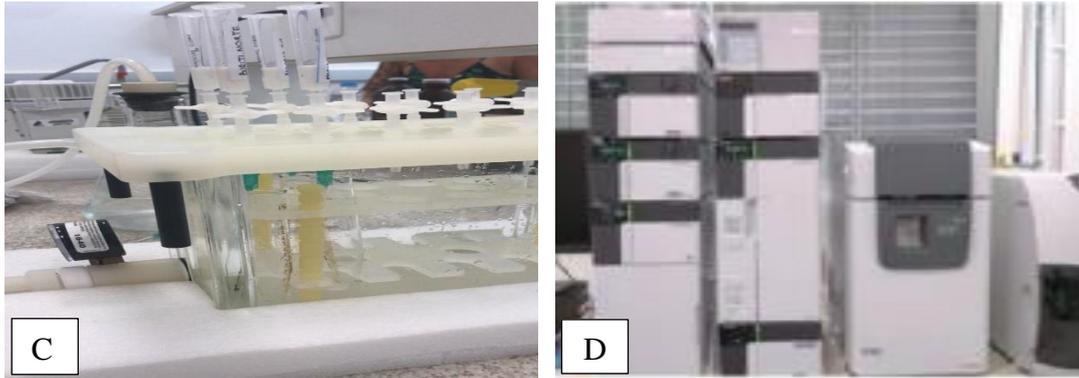
esse sistema foi ligado na bomba a vácuo. Após a percolação, os 63 cartuchos foram envelopados com papel alumínio e acondicionados no freezer.

Posteriormente foi necessário realizar a eluição dos analitos adsorvidos com 2 mL (2x de 1 mL) de metanol no cartucho de C18. Junto com as amostras foi realizado 1 branco do experimento, utilizando água ultrapura também acidificada a pH 3. Neste sentido, preparou-se o sistema SPE vacuum Manifold com agulhas especiais encaixadas em sua parte interna e tubos de ensaio volumétricos para coleta das amostras. Em seguida este volume de 2 mL foi armazenado em vials para análise cromatográfica, juntamente com os brancos, conforme mostra a Figura 17 C.

A SPE possibilitou a concentração dos analitos para que fossem detectados no HPLC-MS (demonstrado na Figura 17 D), num fator de 125 vezes, uma vez que 250 mL de amostra é eluída em 2 mL. As condições do sistema HPLC-MS para a separação cromatográfica foram: Coluna analítica Athena com C18 (50 mm x 2,1 mm d.i x 3,0 μ m). O forno foi estabilizado a uma temperatura de 30 °C. A fase móvel utilizada foi metanol (B) e água ultrapura (A) ambos acidificados com ácido fórmico grau HPLC a 0,1 % e formiato de amônio 5 mmol L⁻¹, com eluição em gradiente, a qual início com 10 % de B, mantendo por 0,25 min e aumentando para 48 % até 2 min, após sobe para 100 % de B até 8 min, mantêm por 1 min e retorna as condições iniciais até 11 min e mantêm essa condição por mais 3 min. O tempo de corrida cromatográfica foi de 13 minutos. O método foi validado no laboratório conforme as recomendações do INMETRO (2018).

Figura 17 – Etapas da preparação da amostra para análise de agrotóxico





Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. Nota: Procedimento de filtração da amostra (A), Sistema SPE va cuum Manifold (B), Eluição das amostras (C) e HPLC-MS (D).

A determinação dos agrotóxicos se deu por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas. Foram determinados 26 compostos, sendo esses: atrazina; azoxistrobina; bentazona; ciproconazol; difenoconazol; clomazona; epoxiconazol; imazetapir; imidacloprida; fipronil; malationa; pirimicarbe; propiconazol; simazina; imazapique; carbofurano; tebuconazol; piraclostrobin; 2,4D; metsulfurom-metílico; penoxlam; pirazussulfurom-etílico; profenofós; propanil; tiametoxam e trifloxistrobina, todos os padrões analíticos com pureza superior a 99% da Sigma Aldrich®.

A validação do método para análise de resíduos de agrotóxicos foi otimizada de acordo com a metodologia elaborada no Laboratório de Química Instrumental da UFFS, de modo a garantir que atenda as exigências das aplicações analíticas. Desta forma, o método foi validado com base nas normas do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2018), para: seletividade, linearidade/faixa e trabalho/faixa; precisão; exatidão; limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item encontram-se descritos os resultados acerca da potabilidade da qualidade da água de 10 poços de abastecimento da zona rural e urbana, bem como da presença de composto agrotóxicos nas águas servidas a população do município de Santo Ângelo - RS.

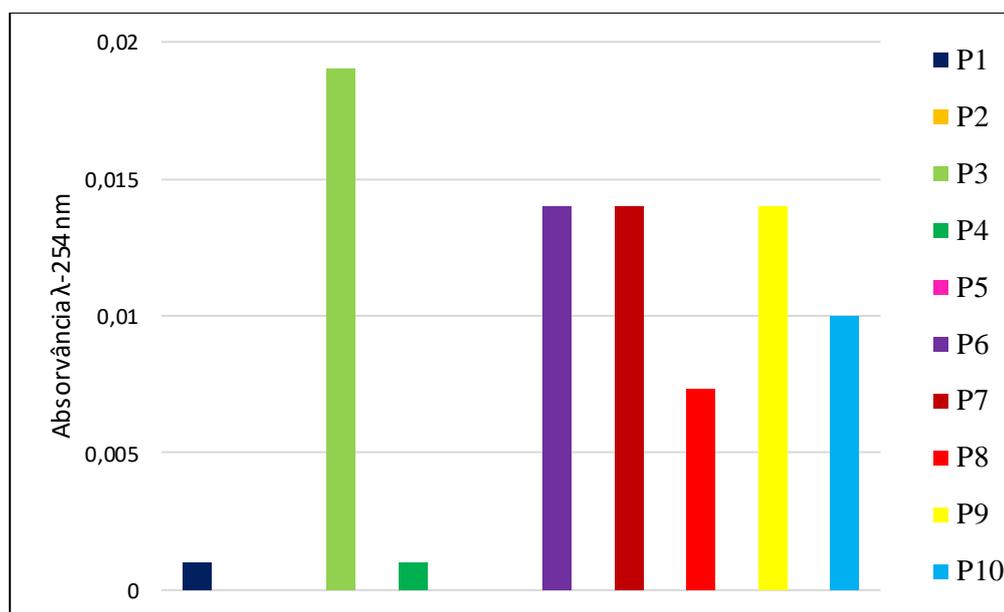
4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

Seguem descritos os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos comparados com os VMP previstos em legislação ambiental vigente. A dos resultados de todos os parâmetros analisados, bem como os respectivos desvios padrão referente às análises de água de abastecimento da área rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS estão apresentadas no Apêndice A.

4.1.1 Absorvância λ - 254 nm

Os resultados de absorvância λ -254 nm da água subterrânea dos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Absorvância das áreas rurais e urbanas do município de Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com o Gráfico 1 percebe-se que os valores acerca da absorvância λ -254 nm variaram de 0,0073 a 0,014 na área urbana e de ≈ 0 a 0,019 na área rural. A absorvância presente na análise de algumas amostras pode se dar pelo período de chuva, nos dias prévios a coleta, o que pode gerar um aumento no escoamento superficial, ocasionando a entrada dessas partículas em águas subterrâneas.

Altos valores de absorvância λ -254 nm indicam que há alta concentração de carbono orgânico nas águas (ALBREKTIENE et al., 2012). Como ocorreu no trabalho de Leal (2013), que avaliou as águas subterrâneas do Bairro Jurerê Internacional de Florianópolis/SC e encontrou uma absorvância λ -254 nm variando entre 0,535 – 1,059, que resultou em valores de carbono orgânico dissolvido entre 12,46 - 17,70 mg L⁻¹, o autor cita que isto ocorre devido a região ser composta por mangues ou terrenos alagadiços, locais caracterizados por apresentarem elevados teores de matéria orgânica.

A absorvância λ -254 nm está relacionada a presença de matéria orgânica na água, bem como a variação de sólidos totais e, conseqüentemente, sólidos dissolvidos, incluindo matéria orgânica dissolvida (MOD) (MATILAINEN *et al.*, 2011).

Os baixos valores de absorvância λ -254 nm (<0,009 nm) encontrados podem ser decorrentes da formação geológica e do tipo de solo encontrados nos pontos de coleta da região em estudo, sendo estes Latossolos, Neossolos ou Nitossolos (EMBRAPA, 2018), bem como de possível concentração de carbono orgânico nas águas (ALBREKTIENE *et al.*, 2012), uma vez que a água não passa por filtração previamente ao abastecimento público. No entanto, cabe destacar que alguns compostos inorgânicos, como nitrato,

nitrito, brometo, ferro ferroso que podem ser encontrados nos solos são destacados como interferentes na medição da absorvância λ -254 nm (LEAL, 2013).

Em relação aos aspectos legais, a PC n° 888/2021 do MS não elenca VMP para o parâmetro absorvância (λ -254 nm).

4.1.2 Cloro Livre

Os resultados de cloro ativo (ppm) da água subterrânea dos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Cloro ativo nas áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nota-se que de acordo com o Gráfico 2 o teor de cloro ativo presente nas águas subterrâneas urbanas variou de 0 a 1 e nas águas subterrâneas do meio rural de 0 a 0,5.

De acordo com Meyer (1994), a manutenção de residual de cloro após o processo de cloração que tem como principal objetivo a desinfecção da água, ou seja, a destruição de microrganismos patogênicos.

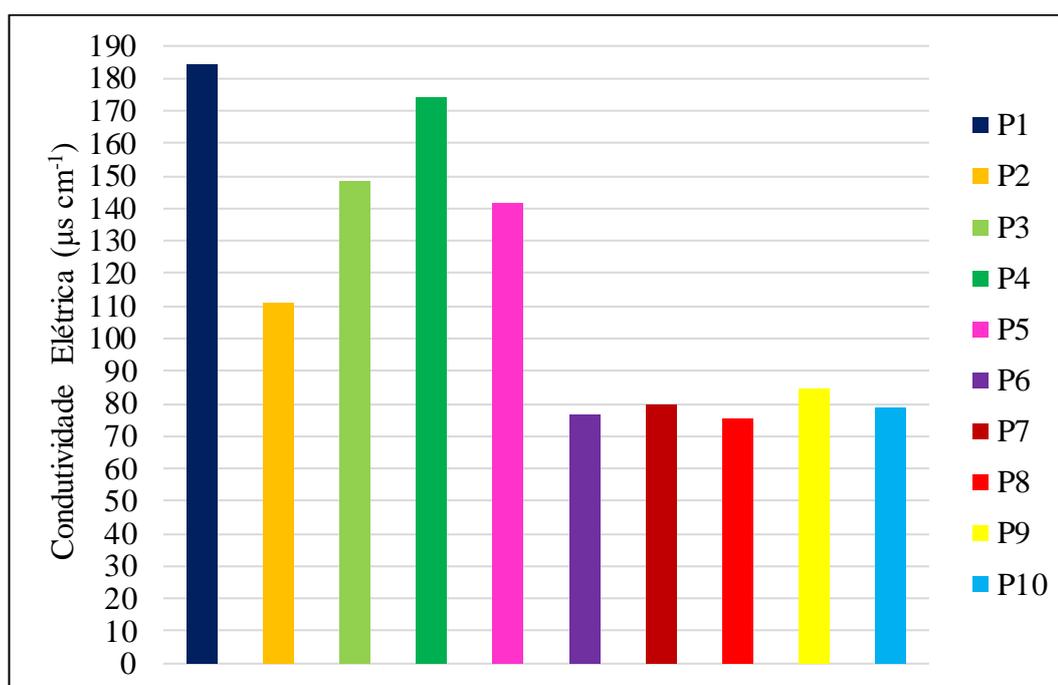
Os níveis de cloro ativo são definidos pela PC n° 888/2021 do MS, a qual recomenda que a água fornecida contenha um teor mínimo de 0,5 mg L⁻¹ e máximo de 2 mg L⁻¹ de cloro residual livre. Sendo assim os locais P1, P3, P4, P5, referentes a área rural

e P7, P8 e P9 referentes a área urbana não estão dentro dos valores aceitáveis possuindo o valor menor que o permitido.

4.1.3 Condutividade Elétrica

Os resultados de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) da água subterrânea nos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Condutividade elétrica das áreas rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Verificou-se na área rural uma variação de condutividade elétrica de 111 a 184,2 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e na área urbana valores de 75,3 a 84,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$. A condutividade elétrica não é um parâmetro de potabilidade da água considerado pela PC n° 888/2021 do MS, porém, ela representa uma medida indireta de concentração de poluentes na água (CETESB, 2017). De acordo com estudos de Gasparotto (2011), para amostras muito contaminadas por esgotos, a condutividade pode variar de 100 a 10.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Portanto, tendo como limite máximo de 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para uma água de boa qualidade, pode-se dizer que nesse trecho a água se apresenta em má condição.

No estudo realizado por Souza et al (2004), ao analisarem as águas subterrâneas do Bairro Perpétuo Socorro em Santa Maria/RS encontraram valores de condutividade entre 6,0 a 90,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$, com média de $32,52 \pm 15,82 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Os maiores pontos de condutividade elétrica (ultrapassando o valor de 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$) foram identificados em todos os distritos da área rural (P1, P2, P3, P4 e P5) com o local P1 com o maior valor (184 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Apesar de não ser um parâmetro para avaliar a potabilidade da água, para a CETESB (2015), podem estar relacionados a ambientes impactados negativamente cuja origem do impacto seria através de resíduos avícolas, bovinos e suínos, da aplicação de fertilizantes e da contribuição de esgotos (RAJU *et al.*, 2015).

4.1.4 Cor aparente

Os resultados de cor aparente (C) da água subterrânea nos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Cor aparente das áreas rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com Gráfico 4, foi possível identificar valores de cor aparente somente no ponto P3 (8 uH) referente a área rural do município de Santo Ângelo. Todos os demais pontos apresentaram valores abaixo da detecção $\leq 0,01 \text{ mg L}^{-1}$.

Em comparação a legislação vigente, todos os valores de cor aparente para todas as amostras encontram-se dentro dos limites estabelecidos, ou seja, abaixo de 15 uH, conforme descrito pela PC n° 888/2021 do MS.

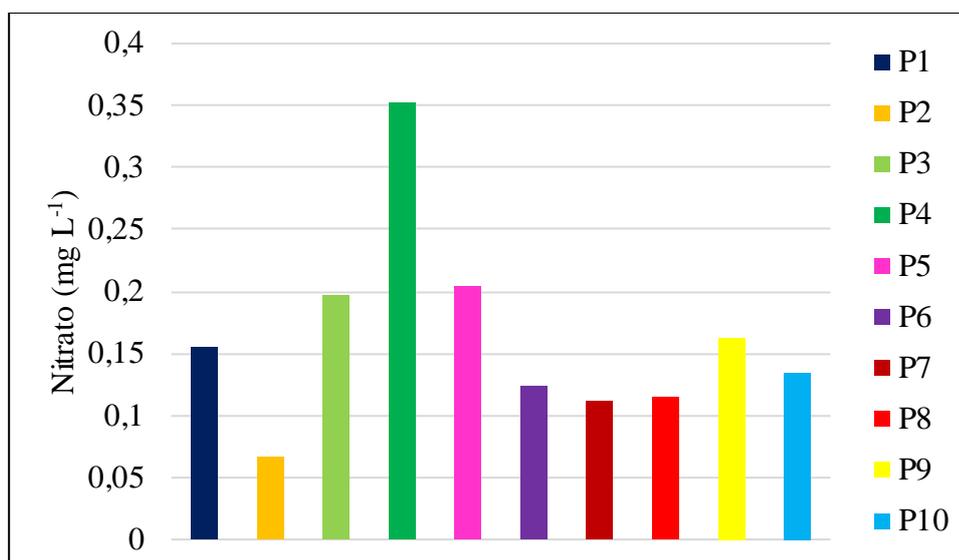
A água potável não deve apresentar cor visível, e esta cor geralmente ocorre devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente de material coloidal orgânico e inorgânico (CETESB, 2016). A matéria orgânica em estado coloidal também pode estar relacionada a esgotos domésticos e industriais e, portanto, a cor em águas para abastecimento deve ser investigada, pois pode ser um indicativo de situação em que o local de captação pode ter sido impactado (WHO, 2011).

Em geral as cores das águas naturais possuem intensidades de cores variando de 0 a 200 uH (FUNASA, 2014). Em um estudo realizado por Motta e Frinhani (2012) foi feita a análise de cor aparente de 60 poços localizados nos municípios de Ibicaré, Lacerdópolis, Ouro e Capinzal/SC e encontraram como resultado uma cor aparente média de 3,5 uH, com valores máximo e mínimos de 0 e 70 uH, respectivamente.

4.1.5 Nitrato

Os resultados de nitrato (mg L^{-1}) da água subterrânea nos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Concentração de Nitrato das áreas rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com o Gráfico 5 os valores de concentração de nitrato da água de abastecimento público da área rural oscilam entre 0,066 a 0,35 mg L⁻¹ e na área urbana oscilam entre 0,11 a 0,16 mg L⁻¹. Conforme a PC n° 888/2021 do MS, o VMP de nitrato em águas destinadas para consumo humano é 10 mg L⁻¹. Portanto todos os valores de concentração de nitrato adquiridos nas análises estão dentro do valor permitido.

Entre os constituintes inorgânicos nocivos à saúde que podem ser encontrados na água, o nitrato é aquele que apresenta ocorrência mais generalizada e problemática, devido a sua alta mobilidade e estabilidade nos sistemas aeróbios de águas subterrâneas (FOSTER, 1993). Nitrato em concentração superior a 10 mg L⁻¹ pode causar metahemoglobinemia, podendo trazer graves consequências para a saúde, inclusive morte, principalmente em lactentes (OPS, 2000). Entretanto, a USEPA considera valores acima de 3 mg L⁻¹ como indicativo de contaminação antrópica (CAMPOS, 2004).

Baixas concentrações de íon nitrato apresentam-se em águas superficiais e em águas residuárias domésticas, porém níveis mais altos podem ser encontrados em águas subterrâneas. O nitrato é considerado também como um dos parâmetros de maior preocupação em águas subterrâneas, por ocorrer normalmente em aquíferos de zonas rurais e suburbanas, de modo que níveis elevados podem ser resultantes da atividade da agricultura (BAIRD; CANN, 2011).

Estes compostos são provenientes frequentemente, da utilização de fertilizantes nitrogenados, da aplicação de dejetos de animais e da irrigação, do cultivo do solo, do esgoto humano disposto em sistemas sépticos mal projetados (SHRESTHA;

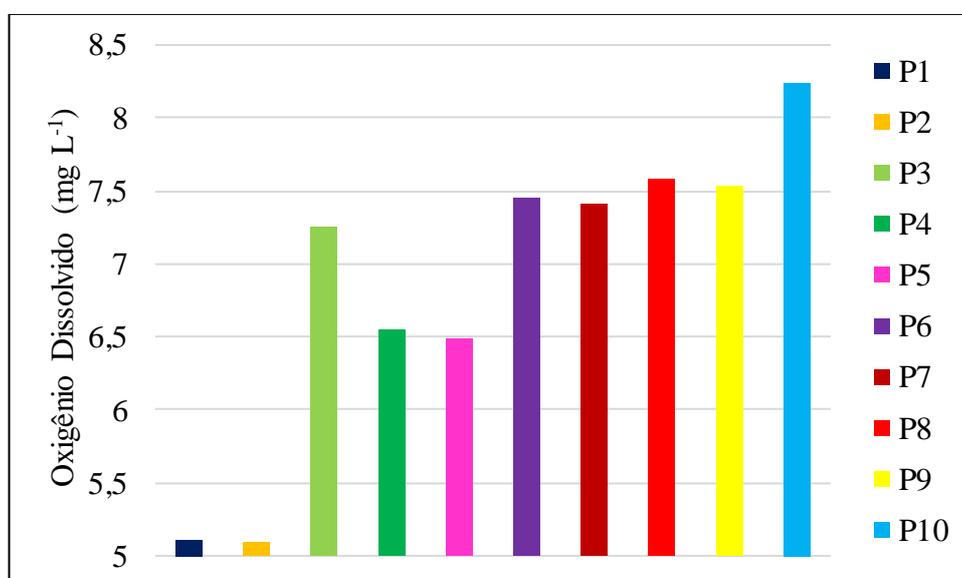
COOPERBAND; MACGUIDWIN, 2010; BAIRD; CANN, 2011). Deste modo, a maior preocupação está centrada no aumento dos níveis de nitrato na água potável, particularmente em água de poços em localidades rurais, pois o nitrato pode ser facilmente lixiviado dos solos cultivados por escoamento superficial até atingir fluxos de infiltração para a zona não saturada onde então, é lentamente transportado até o lençol freático, por ser altamente solúvel e apresentam baixa capacidade de sorção nas partículas de solo (BAIRD; CANN, 2011; LIBÂNIO, 2010).

Em um estudo realizado por Leal (2013) as águas subterrâneas do Bairro Jurerê Internacional de Florianópolis/SC encontrou uma concentração média de nitrato de 0,82 mg L⁻¹. Já no trabalho de Costa et al. (2012), os níveis de nitrato nas águas subterrâneas do Ceará ultrapassaram o permitido pela legislação em 7,8% do total de amostras, com concentrações variando de 0 a 99,05 mg L⁻¹.

4.1.6 Oxigênio Dissolvido

Os resultados de Oxigênio Dissolvido (OD) (mg L⁻¹) da água subterrânea nos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Oxigênio Dissolvido (OD) das áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os valores de OD na área rural oscilam de 5,09 a 7,25 mg L⁻¹ e na área urbana oscilam de 7,41 a 8,24 mg L⁻¹. No entanto, não é possível estabelecer uma comparação dos resultados amostrados com a PC n° 888/2021 do MS (BRASIL, 2017), pois esta não estabelece valor mínimo ou um intervalo de OD necessário como indicador de potabilidade das águas subterrâneas. A Resolução CONAMA n° 396/2008 (BRASIL, 2008), que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, também não apresenta valores mínimos de OD necessário para o enquadramento nas classes.

O OD é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais. É, portanto, um parâmetro de extrema relevância na legislação de classificação das águas naturais, bem como na composição de índices de qualidade de águas (PIVELI, 2010). No entanto, devido à baixa velocidade de fluxo subterrâneo, as águas subterrâneas tendem a possuir menor teor de OD quando comparado com as águas superficiais. Os valores normalmente encontrados em águas subterrâneas são de 1 a 5 mg L⁻¹ (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997), mas o MS considera como adequado o intervalo de 2 a 5 mg L⁻¹ (BRASIL, 2006).

Os valores de OD obtidos por Souza et al. (2004) variaram entre 3,14 e 9,74 mg L⁻¹, com valor médio estabelecido em 5,69 mg L⁻¹, para as águas subterrâneas de um bairro do município de Santa Maria/RS.

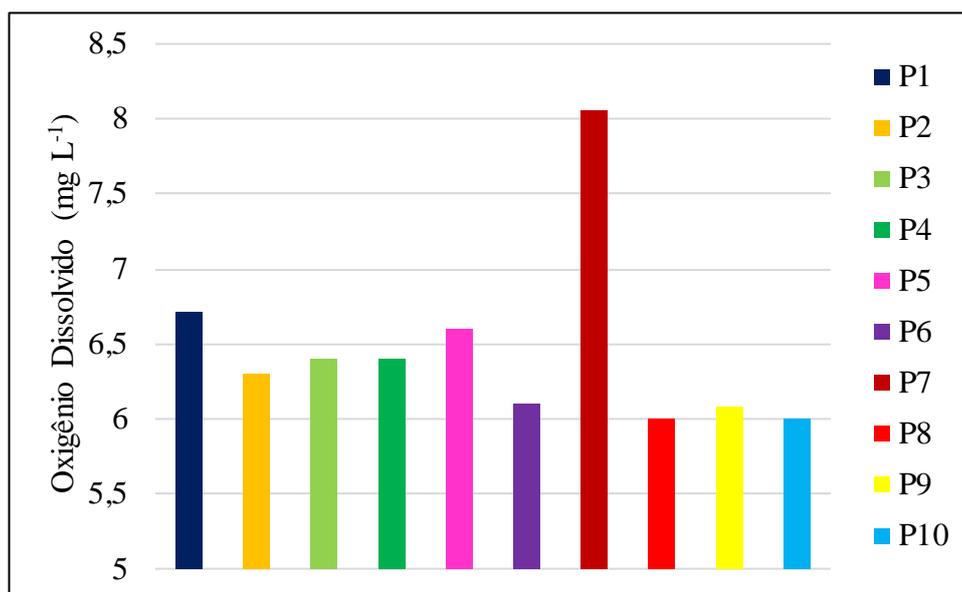
Conceição *et al.* (2009) afirmaram que, em águas subterrâneas, o OD assume concentrações conforme percorre as etapas do ciclo hidrológico. É um importante indicador de poluição, evidenciando a oxidação de substâncias orgânicas e a intensidade da autodepuração produzida por bactérias e quando estes valores estão muito abaixo há fortes indícios de contaminação por matéria orgânica.

Portanto de acordo com os valores de Oxigênio Dissolvido presente nas águas subterrâneas tanto rural quanto urbana estão acima do valor estipulado, indicando que os valores de OD obtidos na pesquisa estão com boa qualidade.

4.1.7 pH

Os resultados de pH da água subterrânea nos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados no Gráfico 7.

Gráfico 7 – pH das áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os valores de pH na área rural variaram de 6,3 a 6,71 e na área urbana de 6,0 a 8,06. De acordo com a PC nº 5/2017 do MS a variação do pH da água estabelecido para fins de abastecimento público deve compreender de 6,0 a 9,5; porém na nova atualização descrita na PC nº 888/2021 não possui padrão de potabilidade de água para pH de água de abastecimento. Portanto se baseando na PC nº 5/2021 a água de abastecimento analisada se encontra em conformidade com a referida PC.

No trabalho realizado por Motta e Frinhani (2012), que analisaram as águas subterrâneas de 60 poços localizados nos municípios de Ibicaré, Lacerdópolis, Ouro e Capinzal/SC, foi determinado o pH com valor médio de 7,58 com máximo de 9,87 e mínimo de 6,00.

Cabe ressaltar que, o valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e define o potencial de toxicidade de vários elementos. As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais) (GASPAROTTO, 2011). Água com baixo pH pode comprometer o gosto, a palatabilidade e aumentar a corrosão, enquanto águas com pH elevado, acima de 8,5, podem adquirir gosto mais salgado e provocar distúrbios na pele e irritação nos olhos, além de aumentar a formação de incrustações e diminuir a eficiência da desinfecção por cloração (VON SPERLING, 2005).

4.1.8 Sólidos Sedimentáveis

Os resultados de sólidos sedimentáveis da água subterrânea nos poços de abastecimento público do município em estudo indicaram não ser possível estabelecer valores específicos para este parâmetro, isto porque não foi identificado sólidos sedimentáveis de acordo com a metodologia utilizada. Nesse sentido, aceitou-se, que os resultados referentes aos parâmetros sólidos sedimentares foram inferiores a $0,01 \text{ mg L}^{-1}$.

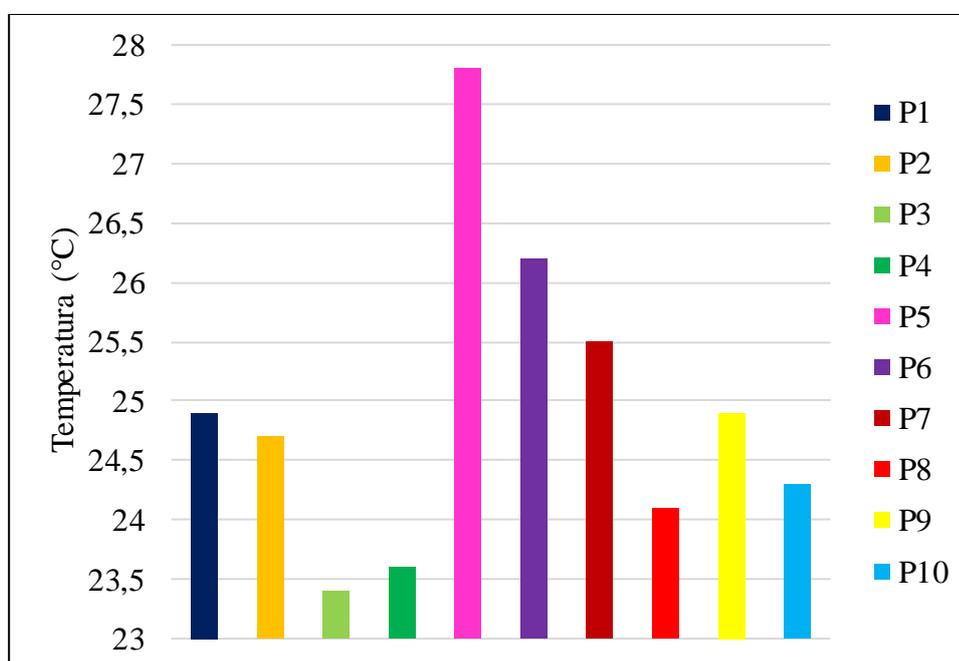
No tocante a legislação, este parâmetro não é considerado pela PC nº 888/2021 do MS como um indicador de potabilidade de água.

De acordo com Nunes *et al.* (2015), somente os sólidos em suspensão que possuem maior densidade que a água decantarão. Sendo que, neste estudo não se identificou quaisquer concentrações de sólidos sedimentáveis.

4.1.9 Temperatura

Os resultados de temperatura da água subterrânea nos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Temperatura nas áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os resultados da temperatura na área rural variam de 23,4 a 27,8 °C e na área urbana de 24,1 a 26,2 °C. E, na PC nº 888/2021 do MS não está estabelecido um VMP ou um intervalo de valores para a temperatura da água utilizada para o consumo humano, pelo fato de ser um fator ambiental que diariamente sofre variações, tornando-se difícil manter um controle para o abastecimento público. Em um estudo realizado por Yamaguishi (2013), que analisou durante um ano a temperatura da água subterrânea de Santana do Parnaíba/SP, e foram determinadas faixas de temperatura entre 12 a 24°C para poços rasos e 18 a 22°C para poços profundos

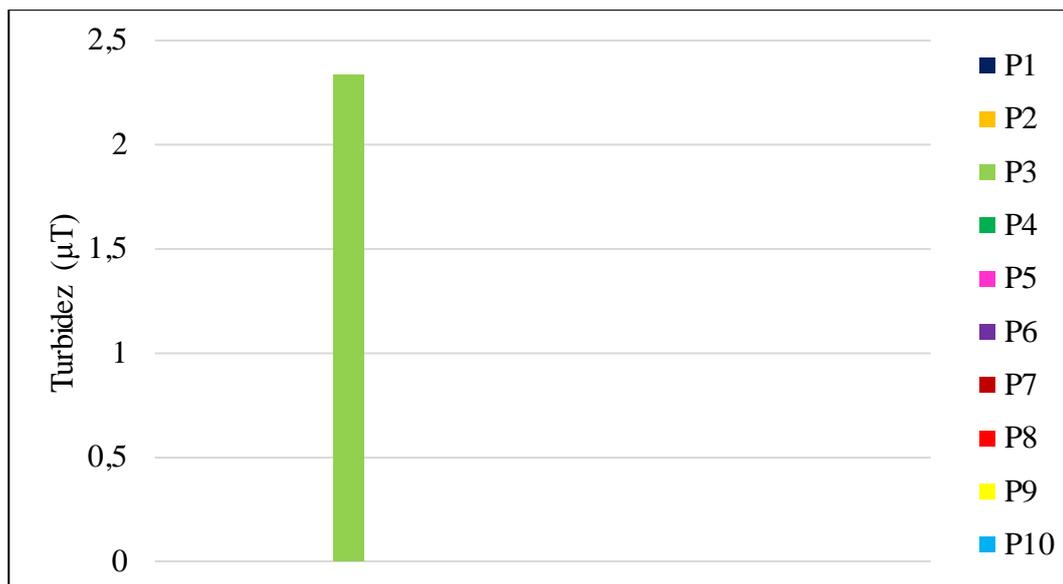
Segundo Oliveira (2016), a água subterrânea apresenta baixa amplitude térmica, devido à disposição de camadas de rocha e solo acima do lençol freático, que protegem as mesmas do contato direto com o ar atmosférico. Elevações da temperatura aumentam a taxa das reações físicas, químicas e biológicas (na faixa usual de temperatura), diminuem a solubilidade de gases, como por exemplo o oxigênio dissolvido e também aumentam a taxa de transferência de gases (o que pode gerar mau cheiro, no caso da libertação de gases com odores desagradáveis) (SPERLING, 2005).

Uma das principais influências da temperatura nas águas, está relacionada com o desenvolvimento de organismos patogênicos de veiculação hídrica nos sistemas de distribuição de água, principalmente quando se trata de temperaturas acima de 25 °C (HELLER; PÁDUA, 2006), sendo valores acima de 25° C identificados nos pontos P5, P6 e P7.

4.1.10 Turbidez

Os resultados turbidez da água subterrânea nos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Turbidez das áreas rural e urbana do município de Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Percebe-se conforme o apresentado no Gráfico 9 que, somente no ponto P3 condizente a área rural foi identificada valor de turbidez (2,33 µT). A PC n° 888/2021 recomenda que o limite máximo de turbidez para água subterrânea com desinfecção, de qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT, assegurando, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 uT em todos os pontos de coleta.

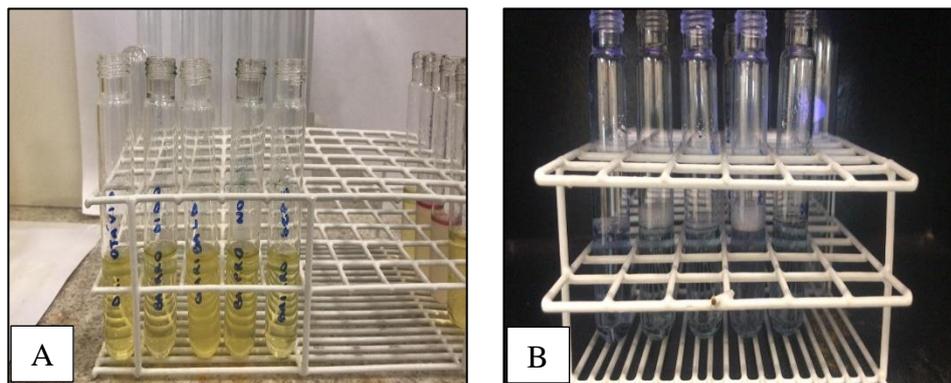
Águas subterrâneas possuem valor de turbidez abaixo de 1,0 uT (YAMAGUISHI, 2013). O estudo realizado por Motta e Frinhani (2012) onde analisaram a turbidez de 60 poços localizados nos municípios de Ibicaré, Lacerdópolis, Ouro e Capinzal/SC, encontrou resultados de turbidez média de 3,5 uT, com valores mínimo e máximo 0,07 e 39,6 uT, respectivamente.

Destaca-se que, nas águas subterrâneas a turbidez pode ter origem na dissolução das rochas (WHO, 2011), ou até mesmo pela contaminação de efluentes domésticos e industriais (CETESB, 2016). E, quando a turbidez se encontra em excesso, afeta a qualidade estética da água e a qualidade sanitária, pois alguns vírus e bactérias podem se alojar nas partículas em suspensão se protegendo da ação do desinfetante da água (SAAE, 2019).

4.1.11 Coliformes Totais

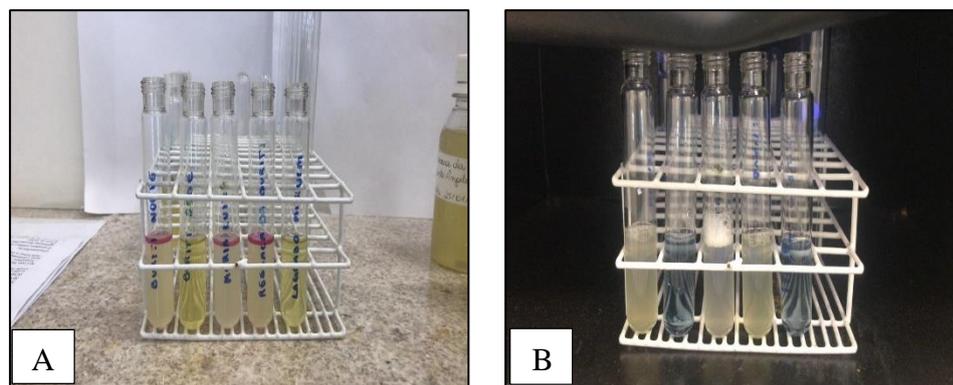
Os resultados de coliformes totais da água subterrânea nos poços de abastecimento público do município em estudo são apresentados na Figura 18 e Figura 19.

Figura 18 – Coliformes Totais na área urbana



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. Nota: Teste indol (A) e Câmera escura (B).

Figura 19 – Coliformes Totais na área rural



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. Nota: Teste indol (A) e Câmera escura (B).

Percebe-se que foi identificado coliformes totais em 3 pontos pertencentes a região rural que são: P2, P3 e P5. Portanto, a água desses poços subterrâneos se encontra em desconformidade com a PC nº 888/2021 do MS, uma vez que, para o abastecimento público, os parâmetros microbiológicos coliformes totais devem estar ausentes em 100 mL de água. Os coliformes totais podem ocorrer em águas com alto teor de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais ou material vegetal do solo em processo de decomposição (CETESB, 2018), em vista disso sua presença pode estar diretamente relacionada com as atividades agropecuárias realizadas na região. No estudo de Alves et al. (2016), ao realizarem a análise microbiológica em águas subterrâneas identificou-se em 42,22% das amostras a presença de coliformes totais.

4.2 DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE AGROTÓXICOS

A seguir temos a Tabela 4 onde está descrito os resultados da determinação de agrotóxicos presentes na água de abastecimento de cada localidade da coleta.

Tabela 4 – Determinação dos agrotóxicos nas águas de poços analisadas nas áreas urbana e rural do município de Santo Ângelo/RS

Agrotóxicos	Concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$)										LQm	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
Bentazona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,02
Atrazina	ND	ND	ND	ND	<LQm	<LQm	ND	ND	ND	ND	ND	0,01
Azoxistrobina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LQm	ND	<LQm	ND	ND	0,04
Ciproconazol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Difenoconazol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,1
Clomazona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Epoconazol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,02
Imazetapir	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01
Fipronil	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Malationa	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,2
Pirimicarbe	ND	<LQm	ND	ND	<LQm	ND	<LQm	ND	ND	<LQm	ND	0,08
Propiconazol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LQm	ND	<LQm	ND	ND	0,02
Simazina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Imazapique	ND	ND	ND	ND	ND	<LQm	ND	ND	ND	ND	ND	0,01
Carbofurano	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,02
Tebuconazol	<LQm	ND	ND	0,1								
Piraclostrobina	ND	ND	ND	<LQm	ND	ND	ND	ND	<LQm	<LQm	ND	0,2
Penoxsulam	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Pirazosulfurom	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Profenofós	<LQm	<LQm	<LQm	<LQm	ND	<LQm	<LQm	<LQm	<LQm	<LQm	ND	0,2
Tiametoxam	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,2
Trifloxistrobina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,2
2,4D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1
Metsulfurom- metílico	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,1
Propanil	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Imidacloprida	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

Fonte: Elaborada pela autora, 2021. Legenda: AREA RURAL: P1, P2, P3, P4, P5. AREA URBANA: P6, P7, P8, P9, P10. <LQm: Menor que o valor do Limite de quantificação do método; ND: Não detectado.

De acordo com a Tabela 4, acerca da determinação dos 26 compostos agrotóxicos constatou-se que foram detectados, mas não quantificados 8 agrotóxicos sendo estes, atrazina identificada nos pontos P5 e P6; azoxistrobina identificada nos pontos P7 e P9; pirimicarb identificada nos pontos P2, P5, P7 e P10; propiconazol identificada nos pontos P7 e P9; imazapiridato identificada no ponto P6, tebuconazol identificada no ponto P1, piraclostrobina identificada nos pontos P4, P9 e P10; e profenofós identificada nos pontos P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8 e P9, nos outros 18 agrotóxicos incluídos no método, não foram detectados em nenhum ponto de coleta.

Em relação a atrazina detectada nos pontos P5 e P6, porém abaixo ao limite de quantificação ($\leq 0,01$), é considerada por Souza (2016) como um contaminante comum dos mananciais hídricos. Sendo este um herbicida, classificado como medianamente tóxico, é indicada sua utilização na cultura de milho (ANVISA, 2021), porém é possível observar que este composto é utilizado em culturas não recomendadas como soja e trigo (VIEIRA *et al.*, 2017).

Deste modo, a atrazina pode ser encontrada em mananciais hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos. A sua presença foi detectada em água de abastecimento em estudos, como o realizado Demoliner (2008), onde avaliou-se a presença de agrotóxicos em mananciais utilizados para abastecimento público na cidade de Rio Grande no Estado do Rio Grande do Sul com concentração que variaram de 4,0 a 100 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Também em estudo realizado por Calheiros, Ferrachini e Queiroz (2010), analisou-se a contaminação por agrotóxicos nas águas da Bacia do Alto Paraguai, neste foi detectada e quantificada a presença de atrazina em concentrações variando entre 0,006 a 0,048 $\mu\text{g L}^{-1}$. Pode-se inferir que a atrazina apresenta elevada capacidade de contaminar águas subterrâneas, uma vez que é fracamente adsorvida na fração orgânica do solo ($K_{oc} = 63 \text{ mg L}^{-1}$) (ATSDR, 1992), o que facilita sua lixiviação.

Segundo critérios estabelecidos por Rogers (1996), a atrazina ainda apresenta média hidrofobicidade ($2,5 < K_{ow} < 4,0$), podendo ser facilmente lixiviada ou conduzida pelo escoamento superficial, atingindo os corpos d'água. De acordo com o tempo de meia vida no solo, o composto apresenta persistência moderada em tal matriz, tendo também um decaimento moderado devido à hidrólise (IUPAC, 2021), onde tem como tempo de meia-vida na água de 86 dias e no solo de 75 dias (conforme Quadro 6).

Em relação a legislação vigente, a atrazina está descrita na PC nº 888/2021 do MS com VMP de 2 $\mu\text{g L}^{-1}$, sendo assim a concentração de atrazina presente na água em estudo está abaixo do VMP.

O composto agrotóxico azoxistrobina foi detectado nos pontos 7 e 9 abaixo ao limite de quantificação ($\leq 0,04$). A azoxistrobina é o fungicida mais utilizado no mundo (SOUZA, 2016), classificado como medianamente tóxico, o qual é indicada sua utilização para as 4 principais culturas da Região das Missões (soja, milho, trigo e arroz) (ANVISA, 2021), sendo que foram vendidas cerca de 268,04 toneladas de azoxistrobina no ano de 2019 no estado do RS (IBAMA, 2021).

Esse fungicida está na faixa de transição entre provável de sofrer ou não lixiviação, porém analisando-se as propriedades deste composto, identifica-se que, por ser moderadamente persistente no solo com tempo de meia-vida de 78 dias e possui capacidade de se movimentar neste extrato ($K_{oc} = 589 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$), este composto pode atingir as águas subterrâneas mesmo possuindo baixa solubilidade em água ($S = 6,7 \text{ mg L}^{-1}$). Além disso, o K_{ow} é baixo ($K_{ow} = 2,5$), o que indica uma reduzida bioacumulação em organismos vivos, portanto há uma facilidade do composto se distribuir na água e no ar (IUPAC, 2021).

Nas águas subterrâneas a azoxistrobina foi detectada em estudo realizado por Nascimento (2013), que monitorou a presença de agrotóxicos em poços do município de Vitória de Santo Antão/PE, verificou-se a presença de azoxistrobina em 71% dos locais analisados, com concentrações entre 0,03 a 0,93 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Em relação a legislação vigente, a azoxitrobina não está descrita na PC nº 888/2021 do MS, não sendo possível realizar avaliação entre o VMP e a detecção deste composto nas águas servidas a população.

O pirimicarbe foi detectado nos pontos P2, P5, P7 e P10, porém todos abaixo ao limite de quantificação ($\leq 0,08$). Sendo este um inseticida, classificado como altamente tóxico, ao qual é recomendada sua utilização apenas para a cultura de trigo dentre as mais plantadas na Região das Missões (ANVISA, 2021).

De acordo com as propriedades deste composto, verifica-se uma solubilidade alta com $S = 3.100 \text{ mg L}^{-1}$, que indica que este composto pode ser carregado rapidamente, juntamente com a água, para grandes distâncias. Por ser moderadamente persistente no solo com meia-vida de 86 dias e ter uma ligeira capacidade de se movimentar neste extrato ($K_{oc} = 1387 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$), este composto pode atingir as águas subterrâneas permanecendo nessa com um tempo de meia-vida na água de 33,3 dias (IUPAC, 2021).

É comum em estudos a constatação da presença de pirimicarbe em mananciais hídricos, como o realizado por Mena *et al.* (2002), que verificaram a presença de pirimicarbe em amostras de água da torneira, de nascente, de rio e de mar em concentrações de 73, 70, 68 e 54 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. E nas águas subterrâneas o pirimicarbe foi detectado no estudo de

Gonçalves, Silva e Alpendurada (2007), onde foi realizado uma análise nas águas subterrâneas de Portugal, e foi verificada a presença desse agrotóxico, porém somente qualitativamente. O Pirimicarbe não está descrito na Portaria de Consolidação nº 888/2021 do MS.

O propiconazol foi detectado nos pontos P7 e P9 sendo estes abaixo do limite de quantificação ($\leq 0,02$). Foram vendidas cerca de 193,62 toneladas de propiconazol no ano de 2019 no estado do RS (IBAMA, 2021), sendo este um fungicida, classificado como altamente tóxico, que pode ser utilizado nas 4 principais culturas da Região das Missões (soja, milho, trigo e arroz) (ANVISA, 2021).

O propiconazol está na faixa de transição entre provável de sofrer ou não lixiviação, ele possui uma solubilidade moderada com $S = 150 \text{ mg L}^{-1}$, que indica que este composto pode ser carregado, juntamente com a água, para grandes distâncias. Como também, por ser moderadamente persistente no solo com meia-vida de 71,8 dias e ter uma ligeira capacidade de se movimentar neste extrato com $K_{oc} = 1.086 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, este composto pode atingir as águas subterrâneas (IUPAC, 2021).

O Propiconazol pode ser encontrado em mananciais hídricos, em um estudo realizado por Battaglin *et al.* (2011), foi feita uma análise de agrotóxicos em águas de córregos dos Estados Unidos da América (EUA) e verificaram a presença de propiconazol em 17% das amostras, em concentrações máximas de $1,15 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$. E, na água subterrânea foi quantificado em um estudo de Moreau *et al.* (2019), onde verificaram a presença deste composto em 2,1% das amostras, em concentração máxima de $0,0013 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ao analisarem contaminantes emergentes nas águas subterrâneas da Nova Zelândia.

Em relação a legislação vigente, a propiconazol não é encontrado na PC nº 888/2021 do MS.

O imazapique foi detectado no ponto P6, porém abaixo do limite de quantificação ($\leq 0,01$). Este herbicida é classificado como altamente tóxico que pode ser utilizado em duas principais culturas da Região das Missões (milho e soja) (ANVISA, 2021). Está na faixa de provável lixiviação, ele possui solubilidade alta com $S = 2230 \text{ mg L}^{-1}$ o que leva a ser um composto que pode ser facilmente carregado, juntamente com a água para grandes distâncias. Este composto, possui um tempo de meia-vida persistente no solo com 120 dias e possui uma capacidade moderada de se locomover no extrato com $K_{oc} = 137 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ (IUPAC, 2021).

O imazapique pode ser encontrado em mananciais hídricos, em um estudo realizado por Mattos *et al.* (2013) foi verificada a presença deste herbicida no manancial hídrico de Capão do Leão, RS com concentração de $0,1 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$.

Em relação a legislação vigente, o agrotóxico imazapique não está descrito na PC nº 888/2021 do MS.

O tebuconazol foi detectado no ponto P1, porém abaixo do limite de quantificação ($\leq 0,01$). Foram vendidas 610,09 toneladas desse agrotóxico no estado RS em 2019 (IBAMA, 2019). Classificado como fungicida, ele é pouco tóxico e pode ser utilizado em várias culturas, como soja, alho, batata, beterraba, café, cebola, trigo, feijão, cenoura e milho na Região das Missões (ANVISA, 2021).

Este composto está na faixa de provável lixiviação, possuindo solubilidade baixa com $S = 36 \text{ mg L}^{-1}$ obtendo maior dificuldade para se conduzir, juntamente com a água. Ele possui um tempo de meia-vida moderadamente persistente no solo com 63 dias (IUPAC, 2021). Por mais que seja um composto mais difícil de se conduzir para o lençol freático ainda assim pode ser encontradas concentrações de tebuconazol na água de abastecimento, como foi o caso de um estudo realizado por Vicari (2009), onde foi realizada análise da água subterrânea no município de Santa Maria/RS e foi quantificado o agrotóxico tebuconazol com $0,6 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$.

Em relação a legislação vigente, a concentração de tebuconazol permitida está descrita na PC nº 888/2021 do MS com valor de $180 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$, com isso o valor obtido na análise está abaixo do VMP.

A piraclostrobina foi detectada nos pontos 4, 9 e 10, porém abaixo do limite de quantificação ($\leq 0,2$). Este fungicida é utilizado em algumas culturas em principal no alho, batata, cebola, cenoura, feijão, soja, café, milho e trigo na Região das Missões (ANVISA, 2021). Sendo um composto considerado não contaminante de água subterrânea, possui solubilidade baixa com valor de $1,9 \text{ mg L}^{-1}$ com maior dificuldade para de conduzir juntamente com a água. Possui um tempo de meia-vida no solo de 32 dias, porém não possui mobilidade para se locomover com $K_{oc} = 9304 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ (IUPAC, 2021). Na Portaria nº de Consolidação nº 888/2021 do MS não se encontra a concentração máxima permitida da piraclostrobina.

O profenofós foi detectado nos pontos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9, porém todos abaixo do valor de limite de quantificação ($\leq 0,2$). Considerado como inseticida, altamente tóxico e é muito utilizado na cultura de soja, milho e trigo na Região das Missões (ANVISA, 2021). Ele possui uma baixa probabilidade de lixiviação, com solubilidade baixa com valor de 28 mg L^{-1} , tendo maior dificuldade para se conduzir. Possui um tempo de meia-vida no solo de 7 dias e com pouca mobilidade ($K_{oc} = 2016 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) (IUPAC, 2021).

Então, apesar de ser um composto classificado com baixa probabilidade de lixiviação, a sua presença foi constatada em mananciais superficiais em estudos como o realizado por Toan *et al.* (2013), que ao monitorarem as águas de consumo humano quanto a presença de grotóxicos

no Vietnã, verificaram a presença de profenofós em 4,8% das amostras, com concentração média de $0,04 \mu\text{g L}^{-1}$.

Nas águas subterrâneas o profenofós foi detectado em estudos como o realizado por Shakerkhatibi *et al.* (2014), que ao analisarem a presença de resíduos de agrotóxicos em águas subterrâneas em áreas rurais no noroeste do Irã, verificaram a presença de profenofós em 87,2% das amostras, com concentração média de $0,021 \mu\text{g L}^{-1}$. A concentração de profenofós permitida está descrita na Portaria nº de Consolidação nº 888/2021 do MS com valor de $0,3 \mu\text{g L}^{-1}$, com isso o valor obtido na análise está abaixo do VMP.

Se comparado a exemplo de diretrizes mais restritivas acerca da presença de compostos agrotóxicos nas águas de abastecimento público, como a Diretiva 98/1983 da EEC, as concentrações de agrotóxicos individuais em água destinada para o abastecimento público não devem ultrapassar $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$, sendo que a quantidade máxima de todos os compostos em uma amostra não pode ser superior a $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$. Nesse sentido, observa-se que todas as amostras estudadas estão em acordo com os padrões para água potável, o que indica que água em termos de presença de compostos agrotóxicos é considerada adequada para o consumo humano mediante esta legislação.

Os agrotóxicos são produtos essencialmente perigosos e sua utilização, mesmo no meio rural, deve ser feita sob condições de intenso controle, não apenas por ocasião da aplicação, mas também com o isolamento da área na qual foi aplicado. Percebe-se que de acordo com a análise da água urbana e rural, é quantificado em mais pontos na localidade urbana, isso se justifica pelo demasiado uso de agrotóxicos em praças, jardins públicos, canteiros, ruas e calçadas e é comum os solos das cidades sofrerem compactação ou serem asfaltados, o que favorece o acúmulo de agrotóxico e de água nas suas camadas superficiais (ANVISA, 2010).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos e os resultados obtidos neste estudo de análise da potabilidade da água de poços subterrâneos, utilizada para abastecimento público em 10 locais, subdivididos em área urbana e rural no município de Santo Ângelo/RS foi possível concluir que:

Em comparação dos parâmetros analisados com a PC nº 888/2021 do MS, foi possível constatar que o parâmetro cloro ativo nos locais P1, P3, P4, P5, P7, P8 e P9 sendo 4 destes de área rural e 3 da área urbana não atenderam ao limite de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ a 2 mg L^{-1} .

A ocorrência de coliformes fecais nos locais P2, P3 e P5, todos pertencentes a área rural, infere desconformidade com a PC nº 888/2021 do MS, uma vez que, para o abastecimento público, os parâmetros microbiológicos de coliformes totais devem estar ausentes em 100 mL de água, sendo, portanto, um possível indicativo da presença de material fecal.

Em relação aos parâmetros de turbidez, pH, cor aparente e nitrato, todos os locais de coleta encontram-se dentro dos valores permitidos. Quanto aos demais parâmetros temperatura, sólidos sedimentáveis, OD, condutividade elétrica e absorvância ($\lambda - 254 \text{ nm}$), não possuem VMP na PC nº 888/2021 do MS.

Percebe-se que em relação aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos encontramos maior desconformidade com os parâmetros estipulados e com padrões de potabilidade na área rural do município, isso se dá pelo maior uso de agrotóxicos e pela criação de animais nesses locais, além de geralmente não possuírem um tratamento de desinfecção completo ou adequado.

Quanto à quantificação de agrotóxicos, sendo nenhum dos 26 analisados foram quantificados, somente 8 foram detectados, com valores abaixo do LQm. Sendo estes, a atrazina (P5 e P6); azoxistrobina (P7 e P9); pirimicarbe (P2, P5, P7 e P10); propiconazol (P7 e P9); imazapique (P6), tebuconazol (P1), piraclostrobina (P4, P9 e P10); e profenofós (P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8 e P9). Ademais, somente 3 dos 26 compostos estudados possuem VMP na PC nº 888/2021 do MS, que são a atrazina, tebuconazol e profenofós. Posto isso, após comparar os valores obtidos com os VMP da Portaria, conclui-se que nenhum local possui concentração acima do permitido.

Por fim, sugere-se a manutenção do monitoramento acerca de parâmetros de potabilidade de água em estudos de continuidade, pois um conjunto de informações ao longo do tempo contribuirá para uma melhor análise da variação da potabilidade das águas servidas a população.

REFERÊNCIAS

ACHLEITNER, S.; TOFFOL, S.; ENGELHARD, C.; RAUCH, W. (2005). **The European Water Framework Directive: Water Quality Classification and Implications to Engineering Planning**. Environmental Management, v. 35, n. 4, p. 517-525.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **ATLAS - Abastecimento Urbano de Água**. 2015. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=7&mapa=sist>>.

AGROLINK. **Bula**. 2020. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/simazina-500-sc-rainbow_11133.html>.

ALBREKTIENE, R. et al. **Determination of organic matter by UV absorption in the ground water**. Journal of environmental engineering and landscape management, online, v. 20, n. 1, p. 163-167, 2012.

ALMEIDA RAS. **Índice de qualidade de águas subterrâneas destinadas ao uso na produção de água potável (IQAS)** [dissertação]. Salvador: Universidade Federal da Bahia; 2007. p. 184.

ALVES, G. M. C. et al. **Qualidade da água subterrânea obtida de poços em áreas urbanas na cidade de Ji-Paraná-RO**. Rev. Higiene Alimentar, v. 30, n. 256/257, p. 137-141, mai./jun. 2016.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório pleno**. Brasília, 2017.
AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, ANA. 2005. 123 p.

ANVISA. **Monografias Autorizadas**. Disponível em: <Página inicial — Português (Brasil) (www.gov.br)>. Acesso em: 14/04/2021

ANVISA. **Nota Sobre o Uso de Agrotóxicos Em Área Urbana**. 2010. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/agrotoxicos/informe-uso-de-agrotoxicos-em-area-urbana.pdf>>

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama de qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. 2007. Disponível em: PANORAMA DO ENQUADRAMENTO.pdf (ana.gov.br)

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Publicada reclassificação toxicológica de agrotóxicos - cosmetovigilancia**. 2019 Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=5578706&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=publicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos-&inheritRedirect=true>.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório pleno**. Brasília, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). **Águas Subterrâneas – O que são?** 2021. Disponível em: <<https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>>.

ANA – Agência Nacional de Águas. **ATLAS – Abastecimento Urbano de Água.** 2010. v. 2. p. 83.

ATSDR – Agency for Toxic Substances & Disease Registry. **ATSDR public health assesment guidance manual.** 1992. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=eF6_mn0xcHcC&pg=PA11&lpg=PA11&dq=atsdr+-+Koc&source=bl&ots=epvp8fxHHE&sig=bUOZ4eosSMhpUVv64_H14XbvV20&hl=ptBR&sa=X&ved=0ahUKEwiO24cDXAhVCGpAKHTF8BRQQ6AEISTAE#v=onepage&q=atsdr%20-%20Koc&f=false.

AZEVEDO NETTO, J. M.; ALVAREZ, G. A. 1991. **Manual de Hidráulica.** 7. ed. São Paulo: Edgard Blücher, v. II. p. 333-724.

BAIRD, C.; CANN, M. **Poluição e Purificação da Água.** In: QUÍMICA AMBIENTAL. Porto Alegre: Bookman, 2011. Cap. 14, p. 623-683.

BATTAGLIN, W. A. et al. **Occurrence of Azoxystrobin, Propiconazole, and Selected Other Fungicides in US Streams,** 2005–2006. Rev. Water Air Soil Pollut, v. 218, n. 1-4, p. 307-322, jun. 2011.

BERNARDO, Luiz Di; PAZ, Lyda Patrícia Sabogal. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água.** São Carlos: Ldibe, 2008. 1538 p.

BERTONCINI, E.I. **Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola.** Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

BOMBARDI, L. M. **Geografia do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia.** 1. ed. São Paulo: FFLCH – São Paulo, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, nº 66, Brasília, DF 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e qualidade da água para consumo humano e potabilidade.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF 2011.

BRASIL. **PLANSAB - plano nacional de saneamento básico.** 2014. ed. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2014b.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017.** Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Brasília, DF, 2006. 212 p.

BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. **Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.**

BRASIL. **Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 dez. 2011.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 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.**

BROWN, A. E.; INGIANNI, E. **No. 8: Factors affecting groundwater contamination. Pesticide Information Leaflet. University of Maryland.** 2012.

CALHEIROS, D. F.; FERRACINI, V. L.; QUEIROZ, S. C. N. **Contaminação por agrotóxicos nas águas da Bacia do Alto Paraguai.** 3º Seminário de Agroecologia de Mato Grosso do Sul, Corumbá, MS, 18-19 nov. 2010.

CALHEIROS, D. F.; OLIVEIRA, M. D. de. **Contaminação de corpos d'água nas áreas urbana de Corumbá e Ladário.** ADM – Artigo de Divulgação na Mídia, Embrapa Pantanal, Corumbá-MS, n. 89, p.1-4. nov. 2006. Disponível em: <<http://www.riosvivos.org.br/Noticia/Contaminacao+de+corpos+d+agua+na+regiao+de+Corumba/9526>>.

CAMILO, F. et al. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** [s.l: s.n.]. Brasília, 2006. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>.

CAMPOS, J. C. V. Contaminação das águas subterrâneas na cidade de Mirante da Serra (RO). XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2004.

CARNEIRO, F.F.; AUGUSTO, L.G.S.; RIGOTTO, R.M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A.C. (2015) **Dossiê ABRASO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** Vol. 1. São Paulo: Expressão Popular.

CARONE, M.T.; SIMONIELLO, T.; MANFREDA, S.; CARICATO, G. (2009). **Watershed influence on fluvial ecosystems: an integrated methodology for river water quality management.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 152, p. 327-342.

CETESB, 2013. **Águas subterrâneas.** Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/>>.

CETESB. **Qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo 2014.** São Paulo

CETESB, 2015. Disponível em:< **Águas Interiores Wp** (cetesb.sp.gov.br) >.

CETESB. **Relatório de Qualidade das águas interiores do estado de São Paulo.** Apêndice E – Significado ambiental das variáveis de qualidade. 2017.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem.** São Paulo: CETESB, 2018. 58 p.

CETESB. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas.** 2016.

CHINA. Ministry of Health of China. GB 5748-2006. **Standards for Drinking Water Quality.** 2007. Disponível em: <https://www.iwa-network.org/filemanager/uploads/WQ_Compendium/Database/Selected_guidelines/016.pdf>.

CONCEIÇÃO, F. T. da. et al. **Hidrogeoquímica do aquífero guarani na área urbana de Ribeirão Preto (SP).** Geociências (São Paulo), São Paulo, v. 28, n. 1, 2009.

CORSAN. **Tratamento de água.** Rio Grande do Sul – RS, 2015. Disponível em: <<https://www.corsan.com.br/tratamentodeagua>>

COUNCIL DIRECTIVE. Directive 80/778/CEE. **Quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities.** N° L 229/11. 30 ago. 1980. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31980L0778&from=EN>>.

COUNCIL DIRECTIVE. Directive 98/83/EC. **Quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities.** N° L 330/32. 3 nov. 1998. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=EN>>.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Aquíferos.** 2016. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Aquíferos-1377.html>>.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R.; **HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 2nd ed.,** Ediciones Omega: Barcelona, 1996.

DEMOLINER A. (2008). **Otimização e validação de metodologia analítica empregando SPE e LC-ESI-MS/MS para determinação de multiclasses de agrotóxicos e metabólitos em água de superfície e de abastecimento público.** 2008. 111p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.

DI BERNARDO, L.; PADUA, L.V. **Ensaio de bancada para estimar a perda de carga e a influência da floculação na filtração direta descendente.** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre – RS, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/i-034.pdf>>

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2 ed. São Carlos: RiMa, vol. 1, 2005.

EMBRAPA. **Estudo sobre contaminação por agrotóxicos.** 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1854556/estudo-sobre-contaminacao-por-agrotoxicos-no-brasil-esta-disponivel-para-download>>.

EMBRAPA. **Saneamento básico rural**. 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/tema-saneamento-basico-rural> >.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª edição, Brasília, DF, 2018.

FEE. **Dados Rio Grande do Sul**. 2006. Disponível em: < <https://dados.rs.gov.br/dataset/fee-consumo-residencial-100843/resource/ea492972-0286-4ea2-96f9-47c449bf339b> >.

FEE. **Dados do município consumo rural**. 2000. Disponível em: < https://dados.rs.gov.br/dataset/fee-consumo-rural-100847/resource/dfe38b93-e42b-4680-9943-7dd627e5aa47?inner_span=True >.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia – conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM/ REFO; LABHID-UFPE, 2000. 391 p il.

FERNANDES, Â. M. F. **Diagnóstico da qualidade da água subterrânea em propriedade rural no município de Planalto, RS**. 2011. 65 p. Monografia – Curso de Geografia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2011.

FERRARI, A. 1986. **Agrotóxicos - a praga da dominação**. 2. ed. Porto Alegre: Mercado Aberto. 88p.

FERNANDES NETO, M. L.; SARCINELLI, P. M. **Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição ao processo de atualização da legislação brasileira**. Eng. Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 69-78, jan./mar. 2009.

FILIZOLA, H.F.; FERRACINI, V.L.; SANS, L.M.A.; GOMES, M.A.F.; FERREIRA, C.J.A. (2002) **Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guáira**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 5, p. 659-667.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; **Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, una metodología basada en datos existentes**, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-Cepis: Lima, 1991

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'EDLIA, M.; PARIS, M.; **Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies**, The World Bank: Washington, 2002.

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Mundial, Washington, D.C., 2006.

FREEZE, A. & CHERRY, J.A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1979. 604 p.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. Brasília, DF, 2014.

GAMA, A.F.; OLIVEIRA, A.H.B.; CAVALCANTE, R.M. (2013) **Inventário de agrotóxicos e risco de contaminação química dos recursos hídricos no semiárido cearense**. Química Nova, v. 36, n. 3, p. 462-467.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 90. 2011.

GIGLIO, O. et al. **Factors influencing groundwater quality: towards an integrated management approach**. Annali di igiene: medicina preventiva e di comunità, v. 27, n. 1, p. 52-57, jan./fev. 2015.

GONÇALVES, C. M.; SILVA, J. C. G. E.; ALPENDURADA, M. F. **Avaliação da contaminação por pesticidas em águas subterrâneas amostradas ao longo de dois anos de uma zona vulnerável em Portugal**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 55, n. 15, p. 6227-6235, 2007.

GORZA, N. L. **Remoção de agrotóxicos em uma instalação piloto de tratamento de águas de abastecimento do tipo convencional, associado à pré-oxidação e adsorção em carvão ativado granular**. 2012. 133 p. Dissertação de Mestrado – Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2012.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de águas para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

IBAMA. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Disponível em: <Relatórios de comercialização de agrotóxicos (ibama.gov.br)>. Acesso em: 13/04/2021.

IBGE | **Portal do IBGE** | IBGE, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010: Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=43>>.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Orientação sobre Validação de Métodos Analíticos: DOQ-CGCRE-008-Revisão 07**. Rio de Janeiro-RJ, 2018.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. **Agrochemical Information. Global availability of information on agrochemicals**. Disponível em: <<http://old.iupac.org/project2001-022-1-600/>>.

IUPAC. The PPDB. **A to Z list of Active Ingredients**. Disponível em: <PPDB A to Z Index (herts.ac.uk)>.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/43.htm>>.

LAKATOS, E; MARCONI, M. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Editora atlas S A, 1991.

LEAL, M. J. C. **Remoção de matéria húmica aquática, ferro e manganês das águas para abastecimento por meio de coagulação, floculação, sedimentação e filtração com membranas**. 2013. 159 p. Dissertação de Mestrado – Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3.ed. São Paulo: Editora Átomo, 2010.

LYTLE, Mark H. **The gentle subversive: Rachel Carson, “Silent spring”, and the rise of the environmental movement**. New York: Oxford University Press. 2007.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 3º Ed. Minas Gerais: CRQ – MG, 2007.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anvisa vai reclassificar defensivos agrícolas que estão no mercado**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/anvisa-vai-reclassificar-todos-os-agrotoxicos-que-estao-no-mercado>>.

MARCONI; LAKATOS. **Fundamentos da metodologia científica**. 5ª Ed. São Paulo EDITORA ATLAS S.A. – 2003.

MAROTTA, H.; DOS SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. **Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbanoambientais**. Ambiente & Sociedade, v. 11 n. 1, p. 207-218, jan/jun. 2008.

MATILAINEN, A. et al. **An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment**. Chemosphere, v. 83, n. 11, p. 1431-1442, jun. 2011.

MATTOS, et al. **Residual dos herbicidas imazapir e imazapique em solo, água e sedimento de lavoura de arroz irrigado no rio grande do sul**. 2013. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93093/1/trab-5114-644.pdf>>.

MENA, M. L. et al. **Molecularly imprinted polymers for on-line preconcentration by solid phase extraction of pirimicarb in water samples**. Rev. Analytica Chimica Acta, v. 451, p. 297-304, 2002.

MEYER, S.T. **O Uso de cloro na desinfecção de águas a formação de Thihalometanos e os riscos potenciais a saúde pública**. Cad.SaudePubl., Rio de Janeiro, 10 (1:99-110), jan/mar, 1994.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS E AMBIENTE URBANO. **Águas subterrâneas. Um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: MMA/SRH, 2007.

MOREAU, M. et al. **A baseline assessment of emerging organic contaminants in New Zealand groundwater**. Rev. Science of the Total Environmental, v. 686, p. 425-439, 2019.

MOTTA, E.; FRINHANI, E. M. D. **Qualidade físico-química e microbiológica das águas subterrâneas dos municípios de Ibicaré, Lacerdópolis, Ouro e Capinzal**. Rev. Evidência, Joaçara, v. 12, n. 1, p. 63-82, jan./jun. 2012.

MUNÕZ, H. R. Interfaces da gestão de recursos hídricos. **Desafios da lei das águas em 1997**. Ministério do Meio Ambiente, 2ª edição, mai. 2000.

NASCIMENTO, R. M. **Impactos dos agrotóxicos na contaminação ambiental da produção de hortaliças no baixo Rio Natura, Pernambuco**. 2013. 167 p. Tese de doutorado – Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL (NHMRC). **Australian Drinking Water Guidelines 6**. 2018. National Water Quality Management Strategy. 2018. Disponível em: < <https://nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines>>.

NEMETHKONDA, L.; FÜLEKY, GY.; MOROVJAN, GY.; CSOKAN, P. 2002. **Sorption behaviour of acetochlor, atrazie, carbendazim, diazinon, imidacloprid and isoproturon on Hungarian Agricultural soil**. *Chemosphere*. 48: 545-552.

NUNES, R. I. et al. **Análise dos parâmetros físicos: sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos totais dissolvidos e sólidos suspensos nas águas do Vale do Açu**. 5º Encontro Regional de Química e 4º Encontro Nacional de Química. Blucher Chemistry Proceedings, v. 3, n. 1, nov. 2015.

OLIVEIRA, E.; MAGGI, M.F.; MATOS, E.; RAMOS, M.S.; VAGNER, M.W.; LOPES, E.C. (2009) **Technology of application of defensives and relations with the risk of contamination of the water and soil**. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v. 2, n. 3, p. 161-169.

OLIVEIRA, J. M. B. **Qualidade da água subterrânea na região do distrito industrial de São Luís – MA**. 2016. 88 p. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) – Pós-Graduação em Saúde e Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE – OMS (2004). **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Volume 1, Geneva, SW. 494p

PÁDUA, V.L. et al. **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2009

PALUDO, D. **Qualidade da água nos poços artesianos do município de Santa Clara do Sul. Trabalho de Conclusão de Curso**. Monografia (Bacharel em Química Industrial). Univates, Lajeado, RS, 2010.

PESSOA, M. C. P. Y. et al. **Software AGROSCORE – Apoio à Avaliação de Tendências de Transporte de Princípios Ativos de Agrotóxicos**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 26. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 24 p.

PILOTTO, I.R. et al. **Características do consumo de água em uma propriedade rural: estudo de caso no município de Orleans/SC**. 2015.

PINTO, M. C. F. **Manual medição in loco**. Site da CPRM, 2007. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/?tpl=home>>.

PIVELI, P. D. R. P. **Aula 10 - Oxigênio Dissolvido e Matéria Orgânica em Águas**. [S.l.], p. 12. 2010.

POSSAVATZ, J.; ZEILHOFER, P.; PINTO, A.A.; TIVES, A.L.; DORES, E.F.G.C. (2014) **Resíduos de pesticidas em sedimento de fundo de rio na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil**. *Ambiente & Água*, v. 9, n. 1, p. 83-96.

PRIMEL, E. G.; ZANELLA, R.; KURZ, M. H. S.; GONÇALVES, F. F.; MACHADO, S. de, O.; MARCHEZAN, E. **Poluição das águas por pesticidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Predição teórica e Monitoramento**. *Química Nova*, Vol. 28, Nº 4, p. 605-609, 2005. – CARACTERÍSTICA AGROTOXICO 2,4D.

PRODUCTIVITY COMMISSION. **Arrangements for Setting Drinking Water Standards. International benchmarking**. AusInfo, Canberra. 2000.

RAJU, N. J. et al. Geochemical assessment of groundwater quality in the Dun valley of central Nepal using chemometric method and geochemical modeling. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 1, n. 12, p. 135-145, nov-dez. 2015.

REBOUÇAS, R. (Org.). 2002. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo, Escrituras. 704p.

RIBEIRO, M. L. et al. **Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar**. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 688-694, jan. 2007.

RICHTER, C.A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. Edgard Blucher, 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual da Saúde. **Portaria SES RS Nº 320, de 28 de abril de 2014**. Porto Alegre, 2014.

ROGERS, H. R. **Sources, behavior and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludges**. *The Science of the Total Environment*, v. 185, n. 1-3, p. 3-26, 1996.

RUBBO, J. P. **Avaliação dos controles de agrotóxicos na água para consumo humano dos sistemas de abastecimento de água do Rio Grande do Sul em 2016**. 2017. 120 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Aperfeiçoamento Especializado, Residência Integrada em Saúde, Porto Alegre, RS, 2017.

RUPPENTHAL, J. E. **Toxicologia**. 128 p. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2013.

SANTOS, M. A. D. et al. **O Cerrado Brasileiro: Notas para Estudo**. UFMG. Belo Horizonte, p. 15. 2011.

SHRESTHA, R. K.; COOPERBAND, L. R.; MACGUIDWIN, A. N. **Strategies to Reduce Nitrate Leaching into Groundwater in Potato Grown in Sandy Soils: Case Study from North Central USA**. *American Journal of Potato Research*, v. 87, n. 3, p. 229-244, jun. 2010.

SIAGAS. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. 2021. Disponível em: < <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/> >.

SILVA, J. C. C. **Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação de microcistina-LR e agrotóxicos em águas superficiais, utilizando as técnicas de cromatografia líquida e cromatografia gasosa acopladas a espectrometria de massas**. 2010. 176 p. Dissertação de Mestrado – Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2010.

SILVÉRIO, F.O.; SILVA, J.G.S.; AGUIAR, M.C.S.; CACIQUE, A.P.; PINHO, G.P. (2012) **Análise de agrotóxicos em água usando extração líquido-líquido com partição em baixa temperatura por cromatografia líquida de alta eficiência**. Química Nova, v. 35, n. 10, p. 2052-2056.

SOARES, A. F. S. **Uso de agrotóxicos, contaminação de mananciais e análise da legislação pertinente: um estudo na região de Manhuaçu – MG**. 2011. 294 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2011.

SOUZA, V. C. A. B. et al. **Qualidade da água subterrânea do Bairro Perpétuo Socorro de Santa Maria – RS**. Rev. Disc. Scientia, Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 31-49, 2004.

SOUZA, L. F. C. B. **Determinação de agrotóxicos em amostras de água de manancial e de abastecimento público do município de Londrina, Paraná, Brasil**. 2016. 84 p. Dissertação de Mestrado – Ciência Animal, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

SHAKERKHATIBI, M. et al. **Pesticides Residue in Drinking Groundwater Resources of Rural Areas in the Northwest of Iran**. Rev. Health Promotion Perspectives, v. 4, n. 2, p. 195-205, 2014.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. I, 2005.

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. **Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos**. Tecnológica, v. 15, p. 15-21, 2011.

SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. CD-ROM.

TANAKA, MARCOS, TANAKA, MAURO. **Considerações sobre a norma brasileira 15.495-1: poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – parte 1: projeto e construção**. Sorocaba - São Paulo, 2011.

TOAN, P. V. et al. **Pesticide management and their residues in sediments and surface and drinking water in the Mekong Delta, Vietnam**. Rev. Science of the Total Environmental, v. 452-453, p. 28-39, 2013.

TOLEDO, G. D.; NICOLELLA, G. **Índice de qualidade de água e microbacia sob uso agrícola. Scientia Agricola, Jaguariuna - SP**, v. 59, n. 1, p. 181-186, jan/mar 2002.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas. Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.

URBAN, T. (Coord.). 1999. **Manual para elaboração de plano de manejo e gestão de bacia de manancial**. 2. ed. Curitiba: SANEPAR, 184pp.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **National Primary Drinking Water Regulations**. Disponível em: < <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations#Organic>>. 2009.

VICARI, C. M. **Determinação de Bispiribaque-Sódico, Quincloraque e Tebuconazole em água de lavoura de arroz irrigado empregando SPE e HLPC-DAD**. Santa Maria, 2009.

VIEIRA, M. G. et al. **Avaliação da contaminação por agrotóxicos em mananciais de municípios da região sudoeste do Paraná**. Revista Virtual de Química, publicado na web, v. 9, n. 5, ago. 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2005. 452 p.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas médias de Santo Ângelo**. Disponível em:<<https://pt.weatherspark.com/y/29476/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Santo-%C3%82ngelo-Brasil-durante-o-ano#Sections-Precipitation>>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**. 4 rd ed. Geneva: WHO, 2011.

YAMAGUISHI, R. B. **Especiação de alumínio em águas subterrâneas na região do manancial Billings: aplicação da radiação na digestão amostral para fins analíticos e na proposta de remediação**. 2013. 195 p. Tese de Doutorado – Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ZINI, L. B. **Contaminação de Agrotóxicos na Água para Consumo Humano no RS: Avaliação de Riscos, Desenvolvimento e Validação de Método Empregando SPE e LC-MS/MS**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2016

APÊNDICE A

Quadro 8 – Síntese dos resultados obtidos

Parâmetros Físico-Químicos	ÁREA RURAL					ÁREA URBANA					Metodologia
	Lajeado Miquim	Maria Luiza	Buriti Norte	Buriti Sede	Ressaca da Buriti	Bairro Sepe	Bairro Nova	Bairro Garibaldi	Bairro Dido	Bairro Dr. Otavio	
Absorvância λ - 254 mm (u.a)	0,001 ± 0	0 ± 0	0,019 ± 0	0,001 ± 0	0 ± 0	0,014 ± 0	0,014 ± 0	0,007333 ± 0,000471405	0,014 ± 0	0,01 ± 0	3910 B (APHA, 2005)
Cor aparente (µH)	0 ± 0	0 ± 0	8 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	2120 B (APHA, 2005)
Condutividade elétrica (µs/cm)	184,2	111	148,3	174,3	141,5	76,6	79,5	75,3	84,5	78,8	2510 B (APHA, 2005)
Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,71	6,3	6,4	6,4	6,6	6,1	8,06	6	6,08	6	4500 B (APHA, 2005)
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	5,11	5,09	7,25	6,55	6,49	7,45	7,41	7,58	7,53	8,24	4500 G (APHA, 2005)
Sólidos sedimentáveis (mL L ⁻¹)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2540 F (APHA, 2005)
Temperatura (°C)	24,9	24,7	23,4	23,6	27,8	26,2	25,5	24,1	24,9	24,3	2550 B (APHA, 2005)
Turbidez (µT)	0 ± 0	0 ± 0	2,3333333 ± 0,471404521	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	2130 B (APHA, 2005)
Cloro ativo (ppm)	0	0,5	0	0	0	1	0	0	0	1	

Nitrato (mg L ⁻¹)	0,155 ± 0,005 47722 6	0,0665 ± 0,00977667	0,196888889 ± 0,003160325	0,35227778 ± 0,03773417	0,204277778 ± 0,065287233	0,12361111 ± 0,00453553	0,11172222 ± 0,03163824	0,114555556 ± 0,001212079	0,16266667 ± 0,00674949	0,1344444 ± 0,0023386	FRIES, GETROST, 1977
Nº de agrotóxicos detectados	2	2	1	2	2	3	4	1	4	2	-
Parâmetros microbiológicos											
Cliformes totais (a/p)	a	p	P	A	p	a	a	a	a	a	SM 9221 C (APHA, 2005)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. Legenda: Ausente (a), Presente (p).