



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA  
QUÍMICA



# Água e contaminantes químicos: avaliação da qualidade da água nos 5 municípios mais populosos do Rio Grande do Sul

*Autora: Mariana Günther Borges*

*Orientadora: Profa. Dra. Liliana Amaral Feris*

*Coorientadora: Dra. Keila Guerra Pacheco Nunes*

Porto Alegre, Novembro de 2021

Mariana Günther Borges

Água e contaminantes químicos: avaliação da  
qualidade da água nos 5 municípios mais populosos do  
Rio Grande do Sul

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Química*

Orientadora: Profa. Dra. Liliana Amaral Feris  
Coorientadora: Dra. Keila Guerra Pacheco Nunes

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Oscar William Perez Lopez, UFRGS

Prof. Dr. Diego Cardoso Estumano, UFPA

Porto Alegre

2021

## RESUMO

A exposição à água contaminada é uma grande ameaça à saúde humana. Apesar de grande parte dos problemas estar relacionada à contaminação por microrganismos, há uma preocupação à saúde quanto à contaminação química da água potável. A presença de produtos químicos costuma causar efeitos à saúde de maneira crônica, após períodos prolongados de exposição a baixas dosagens, sendo que ainda não há pleno conhecimento sobre os efeitos à saúde da população devido à ingestão de água contaminada por esses compostos. Nesse cenário, o monitoramento da qualidade da água é essencial, sendo os fornecedores de água potável os responsáveis pela sua qualidade e segurança. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo consiste em avaliar o monitoramento da qualidade da água potável tratada nos 5 municípios mais populosos do Estado do Rio Grande do Sul. Ainda, o trabalho aborda os riscos à saúde associados à ingestão de água para consumo humano com a presença dos contaminantes alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos. Para tal, dados dos laudos de controle semestral realizados por prestadores de abastecimento de água em atendimento ao Programa Nacional de Vigilância e Qualidade da Água para Consumo Humano do Ministério da Saúde (Vigiagua), obtidos do Portal Brasileiro de Dados Abertos e referentes ao período de 2014 a 2020, foram analisados. Os dados da água tratada dos municípios Canoas, Caxias do Sul, Pelotas, Porto Alegre e Santa Maria foram comparados ao valor máximo permitido (VMP) pela legislação. Ainda, o trabalho identificou em qual tipo de forma de abastecimento, manancial e ponto de monitoramento foi detectada a presença desses compostos, avaliando-se também se o plano de amostragem previsto para os municípios foi atendido a partir dos dados de análise de água. O intervalo de tempo aplicado entre as datas de coleta e análise foi também avaliado, com investigação da influência do mesmo nos resultados das análises das amostras de água. Por fim, os riscos à saúde associados ao consumo de água com a presença desses contaminantes foi avaliado com base na análise de dados de pesquisas científicas. Os resultados desse trabalho trazem indicativos importantes sobre o monitoramento da qualidade da água no Estado. Observou-se um quantitativo deficiente das análises previstas em legislação que efetivamente foram realizadas para alguns municípios e parâmetros. O intervalo de tempo elevado empregado até a análise de algumas amostras e a presença de contaminantes acima do valor máximo permitido após o tratamento da água são pontos de atenção que devem ser considerados na avaliação dos procedimentos adotados no tratamento e análise da água a ser disponibilizada à população. Para que se possa associar efeitos à saúde ao consumo de água com a presença de compostos químicos acima do padrão estabelecido pela legislação como seguro, o monitoramento da água precisa ser realizado de forma periódica a fim de se conhecer a exposição dos consumidores dessa água. O conhecimento da qualidade da água pode ser uma ferramenta útil para o apoio à decisão dos gestores de sistemas de abastecimento de água na definição de estratégias e políticas de saúde pública para mitigar o risco de consumo de água com a presença de um contaminante. Os resultados desse trabalho também podem contribuir para informar os gestores dos sistemas de abastecimento de água tratada sobre o papel da qualidade da água na saúde dos consumidores.

**Palavras-chave:** *água para consumo humano, risco à saúde, contaminantes químicos*

## ABSTRACT

Exposure to contaminated water is a major threat to human health. Although most of the problems are related to contamination by microorganisms, there is a health concern regarding chemical contamination of drinking water. The presence of chemical products tends to cause health effects in a chronic way, after prolonged periods of exposure to low doses, and there is still not enough knowledge about the health effects on the population due to the ingestion of water contaminated by these compounds. In this scenario, water quality monitoring is essential, in which drinking water suppliers are responsible for its quality and safety. In this context, the aim of this study is to evaluate the monitoring of the quality of drinking water treated in the 5 most populous municipalities in the State of Rio Grande do Sul. Furthermore, the work addresses the health risks associated with human consumption of drinking water with the presence of the contaminants aluminum, arsenic, nitrate and trihalomethanes. To this end, data from the semiannual control reports carried out by water supply providers in compliance with the National Program for Surveillance and Quality of Water for Human Consumption of the Ministry of Health (Vigiagua), obtained from the Brazilian Portal for Open Data and referring to the period of 2014 to 2020 were analyzed. The treated water data from the cities of Canoas, Caxias do Sul, Pelotas, Porto Alegre and Santa Maria were compared to the maximum value allowed by law. Furthermore, the work identified the type of supply, spring and monitoring point in which the presence of these compounds was detected, and also evaluating whether the sampling plan provided for the municipalities was met based on the water analysis data. The time interval applied between the collection and analysis dates was also evaluated, with investigation of its influence on the results of the analysis of the water samples. Finally, the health risks associated with water consumption with the presence of these contaminants was assessed based on the analysis of scientific research data. The results of this work provide important indications about the monitoring of water quality in the State. There was a deficient quantity of analysis required by legislation that were effectively carried out for some municipalities and parameters. The high time interval applied until the analysis of some samples and the presence of contaminants above the maximum allowed value after water treatment are points of attention that must be considered when evaluating the procedures adopted in the treatment and analysis of the water to be delivered to the population. In order to associate health effects to water consumption with the presence of chemical compounds above the standard established by legislation as safe, water monitoring needs to be carried out periodically in order to know the exposure of consumers of this water. The knowledge of water quality can be a useful tool to support the decision-making of water supply system managers in defining public health strategies and policies to mitigate the risk of water consumption in the presence of a contaminant. The results of this work can also contribute to inform managers of treated water supply systems about the role of water quality in the health of consumers.

**Keywords:** *drinking water, health risk, chemical contaminants*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Avaliação do manancial e do sistema de produção de água para os municípios brasileiros e para a população urbana em 2015.....	4
Figura 2: Tipo de manancial utilizado no Brasil para abastecimento por número de habitantes em população urbana e por quantidade de municípios em 2015.....	5
Figura 3: Avaliação do manancial e do sistema de produção de água para os municípios e para a população urbana do RS em 2015.....	6
Figura 4: Tipo de manancial utilizado no RS por população urbana e por quantidade de municípios em 2015.....	6
Figura 5: Etapas de tratamento de água em uma ETA (Estação de Tratamento de Água).....	8
Figura 6: Técnicas usuais para tratamento de água para abastecimento público no Brasil.....	9
Figura 7: População residente estimada dentre os 5 municípios mais populosos do RS entre os anos de 2014 e 2020.....	23
Figura 8: Número e percentual de amostras analisadas acima do valor máximo permitido (VMP) para os parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos por município no período de 2014 a 2020.....	24
Figura 9: Total de amostras analisadas por município de acordo com o ponto de monitoramento para o parâmetro alumínio de 2014 a 2020.....	28
Figura 10: Percentual de amostras analisadas nos intervalos entre a data da coleta e da análise de 0 - 10 dias, 11 – 15 dias, 31 – 60 dias e 61 ou mais dias.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: População gaúcha com acesso à água potável e segura fornecida pela rede geral de distribuição.....	7
Tabela 2: População com acesso à água potável e segura em 2018 para os 4 estados brasileiros com a maior cobertura de acesso.....	7
Tabela 3: Quantidade de amostras e frequência de coleta para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.....	13
Tabela 4: Valores de referência para as substâncias avaliadas neste estudo: alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos.....	18
Tabela 5: Número total de amostras analisadas e número de amostras acima do valor máximo permitido (VMP) para cada parâmetro no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.....	22
Tabela 6: Total de amostras com presença de contaminantes acima do valor máximo permitido (VMP) de acordo com a forma de abastecimento no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.....	25
Tabela 7: Total de amostras com presença de contaminantes acima do valor máximo permitido (VMP) de acordo com o tipo de manancial no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.....	26
Tabela 8: Total de amostras com presença de contaminantes acima do valor máximo permitido (VMP) de acordo com o ponto de monitoramento no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.....	27
Tabela 9: Total de amostras com presença de alumínio acima do valor máximo permitido (VMP) de acordo com o ponto de monitoramento no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.....	29
Tabela 10: Total de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e de Soluções Alternativas Coletivas (SAC) avaliadas no período de 2014 a 2021 por município.....	30
Tabela 11: Total de sistemas de abastecimento (SAA) avaliados por tipo de manancial no período de 2014 a 2021 por município.....	31
Tabela 12: Total de sistemas de abastecimento (SAA) avaliados por faixa populacional do plano de amostragem e por tipo de manancial no período de 2014 a 2021 para os 5 municípios mais populosos do RS.....	32
Tabela 13: Cumprimento do plano de amostragem para os municípios Canoas, Caxias do Sul, Pelotas, Porto Alegre e Santa Maria para os parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos no período de 2014 a 2020.....	33
Tabela 14: “Holding time” para os parâmetros: alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos e menor e maior intervalo e média de dias entre a data da coleta e da análise das amostras analisadas para os 5 municípios mais populosos do RS.....	36
Tabela 15: Atendimento ao “holding time” para os parâmetros nitrato e trihalometanos.....	37

Tabela 16: Compilação de dados dos artigos para análise do risco à saúde envolvido no consumo de água com a presença dos contaminantes: alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos.....	39
--	----

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
	Objetivos.....	2
	Objetivo geral.....	2
	Objetivos específicos.....	2
2	Revisão Bibliográfica.....	3
2.1	Panorama da água para consumo humano.....	3
	Disponibilidade de água no Mundo.....	3
	Disponibilidade de água no Brasil.....	4
	Situação da distribuição da água tratada no Rio Grande do Sul.....	5
2.2	Tratamento da água para consumo humano.....	7
2.3	Monitoramento da qualidade da água para consumo humano no Brasil.....	9
	Programa VIGIAGUA – Programa da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano...9	
	Sistema Sisagua – Sistema de informação de vigilância da qualidade da água para consumo humano.....	10
	Legislação quanto ao padrão de potabilidade da água para consumo humano no Brasil.....	10
	Valores de referência para os parâmetros do padrão de potabilidade da água.....	11
	Plano de amostragem e pontos de monitoramento da água para consumo humano.....	12
2.4	Parâmetros avaliados.....	14
	Alumínio.....	15
	Arsênio.....	16
	Nitrato.....	16
	Trihalometanos.....	17
	Valores de referência previstos na legislação.....	18
3	Materiais e Métodos.....	19
3.1	Análise dos dados de amostras de água potável.....	19
	Coleta e tratamento dos dados das amostras de água.....	19
	Análise dos dados.....	20
3.2	Pesquisa bibliográfica.....	20
	Busca e seleção dos artigos.....	21
	Tratamento dos artigos selecionados.....	21
4	Resultados.....	22
4.1	Atendimento ao padrão de potabilidade e identificação de municípios com presença de contaminantes detectados na água acima do valor máximo permitido.....	22
4.2	Relação da forma de abastecimento, do tipo de manancial e do ponto de monitoramento com a presença dos contaminantes.....	25
4.3	Atendimento ao plano de amostragem.....	30

---

4.4 Avaliação da influência do intervalo entre a data da coleta e da análise na identificação dos contaminantes avaliados.....	35
4.5 Avaliação da presença dos contaminantes alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos e efeitos à saúde segundo a literatura.....	38
5 Conclusões.....	47
Referências.....	49
Apêndice A.....	53

## 1 Introdução

A água é essencial para a manutenção da vida, e um fornecimento adequado, seguro e acessível deve estar disponível para todos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), todo esforço deve ser feito para se alcançar uma água potável tão segura quanto seja praticável. Com a melhoria do acesso a uma água segura para consumo humano, benefícios à saúde podem ser alcançados. Além disso, melhorar o serviço de acesso a água e saneamento junto de um gerenciamento correto de fontes de água pode alavancar o crescimento econômico de um país, visto que assim a população estará menos sujeita a doenças de veiculação hídrica. Dessa forma, a oferta de água de forma segura, em quantidade e qualidade suficientes, pode contribuir significativamente para a redução da pobreza.

Segundo a OMS, os requerimentos básicos e essenciais para garantir a segurança da água potável são o estabelecimento de alvos baseados na saúde por autoridades competentes no âmbito da saúde, gerenciamento adequado da infraestrutura, monitoramento, planejamento e gestão da qualidade da água e um sistema de vigilância independente. Uma abordagem holística para a avaliação e o gerenciamento de riscos é ideal para a segurança da água para consumo humano, desde a captação e fonte da água até a sua distribuição e consumo pela população.

Para que se ofereça uma água potável de qualidade e segura para a população é necessário, portanto, uma abordagem de gerenciamento integrado preventivo com a colaboração dos órgãos envolvidos é tida como a abordagem de preferência (WHO, 2011). Os fornecedores de água potável são inteiramente responsáveis pela qualidade e pela segurança da água produzida e ofertada. A vigilância da água para consumo humano é um elemento essencial nesse cenário e é definida como uma avaliação pública da saúde contínua e vigilante, sendo fundamental neste processo que ocorra a revisão da segurança e da aceitabilidade das fontes de água para consumo humano periodicamente (WHO, 1976).

Doenças relacionadas à contaminação de água potável são uma grande ameaça à saúde humana. Os aspectos microbiológicos requerem essencial atenção na avaliação da segurança da água, visto que as potenciais consequências à saúde de uma água contaminada por microrganismos envolvem surtos de doenças intestinais ou infecciosas que podem acometer de maneira aguda um grande número de pessoas simultaneamente. O controle da qualidade da água quanto a esse parâmetro é de suma importância devido ao fato de que até que seja detectada a presença de microrganismos na água, potencialmente uma grande parcela da comunidade atendida pela fonte de água contaminada já poderá ter sido exposta.

Apesar de grande parte dos problemas à saúde relacionados ao consumo de água contaminada por microrganismos, há uma considerável preocupação à saúde quanto à contaminação química da água potável. Diferentemente da contaminação microbiológica, a presença de químicos na água costuma causar efeitos à saúde de maneira crônica, após períodos prolongados de exposição. Um fator de importância na avaliação dos efeitos crônicos à saúde devidos à exposição a um contaminante químico é a dificuldade de se identificar onexo causal de uma doença crônica, uma vez que para muitas doenças a causa mostra-se multifatorial, ou seja, diferentes aspectos na vida do indivíduo levam ao quadro

da doença diagnosticada. Dessa forma, torna-se um desafio relacionar o efeito à saúde observado com a exposição a um composto químico ingerido pelo consumo de água contaminada.

Para que se possa associar efeitos à saúde ao consumo de água com a presença de compostos químicos acima do padrão estabelecido pela legislação como seguro é fundamental que se tenha dados sobre a presença de químicos na água, bem como que seja realizado um monitoramento da água a longo prazo. No Brasil, a avaliação e monitoramento de tais compostos se mostra insuficiente considerando-se desde deficiências na frequência e quantidade de amostras analisadas até a falta de trabalhadores em número e capacitação suficientes para atender esta demanda.

Mesmo havendo inúmeros estudos e pesquisas para a avaliação do efeito à saúde pela ingestão de água contaminada com compostos químicos, ainda não há pleno conhecimento sobre os efeitos à saúde da população. Também ainda não há estudos científicos suficientes que indiquem a segurança da água quanto a esses compostos e os efeitos na saúde da população exposta a esses químicos. Dessa forma, há a necessidade de mais pesquisas quanto a essa temática, de forma a se ter um melhor entendimento sobre os riscos que estão associados ao consumo de águas contaminadas por essas substâncias.

## **Objetivos**

### **Objetivo geral**

Esse trabalho possui o objetivo de avaliar o monitoramento da qualidade da água realizado pelos responsáveis pelo abastecimento público da população dos 5 municípios mais populosos do Estado do Rio Grande do Sul (Canoas, Caxias do Sul, Pelotas, Porto Alegre e Santa Maria) e os riscos à saúde associados à ingestão de água para consumo humano com a presença dos contaminantes: alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos.

### **Objetivos específicos**

- Identificar, dentre os 5 municípios mais populosos do RS, se houve a presença dos contaminantes: alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos acima do valor máximo permitido no período de 2014 a 2020;
- Relacionar a presença dos contaminantes na água e a forma de abastecimento, tipo de manancial e ponto de monitoramento;
- Apresentar o atendimento ao plano de amostragem e ao padrão de potabilidade, previsto em legislação, pelos responsáveis pelo abastecimento público da população dos 5 municípios mais populosos do RS entre os anos de 2014 e 2020;
- Debater se o intervalo de tempo entre a data da coleta da amostra de água e a data da análise da amostra acarreta prejuízo na análise de determinado contaminante;
- Avaliar os riscos à saúde envolvidos no consumo de água com a presença dos contaminantes alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos acima do valor máximo permitido baseado em análise de dados da literatura.

## 2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são descritos os fundamentos teóricos que embasaram esta pesquisa. Serão abordados temas como o panorama da água para consumo humano a nível mundial, nacional (Brasil) e regional (Rio Grande do Sul). Será apresentado o processo de tratamento de água para consumo humano. Também será apresentado o processo de monitoramento da qualidade da água dos sistemas de abastecimento públicos do Brasil, e serão trazidos aspectos relativos à importância do monitoramento e às consequências da presença na água para consumo humano dos parâmetros químicos avaliados nesta pesquisa.

### 2.1 Panorama da água para consumo humano

Nesta seção serão trazidos os dados quanto à disponibilidade e qualidade da água potável no mundo e no Brasil. Também será abordada a situação da água tratada para a população do Rio Grande do Sul.

#### *Disponibilidade de água no Mundo*

Em 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas reconheceu o direito humano ao acesso à água e ao saneamento, em quantidade suficiente, de forma contínua, segura, aceitável e fisicamente e financeiramente acessível para uso pessoal e doméstico. Em 2017, porém, apenas 71% da população global (5,3 bilhões de pessoas) utilizaram o serviço de abastecimento gerenciado de forma segura, ou seja, disponível quando necessário e livre de contaminações. Das demais, cerca de 785 milhões não tiveram acesso a serviços básicos de água para consumo humano e pelo menos 2 bilhões de pessoas utilizam fonte de água contaminada por fezes. Estima-se que o consumo de água contaminada cause 485 mil mortes por diarreia anualmente (DRINKING-WATER, KEY FACTS, 2019).

Esse cenário de desigualdade de acesso à água se evidencia nos países classificados como menos desenvolvidos, como por exemplo os países africanos. Nesses países, a ONU estima que 22% dos serviços de saúde não possuam sistema de abastecimento de água e que 21% não possuam serviço de saneamento (DRINKING-WATER, KEY FACTS, 2019). A dificuldade de acesso à água segura não apenas causa danos à saúde do indivíduo como também é considerada um problema social e econômico, visto que leva as pessoas a dedicarem mais tempo e esforço para a coleta de uma água seguramente gerenciada. Além disso, acesso à água de fontes mais seguras implica em menos gastos em saúde pelos governos, visto que a população estará menos propensa a adoecer e incorrer em custos médicos, bem como também serão mais produtivas economicamente.

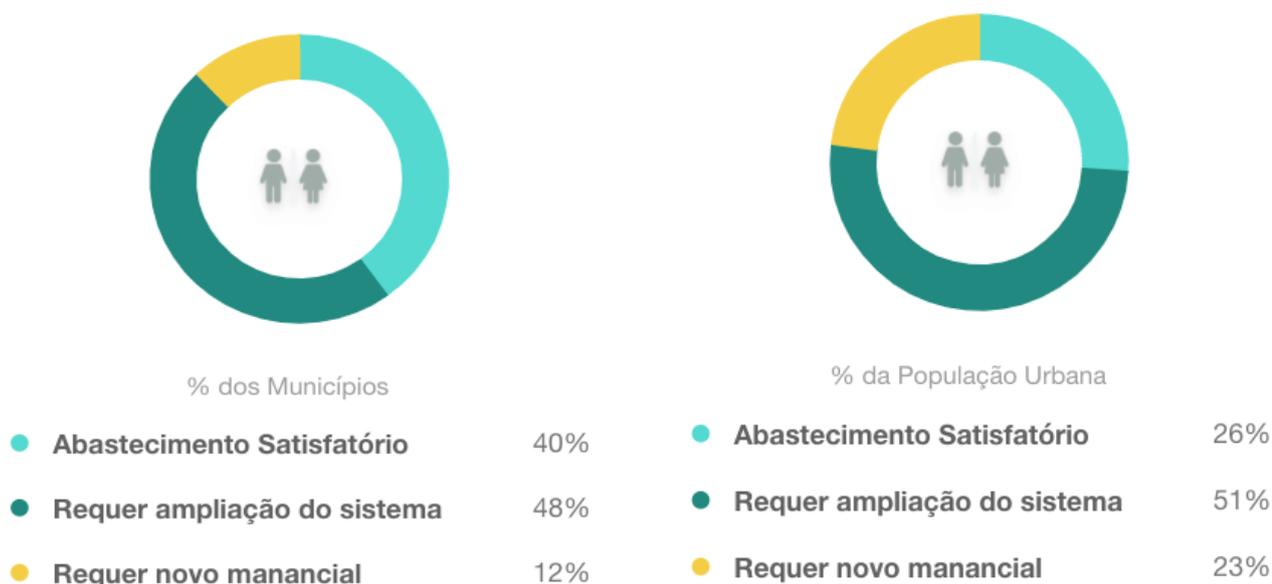
O acesso equitativo à água potável segura e financeiramente acessível integra os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) como objetivo 6 “Água Potável e Saneamento”. Dentro destas metas, o item 6.1, que prevê que até 2030 seja alcançado o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos, é monitorado através do indicador “serviços de água para consumo humano gerenciados de forma segura”. Avalia-se se a água provém de uma fonte segura, disponível quando necessária e livre não só de contaminação fecal, mas também de contaminantes químicos prioritários (ODS, Brasil).

### Disponibilidade de água no Brasil

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água do mundo, segundo a FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations) - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação, e a Organização Mundial da Saúde), apresentando um total de recursos hídricos anuais de 8.233 km<sup>3</sup>/ano (FAO, 2003). Grande parte do recurso, no entanto, está localizada em regiões com menor densidade populacional. Em áreas mais populosas e urbanizadas, como regiões metropolitanas no sudeste do país, a mesma fonte hídrica costuma ser destinada a diferentes usos, o que leva à geração de conflitos quanto à quantidade e qualidade da água. O abastecimento de grandes cidades, portanto, é um grande desafio para o país, visto que a elevada densidade populacional leva à elevada demanda por recursos hídricos, os quais frequentemente são afetados pela poluição desses centros urbanos. Dessa forma, essas águas acabam apresentando uma piora na sua qualidade (ANA, Brasil).

Em 2015, apenas 40% dos municípios brasileiros apresentava abastecimento satisfatório, ou seja, proviam água em quantidade e qualidade seguras para os seus habitantes. Do restante dos municípios, 48% requeriam ampliação do sistema e 12% um novo manancial, conforme a Figura 1 indica (ANA, 2015). Para a avaliação por população urbana, foi observada uma maior deficiência, onde 51% requeriam ampliação do sistema e 23% requeriam um novo manancial, como mostrado também na Figura 1 (ANA, 2015).

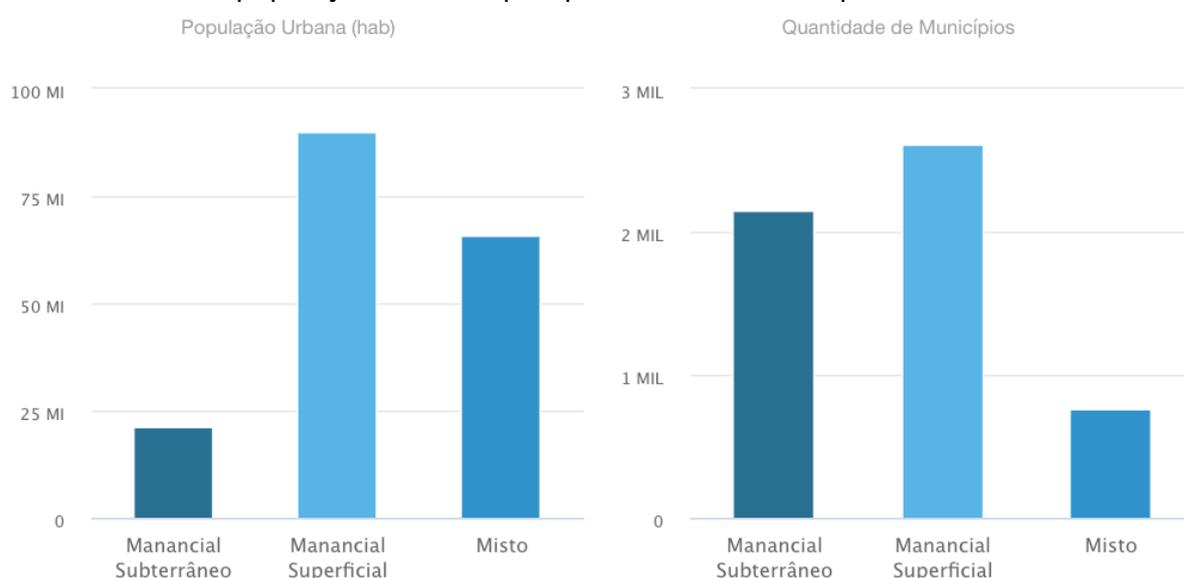
Figura 1: Avaliação do manancial e do sistema de produção de água para os municípios brasileiros e para a população urbana em 2015.



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Esse mesmo estudo da ANA indicou que, mesmo que no Brasil haja grande utilização de mananciais subterrâneos para obtenção de água potável, a maior parte dos municípios no país era abastecido por mananciais superficiais em 2015, ou seja, corpos de água formados pela água que escorre sobre a superfície do solo. Tal dado está demonstrado na Figura 2, que também apresenta que o manancial superficial possui uso predominante mais acentuado com relação ao uso de manancial subterrâneo para a população urbana (ANA, 2015). Os mananciais superficiais são os mais vulneráveis quanto às ações antropogênicas poluentes, que podem levar à sua degradação, exigir tratamentos de água mais custosos e complexos, além de tornar a água potável disponível para a população mais escassa (SLATER, 2019).

Figura 2: Tipo de manancial utilizado no Brasil para abastecimento por número de habitantes em população urbana e por quantidade de municípios em 2015.



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

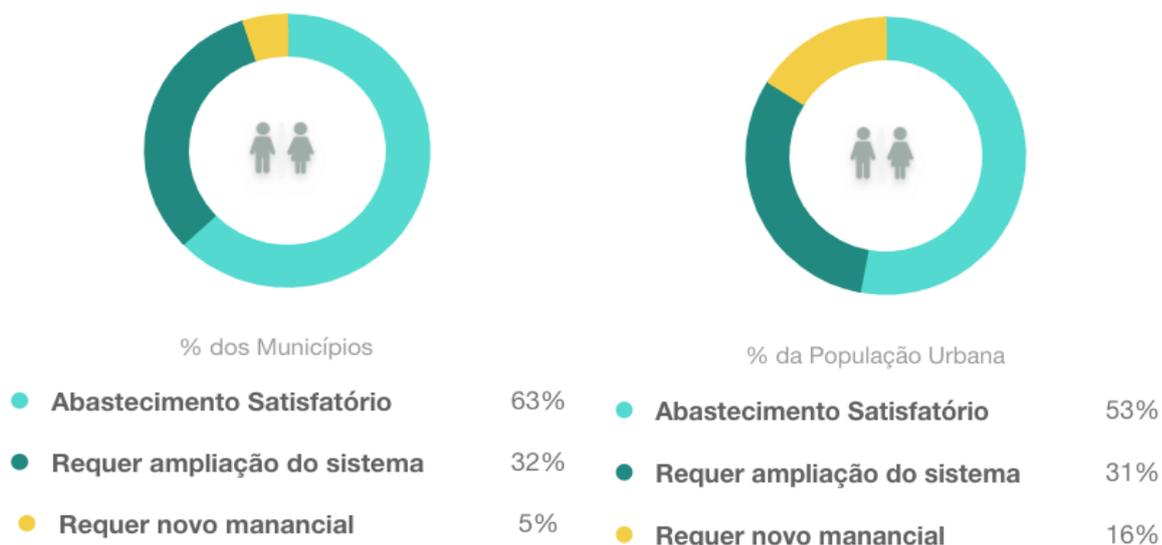
Em 2019, 83,7% dos brasileiros eram atendidos com abastecimento de água tratada conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), sendo aproximadamente 35 milhões de brasileiros sem o acesso a este serviço básico. Com base nos dados fornecidos pelo SNIS de 2019, foi realizado um ranking do saneamento básico no Brasil em 2021. De acordo com este ranking, apenas 26 municípios das 100 maiores cidades brasileiras possuem 100% da população atendida com água potável (TRATA BRASIL, 2021).

#### *Situação da distribuição da água tratada no Rio Grande do Sul*

Em 2015 no Rio Grande do Sul, segundo a ANA, 63% dos municípios apresentavam abastecimento satisfatório, 32% requeriam ampliação do sistema e 5% requeriam um novo manancial, de acordo com a Figura 3 (ANA, 2015). Para a avaliação por população urbana, os dados da ANA também demonstravam uma deficiência no abastecimento e de mananciais

do estado, onde 31% da população requeria ampliação do sistema e 16% requeriam um novo manancial, como indicado também na Figura 3 (ANA, 2015).

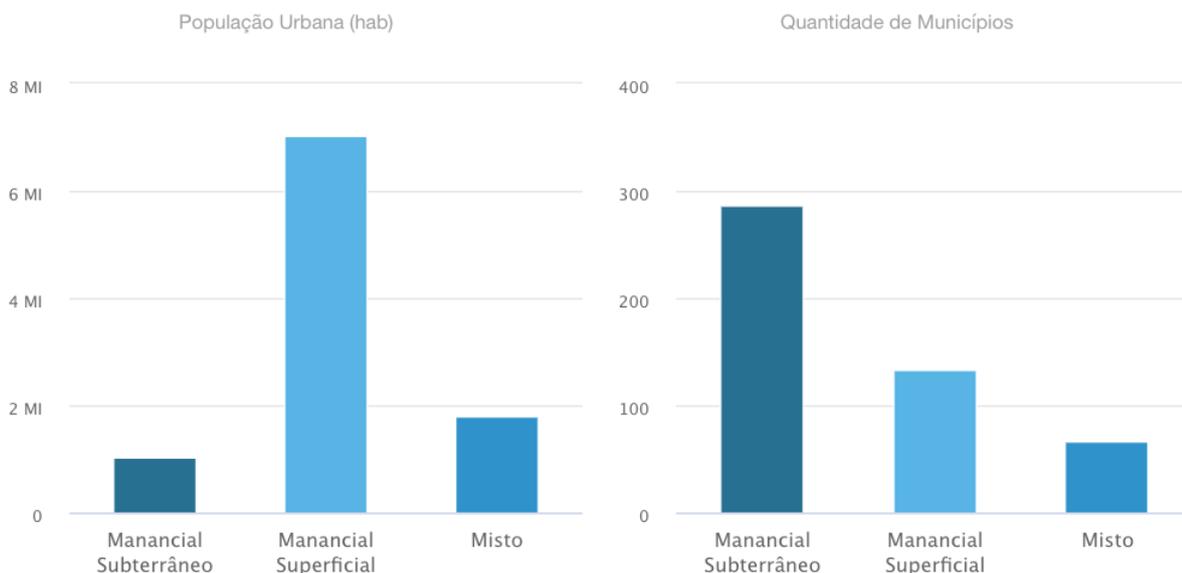
Figura 3: Avaliação do manancial e do sistema de produção de água para os municípios e para a população urbana do RS em 2015.



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A maior parte dos municípios no Estado é abastecido por mananciais subterrâneos, no entanto se avaliado o abastecimento da população urbana, a maioria é abastecida por mananciais superficiais, dados indicados na Figura 4 (ANA, 2015).

Figura 4: Tipo de manancial utilizado no RS por população urbana e por quantidade de municípios em 2015.



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Segundo o SNIS, em 2019, 90,5% da população da Região Sul era abastecida com água tratada. Esse valor supera o índice de atendimento total de água da região norte, que era de apenas 57,5% no mesmo período, o que mostra a grande desigualdade de acesso a água tratada pela população brasileira (SNIS, 2019).

Segundo os dados do Departamento de Economia e Estatística (2018) a evolução da parcela dos habitantes do RS com acesso à água potável e segura vem aumentando ao longo dos últimos anos. Os dados podem ser observados na Tabela 1, a qual indica que esse dado apresentou uma melhora ao longo dos anos de 2016 a 2018. Já a Tabela 2, apresenta como o RS se encontra em comparação aos estados brasileiros com o melhor índice de cobertura populacional quanto ao acesso à água potável em 2018 (RS, 2020).

Tabela 1: População gaúcha com acesso à água potável e segura fornecida pela rede geral de distribuição.

Ano	População com acesso à água potável e segura (%)
2018	89,9
2017	88,5
2016	88,2

Fonte: (MARIANA LISBOA PESSOA, 2020).

Tabela 2: População com acesso à água potável e segura em 2018 para os 4 estados brasileiros com a maior cobertura de acesso.

Posição no ranking	Estado	População com acesso à água potável e segura (%)
1º	São Paulo	95,8
2º	Distrito Federal	95,0
3º	Paraná	90,3
4º	Rio Grande do Sul	89,9

Fonte: (MARIANA LISBOA PESSOA, 2020).

## 2.2 Tratamento da água para consumo humano

Segundo o Ministério da Saúde (MS, 2021a), o tratamento da água tem como finalidade tornar a água bruta própria para o consumo humano, atendendo aos padrões de qualidade exigidos na Portaria de Potabilidade brasileira. Entre os objetivos do tratamento da água, pode-se citar:

- tornar a mesma potável, trazendo segurança pela remoção e inativação de organismos patogênicos e substâncias químicas que representem riscos à saúde,
- aceitabilidade pela adequação aos padrões organolépticos, como cor, gosto e odor que podem causar rejeição ao consumo.

O Ministério da Saúde também ressalta que o tratamento de água não pode levar à introdução de compostos indesejáveis na água, devendo-se atentar à tecnologia empregada (MS, 2021a). O local onde ocorre o tratamento para torná-la própria para o consumo ocorre em uma estação de tratamento de água. A fim de cumprir os propósitos estabelecidos em lei, algumas etapas de tratamento são fundamentais.

Uma estação de tratamento de água convencional em geral apresenta os seguintes processos (MS, 2021a):

- Pré-tratamento: processo mecânico para remoção de objetos que possam ter sido transportados ao longo da tubulação até a estação.

- Sedimentação primária com coagulação/floculação: processo físico ou físico químico onde a água permanece em um tanque para que partículas possam sedimentar. Nesta etapa, costuma-se utilizar um coagulante e/ou floculante para auxiliar na remoção das partículas suspensas na água pela aglutinação das partículas sólidas em suspensão.

- Decantação: nesta etapa, a água permanece por determinado tempo em um tanque para a sedimentação dos flocos gerados na etapa anterior.

- Filtração: processo para remoção de partículas finas, em geral com uso de filtros compostos de areia, pedras e carvão ativado, para remoção de matéria orgânica que ainda permaneça na água, bem como parasitas, bactérias e vírus.

- Desinfecção da água: etapa realizada com o objetivo de remover possíveis patógenos remanescentes, bem como proteger a água de posterior contaminação ao longo da tubulação de distribuição até a residência dos consumidores. Em alguns países, como o Brasil, ainda há mais uma etapa no tratamento da água, a fluoretação, para prevenção de cárie dentária na população.

Na Figura 5 constam as etapas comumente utilizadas em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) (UFRGS).

Figura 5: Etapas de tratamento de água em uma ETA (Estação de Tratamento de Água).



Fonte: UFRGS.

No Brasil, a técnica de tratamento de água mais utilizada, chamada de tratamento convencional, contempla as etapas já mencionadas coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Os coagulantes mais utilizados no Brasil são os sais de alumínio e de ferro. Etapas adicionais também costumam ser aplicadas, como fluoretação e correção do pH. Contudo outras combinações de etapas de tratamento podem ser utilizadas dependendo das características da água bruta, como se observa na Figura 6 (MS, 2021).

Figura 6: Técnicas usuais para tratamento de água para abastecimento público no Brasil.



Fonte: Adaptado de Heller e Pádua (2010).

### 2.3 Monitoramento da qualidade da água para consumo humano no Brasil

Os aspectos quanto aos procedimentos adotados para o monitoramento da qualidade da água para consumo humano no Brasil são tratados pelos órgãos governamentais. Estes são responsáveis por acompanhar esse monitoramento, a legislação vigente quanto ao padrão de potabilidade a ser atendido e os processos envolvidos na realização desse monitoramento.

#### *Programa VIGIAGUA – Programa da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano*

O Programa da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua) é um programa do governo federal que atua no monitoramento da qualidade e da quantidade de água potável de modo a prevenir doenças de veiculação hídrica, garantindo acesso seguro à água pela população brasileira. O programa integra as ações do Sistema Único de Saúde (SUS), onde a garantia à população de acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido pela legislação vigente é uma das atribuições. O Programa Vigiagua é executado nas instâncias federal, estadual e municipal e desenvolve ações para assegurar a qualidade da água fornecida à população, identificando e

intervindo em situações de risco à saúde dos consumidores. Toda e qualquer forma de abastecimento de água para consumo humano é monitorada pelo programa, seja coletiva ou individual, na área urbana ou rural, de gestão pública ou privada (CEVS, 2018).

Entre os principais benefícios da atuação do programa está a avaliação do potencial de risco à saúde representado pela água consumida, de modo a desencadear as medidas necessárias para que se mantenha ou recupere as condições de segurança da água. Das atuações do programa, destaca-se a análise e a avaliação dos relatórios de controle da qualidade da água produzidos pelos responsáveis pelo abastecimento da água potável (CEVS, 2018).

#### *Sistema Sisagua – Sistema de informação de vigilância da qualidade da água para consumo humano*

Um dos instrumentos relativos ao monitoramento da qualidade da água que é distribuída para o consumo pela população são os relatórios de controle produzidos pelos responsáveis pelo abastecimento da água potável. Nesses documentos, constam os resultados para as análises de parâmetros previstos pelo Anexo XX, legislação que será tratada no próximo tópico. Os dados contidos nesses laudos são inseridos no Sisagua, Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua).

Esse sistema foi desenvolvido com base na norma de potabilidade de água vigente, no Programa Vigiagua, na Diretriz Nacional do Plano de Amostragem do Vigiagua e na definição de indicadores sanitários utilizados na prevenção e no controle de doenças e agravos relacionados ao abastecimento de água para consumo humano. O Sisagua é fundamental para o gerenciamento e acompanhamento das ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano, imprescindível garantir a confiabilidade e consistência dos dados nele inseridos (MANUAL DE PROCEDIMENTOS DE ENTRADA DE DADOS DO SISAGUA.PDF, 2016). Os dados contidos no Sisagua podem ser acessados pela população em geral através do Portal Brasileiro de Dados Abertos.

#### *Legislação quanto ao padrão de potabilidade da água para consumo humano no Brasil*

Um dos principais instrumentos que regula a água para consumo humano no Brasil é o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, o qual dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (MS, 2017). Em 04/05/2021, houve uma alteração nessa legislação através da PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 (MS, 2021). A partir da publicação, estabeleceu-se que toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema, solução alternativa coletiva de abastecimento de água ou carro-pipa, deve ser objeto de controle e vigilância. Assim como toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água também está sujeita à vigilância da qualidade da água.

A água para consumo humano é definida pelo Anexo XX como água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem.

Já a água potável é definida como água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido no Anexo XX e que não ofereça riscos à saúde. Os diferentes meios de se prover água potável para a população são também definidos:

- Sistema de abastecimento de água para consumo humano (SAA): instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição.

- Solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano (SAC): modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, sem rede de distribuição.

- Solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano (SAI): modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares. [9]

Um importante aspecto diferenciado nesse Anexo é com relação as ações de controle da qualidade da água para consumo humano e da vigilância da qualidade da água para consumo humano. O primeiro é definido como o conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição, ou seja, é realizado pelos prestadores do serviço. Já a vigilância é definida como o conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento a este Anexo e avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde, ou seja, é realizado pelo Vigiagua em todas as suas instâncias. Neste trabalho, os relatórios de controle da qualidade da água serão avaliados para verificação de atendimento dos objetivos propostos.

#### *Valores de referência para os parâmetros do padrão de potabilidade da água*

O padrão de potabilidade é definido como um conjunto de valores permitidos para os parâmetros da qualidade da água para consumo humano. Valores de referência para esses parâmetros são estabelecidos de modo a representar a concentração de um composto que não resulta em risco significativo à saúde durante o consumo de água na vida de um indivíduo. As diretrizes para qualidade da água potável da OMS informam que uma quantia desses valores de referência foi estabelecida com base nos níveis práticos de performance do tratamento ou de detecção analítica destes compostos, portanto nesses casos tais valores são maiores do que os calculados com base no aspecto saúde (WHO, 2011).

As entidades do setor da saúde de cada país costumam estabelecer os valores permitidos dentro do seu território, de forma que esses valores possam variar de país para país. No Brasil, o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, alterado pela PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 traz valores de referência para classes de compostos químicos a serem monitorados, como substâncias orgânicas e inorgânicas, agrotóxicos e subprodutos da desinfecção. O limite máximo permitido para a presença desses elementos na água potável foi baseado tanto em referências de órgão internacionais quando na praticabilidade da detecção e remoção desses compostos considerando os processos de

tratamento de água aplicados no país. Foi também considerado o risco à saúde para as populações expostas a esses contaminantes na água, conforme preconizado pelas entidades de saúde (MS, 2021; WHO, 2011).

Os valores de referência estão constantemente sendo reavaliados e atualizados de acordo com novas pesquisas que indiquem maior ou menor risco da ingestão de água com a presença de um composto a uma dada concentração. A revisão destes valores máximos permitidos na legislação brasileira, bem como a própria revisão dos parâmetros presentes na legislação, baseia-se na avaliação de uma série de estudos e documentos técnicos como suporte, como diretrizes e normas dos órgãos de saúde de diversos países. Para esta revisão, são considerados dados disponíveis na literatura tanto de substâncias que compõem o vigente padrão de potabilidade quanto outras que, apesar de não estarem contempladas no padrão, constam em normas e diretrizes de outros países e instituições tomadas como referência (MS, 2018).

Entre os documentos utilizados como referência, inclui-se as diretrizes da OMS e as normas de países como os EUA (USEPA), Canadá (HEALTH CANADA), Austrália (NHMRC) e Nova Zelândia (MINISTRY OF HEALTH). As informações buscadas nesses estudos foram os principais efeitos adversos à saúde, características de toxicidade (como NOAEL e IDT), concentrações máximas na água com vistas à proteção da saúde e os valores máximos permitidos ou recomendados presentes nessas normas. Além disso, também buscou-se informações quanto aos limites de detecção e de quantificação (LD e LQ) obtidos na validação das metodologias analíticas internacionais, dados sobre os LD e LQ praticados em laboratórios brasileiros e dados do sistema Sisagua sobre a ocorrência dos parâmetros em mananciais de abastecimento e água tratadas e distribuídas para consumo no Brasil. A partir de todos esses dados, realiza-se uma análise crítica do padrão de potabilidade brasileiro para os parâmetros, para que se possa delinear pontos de atenção sobre as substâncias a compor o padrão de potabilidade e os valores máximos permitidos para elas (MS, 2018).

A legislação prevê que também sejam monitorados um conjunto de parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde. Esses parâmetros compõem o padrão organoléptico, apresentando também valores máximos permitidos, os quais não devem ser ultrapassados na água considerada potável.

#### *Plano de amostragem e pontos de monitoramento da água para consumo humano*

O Anexo XX também dispõe sobre o plano de amostragem a ser seguido pelos responsáveis pelo abastecimento, ou seja, são definidos os pontos de coleta e a quantidade de amostras de água a ser coletada e analisada em um dado período a depender da forma de abastecimento, além de definir quais os parâmetros a serem monitorados. A população atendida pela forma de abastecimento é um fator determinante no número mínimo de amostras e a frequência exigidos.

Considerando-se que atualizações recentes foram realizadas na legislação quanto ao plano de amostragem no ano de 2021 e que os dados analisados neste trabalho referem-se ao período de 2014 a 2020, quando ainda estava vigente a legislação anterior quanto ao padrão de potabilidade, será tratada nesta seção sobre os requerimentos quanto ao plano de

amostragem da legislação vigente durante o período avaliado neste estudo ANEXO XX DA PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE DE 28 DE SETEMBRO DE 2017. O antigo Anexo XX previa que os responsáveis pelo SAA e pela SAC deveriam coletar amostras semestrais da água bruta, no ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros previstos na legislação, com a finalidade de avaliação de risco à saúde humana. Além da água bruta, o Anexo XX também orienta quanto ao plano de amostragem a ser seguido para as análises dos pontos de monitoramento saída do tratamento de água e sistema de distribuição (reservatórios e redes).

Considerando o total de substâncias químicas que representam risco à saúde e que compõe o padrão de potabilidade (substâncias químicas inorgânicas e orgânicas, agrotóxicos e seus metabólitos e subprodutos da desinfecção) mais as substâncias que compõe o padrão organoléptico de potabilidade, mais de 100 parâmetros são monitorados e avaliados conforme previsto pelo plano de amostragem para que se ateste a potabilidade da água para consumo humano.

A legislação anteriormente à sua atualização em 2021, previa uma quantidade mínima de amostras e frequência para realização da análise da água para o controle da qualidade de sistemas de abastecimento para os parâmetros avaliados neste estudo diferente do que prevê a legislação vigente. Na Tabela 3, apresentam-se estes dados em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial para os parâmetros avaliados neste estudo. Para as soluções alternativas coletivas, antes das atualizações na legislação quanto ao padrão de potabilidade realizadas em 2021, não era prevista quantidade mínima de amostras e frequência de realização de análise da água para os parâmetros avaliados neste estudo.

Tabela 3: Quantidade de amostras e frequência de coleta para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

Parâmetro	Tipo de Manancial	Saída do Tratamento		Sistema de distribuição (reservatório e redes)					
		Nº de amostras	Frequência	População abastecida					
				<50 mil hab.	50 a 250 mil hab.	>250 mil hab.	<50 mil hab.	50 a 250 mil hab.	>250 mil hab.
				Nº de amostras			Frequência		
Produtos secundários da desinfecção (THM - trihalometanos)	Superficial	1	Trimestral	1	4	4	Trimestral		
Demais parâmetros (alumínio, arsênio e nitrato)	Subterrâneo	Dispensada a análise		1	1	1	Anual	Semestral	Semestral
	Superficial ou Subterrâneo	1	Semestral	1	1	1	Semestral		

Fonte: adaptado de ANEXO XX DA PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE DE 28 DE SETEMBRO DE 2017 (MS, 2017).

Para os demais parâmetros considerados pelo Anexo XX publicado em 2017, estava dispensada a análise na rede de distribuição quando o parâmetro não fosse detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

## 2.4 Parâmetros avaliados

Considerando que mais de 100 parâmetros compõe as substâncias que integram o padrão de potabilidade, este estudo restringiu-se a avaliar apenas 4 destes parâmetros a fim de se poder realizar uma análise mais detalhada sobre eles. Estes parâmetros foram escolhidos com base nos riscos à saúde inerentes à sua presença na água para consumo humano e que estão elencados nesta seção.

O risco carcinogênico pela exposição ao arsênio a elevadas doses (acima de 200 µg/L) está bem estabelecido na comunidade científica, enquanto para níveis mais baixos de ingestão ainda há incerteza sobre o limiar de risco para o desenvolvimento de câncer (LAMM *et al.*, 2021). Dessa forma, é fundamental o conhecimento sobre a exposição da população a esta substância inorgânica para o gerenciamento do risco associado ao seu consumo.

A ingestão de nitrato através do consumo de água também está associada a efeitos à saúde como risco de carcinogenicidade e metahemoglobinemia, sendo esta segunda doença o efeito à saúde mais sensível pela exposição a este químico (FAN, 2019). A população mais afetada pelos efeitos tóxicos da presença de nitrato na água são as crianças em seus primeiros anos de vida. Desse modo, a vulnerabilidade já associada a essa faixa etária para doenças de veiculação hídrica aguda por microrganismos, se soma à importância de se conhecer e controlar a presença de nitrato na água potável em níveis de consumo seguros para a saúde.

O consumo de água tratada apresenta-se também como uma importante fonte de exposição ao alumínio, sendo considerada a principal fonte de exposição a este químico. Há evidências recentes que demonstram que, pela ingestão ao longo da vida dessa substância, ocorre o seu acúmulo crônico a níveis tóxicos em neurônios que são afetados pela doença de Alzheimer, sendo, portanto, de fundamental o conhecimento do nível desse composto presente na água para consumo humano de forma a se garantir o correto gerenciamento do tratamento da água (WALTON, 2019).

A formação de trihalometanos ao longo do sistema de distribuição de água como consequência do processo de desinfecção da água potável vem sendo amplamente estudada a fim de se compreender melhor os seus efeitos à saúde, visto tais substâncias estarem sendo identificadas como compostos carcinogênicos, considerando os seus efeitos de mutagenicidade e genotoxicidade (DE CASTRO MEDEIROS *et al.*, 2019). É necessário, portanto, que sejam realizados estudos que demonstrem a atual condição de exposição da população a esses compostos, de forma a se compreender o impacto do consumo de água com a presença dos trihalometanos na saúde.

Nesta seção, serão abordados alguns aspectos quanto à origem e efeitos à saúde causados pela presença na água potável dos compostos químicos: alumínio, arsênio, nitrato

e trihalometanos. O arsênio e o nitrato são classificados como substâncias químicas inorgânicas, os trihalometanos se enquadram no grupo dos subprodutos de desinfecção e o alumínio integra o padrão organoléptico.

### *Alumínio*

O alumínio é um dos elementos metálicos mais abundantes da crosta terrestre, compondo 8% da mesma. As principais fontes de alumínio na água são, portanto, a sua ocorrência natural. O uso de sais de alumínio no tratamento da água como coagulantes, no entanto, também é uma importante contribuição para concentrações elevadas. O uso desses coagulantes possui o objetivo de reduzir a matéria orgânica, cor, turbidez e níveis de microrganismos (WHO, 2011).

No critério saúde, a presença de alumínio na água é limitada ao valor de 0,9 mg/L, de acordo com a ingestão semanal tolerável derivada a partir da JECFA - Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (Comitê de Especialistas em Aditivos Alimentares). A JECFA é uma instituição internacional vinculada a FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations) - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação, e a Organização Mundial da Saúde.

Os níveis praticáveis com base na otimização do processo de coagulação no tratamento de água potável, no entanto, são inferiores a 0,1 mg/L em grandes instalações de tratamento de água e inferiores a 0,2 mg/L em pequenas instalações (WHO, 2011). Considerando a importância da otimização da coagulação para evitar a contaminação microbiana e a necessidade de minimizar a deposição de flocos de alumínio nos sistemas de distribuição, é importante garantir que os resíduos médios não ultrapassem esses valores. A determinação desses valores da concentração máxima de alumínio na água se devem, portanto, a um critério técnico, sendo também considerado o aspecto de sabor na água caso esses valores fossem superados, o que levaria a uma rejeição dessa água pelo consumidor. O valor de referência para alumínio na água previsto na legislação brasileira, portanto, é de uma concentração máxima de 0,2 mg/L (MS, 2021).

Apesar de a presença de alumínio na água ser mais comumente relacionada à aceitabilidade pelo consumidor e de esse composto ter o benefício de uso como coagulante reconhecido, esse composto químico ainda pode vir a causar problemas de saúde para populações expostas a ele na água. Apesar desse elemento não apresentar potencial carcinogênico ou toxicidade elevada, há estudos que indicam potenciais efeitos à saúde de neurotoxicidade, devido a aumento de processos inflamatórios e oxidativos no cérebro que podem contribuir para o aumento do nível de substâncias que podem desencadear na doença de Alzheimer (BECARIA *et al.*, 2006). Alguns estudos também associam esses danos envelhecimento e degeneração do cérebro a uma exposição prolongada a baixos níveis de alumínio, ou seja, de forma crônica, de modo que esse dano cognitivo possa promover ou acelerar o progresso da doença de Alzheimer (BAGEPALLY *et al.*, 2021; BONDY, 2013, 2016). Dessa forma, há a indicação em diversas pesquisas de que a exposição ao alumínio é fator de risco para o desenvolvimento ou a aceleração do aparecimento da doença de Alzheimer em humanos, sendo essa associação também colocada nos guias da OMS quanto à qualidade da água e a presença de alumínio (WHO, 2003, 2011).

## *Arsênio*

Arsênio pode ser naturalmente encontrado na água, sendo a sua ocorrência associada a áreas de placas tectônicas ativas, e atividade hidrotérmica, bem como áreas sujeitas a elevados níveis de erosão (HARUE MASUDA, 2018). Esse contaminante também pode ter origem antropogênica, usado principalmente em inseticidas, rodenticidas, dissecante de plantas, detergentes e na indústria farmacêutica e têxtil. A produção mundial de arsênio na década de 80 foi de 45 mil toneladas métricas anuais (CETESB, 2016).

As rotas de exposição a essa substância, além da ocupacional, são alimentos e água consumidos, sendo que em locais onde a concentração é superior a 10 µg/L a água será a principal fonte de ingestão. O valor máximo permitido recomendado pelas diretrizes para qualidade da água potável da OMS é de 0.01 mg/L (10 µg/L). Tal valor de referência é designado como provisório com base no desempenho do tratamento e na capacidade analítica para esse composto químico, uma vez que há dificuldades na remoção do mesmo, bem como em se atingir o limite de quantificação. No Brasil, assim como recomenda a OMS, o valor máximo permitido de arsênio na água para consumo humano é de 10 µg/L (MS, 2021; WHO, 2011).

Os efeitos agudos à saúde devido à exposição por arsênio devem-se à sua taxa de remoção insuficiente do organismo. Foram reportados efeitos agudos como vômitos, dores abdominais e diarreia pela exposição a arsênio na água consumida. O arsênio também pode causar efeitos crônicos devido à sua ingestão, tais como lesões na pele (hiperpigmentação e hipopigmentação), neuropatia, câncer de pele, bexiga e pulmão e doenças cardiovasculares (WHO, 2011; IARC, 2004, 2012; STEINMAUS C, 2018). O arsênio já apresenta evidência de carcinogenicidade suficiente para ser classificado pela IARC como Grupo 1 (carcinogênico para humanos). A dose-resposta e tempo de exposição para que esses efeitos sejam observados, no entanto, ainda necessita da realização de mais estudos analíticos epidemiológicos. Dessa forma, ainda há certa incerteza sobre os riscos à saúde pela ingestão de arsênio a baixas concentrações (CETESB, 2016; WHO, 2011).

## *Nitrato*

O nitrato, que é um ânion de fórmula química  $\text{NO}_3^-$ , pode ser encontrado naturalmente no ambiente. Esse composto é um importante nutriente e está presente em variadas concentrações como parte do ciclo de nitrogênio das plantas. Ele também pode ter origem antropogênica na água, seja superficial ou subterrânea, como consequência de atividade agrícola através do uso excessivo de fertilizantes nitrogenados e esterco e também da eliminação de efluentes em mananciais, bem como de esgotos domésticos. A concentração de nitrato nas águas superficiais pode variar rapidamente, devido a captura por fitoplâncton e denitrificado por bactérias. O nitrato presente em águas subterrâneas, no entanto, em geral apresenta mudança lenta na sua concentração. Apesar de a fonte mais importante de exposição humana a nitrato ser por vegetais e carnes na dieta, a água potável pode também contribuir para a ingestão (CETESB, 2016; WHO, 2011).

O principal efeito à saúde observado em estudos de toxicidade ao nitrato está relacionado com o sistema de transporte de oxigênio pelo sangue. A ingestão de nitrato leva à redução do mesmo a nitrito na corrente sanguínea, reagindo com as hemácias de forma

definitiva formando metahemoglobina, de modo que o transporte de oxigênio seja bloqueado e levando, portanto, a um quadro de cianose. Essa doença, denominada metahemoglobinemia e que pode ser letal em crianças, pode apresentar um aumento de risco de ocorrência pela presença de contaminação microbiana da água com subsequente infecção gastrointestinal. O nitrato também pode reagir com aminas primárias no estômago para formar compostos nitrosos, conhecidos por serem carcinogênicos em animais, no entanto ainda não há evidências suficientes para atestar o nitrato como um composto carcinogênico (CETESB, 2016; WHO, 2011).

O nitrato na água pode ter a sua concentração medida em termos de nitrogênio. Os valores de referência para nitrato na água, medido dessa forma, foram estabelecidos nas diretrizes para qualidade da água potável da OMS em 50 mg/L, de forma a proteger a população infantil contra a metahemoglobinemia. Esse valor baseia-se em evidência epidemiológica que indica que não há a ocorrência dessa doença na população infantil em locais com concentração de nitrato abaixo deste valor na água (WHO, 2003; WHO, 2011). Devido à toxicidade do nitrato em crianças, a qual pode ser letal, esse elemento é contemplado no padrão de potabilidade, sendo o valor máximo permitido no Brasil de 10 mg/L, com valor de concentração em termos de nitrogênio (MS, 2021).

### *Trihalometanos*

Os trihalometanos são contaminantes que não possuem origem natural, sendo formados devido ao processo de desinfecção utilizado no tratamento da água com o objetivo de reduzir o risco a doenças em águas contaminadas por microrganismos. Essa prática leva à formação desses subprodutos ao longo da rede de distribuição, sendo, portanto, uma fonte de contaminantes químicos na água. A taxa e grau de formação de trihalometanos aumenta em função da concentração de cloro e de ácido húmico, temperatura, pH e concentração do íon brometo. Os compostos químicos que compõe o grupo de trihalometanos são o clorofórmio, o bromofórmio, o dibromoclorometano e o bromodiclorometano (WHO, 2011).

A exposição aos trihalometanos, considerando a sua elevada volatilidade, apresenta igual contribuição na ingestão de água tratada, inalação em ambientes internos, inalação e exposição dérmica durante o banho e ingestão de alimentos, sendo a última proveniente principalmente da água tratada. Há estudos que indicam a associação de desenvolvimento de câncer e exposição a trihalometanos (WHO, 2005). Para o clorofórmio não há evidências de genotoxicidade e o mesmo é classificado como Grupo 2B pela IARC, ou seja, possivelmente carcinogênico a humanos devido a evidências limitadas em humanos, mas suficientes em experimentos animais. Já para o bromofórmio, não há estudos suficientes para atestar a sua carcinogenicidade, sendo dessa forma classificado como Grupo 3 pela IARC, ou seja, não classificado quanto à sua carcinogenicidade para humanos. Da mesma forma, o dibromoclorometano também não apresenta evidências suficientes para ser considerado carcinogênico para humanos, sendo classificado como Grupo 3 pela IARC. O bromodiclorometano, no entanto, é classificado como o clorofórmio como Grupo 2B. Este composto também foi associado a possíveis aumentos de efeitos reprodutivos por alguns estudos (CETESB, 2016; WHO, 2011).

Apesar dos riscos à saúde associados à exposição pela população à água contendo trihalometanos, a desinfecção não deve ser comprometida visando à redução desses

compostos químicos, tendo em vista o importante papel dessa etapa de tratamento. A legislação brasileira estabelece um valor máximo permitido de 0,1 mg/L para a concentração permitida do total de trihalometanos na água para consumo humano. Não é previsto uma concentração para cada um desses compostos, enquanto as diretrizes para a qualidade da água potável da OMS apresentam valores de referência de 0,3 mg/L para o clorofórmio, 0,1 mg/L para o bromofórmio e dibromoclorometano e de 0,06 mg/L para o bromodiclorometano (MS, 2021; WHO, 2011).

As diretrizes da OMS também orientam o cálculo que deve ser realizado para que se estabeleça o padrão de valor total de trihalometanos permitido na água, o qual consta na equação 1. Desse modo, considerada-se a toxicidade aditiva da presença desses compostos, não devendo o valor de referência total ser obtido simplesmente pela adição dos valores individuais desses elementos (WHO, 2011).

$$\frac{C_{\text{bromofórmio}}}{VR_{\text{bromofórmio}}} \frac{C_{\text{DBCM}}}{VR_{\text{DBCM}}} \frac{C_{\text{BDCM}}}{VR_{\text{BDCM}}} \frac{C_{\text{clorofórmio}}}{VR_{\text{clorofórmio}}} \leq 1 \quad (1)$$

Onde C , VR, DBCM e BDCM são respectivamente a concentração do composto, o valor de referência, e os compostos dibromoclorometano e bromodiclorometano.

#### *Valores de referência previstos na legislação*

As seções anteriores trataram sobre a origem de cada um dos elementos presentes na água avaliados neste estudo e também sobre os riscos à saúde que podem acometer as populações expostas a águas que contenham esses químicos. A Tabela 4 apresenta os valores de referência para esses parâmetros, conforme prevê a legislação brasileira pela PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021, não podendo tais valores serem ultrapassados para que a água seja considerada potável, ou seja, segura para consumo pela população.

Tabela 4: Valores de referência para as substâncias avaliadas neste estudo: alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos.

Parâmetro	Valor máximo permitido (mg/L)
Alumínio	0,2
Arsênio	0,01
Nitrato	10
Trihalometanos	0,1

Fonte: adaptado de ANEXO XX DA PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE DE 28 DE SETEMBRO DE 2017 (MS, 2017).

### **3 Materiais e Métodos**

A metodologia deste trabalho está dividida em duas partes. A primeira contempla a análise dos dados de amostras de água potável coletados da plataforma de dados abertos do governo federal. A segunda parte é a pesquisa bibliográfica de artigos científicos que contemplem os contaminantes presentes na água para consumo humano avaliados neste estudo para avaliação dos riscos à saúde advindos da sua presença na água para consumo humano.

Ambas as partes deste trabalho englobam apenas os quatro parâmetros químicos selecionados com base nos riscos à saúde envolvidos no seu consumo pela água que estão presentes na legislação brasileira de potabilidade da água e que são analisados como parte do monitoramento da qualidade da água realizado pelos prestadores do serviço de abastecimento de água no estado do Rio Grande do Sul.

#### **3.1 Análise dos dados de amostras de água potável**

Nesta seção, será abordada a metodologia envolvida na coleta, tratamento e análise dos dados das amostras de água avaliadas como parte do monitoramento da qualidade da água realizado pelos prestadores do serviço de abastecimento de água para a população.

##### *Coleta e tratamento dos dados das amostras de água*

Os dados utilizados na análise deste estudo têm origem nos laudos de controle semestrais disponibilizados ao Programa Vigiagua através do sistema Sisagua pelas prestadoras de serviço de tratamento e distribuição de água para consumo no Estado do RS em atendimento à legislação brasileira. Os dados foram obtidos do Portal Brasileiro de Dados Abertos entre os anos de 2014 e 2020.

Os dados presentes nos laudos de controle da qualidade da água analisados neste estudo são: município, ano e semestre da análise, data da coleta e data da análise, forma de abastecimento, tipo de manancial e ponto de monitoramento da amostra coletada (ponto de captação, saída do tratamento, sistema de distribuição e ponto de consumo), parâmetro avaliado (arsênio, alumínio, nitrato e trihalometanos), valor máximo permitido e resultado obtido.

Os contaminantes químicos avaliados: alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos foram escolhidos com base nos riscos à saúde associados à presença de tais contaminantes na água para consumo humano. Para a avaliação do risco à saúde de populações expostas a água com a presença de contaminantes no RS, foram delimitados os municípios avaliados de forma a se realizar uma análise mais detalhada para cada um deles. Os 5 municípios mais populosos do Rio Grande do Sul foram selecionados devido à maior representatividade da população abastecida pela água analisada através dos dados coletados nesse trabalho.

O tratamento das informações contidas nos laudos de controle semestral obtidos do portal de dados abertos se deu através da conversão das informações presentes no documento em arquivo de texto no formato CSV (Comma-separated values) para planilha Excel, de modo a se facilitar a análise das informações. O procedimento de conversão dos

dados dos documentos em tabelas excel foi realizado a partir da plataforma Google Colaboratory com o uso da linguagem de programação Python, visto haver uma quantidade considerável de dados a partir da plataforma de dados abertos, pois a mesma fornece dados de todos os parâmetros da portaria de potabilidade para todos os municípios do Brasil. O código utilizado para essa conversão dos dados pode ser acessado na seção Apêndice A, na Figura A.1.

A partir de uma tabela excel única, as informações pertinentes a cada um dos objetivos propostos por este trabalho foram selecionadas para inserção em novas tabelas específicas para cada análise: atendimento ao padrão de potabilidade e identificação de municípios dentre os 5 mais populosos do RS com presença de parâmetros acima do valor máximo permitido, avaliação da influência da forma de abastecimento e do ponto de monitoramento na presença dos contaminantes, atendimento ao plano de amostragem e avaliação da influência do intervalo entre a data da coleta e da análise na identificação dos parâmetros avaliados.

#### *Análise dos dados*

- Atendimento ao padrão de potabilidade e identificação de municípios dentre os 5 mais populosos do RS com presença de contaminantes detectados na água acima do valor máximo permitido: para avaliar se houve atendimento ao valor máximo permitido para cada contaminante analisado neste estudo, verificou-se se o resultado da análise de cada amostra de cada município estava dentro do limite estabelecido pela legislação e em quais municípios esse valor máximo foi superado.
- Avaliação da influência da forma de abastecimento, do tipo de manancial e do ponto de monitoramento na presença dos contaminantes: para esta análise, verificou-se qual a forma de abastecimento, qual o manancial e qual o ponto de monitoramento em que se identificou a presença de contaminante acima do valor máximo permitido.
- Atendimento ao plano de amostragem: para verificação, recorreu-se à Portaria de potabilidade (ANEXO XX DA PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE DE 28 DE SETEMBRO DE 2017). Para cada município, analisou-se a frequência de amostras analisadas no período de 2014 a 2020 para cada um dos parâmetros avaliados neste estudo.
- Avaliação da influência do intervalo entre a data da coleta e da análise na identificação dos contaminantes avaliados: para esta análise, verificou-se o intervalo aplicado entre a data da coleta da amostra de água e a data da sua análise. Realizou-se busca em protocolos de coleta e análise de amostra de água para verificação de influência no resultado obtido em relação ao intervalo entre essas datas.

A avaliação da influência do intervalo entre as datas da coleta e da análise na identificação dos contaminantes será realizada a partir do conceito “holding time”, ou tempo de espera, que é o tempo que pode ser empregado desde o momento da coleta da amostra até a sua preparação e análise. Esse é o tempo máximo de estocagem permitido para a realização do ensaio a partir do momento da coleta sem a perda da integridade da amostra.

### 3.2 Pesquisa bibliográfica

Nesta seção, será contemplada a metodologia de pesquisa bibliográfica realizada, incluindo as ferramentas de busca e critérios de seleção dos artigos, bem como o método de análise das informações obtidas a partir dos artigos selecionados.

#### *Busca e seleção dos artigos*

Para pesquisa bibliográfica utilizou-se as ferramentas de busca Pubmed, Science Direct e Google Acadêmico. As palavras chave utilizadas para busca de artigos foram: “drinking water”, “contamination”, “aluminum”, “arsenic”, “nitrate”, “trihalomethanes” e “health effects”. A pesquisa foi limitada ao período entre os anos 2000 e 2021. Foram selecionados 24 artigos para avaliação neste trabalho.

Os artigos foram selecionados com base nos seguintes critérios:

- Artigos em que o título apresentava potencial de tratar dos contaminantes alvo e de avaliar possíveis efeitos e/ou riscos à saúde das populações expostas à água com presença destes químicos.
- Apresentar, preferencialmente, avaliação de riscos à saúde humana com a presença de tais contaminantes na água.
- Apresentar, preferencialmente, as quantificações avaliadas, em especial aqueles que tratassem de baixas quantidades de contaminantes com exposição a longo prazo e avaliação de efeitos crônicos à saúde.

Caso os critérios fossem considerados atendidos, os artigos eram lidos na íntegra para identificação e avaliação das informações presentes na seção “Tratamento dos artigos selecionados”.

#### *Tratamento dos artigos selecionados*

A partir dos artigos selecionados, organizou-se e registrou-se as seguintes informações em uma planilha Excel, presente na Tabela 16: autor e ano da publicação, local de realização do estudo, parâmetro avaliado, tipo de estudo realizado, período avaliado, amostra utilizada, origem da água analisada, valor encontrado para o contaminante avaliado e risco à saúde identificado pela exposição à água contaminada.

Com a totalidade dos dados dos artigos organizados nas categorias identificadas na Tabela 16, realizaram-se os seguintes questionamentos: para cada parâmetro, foi identificado risco à saúde pela exposição da população ao contaminante? Caso tenha sido identificado risco, a partir de qual quantidade do parâmetro e qual o risco associado? O período avaliado no estudo foi de exposição a longo ou curto prazo? Foram identificados danos crônicos à saúde? Qual a fonte de água que estava associada à presença do contaminante? A partir das respostas obtidas para essas perguntas realizou-se a interpretação e discussão dos resultados através da análise da pesquisa bibliográfica realizada quanto aos riscos à saúde devido à ingestão de água com a presença dos contaminantes avaliados neste estudo.

## 4 Resultados

### 4.1 Atendimento ao padrão de potabilidade e identificação de municípios com presença de contaminantes detectados na água acima do valor máximo permitido

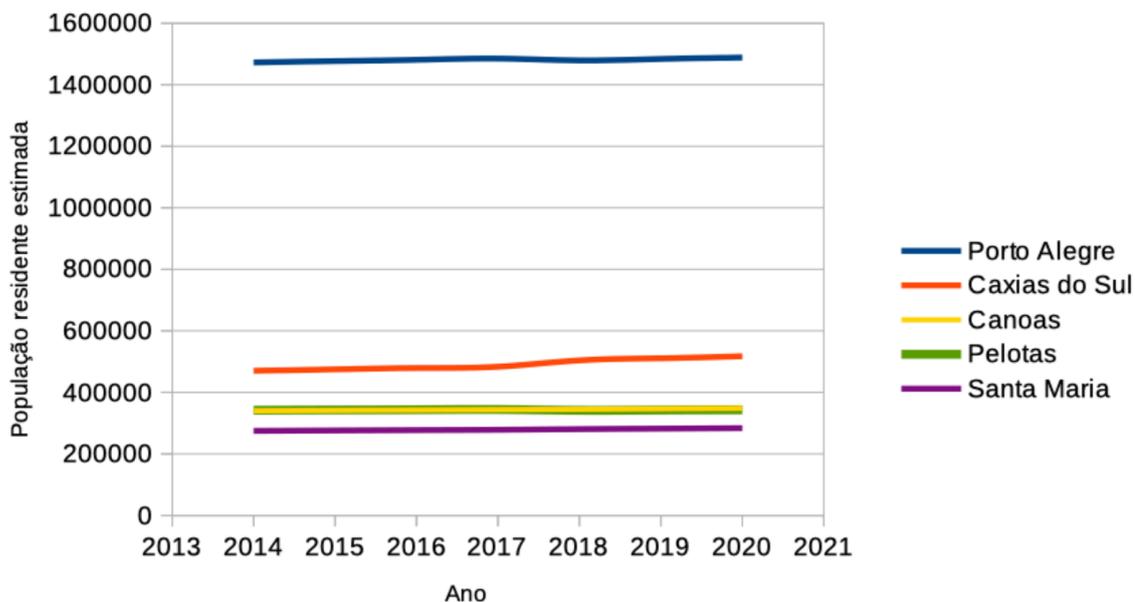
Os dados coletados foram avaliados a fim de se verificar se os resultados das análises realizadas de cada município estavam abaixo ou acima do limite máximo estabelecido pela legislação. A Tabela 5 apresenta o quantitativo total de amostras analisadas por parâmetro no período de 2014 a 2020 para todos os municípios avaliados neste estudo: Canoas, Caxias do Sul, Pelotas, Porto Alegre e Santa Maria, estando contempladas as amostras coletadas no ponto de captação, na saída do tratamento e no sistema de distribuição. Essa tabela também mostra o número total de amostras analisadas que apresentaram quantificação de alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos acima do valor máximo permitido, bem como seu respectivo percentual com relação ao total de amostras analisadas pro composto nos três pontos de monitoramento.

Tabela 5: Número total de amostras analisadas e número de amostras acima do valor máximo permitido (VMP) para cada parâmetro no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.

Parâmetro	Nº total análises	Nº total análises > VMP (%)
Alumínio	550	91 (16,6)
Arsênio	519	0 (0,0)
Nitrato	584	2 (0,3)
Trihalometanos	902	1 (0,1)
Total	2555	94 (3,7)

Observando-se o número total de análises realizadas por parâmetro, percebe-se que o parâmetro trihalometanos apresentou a maior quantidade de amostras analisadas pelos 5 municípios mais populosos do estado. O número de análises a serem realizadas para cada parâmetro está previsto no plano de amostragem, conforme indicado pela Tabela 3 apresentada no item 2.3, sendo tal número dependente do quantitativo populacional que é abastecido pela forma de abastecimento. Apesar de no período de 2014 a 2020 a população ter sofrido variação no seu número total de habitantes, não ocorreram alterações que proporcionassem grandes mudanças no enquadramento dos municípios quanto ao plano de amostragem, conforme consta na Figura 7.

Figura 7: População residente estimada dentre os 5 municípios mais populosos do RS entre os anos de 2014 e 2020.

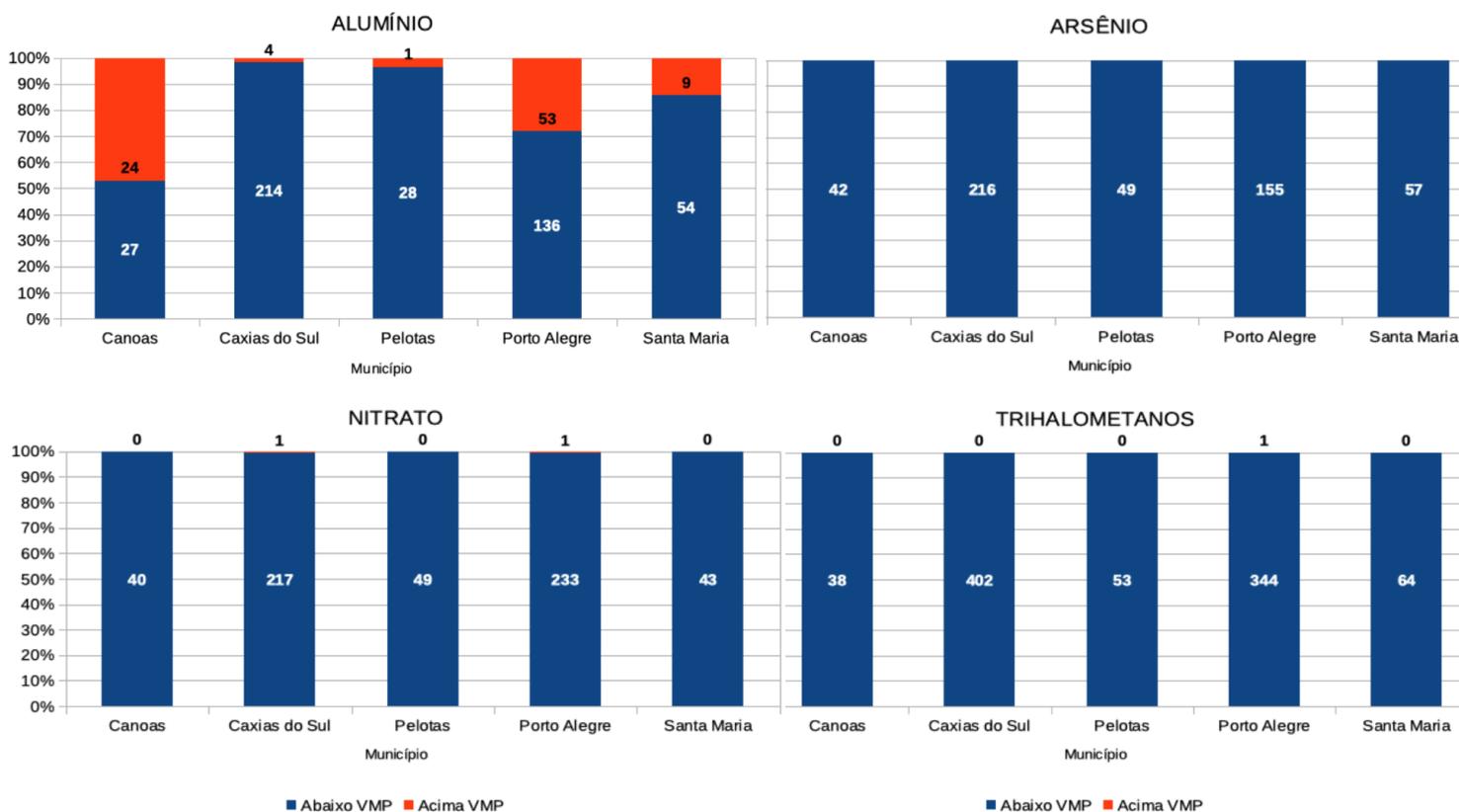


Fonte: SIDRA – IBGE

Segundo o plano de amostragem, a amostragem mínima exigida para esses municípios para os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato é de 1 amostra semestral por ponto de monitoramento, enquanto para os subprodutos de desinfecção são requeridas até 4 amostras para populações acima de 250 mil habitantes, que é onde se enquadram os 5 municípios mais populosos do estado. Dessa forma, a maior quantidade de análises realizadas para os trihalometanos deve-se ao fato de o plano de amostragem prever um quantitativo maior de coletas a serem realizadas para os subprodutos de desinfecção, categoria que contempla os trihalometanos, considerando a população destes municípios. Já os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato, enquadram-se em “demais parâmetros” segundo o plano de amostragem, dessa forma a quantidade total de análises realizadas no período avaliado para esses parâmetros foi menor e apresentou maior uniformidade entre eles.

Os dados da Tabela 5 também indicam que o alumínio foi o composto químico com a maior quantidade de amostras acima do valor máximo permitido, totalizando 16,55% das amostras analisadas acima do permitido pela legislação. Nenhuma amostra apresentou arsênio acima dos valores permitidos pela legislação, e apenas 2 amostras apresentaram nitrato acima do seu limite permitido e 1 amostra apresentou trihalometanos acima do seu limite permitido. A Figura 8 apresenta o total de amostras analisadas e o percentual de análises acima do valor máximo permitido discriminados por município.

Figura 8: Número e percentual de amostras analisadas acima do valor máximo permitido (VMP) para os parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos por município no período de 2014 a 2020.



Os gráficos da Figura 8 mostram que o município de Canoas apresentou o maior percentual de amostras acima do valor máximo permitido para o alumínio: mais de 30% do total de amostras analisadas, totalizando 24 amostras acima do VMP. Já o município de Porto Alegre, apesar de apresentar o maior quantitativo de amostras com alumínio acima do VMP, 53 amostras, apresentou um percentual menor, em torno de 20%. O município de Santa Maria apresentou 9 amostras com quantificação de alumínio acima do VMP, correspondendo a aproximadamente 10% do total de amostras analisadas. Os municípios de Pelotas e Caxias do Sul foram os que menos apresentaram amostras em inconformidade com a legislação para o alumínio, apenas 1 e 4 amostras acima do VMP, respectivamente.

Quanto ao parâmetro arsênio, nenhum dos municípios avaliados apresentou amostras de água acima do valor máximo permitido no período avaliado. Para o composto químico nitrato, apenas 2 municípios apresentaram 1 amostra cada acima do VMP, Caxias do Sul e Porto Alegre. Para a substância trihalometanos, apenas um município, Porto Alegre, apresentou 1 amostra acima do valor permitido pela legislação. O total de amostras de nitrato e de trihalometanos acima do VMP, como demonstrado nos gráficos, corresponde a menos de 1% para os municípios em que se quantificou esses parâmetros acima do permitido, sendo de 0,3% para o nitrato e de 0,1% para os trihalometanos de acordo com a Tabela 5.

Analisando o total de amostras analisadas por município, Caxias do Sul apresentou o maior quantitativo do total de amostras analisadas no período de 2014 a 2020, 1054 amostras, seguido de Porto Alegre com 923 amostras. Analisando por parâmetro, Caxias do Sul também foi o município com mais análises para os parâmetros alumínio, arsênio e trihalometanos, com exceção do nitrato que teve mais amostras analisadas para o município de Porto Alegre.

#### 4.2 Relação da forma de abastecimento, do tipo de manancial e do ponto de monitoramento com a presença dos contaminantes

Para avaliação da relação entre a forma de abastecimento de água, o tipo de manancial de onde a água é captada e o ponto de monitoramento onde a amostra analisada foi coletada com a presença de contaminantes, verificou-se se a origem das amostras analisadas. Os 5 municípios mais populosos do RS avaliados neste trabalho apresentam amostras oriundas das formas de abastecimento SAA (Sistema de Abastecimento de Água) e SAC (Solução Alternativa Coletiva), com captação em mananciais superficiais e subterrâneos e com pontos de coleta na captação da água a ser tratada, na saída do tratamento, no sistema de distribuição e no ponto de consumo. Para os Sistemas de Abastecimento de Água, os pontos de monitoramento onde foram coletadas as amostras para análise no período avaliado são: ponto de captação, saída do tratamento e sistema de distribuição. Para as Soluções Alternativas Coletivas, os pontos de coleta das amostras foram: ponto de captação, saída do tratamento (para água canalizada) e ponto de consumo.

A Tabela 6 apresenta o percentual sobre o total de amostras analisadas para cada parâmetro por forma de abastecimento: SAA ou SAC. A Tabela 7 apresenta o percentual de amostras acima do VMP por parâmetro e tipo de manancial. A Tabela 8 apresenta o percentual de amostras acima do VMP por parâmetro e ponto de monitoramento. As 3 tabelas correspondem a dados compilados dos 5 municípios mais populosos do RS no período de 2014 a 2020.

Tabela 6: Total de amostras com presença de contaminantes acima do valor máximo permitido (VMP) de acordo com a forma de abastecimento no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.

Parâmetro	Forma de abastecimento	Total de amostras analisadas	Amostras com contaminantes acima do VMP (%)
Alumínio	SAA	528	17,2
	SAC	22	0,0
Arsênio	SAA	477	0,0
	SAC	42	0,0
Nitrato	SAA	541	0,4
	SAC	43	0,0
Trihalometanos	SAA	894	0,1
	SAC	8	0,00
Total	SAA	2440	3,8
	SAC	115	0,0

A Tabela 6 mostra que há uma grande variação entre o número total de amostras analisadas para SAA e para SAC para todos os parâmetros. O número consideravelmente superior de análises realizadas para a forma de abastecimento SAA será melhor compreendido na seção que trata sobre o plano de amostragem. Nenhuma amostra de SAC apresentou quantificação dos parâmetros avaliados acima do valor máximo permitido. O total de 3,8% amostras de SAA acima do VMP correspondeu a 94 amostras do total analisado para esta forma de abastecimento para os 5 municípios mais populosos no período de 2014 a 2020, sendo que o alumínio representou a maior quantidade de amostras de SAA em inconformidade com a legislação.

Tabela 7: Total de amostras com presença de contaminantes acima do valor máximo permitido (VMP) de acordo com o tipo de manancial no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.

Parâmetro	Tipo de manancial	Amostras com contaminantes > VMP (%)	Nº total amostras analisadas
Alumínio	Superficial	23,2	392
	Subterrâneo	0,0	151
Arsênio	Superficial	0,0	354
	Subterrâneo	0,0	158
Nitrato	Superficial	0,2	420
	Subterrâneo	0,6	157
Trihalometanos	Superficial	0,1	799
	Subterrâneo	0,0	79
Total	Superficial	4,7	1965
	Subterrâneo	0,2	545

A Tabela 7 mostra que também há uma grande variação entre o número total de amostras analisadas para mananciais superficiais e subterrâneos para todos os parâmetros. O número de análises realizadas para manancial superficial e subterrâneo no período avaliado é dependente tanto do tipo de parâmetro avaliado, sendo essa diferença melhor compreendida também na seção que trata sobre o plano de amostragem. Observou-se que apenas 0,2% das amostras analisadas provenientes de manancial subterrâneo quantificou acima do VMP, correspondendo a 1 amostra do total de amostras com captação nesse tipo de manancial analisadas. O total de 93 amostras (4,7%) do total de amostras analisadas para água com captação em manancial superficial apresentaram parâmetros acima do VMP, sendo que o alumínio representou novamente a maior quantidade de amostras em inconformidade com a legislação. Foi excluída desta análise a forma de abastecimento com captação em dois tipos de manancial, superficial e subterrâneo. Para essa captação mista, foi realizado um total de 45 análises, sendo 7 para alumínio, arsênio e nitrato e 24 para trihalometanos, sendo que nenhuma destas amostras analisadas apresentou resultado acima do valor máximo permitido.

Tabela 8: Total de amostras com presença de contaminantes acima do valor máximo permitido (VMP) de acordo com o ponto de monitoramento no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.

Parâmetro	Ponto de monitoramento	Amostras com presença de contaminantes > VMP (%)	Nº total amostras analisadas
Alumínio	Ponto de Captação	78,9	109
	Saída do Tratamento	1,2	349
	Sistema de Distribuição	1,1	88
	Ponto de Consumo	0,0	4
Arsênio	Ponto de Captação	0,0	126
	Saída do Tratamento	0,0	348
	Sistema de Distribuição	0,0	43
	Ponto de Consumo	0,0	2
Nitrato	Ponto de Captação	0,0	151
	Saída do Tratamento	0,6	349
	Sistema de Distribuição	0,0	82
	Ponto de Consumo	0,0	2
Trihalometanos	Ponto de Captação	0,0	45
	Saída do Tratamento	0,0	440
	Sistema de Distribuição	0,2	409
	Ponto de Consumo	0,0	8
Total	Ponto de Captação	20,0	431
	Saída do Tratamento	0,4	1486
	Sistema de Distribuição	0,3	622
	Ponto de Consumo	0,0	16

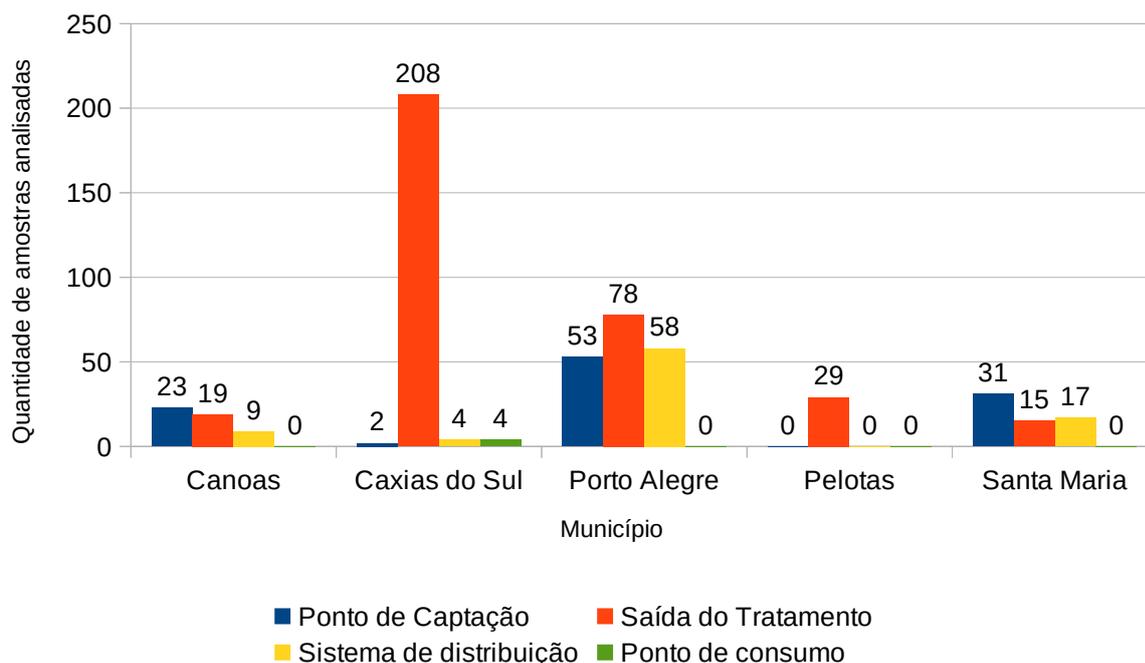
A Tabela 8 mostra que há uma grande variabilidade no número total de amostras analisadas para cada ponto de monitoramento para todos os parâmetros. Observa-se que a quantidade de análises realizadas com amostras provenientes do ponto de consumo é consideravelmente baixa, totalizando 14 amostras enquanto os demais pontos apresentam número total de amostras bem mais expressivo, variando de 431 a 1486 amostras. As análises do ponto saída do tratamento representam a maior quantidade de amostras analisadas com relação aos demais pontos para todos os parâmetros, sendo que apenas para os trihalometanos o número de amostras deste ponto se aproximou do número de análises do sistema de distribuição (440 análises da saída do tratamento contra 409 do sistema de distribuição). A grande variabilidade do número de análises realizadas para cada ponto de monitoramento se deve ao fato de o plano de amostragem, conforme consta na

Tabela 3, depender da forma de abastecimento, do tipo de manancial e do parâmetro avaliado.

Quanto ao número de amostras acima do valor máximo permitido, observa-se que a maioria delas corresponde ao ponto de captação, totalizando 19,95% das amostras analisadas. O parâmetro alumínio foi o que mais contribuiu para essa porcentagem de inconformidades com a legislação, sendo um total de 78,90% das amostras analisadas para esta substância química no ponto de captação e apenas aproximadamente 1% para os pontos saída do tratamento e sistema de distribuição. Nenhuma amostra do ponto de consumo apresentou compostos acima do valor permitido, enquanto as amostras da saída do tratamento e do sistema de distribuição representaram menos de 1% de amostras acima do VMP com relação ao total de amostras analisadas para esses pontos de monitoramento, sendo 0,40% e 0,32% respectivamente para o total de parâmetros avaliados.

Os dados até aqui apresentados mostram que os municípios que apresentaram a maior quantidade de amostras com presença de compostos químicos acima do valor máximo permitido no período de 2014 a 2020 são Canoas, Porto Alegre e Santa Maria, - sendo que o parâmetro alumínio foi o majoritário nas inconformidades apresentadas. Também pode-se identificar que o ponto de monitoramento associado à maior parte das análises acima do VMP é o ponto de captação. De forma a se compreender melhor porque alguns municípios apresentaram maior quantidade de amostras acima do VMP para o alumínio, realizou-se uma análise quanto ao ponto de monitoramento das amostras analisadas para cada um dos municípios. A Figura 9 apresenta em um gráfico o total de amostras analisadas por município e por ponto de monitoramento no período de 2014 a 2020 para o alumínio.

Figura 9: Total de amostras analisadas por município de acordo com o ponto de monitoramento para o parâmetro alumínio de 2014 a 2020.



A Figura 9 permite observar que os municípios que apresentaram o maior quantitativo de amostras analisadas com o parâmetro alumínio acima do valor máximo permitido são aqueles que realizaram maior número de análises no ponto de captação, sendo 23 em Canoas, 53 em Porto Alegre e 31 em Santa Maria. O município de Caxias do Sul analisou apenas 2 amostras neste ponto de monitoramento e Pelotas não realizou nenhuma análise neste ponto durante o período avaliado. Considerando que a análise presente na Tabela 8 relaciona o ponto de captação com o maior número de análises de alumínio acima do valor permitido, pode-se compreender porque alguns municípios apresentaram maior quantidade de amostras com inconformidade quanto a esse parâmetro. Ainda, a Tabela 9 apresenta a porcentagem de amostras com alumínio acima do VMP em relação ao total de análises realizadas para cada um dos municípios avaliados. Nesta tabela, apenas estão contemplados os pontos de monitoramento que apresentaram amostras de alumínio acima do VMP.

Tabela 9: Total de amostras com presença de alumínio acima do valor máximo permitido (VMP) de acordo com o ponto de monitoramento no período de 2014 a 2020 para os 5 municípios mais populosos do RS.

Município	Ponto de monitoramento	Total de amostras analisadas > VMP (%)
Canoas	Ponto de Captação	100,0
	Sistema de Distribuição	11,1
Caxias do Sul	Ponto de Captação	100,0
	Saída do Tratamento	1,0
Pelotas	Saída do Tratamento	3,4
Porto Alegre	Ponto de Captação	100,0
Santa Maria	Ponto de Captação	25,8
	Saída do Tratamento	6,7

Pode-se observar na Tabela 9 que os municípios de Canoas, Caxias do Sul e Porto Alegre apresentaram, em 100% das suas amostras analisadas provenientes do ponto de captação, a presença de alumínio acima do VMP. Das análises realizadas com amostras de água do ponto de captação, no município de Santa Maria 25% apresentaram presença de alumínio acima do valor permitido. Já as amostras analisadas nos pontos saída do tratamento e sistema de distribuição que apresentaram alumínio acima do valor máximo permitido contribuíram com uma porcentagem consideravelmente inferior, variando de 0,96% a 11,11%, para os municípios de Canoas, Caxias do Sul, Pelotas e Santa Maria. Apenas Porto Alegre não apresentou amostras com alumínio acima do VMP nos pontos de monitoramento após o tratamento da água, visto que esse município contou com amostras inconformes apenas no ponto de captação, ou seja, previamente ao tratamento da água.

As análises realizadas permitem constatar que a maioria das amostras com contaminantes acima do valor permitido pela legislação corresponde ao ponto de captação, majoritariamente com a presença de alumínio. Ainda, os municípios que menos apresentaram inconformidades quanto à presença de alumínio foram também aqueles que

menos apresentaram análises no ponto de captação, local de maior identificação de amostras acima do valor permitido para esse composto químico. Dessa forma, pode-se observar que a fonte de água captada para tratamento e distribuição à população dos municípios Canoas, Porto Alegre e Santa Maria apresenta quantidade de alumínio acima do valor permissível pela legislação, sendo em maior magnitude para os dois primeiros municípios. Já os municípios de Caxias do Sul e Pelotas, os quais apresentaram baixa quantidade de amostras analisadas no ponto de captação, não permitem que se possa concluir o mesmo.

As amostras acima do valor máximo permitido após o tratamento da água, nos pontos saída do tratamento e sistema de distribuição, tanto para o parâmetro alumínio quanto para os demais, representaram uma porcentagem mais baixa com relação ao total de amostras realizadas para esses pontos, conforme consta nas Tabelas 8 e 9. A água que foi encaminhada para o consumo pela população abastecida pelos Sistemas de Abastecimento de Água no período avaliado, portanto, apresentou baixa porcentagem de contaminação quanto aos parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos.

### 4.3 Atendimento ao plano de amostragem

O plano de amostragem, segundo o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, contemplava até 2020 apenas os Sistemas de Abastecimento de Água para os parâmetros avaliados neste estudo. Somente em 2021 a legislação passou a incluir também as Soluções Alternativas Coletivas no quantitativo e frequência mínimos de análise das amostras de água de abastecimento. A análise do cumprimento do plano de amostragem para o período avaliado neste trabalho, portanto, considera apenas as análises dos SAA. Na Tabela 10, consta o quantitativo de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e de Soluções Alternativas Coletivas (SAC) de cada um dos municípios avaliados neste estudo. Porto Alegre, Canoas e Santa Maria apresentaram apenas amostras analisadas para a forma de abastecimento SAA no período avaliado, e o município de Caxias do Sul apresentou a maior quantidade de SAA. A forma de abastecimento predominante nos 5 municípios mais populosos do RS é o SAA, totalizando 33 SAA contra 9 SAC.

Tabela 10: Total de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e de Soluções Alternativas Coletivas (SAC) avaliadas no período de 2014 a 2021 por município.

Município	Forma de abastecimento		Total de formas de abastecimento (SAA + SAC)
	Total de SAA	Total de SAC	
Porto Alegre	6	0	6
Caxias do Sul	20	5	25
Canoas	1	0	1
Pelotas	2	4	6
Santa Maria	4	0	4
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>9</b>	<b>42</b>

A quantidade mínima de amostras a serem analisadas para os SAA, segundo o plano de amostragem, depende da população abastecida por esse sistema e do tipo de manancial de

onde a água é captada, conforme a Tabela 3. Essa quantidade, portanto, não depende apenas da sua população total, mas sim da população abastecida por cada uma das formas de abastecimento do mesmo. A Tabela 11 apresenta o total de sistemas de abastecimento por tipo de manancial para cada município, e a Tabela 12 traz a respectiva faixa de população estimada de acordo com o plano de amostragem dos sistemas de abastecimento avaliados neste trabalho conforme cadastrados no sistema Sisagua.

Tabela 11: Total de sistemas de abastecimento (SAA) avaliados por tipo de manancial no período de 2014 a 2021 por município.

Município	Tipo de manancial			Total de mananciais
	Total Superficial	Total Subterrâneo	Total Superficial e Subterrâneo (misto)	
Porto Alegre	6	0	0	6
Caxias do Sul	8	11	1	20
Canoas	1	0	0	1
Pelotas	2	0	0	2
Santa Maria	1	3	0	4
Total de mananciais	18	14	1	33

A Tabela 11 indica a predominância de mananciais superficiais nos municípios e apenas manancial superficial para Porto Alegre, Canoas e Pelotas nos dados avaliados de 2014 a 2020. O município de Caxias do Sul apresentou maior quantidade de mananciais subterrâneos avaliados no período com relação aos mananciais superficiais. Essa maioria de mananciais subterrâneos, no entanto, não está relacionada com a maior parte da população abastecida, visto que os sistemas de abastecimento desse município com manancial superficial como fonte de captação abastecem a maior parte da população, conforme consta na Tabela A.1 no Apêndice deste trabalho. O mesmo pode ser observado para o município de Santa Maria. A Tabela 12 demonstra essa característica de relação entre população e tipo de manancial, onde os mananciais subterrâneos correspondem à menor população abastecida.

Tabela 12: Total de sistemas de abastecimento (SAA) avaliados por faixa populacional do plano de amostragem e por tipo de manancial no período de 2014 a 2021 para os 5 municípios mais populosos do RS.

Faixa populacional	Tipo de manancial		Nº Total de SAA
	Nº de SAA Superficial	Nº de SAA Subterrâneo	
<50 mil	9	14	23
50 a 250 mil	4	0	4
>250 mil	6	0	6
Total de mananciais	19	14	33

A Tabela 12 apresenta os sistemas de abastecimento discriminados por faixa populacional de acordo com o plano de amostragem. Observa-se que a maior parte da população destes municípios é abastecida por 6 sistemas de abastecimento com manancial superficial. Grande parte dos sistemas de abastecimento atendem a uma faixa populacional de menos de 50 mil habitantes, e desses a maioria dos SAA capta água de manancial subterrâneo, não correspondendo, no entanto, à maior população atendida. Na Tabela 12, considerou-se a forma de abastecimento com captação em manancial superficial e subterrâneo na contagem de sistemas abastecidos por manancial superficial, visto que há mais amostras requeridas para esse tipo de manancial segundo o plano de amostragem.

Para a avaliação do atendimento do plano de amostragem de cada município, analisou-se a frequência de amostras analisadas no período de 2014 a 2020 nos pontos de monitoramento previstos no plano para cada um dos parâmetros avaliados neste estudo. A Tabela 13 apresenta o total de análises previstas, total de análises realizadas e porcentagem de cumprimento do plano de amostragem para cada município no período de 2014 a 2020. Essa tabela apresenta dados para os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato de forma conjunta e separadamente para o parâmetro trihalometanos. Os dados foram organizados desta forma visto as análises mínimas requeridas para os primeiros três parâmetros ser a mesma e para os trihalometanos ser diferente, conforme colocado na Tabela 3 que traz a quantidade de amostras e frequência de coleta para esses compostos químicos. No apêndice desse trabalho, constam as tabelas A.2 a A.6, onde os dados de cumprimento do plano de amostragem estão apresentados ano a ano de 2014 a 2020 para cada município.

Para os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato, foi realizada a análise de cumprimento do plano de amostragem apenas para o ponto de monitoramento saída do tratamento, uma vez que a análise na rede de distribuição para estes parâmetros está condicionada à presença desses compostos acima do valor máximo permitido na saída do tratamento. Como verificou-se que apenas uma pequena porcentagem das amostras entre todas as analisadas para estes parâmetros esteve acima do valor máximo permitido na saída do tratamento (no máximo 2 amostras de cada município), optou-se por verificar na Tabela 13 apenas o cumprimento do plano de amostragem para as análises na saída do tratamento. Para as amostras acima do VMP, verificou-se individualmente se para o respectivo sistema de abastecimento foram realizadas as análises previstas no sistema de distribuição.

Tabela 13: Cumprimento do plano de amostragem para os municípios Canoas, Caxias do Sul, Pelotas, Porto Alegre e Santa Maria para os parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos no período de 2014 a 2020.

Município	Alumínio, Arsênio e Nitrato			Trihalometanos		
	Nº Análises previstas (saída do tratamento)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento)	Cumprimento plano amostragem (%)	Nº Análises previstas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Cumprimento plano amostragem (%)
Canoas	42	53	126,2	140	34	24,3
Caxias do Sul	840	572	68,1	833	394	47,3
Pelotas	84	87	103,6	196	53	27,0
Porto Alegre	252	234	92,9	756	311	41,1
Santa Maria	168	42	25,0	161	57	35,4

Os municípios que apresentaram o melhor desempenho quanto ao atendimento do plano de amostragem foram Canoas e Pelotas para os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato. Esses municípios atingiram mais de 100% das amostras mínimas previstas realizadas no período de 2014 a 2020, ou seja, realizaram mais análises do que o quantitativo mínimo exigido pela legislação. Para os trihalometanos, nenhum dos municípios avaliados atingiu a meta de análises mínimas a serem realizadas no período, sendo que o município de Caxias do Sul apresentou o maior percentual de atendimento do plano de amostragem, chegando próximo de 50% das amostras previstas no plano realizadas. Tal análise mostra que os municípios buscam atender ao mínimo estabelecido pela legislação, porém ainda assim o plano não está sendo integralmente atendido. Esses dados também mostram a deficiência maior no atendimento do plano de amostragem para os trihalometanos com relação aos demais parâmetros.

Para o município de Canoas, não foram identificadas, nos dados coletados, amostras realizadas nos anos de 2019 e 2020, sendo que tal fato pode indicar a ausência de análises neste período ou o não registro das informações no sistema Sisagua. O cálculo do percentual total de atendimento ao plano para esse município, foi realizado considerando-se que em 2019 e 2020 nenhuma análise foi realizada. A partir do resultado total de 126,2% das amostras mínimas previstas para o período realizadas de 2014 a 2020 neste município, observou-se, portanto, que, mesmo pela ausência de amostras analisadas em 2019 e 2020, ainda assim Canoas atendeu o plano para os compostos alumínio, arsênio e nitrato. Apesar disso, ressalta-se que para um monitoramento da qualidade da água adequado, o plano de amostragem precisa ser seguido em todos os anos, a fim de se ter conhecimento da situação da água em cada ano. Quanto às análises de trihalometanos, Canoas não atendeu à meta mínima de amostras analisadas em nenhum dos anos avaliados, o que resultou em aproximadamente 1/4 de cumprimento do plano de 2014 a 2020.

Caxias do Sul apresentou um desempenho inferior ao município de Canoas quanto ao cumprimento do plano de amostragem para os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato, atendendo apenas 68,1% das análises mínimas previstas, sendo que em nenhum dos anos

do período avaliado este município atingiu a amostragem mínima requerida. Quanto aos trihalometanos, esse município apresentou o maior percentual de cumprimento do plano dentre os 5 municípios mais populosos do estado chegando em quase 50% de análises previstas realizadas. Já Pelotas, assim como Canoas, atendeu integralmente a quantidade mínima de amostras a serem analisadas para os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato em todos os anos avaliados, resultando inclusive em um valor superior a 100% de cumprimento devido a um número de amostras analisadas superior ao mínimo previsto no plano. Para os trihalometanos, porém, o cumprimento do plano de amostragem foi de apenas pouco mais de 1/4 de cumprimento da meta mínima estabelecida pela legislação.

O município de Porto Alegre, quanto aos parâmetros alumínio, arsênio e nitrato, atendeu o número mínimo de amostras a serem realizadas na saída do tratamento para todos os anos com exceção de 2014, o que resultou em um total de 92,9% de cumprimento do plano de amostragem no período avaliado. Para os trihalometanos, no entanto, esse município atingiu apenas pouco mais de 40% do plano de amostragem previsto, sendo esse o segundo melhor desempenho de atendimento do plano dentre os municípios avaliados entre 2014 e 2020. Santa Maria, por sua vez, apresentou o pior desempenho quanto ao cumprimento do plano para os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato, com apenas 25% de análises previstas realizadas no período avaliado. Da mesma forma, quanto aos trihalometanos, esse município apresentou percentual de cumprimento do plano bem abaixo da meta, com apenas 35,4% de análises previstas realizadas.

Esse resultado consideravelmente inferior de atendimento do plano de amostragem para Santa Maria em comparação aos demais municípios para os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato precisa ser avaliado considerando o fato de o município apenas ter realizado análises para a saída do tratamento para a sua forma de abastecimento superficial. Essa forma abastece a maioria da população do município, aproximadamente 268 mil habitantes. Os demais 3 sistemas de abastecimento do município, abastecidos por manancial subterrâneo, apresentaram juntos apenas uma amostra no período avaliado para estes parâmetros na saída do tratamento. Esses SAA subterrâneos abastecem uma parcela inferior da população, entre cerca de 500 e 1300 habitantes. Mesmo Santa Maria tendo realizado análise de amostras previstas no plano de monitoramento para a maioria da sua população, é importante ressaltar que todos os habitantes de um município devem ter acesso à água segura e de qualidade, sendo esse fato um ponto de atenção para os gestores do município.

Conforme previsto pelo plano de amostragem, para as análises acima do valor máximo permitido na saída do tratamento, é requerido que seja realizada também análise de água no sistema de distribuição. Caxias do Sul, Pelotas, Porto Alegre e Santa Maria apresentaram amostras de contaminantes acima do valor permitido pela legislação nas análises de água realizadas na saída do tratamento. Observou-se, no entanto, que os municípios não atenderam a essa exigência da legislação, visto não terem sido identificadas análises de amostras no sistema de distribuição referentes às amostragens acima do valor máximo permitido no ponto de monitoramento saída do tratamento.

Em 2015, Caxias do Sul apresentou duas amostras acima do valor máximo permitido para o parâmetro alumínio na saída do tratamento. Uma das amostras de água acima do VMP é referente a um SAA com captação em manancial superficial que atende a uma população de

cerca de 6 mil habitantes e a outra a um SAA também de manancial superficial que abastece uma população de cerca de 660 habitantes. Para nenhuma dessas amostras foi encontrado registro correspondente de análises no sistema de distribuição no respectivo ano. O mesmo ocorreu para o nitrato em 2017, onde foi detectada uma amostra acima do valor permitido na saída do tratamento e nenhuma análise registrada no sistema Sisagua para o sistema de distribuição. A população deste SAA com detecção de nitrato, abastecido por manancial subterrâneo, corresponde a cerca de 630 habitantes.

No ano de 2018, foi identificada uma amostra de alumínio acima do valor máximo permitido na saída do tratamento em um sistema de abastecimento com captação em manancial superficial de Pelotas. Não foi realizada, entretanto, coleta de amostra de água no sistema de distribuição para análise neste ponto de monitoramento no respectivo ano. Esse SAA com amostra acima do VMP abastece uma população de cerca de 270 mil habitantes, correspondendo à maioria da população do município. Já para Porto Alegre, foi identificada amostra de nitrato acima do valor máximo permitido em 2018 na saída do tratamento de um dos seus sistemas de abastecimento, o qual realiza a captação em manancial superficial e atende a uma população de cerca de 8 mil habitantes. Foram realizadas, no respectivo ano, análises para este parâmetro no sistema de distribuição, no entanto uma das análises é de coleta realizada cerca de um mês antes da amostra acima do VMP ter sido identificada e a outra análise alguns meses depois. Dessa forma, essas duas análises não correspondem ao mesmo período em que se identificou o nitrato acima do valor permitido, não tendo esse município atendido ao plano de amostragem quanto a esse quesito.

Por fim, em 2014, foi identificada uma amostra acima do valor máximo permitido para o parâmetro alumínio na saída do tratamento do SAA superficial do município de Santa Maria, o qual abastece cerca de 268 mil habitantes. Não foi identificada, no entanto, análise correspondente realizada no sistema de distribuição no respectivo ano. Dessa forma, assim como os demais municípios, Santa Maria não atendeu a amostragem requerida no sistema de distribuição para o sistema de abastecimento em que o alumínio foi detectado acima do valor máximo permitido.

#### **4.4 Avaliação da influência do intervalo entre a data da coleta e da análise na identificação dos contaminantes avaliados**

Para a avaliação da influência do intervalo entre a data da coleta e da análise na identificação dos contaminantes avaliados, verificou-se o intervalo que foi aplicado entre essas datas para cada uma das amostras dos dados de monitoramento da água coletados. Realizou-se também busca em protocolos de coleta e análise de amostra de água para verificação do intervalo que deve ser aplicado entre as datas de coleta e de análise das amostras, a fins de comparação com os dados analisados nesse trabalho, para se entender se esse tempo foi ultrapassado nas análises. Um desses protocolos é o “Guia rápido para a coleta de amostras de água potável” da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), o qual traz informações sobre os procedimentos de coleta e análise de amostra de água potável para diversos compostos químicos (USEPA, 2016). Também utilizou-se como base as informações presentes no “Guia nacional de coleta e preservação de amostras”, elaborado pela CETESB (CETESB, 2012).

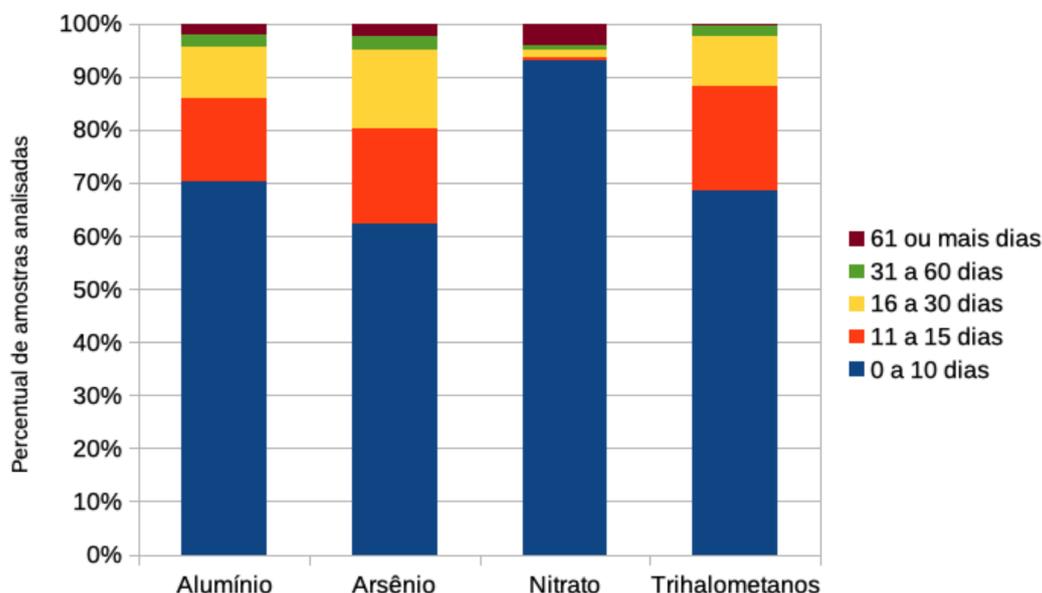
A Tabela 14 apresenta os tempos indicados pelos guias da USEPA e do CETESB e a média de dias aplicados entre a data da coleta e da análise das amostras para cada um dos parâmetros avaliados, bem como o menor e maior intervalo de tempo aplicado. Neste trabalho, as análises de água avaliadas foram realizadas para o parâmetro nitrato de forma individual, ou seja, a orientação considerada na análise é de 48h para o nitrato.

Tabela 14: “Holding time” para os parâmetros: alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos e menor e maior intervalo e média de dias entre a data da coleta e da análise das amostras analisadas para os 5 municípios mais populosos do RS.

Parâmetro	Documento orientador	“Holding time”	Nº Total de análises	Menor intervalo (dias)	Maior intervalo (dias)	Média (dias)
Alumínio	CETESB e USEPA	6 meses	550	0	169	10,3
Arsênio	CETESB e USEPA	6 meses	519	0	169	12,3
Nitrato	CETESB e USEPA	48h	584	0	166	7,6
Trihalometanos	CETESB e USEPA	14 dias	902	0	98	8,5

Segundo indicado na Tabela 14, para todos os parâmetros avaliados, houve análises realizadas no mesmo dia em que as amostras foram coletadas (zero dias). O maior intervalo aplicado entre as duas datas, no entanto foi bastante superior ao menor intervalo, de 169 dias para alumínio e arsênio, de 166 dias para nitrato e de 98 dias para trihalometanos. A média de dias entre as datas de coleta e de análise, indica que a maioria das análises foi realizada com intervalo de tempo mais próximo do menor do que do maior intervalo aplicado. Dessa forma, os dados de intervalo de tempo foram discriminados por faixas de dias desde a coleta até a análise, conforme consta na Figura 10, de forma a se observar a distribuição de amostras em diferentes intervalos entre a data da coleta e da análise (0 - 10 dias, 11 – 15 dias, 31 – 60 dias e 61 ou mais dias). Assim é possível, portanto, avaliar se as amostras estiveram mais próximas dos intervalos de tempo entre coleta e análise previstos pelos protocolos utilizados como base nesse trabalho.

Figura 10: Percentual de amostras analisadas nos intervalos entre a data da coleta e da análise de 0 - 10 dias, 11 – 15 dias, 31 – 60 dias e 61 ou mais dias.



Analisando a Figura 10, observa-se que a maior parte das análises das amostras de água foi realizada em um intervalo de até 10 dias para todos os parâmetros, sendo que o nitrato apresentou a maior quantidade de amostras analisadas nesse intervalo. Outra importante constatação quanto aos dados apresentados nesse gráfico é que apenas até no máximo 5% das amostras foram analisadas após 30 dias contados a partir da data da coleta para todos os parâmetros.

Considerando que o tempo máximo orientado pela USEPA e pelo CETESB a ser empregado desde o momento da coleta até a análise das amostras para identificação de metais na composição da água, como arsênio e alumínio, é de até 6 meses, todas as amostras analisadas para esses parâmetros apresentaram confiabilidade nos seus resultados. É fundamental ressaltar que esta constatação está vinculada a uma armazenagem adequada da amostra, como manutenção da mesma na temperatura indicada pelo laboratório, vedação do recipiente, entre demais orientações exigidas.

Já quanto ao tempo empregado para análise das amostras quanto à presença de nitrato e trihalometanos, o “holding time” até a análise pelo laboratório não foi atendido para todas as amostras analisadas. A Tabela 15 apresenta o percentual de cumprimento dos intervalos de tempo entre as datas de coleta e análise para a detecção desses parâmetros sem prejuízo de degradação da amostra segundo os guias das instituições consultados neste trabalho.

Tabela 15: Atendimento ao “holding time” para os parâmetros nitrato e trihalometanos.

Parâmetro	Nitrato	Trihalometanos
Nº de análises	409	769
Percentual (%)	70,0	85,2

A análise da Tabela 15 permite observar que apenas cerca de 70% das amostras foram analisadas para a detecção de nitrato dentro do tempo orientado pela USEPA e pelo CETESB. É essencial destacar que esses documentos orientam a análise em 48h e que o registro dos resultados dos laudos no sistema Sisagua ocorre pela identificação das datas de coleta e de análise. Dessa forma, amostras registradas com 2 dias de intervalo entre a coleta e a análise não necessariamente atendem ao preconizado por essas instituições. Para os trihalometanos, o percentual de atendimento ao “holding time” foi superior, de aproximadamente 85%. Houve, portanto, amostras analisadas para este parâmetro acima dos 14 dias orientados pela USEPA e pelo CETESB. Da mesma forma que para o alumínio e arsênio, a confiabilidade do resultado da análise das amostras de nitrato e de trihalometanos também é dependente do atendimento das demais orientações de coleta e armazenagem das amostras.

Apesar de a avaliação do intervalo de tempo aplicado entre as datas de coleta e de análise das amostras de água para verificação da influência entre o tempo empregado e a identificação de contaminantes indicar que pode ter havido prejuízo nas análises quanto ao nitrato e aos trihalometanos, é necessário que se atente a outras variáveis envolvidas nesse processo. Além da realização dos procedimentos de coleta e da armazenagem adequada dessas amostras indicados pelo local responsável por realizar a análise, deve-se atentar ao fato de que há variabilidade nos métodos empregados por diferentes laboratórios. Devido a esse fato, inclusive o “holding time” do laboratório que analisou as amostras pode não ser o mesmo considerado na análise deste trabalho. Para uma avaliação mais precisa quanto a este quesito é necessário, portanto, que se identifique as orientações que cada laboratório apresentava na época da coleta e análise das amostras.

#### **4.5 Avaliação da presença dos contaminantes alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos e efeitos à saúde segundo a literatura**

Nesta seção, será apresentada a Tabela 16 contendo informações sobre os 24 artigos selecionados nesta pesquisa que relacionam a presença dos contaminantes alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos e efeitos à saúde. Os itens presentes na tabela contemplam o ano de publicação do artigo, o país e tipo de estudo, bem como período de avaliação ou de obtenção dos dados, amostra utilizada, origem da água, concentração encontrada e, por fim, a identificação ou não de risco a saúde pelo consumo de água com a presença do contaminante.

Tabela 16: Compilação de dados dos artigos para análise do risco à saúde envolvido no consumo de água com a presença dos contaminantes: alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos.

Nº	Referência	Localização	Parâmetro	Tipo de estudo	Período	Amostra	Origem da água	Resultados	Risco à saúde
1	Gauthier et al (2000)	Canadá	Alumínio	Caso controle	1994 (seleção participantes) 1995 – 1996 (análise na água)	68 casos Pessoas >= 70 anos	Superficial e subterrânea	Média anual: Rio - 2,51µM Lago - 1,50µM Subterrânea - 0,33µM Água tratada - 1,36µM	Possível associação entre exposição a Al em baixas concentrações na água em altos pHs e doença de Alzheimer
2	Flaten (2001)	Noruega	Alumínio	Revisão	-	13 estudos epidemiológicos	-	-	Associação estatisticamente positiva entre doença de Alzheimer e Al na água
3	Rondeau et al (2008)	França	Alumínio	Coorte	1988 – 1997 (acompanhamento) 1991 – 1994 (dados da água)	3777 pessoas >= 65 anos	Água de tratamento distribuída na região	0,001 – 0,459 mg/L	Fator de risco para a doença de Alzheimer (concentrações acima de 0,1mg/L de Al na água)
4	Rondeau et al (2010)	França	Alumínio	Coorte	1988 – 2004	1925 pessoas >= 65 anos	Torneira e engarrafada	Torneira: 0,001 – 0,514 mg/L (média: 0,043 mg/L)  Engarrafada: Valor máximo 0,032 mg/L (média: 0,002 mg/L)	Possível fator de risco para doença de Alzheimer pelo alto consumo de Al na água
5	Dyke et al (2021)	Canadá	Alumínio	Coorte	1991 – 2002 (acompanhamento) 1980 - 2000 (dados da água)	10.263 pessoas 35 municípios >= 65 anos	Água de tratamento distribuída na região (ETA e poços)	0,0045 – 0,7498 mg/L	Tendência linear de associação entre doença de Alzheimer e Al na água apenas para certa característica genética
6	Duarte et al (2016)	Portugal	Trihalometanos	Avaliação de risco	2009 – 2013	Dados da água de 14 municípios	Água de tratamento distribuída na região	0,0001 - 0,661 mg/L	Risco de câncer superior ao limite máximo negligenciável e risco aceitável para efeitos não carcinogênicos (USEPA)
7	Villanueva et al (2017)	Espanha e Itália	Trihalometanos	Caso controle	2008 – 2013	2047 casos 3718 controles	Consumo de água da torneira	Média: THM total – 0,03 (0 –	Associação positiva para câncer colorretal e THM com bromo na

Nº	Referência	Localização	Parâmetro	Tipo de estudo	Período	Amostra	Origem da água	Resultados	Risco à saúde
8	Cotruvo et al (2019)	Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Alemanha, Holanda, Suécia, Austrália e Japão	Trihalometanos	Ecológico	1974 – 2015	Dados estatísticos nacionais dos 8 países avaliados		0,174) mg/L	água em homens
								Clorofórmio – 0,017 (0 – 0,063) mg/L	
								THM com bromo – 0,009 (0 – 0,145) mg/L	
								Média:	
								Estados Unidos - 0,03 mg/L	
							Superficial e subterrânea:	Canadá - 0,0209 mg/L (superficial) e 0,0116 mg/L (subterrânea)	
							Reino Unido - água superficial (com cloração)	Reino Unido – 0,042 mg/L (0,022 e 0,025 mg/L 2004- 2015)	
							Alemanha - 70% subterrânea (sem cloração)	Alemanha: sem muitos dados, valores baixos historicamente	
	Holanda - 1/3 superficial	Holanda: 0,001 mg/L (sem cloração) ou 0,01 mg/L (com cloração)	Não há relação forte ou consistente entre exposição a THM e câncer de bexiga						
	Suécia - 50% superficial	Suécia: maioria abaixo de 0,01 mg/L e poucas acima de 0,05 mg/L							
	Austrália - maioria superficial	Austrália: 0,085 mg/L (0,034 – 0,125 mg/L)							
	Japão - 75% superficial	Japão: Redução de 0,05 para 0,01 mg/L							

Nº	Referência	Localização	Parâmetro	Tipo de estudo	Período	Amostra	Origem da água	Resultados	Risco à saúde
9	Sadeghi et al (2019)	Irã	Trihalometanos	Avaliação de risco	2016 – 2017	Coleta de água de 26 pontos do município	Subterrânea, superficial e tratada	Média: Bromodiclorometano – 0,1020 ± 0,0585 mg/L Clorofórmio – 0,0852 ± 0,0478 mg/L Dibromoclorometano – 0,0517 ± 0,0296 mg/L Bromofórmio – 0,0119 ± 0,0066 mg/L	Risco carcinogênico 285 vezes maior que o mínimo/negligenciável (USEPA)
10	Evans et al (2020)	Estados Unidos	Trihalometanos	Avaliação de risco	2014 – 2017 (dados da água regulados 2018-2020 (dados da água não regulados)	48 mil sistemas de água	Água de tratamento distribuída na região	Média de 0,026 mg/L (estudos anteriores)	Possibilidade de casos de câncer de bexiga por exposição a subprodutos de desinfecção na água
11	Evlampidou et al (2020)	União Europeia	Trihalometanos	Transversal	2005 – 2018	28 países europeus	Porcentagem de água desde 100% subterrânea (Áustria) até 82% superficial (Irlanda)	Média de 0,0117 mg/L	Risco de câncer de bexiga (assumindo associação causal do consumo de THM na água potável)
12	Chen et al (2004)	Taiwan	Arsênio	Coorte	8 anos de acompanhamento 1995 – 2000 (dados de câncer)	10.591 pessoas	Poços de água	Menos de 0,01 – 0,7 mg/L ou mais	Tendência de risco de câncer de pulmão pela exposição a As na água
13	Christoforidou et al (2013)	Taiwan, Paquistão, Bangladesh, Argentina, Estados Unidos, Chile, Finlândia e Dinamarca	Arsênio	Revisão sistemática	Estudos publicados de janeiro de 2000 a abril de 2013	20 artigos	-	-	Alto risco de incidência/mortalidade de câncer de bexiga pela exposição a altos níveis de As na água
14	Gonçalves e de	Brasil	Arsênio	Avaliação de	Não informado	21 amostras de	Subterrânea	0,01 – 0,077 mg/L	Risco de efeitos cancerígenos e

Nº	Referência	Localização	Parâmetro	Tipo de estudo	Período	Amostra	Origem da água	Resultados	Risco à saúde
	Lena (2013)			risco		Amostra solo (não informado sobre amostras de água)			não cancerígenos pela exposição a As na água subterrânea
15	Mendez Jr et al (2016)	Estados Unidos	Arsênio	Ecológico	1981 - 2000 (dados da água) 2006 – 2010 (dados de câncer)	31.000 amostras de arsênio de 1.178 condados	Subterrânea	Mediana de 0,0015 mg/L Percentil 95% com média de 0,0154 mg/L	Associação positiva estatisticamente significativa entre baixas concentrações de As na água e incidência de câncer de pulmão e bexiga
16	Shah et al (2018)	Paquistão	Arsênio	Avaliação de risco	Não informado	127 amostras de água	Subterrânea	Média de 0,0469 mg/L	Possível risco carcinogênico e não carcinogênico pela exposição a As na água potável
17	Lamm et al (2018)	Estados Unidos	Arsênio	Ecológico	2009 – 2013 (dados de câncer)	757 condados com dados de câncer e níveis de arsênio	Subterrânea	Considerado no estudo somente até 0,05 mg/L	Não há associação estatística significativa entre exposição a As a baixos níveis (<50µg/L) e câncer de pulmão
18	Gao (2019)	China	Nitrato	Avaliação de risco	Mai (temporada seca) e setembro (temporada úmida) (Ano não informado)	44 amostras de água	Subterrânea	Temporada úmida NO3-N: 1,65 – 105,88 mg/L (média de 15,06 mg/L) Temporada seca NO3-N: 0,50 – 48,74 mg/L (média de 13,15 mg/L)	Risco à saúde pela exposição a nitrato na água acima do nível máximo permitido.
19	Stayner et al (2021)	Dinamarca	Nitrato	Caso controle	1991 – 2015	1.219.140 crianças 130.944 amostras de água	Sistema público de abastecimento da Dinamarca (excluídos poços privados)	NO3-N: Menos de 0,226 mg/L – 5,656 mg/L ou mais	Possibilidade de risco aumentado de câncer no sistema nervoso central em crianças pela exposição a nitrato na água potável
20	Wang et al (2021)	China	Nitrato	Avaliação de risco	Não informado	489 amostras de água	Subterrânea	NO3-N: 0,06 – 121,43 mg/L (média de 6,72 mg/L)	Risco à saúde pela exposição a nitrato na água acima do nível aceitável

Nº	Referência	Localização	Parâmetro	Tipo de estudo	Período	Amostra	Origem da água	Resultados	Risco à saúde
21	Jandu et al (2021)	Índia	Nitrato	Avaliação de risco	2018	28 amostras de água	Subterrânea	NO3-N: 2,31 – 117,57 mg/L (média de 40,99 mg/L)	Risco não carcinogênico à saúde pelo consumo de água com nitrato acima do nível máximo permitido
22	Golaki et al (2021)	Irã	Nitrato	Avaliação de risco	2019 – 2020 (amostragem)	28 poços de água	Subterrânea	NO3-N: 0,84 – 5,77 mg/L (média de 3,05)	Maior risco à saúde para crianças expostas a nitrato na água, mas sem efeitos adversos à saúde esperados
23	Tariqi e Naughton (2021)	Estados Unidos	Nitrato	Transversal	1907 – 2019 (dados da água) 2014 (dados de câncer)	58 condados da Califórnia com dados de água e câncer	Subterrânea e superficial	NO3-N: >5 e 10 ppm	Associação estatisticamente significativa entre nitrato na água potável e incidência de câncer de tireóide
24	Richards (2021)	Nova Zelândia	Nitrato	Transversal	2020 (dados de água de fontes não registradas) 2013 (dados de câncer) Não informado sobre dados de água de fontes registradas	Dados de água de fontes registradas Água de 20 fontes não registradas (coleta e análise) 3075 casos novos de câncer e 1252 mortes	Sistema público de abastecimento e fontes de água não registradas	População com fontes registradas: Menos de 0,5 mg/L - 5,7 mg/L ou mais (média de 0,49 mg/L)  População com fontes não registradas: 0,01 – 26,00 ( média de 2,76 mg/L)	Possibilidade de casos de câncer e mortes pela exposição a nitrato na água

A seleção de artigos realizada contemplou 5 artigos sobre o parâmetro alumínio, 6 sobre o arsênio, 7 sobre o nitrato e 6 artigos sobre os trihalometanos. Do total de 24 artigos selecionados, há 2 estudos de revisão ou revisão sistemática, 3 estudos caso controle, 4 estudos de coorte, 3 estudos ecológicos, 3 estudos transversais e 9 estudos de avaliação de risco. As pesquisas desses artigos incluem dados de cerca de 25 países, contemplando diferentes realidades e estágios de desenvolvimento tecnológico e econômico, bem como diferentes características geográficas e de qualidade da água. Foram contemplados desde países europeus até países da América do Sul e Ásia. Os valores de concentração dos compostos apresentados pelos artigos foram convertidos à mesma unidade (mg/L), sendo que no caso do nitrato realizou-se a conversão da concentração em NO<sub>3</sub> em alguns artigos para NO<sub>3</sub> – N através da relação 1 mg/L de NO<sub>3</sub> – N equivalendo 4,42 mg/L de NO<sub>3</sub>.

Dos 5 estudos sobre o parâmetro alumínio analisados, todos os autores identificaram associação entre o consumo de água com presença de alumínio e o desenvolvimento da doença de Alzheimer, em menor ou maior grau. Gauthier et al. (2000) avaliaram a relação com a doença a partir de uma exposição crônica a alumínio na água, ou seja, em baixas concentrações, onde se identificou que a sua média anual na água superficial foi maior do que na subterrânea no período avaliado. Os pesquisadores concluíram que, com ajustes de características genéticas e de educação, há associação significativa entre a exposição ao alumínio pela água e a doença de Alzheimer. Da mesma forma, o estudo de Van Dyke et al. (2021), também realizado no Canadá, observou que existe uma tendência de associação entre essa doença e o alumínio na água apenas para certa característica genética.

Flaten (2001) publicou sobre a associação estatisticamente positiva entre doença de Alzheimer e alumínio na água em 9 dos 13 estudos epidemiológicos avaliados nessa revisão. Os dois estudos de Rondeau et al. (2000, 2009) apontaram o alumínio como fator de risco para o desenvolvimento da doença de Alzheimer, nesse caso em altas concentrações (maior do que 0,1 mg/L). Uma das dificuldades citadas pelos autores em se associar de forma estatisticamente significativa esses dois fatores é devido à exposição ao alumínio pela água potável contribuir com apenas parte da exposição a esse metal, visto existirem outras rotas de exposição.

Os estudos quanto ao risco envolvido pelo consumo de água com trihalometanos relacionaram a associação entre a exposição a esse composto e o desenvolvimento de câncer. A avaliação de risco realizada por Duarte et al. (2016), em Portugal, resultou na identificação de risco de câncer superior ao limite máximo negligenciável segundo a metodologia desenvolvida pela USEPA. Esse estudo também indicou que há uma tendência de crescimento dos valores máximos de trihalometanos medidos ao longo da rede de distribuição, frente ao pior desempenho observado na água da torneira avaliada com relação à água do reservatório. Da mesma forma, o risco carcinogênico do estudo de Sadeghi et al. (2019) mostrou-se 285 vezes maior que o mínimo ou negligenciável pelo método da USEPA aplicado na pesquisa.

O estudo de Villanueva et al. (2017), realizado na Espanha e Itália, mostrou uma associação positiva para câncer colorretal em homens e trihalometanos que contêm bromo na sua composição, enquanto Evans et al. (2020) e Evlampidou et al. (2020) mostraram a relação entre a exposição aos trihalometanos na água e o desenvolvimento de câncer de bexiga. Em apenas um dos estudos avaliados neste trabalho não houve relação forte ou consistente entre exposição a THM e câncer de bexiga, o estudo realizado por Cotruvo e Amato (2019) onde se avaliaram dados

de 8 países em um extenso período de 1974 a 2015. O objetivo desse estudo era avaliar se a redução da exposição aos trihalometanos que estava sendo observada nesses países resultaria em uma redução dos riscos de câncer de bexiga. O estudo concluiu que o risco de câncer a partir da exposição a trihalometanos é questionável e baixo quando comparado a outros fatores. A etiologia complexa desse tipo de câncer se mostra como um empecilho na associação desse composto com a doença, visto diversas outras causas atuarem também como fatores de risco.

De todos os parâmetros avaliados nesse trabalho, o arsênio é o que já apresenta associação com o desenvolvimento de câncer comprovada. A maioria dos artigos encontrados realizaram o estudo a partir da análise de arsênio na água subterrânea, visto as regiões analisadas apresentarem o histórico de concentrações elevadas desse contaminante nessa fonte de água. A avaliação de risco realizada no Brasil por Gonçalves e Lena (2013) mostrou que há risco de efeitos cancerígenos e não cancerígenos pela exposição a arsênio na água subterrânea. Da mesma forma, Shah et al. (2020) também concluíram em seu estudo realizado no Paquistão que há a possibilidade de risco carcinogênico e não carcinogênico pela exposição a arsênio na água potável, onde 83% das amostras analisadas apresentaram valores de arsênio superior ao nível permitido pela OMS (10 µg/L).

Os 8 anos de acompanhamento realizados por Chen et al. (2004) no Taiwan mostraram que há uma tendência de dose resposta significativa entre a ingestão de arsênio pela água potável e risco de câncer de pulmão, sendo que foi observado um efeito sinérgico entre ingestão de arsênio e consumo de cigarro para o desenvolvimento desse câncer. Outro tipo de câncer para o qual é comumente estudado o papel da exposição de arsênio no seu desenvolvimento é o câncer de bexiga. Christoforidou et al. (2013) mostraram que há um alto risco de incidência e mortalidade de câncer de bexiga pela exposição a altos níveis de arsênio na água (> 50 µg/L).

Mendez et al. (2017) realizou um estudo nos Estados Unidos onde foi encontrada uma associação positiva estatisticamente significativa entre baixas concentrações de arsênio na água e incidência de câncer de pulmão e bexiga. Lamm et al. (2021), no entanto, não encontrou associação estatística significativa entre exposição a arsênio a baixos níveis (< 50µg/L) e câncer de pulmão. A pesquisa neste estudo apenas inclui dados de arsênio com concentração abaixo dos 50µg/L, mostrando que ainda são necessários mais estudos para que se possa também afirmar sobre risco de câncer para exposição a níveis baixos de arsênio na água, além dos níveis altos já comprovados.

Os estudos quanto ao risco à saúde pela exposição ao nitrato apresentaram como efeito adverso ao consumo de água com a presença desse contaminante o desenvolvimento de metaheoglobinemia, principalmente na população de bebês e crianças. Tal risco de exposição aguda ao nitrato já apresenta comprovação científica, sendo inclusive colocado pelos artigos analisados nessa pesquisa o fato de o nível máximo de nitrato na água potável preconizado pelo setor saúde ser estabelecido com base nesse risco. A avaliação de risco realizada por Gao et al. (2020) na China mostrou que há risco à saúde pela exposição a nitrato na água acima do nível máximo permitido. Nesse estudo foi demonstrado que crianças e bebês apresentaram maior risco à saúde, com efeitos mais severos, sendo que o risco à saúde pela via oral se mostrou maior do que pela via dérmica.

Também na China, Wang et al. (2021) demonstraram na sua avaliação de risco que o risco à saúde pela exposição a nitrato na água calculado estava acima do nível aceitável pelos órgãos regulamentadores. A análise estatística dessa pesquisa mostrou que a região com maiores níveis de nitrato teve a composição química da água subterrânea mais significativamente afetada por fontes antropogênicas do que por fontes geogênicas e que pessoas mais novas são mais suscetíveis à exposição por nitrato. O estudo de Jandū et al. (2021) na Índia também mostrou que há risco não carcinogênico à saúde pelo consumo de água com nitrato acima do nível máximo permitido, de acordo com o método da USEPA utilizado. Nesse estudo, 86% das amostras de nitrato estavam acima do valor máximo permitido pela Índia e pela OMS. Mais uma vez, a análise realizada indicou contribuição antropogênica para os altos níveis de nitrato. Golaki et al. (2021), em seu estudo realizado no Irã, também mostrou que há maior risco à saúde para crianças expostas a nitrato na água, no entanto essa pesquisa não conseguiu comprovar a existência de efeitos adversos à saúde esperados pelos resultados da avaliação de risco realizada.

Em especial quanto à exposição crônica de nitrato, alguns dos estudos aqui avaliados demonstraram haver risco de câncer pela exposição a esse químico na água potável. Stayner et al. (2021) realizou um estudo na Dinamarca de 1991 a 2015 com mais de 1 milhão de crianças e mais de 130 mil amostras de água analisadas onde foi demonstrada a possibilidade de risco aumentado de câncer no sistema nervoso central em crianças pela exposição a nitrato na água potável. Nessa pesquisa também foram avaliados os cânceres leucemia e linfoma, no entanto para eles não foi identificada evidência de associação entre exposição a nitrato pela água. Tariqi e Naughton (2021) realizara um estudo no estado da Califórnia nos Estados Unidos em que dados da água desde 1907 até 2019 foram analisados juntamente com dados de câncer de 2014. Essa pesquisa mostrou que há uma associação estatisticamente significativa entre nitrato na água potável e incidência de câncer de tireóide, sendo que comunidades em situação de vulnerabilidade apresentaram taxa de câncer até duas vezes maior que as não vulneráveis, bem como maior número de poços contaminados por nitrato. Por fim, o estudo de Richards et al. (2021) mostrou que há a possibilidade de casos de câncer e mortes serem atribuídos à exposição a nitrato na água potável. Baseado nessa associação observada nos estudos epidemiológicos, a exposição ao nitrato pode causar um impacto importante de casos de câncer colorretal, mortes, tendo custos econômicos preveníveis. Foi estimado que 3,26% dos casos de câncer colorretal foram atribuídos à contaminação da água potável por nitrato, equivalendo a um custo de \$43,2 milhões no ano.

As concentrações de contaminantes encontradas nos estudos para todos os parâmetros avaliados divergiram entre os diferentes países de estudo, observando-se médias por vezes abaixo do valor máximo permitido para o local avaliado ou acima. Alguns estudos buscaram avaliar os efeitos à saúde pela exposição a níveis elevados desses contaminantes, enquanto outros objetivaram elucidar sobre o risco inerente à exposição crônica de concentrações baixas desses compostos químicos. Mesmo considerando essa variabilidade, e também as diferentes metodologias e tipos de estudo realizados, os resultados indicativos de possibilidade ou de risco estatisticamente significativo mostram-se importantes. Isso porque essa diversidade demonstra que é improvável que fatores confundidores inerentes às pesquisas epidemiológicas tenham sido os mesmos em todas as pesquisas.

## 5 Conclusões

Este trabalho buscou avaliar o monitoramento da qualidade da água realizado pelos responsáveis pelo abastecimento público da população dos 5 municípios mais populosos do Estado do Rio Grande do Sul no período de 2014 a 2020 para os contaminantes alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos. De forma a complementar os resultados encontrados nas análises de água, a pesquisa bibliográfica buscou demonstrar a associação entre a exposição a esses contaminantes e os riscos à saúde encontrados nos estudos dos artigos selecionados.

A análise do atendimento ao padrão de potabilidade resultou em 3,7% do total de análises com a presença de contaminantes acima do valor máximo permitido (VMP), sendo o alumínio o contaminante com maior presença na água. O ponto de monitoramento em que houve a maior detecção de contaminantes foi o de captação, sendo 20,0% das amostras nesse ponto. Esses dados permitem afirmar que, o manancial de onde a água é captada, apresenta elevadas concentrações de alumínio, e que o tratamento de água realizado está sendo capaz de remover o contaminante, frente o baixo percentual de amostras com os parâmetros analisados acima do VMP na saída do tratamento e no sistema de distribuição.

Os dados analisados também permitiram observar que há a predominância da forma de abastecimento SAA sobre SAC e de manancial superficial sobre subterrâneo nos municípios avaliados, sendo o maior percentual de amostras com contaminantes acima do VMP em SAA e em manancial superficial. Uma análise mais aprofundada sobre as características químicas das fontes de água e de mobilidade e biodisponibilidade dos contaminantes deverá ser realizada, frente a baixa representatividade de amostras coletadas e analisadas para as soluções alternativas coletivas e mananciais subterrâneos.

A análise do atendimento do plano de amostragem mostrou que apenas Canoas e Pelotas atenderam integralmente o plano para os parâmetros alumínio, arsênio e nitrato no período avaliado. Os dados mostram que os municípios buscam cumprir o mínimo requerido pelo plano de amostragem, ainda assim o plano não está sendo integralmente atendido. Quanto aos trihalometanos, nenhum dos municípios avaliados atendeu o mínimo de amostras a serem analisadas, indicando uma deficiência maior no atendimento do plano de amostragem para este contaminante. A baixa porcentagem de atendimento observada pode ser devido ao fato de nem todos os SAA identificados no estarem cadastrados e em atividade em todos os anos do período avaliado. É necessária uma avaliação mais detalhada para verificar se o cálculo do número mínimo de amostras a ser analisadas estaria superestimado.

O intervalo empregado entre a data da coleta e da análise das amostras de água, de acordo com as orientações das instituições consultadas, indicou que a maioria das análises apresentou confiabilidade dos seus resultados. Para os parâmetros nitrato e trihalometanos, entretanto, apenas de 70% a 85% das amostras foram analisadas dentro do intervalo de tempo adequado de forma a se evitar comprometimento da amostra. O método utilizado pelo laboratório que realizou as análises, no entanto, pode apresentar um “holding time” diverso do considerado, sendo necessária uma consulta às metodologias utilizadas pelos laboratórios na época das análises.

Os riscos à saúde associados ao consumo de água com a presença desses contaminantes foi avaliado com base na análise dos dados das pesquisas científicas analisadas. Os estudos mostraram que já há evidências quanto aos riscos envolvidos, sendo que a maioria deles indicou a possibilidade de risco estatisticamente significativo. Apesar disso, alguns autores informaram que mais estudos são necessários para a comprovação de efeitos a concentrações mais baixas desses compostos químicos na água. A avaliação dos resultados encontrados nesses estudos também mostrou a complexidade envolvida na avaliação do risco à saúde frente à exposição a um contaminante via consumo de água potável frente à etiologia complexa das doenças estudadas. São necessárias mais pesquisas também, portanto, para melhor compreensão da contribuição desses contaminantes no desenvolvimento dessas doenças.

Os dados de análises de água dos 5 municípios mais populosos do Estado avaliados nesse período trazem indicativos importantes sobre o monitoramento da qualidade da água no Estado. Há um quantitativo deficiente das análises frente às previstas em legislação que efetivamente foram realizadas para alguns municípios e parâmetros. É essencial que, para que o risco à saúde da população do município possa ser avaliado, análises de água sejam realizadas de forma periódica a fim de se conhecer a exposição aos consumidores. O tempo até a análise de algumas amostras e a presença de contaminantes acima do valor máximo permitido após o tratamento da água são pontos de atenção que devem ser considerados.

O conhecimento da qualidade da água pode ser uma ferramenta útil para o apoio à decisão dos gestores de sistemas de abastecimento de água na definição de estratégias e políticas de saúde pública para mitigar o risco de consumo de água com a presença de um contaminante. Inicialmente é importante que se tome conhecimento sobre a razão do monitoramento adequado da qualidade da água não estar sendo realizado. Assim, poderão ser melhor compreendidas as limitações para o atendimento do plano de amostragem e tempo empregado até a análise da amostra coletada, bem como poderá ser entendido se há alguma falha ou limitação no tratamento empregado no município de forma a se prevenir a presença de contaminantes na água potável. Dessa forma, poderá ser realizado um planejamento com priorização de ações baseado nas deficiências de cada município, como por exemplo limitações técnicas, de número de profissionais ou da sua capacitação, ou até mesmo falhas de gestão na organização e distribuição dos recursos disponíveis para realização de um monitoramento adequado. Os resultados desse trabalho também podem contribuir para informar os gestores das formas de abastecimento de água tratada sobre o papel da qualidade da água na saúde dos consumidores, propiciando, dessa forma, uma sensibilização quanto à importância de se priorizar essa problemática do saneamento na elaboração de estratégias dentro das instituições responsáveis pelo fornecimento de água potável.

## REFERÊNCIAS

ANA. **Águas no Brasil — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil>. Acesso em: 31 jul. 2021.

ANA. **Atlas Água - Água e Esgoto**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/agua-esgoto/agua-tabs/informacoes>. Acesso em: 31 jul. 2021.

**APÊNDICE E - SIGNIFICADO AMBIENTAL E SANITÁRIO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS E DOS SEDIMENTOS E METODOLOGIAS ANALÍTICAS E DE AMOSTRAGEM**.PDF. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em: 25 set. 2021.

BAGEPALLY, Bhavani Shankara, BALACHANDAR, Rakesh; KALAHASTHI, Ravibabu; TRIPATHI, Ravikesh; HARIDOSS, Madhumita. **Association between aluminium exposure and cognitive functions: A systematic review and meta-analysis**. *Chemosphere*, [s. l.], v. 268, p. 128831, 2021.

BECARIA, Angelica; LAHIRI, Debomoy K.; BONDY, Stephen C.; CHEN, DeMao; HAMADEH, Ali; LI, Huihui; TAYLOR, Russell; CAMPBELL, Arezoo. **Aluminum and copper in drinking water enhance inflammatory or oxidative events specifically in the brain**. *Journal of Neuroimmunology*, [s. l.], v. 176, n. 1, p. 16–23, 2006.

BONDY, Stephen C. **Low levels of aluminum can lead to behavioral and morphological changes associated with Alzheimer’s disease and age-related neurodegeneration**. *NeuroToxicology*, [s. l.], v. 52, p. 222–229, 2016.

BONDY, Stephen C. **Prolonged exposure to low levels of aluminum leads to changes associated with brain aging and neurodegeneration | Elsevier Enhanced Reader**. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0300483X13002825?token=89688BDC53E9E63F1FB874DF5E3BA7A2FD2A513804E1B3FB9304C53603694AEDE74802348F48DD037CD90DDE09195C18&originRegion=us-east-1&originCreation=20211027141052>. Acesso em: 27 out. 2021.

CEVS. **Água para consumo humano**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.cevs.rs.gov.br/vigiagua>. Acesso em: 1 ago. 2021.

CHEN, Chi-Ling; HSU, Lin-I.; CHIOU, Hung-Yi; HSUEH, Yu-Mei; CHEN, Shu-Yuan; WU, Meei-Maan; CHEN, Chien-Jen; Blackfoot Disease Study Group. **Ingested arsenic, cigarette smoking, and lung cancer risk: a follow-up study in arseniasis-endemic areas in Taiwan**. *JAMA*, [s. l.], v. 292, n. 24, p. 2984–2990, 2004.

CHRISTOFORIDOU, Eleni P.; RIZA, Elena; KALES, Stefanos N.; HADJISTAVROU, Konstantinos; STOLTIDI, Melina; KASTANIA, Anastasia N.; LINOS, Athina. **Bladder cancer and arsenic through drinking water: a systematic review of epidemiologic evidence**. *Journal of Environmental*

**Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering**, [s. l.], v. 48, n. 14, p. 1764–1775, 2013.

COTRUVUO, Joseph A.; AMATO, Heather. **National Trends of Bladder Cancer and Trihalomethanes in Drinking Water: A Review and Multicountry Ecological Study. Dose-Response: A Publication of International Hormesis Society**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 1559325818807781, 2019.

DE CASTRO MEDEIROS, Luciana; de ALENCAR, Felipe Lacerda Souza; NAVONI, Julio Alejandro; de ARAUJO, André Luis Calado; do AMARAL, Viviane Souza. **Toxicological aspects of trihalomethanes: a systematic review. Environmental Science and Pollution Research International**, [s. l.], v. 26, n. 6, p. 5316–5332, 2019.

**DRINKING-WATER, KEY FACTS**. [s. l.], 2019. World Health Organization. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. Acesso em: 31 jul. 2021.

DUARTE, A. a. L. S.; RODRIGUES, Filipe Miguel; RAMOS, Rui A. R. **Água e saúde: análise do risco da presença de trihalometanos na água para consumo humano**. [s. l.], 2016. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/%C3%81gua-e-sa%C3%BAde%3A-an%C3%A1lise-do-risco-da-presen%C3%A7a-de-na-Duarte-Rodrigues/da9bb157ede04fd3a87bd3e5a667de4416742ff3>. Acesso em: 25 jun. 2021.

EVANS, Sydney; CAMPBELL, Chris; NAIDENKO, Olga V. **Analysis of Cumulative Cancer Risk Associated with Disinfection Byproducts in United States Drinking Water. International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 2149, 2020.

EVLAMPIDOU, Iro; FONT, -Ribera Laia; ROJAS, -Rueda David; GRACIA, -Lavedan Esther; COSTET, Nathalie; PEARCE, Neil; VINEIS, Paolo; JAAKKOLA, Jouni J. K.; DELLOYE, Francis; MAKRIS, Konstantinos C.; STEPHANOOU, Euripides G.; KARGAKI, Sophia; KOZISEK, Frantisek; SIGSGAARD, Torben; HANSEN, Birgitte; SCHULLEHNER, Jörg; NAHKUR, Ramon; GALEY, Catherine; ZWIENER, Christian; VARGHA, Marta; RIGHI, Elena; AGGAZZOTTI, Gabriella; KALNINA, Gunda; GRAZULEVICIENE, Regina; POLANSKA, Kinga; GUBKOVA, Dasa; BITENC, Katarina; GOSLAN, Emma H.; KOGEVINAS, Manolis; VILLANUEVA, Cristina M.. **Trihalomethanes in Drinking Water and Bladder Cancer Burden in the European Union. Environmental Health Perspectives**, [s. l.], v. 128, n. 1, p. 017001.

FAN, Anna M. Health, **Exposure and Regulatory Implications of Nitrate and Nitrite in Drinking Water**☆. In: NRIAGU, Jerome (org.). **Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition)**. Oxford: Elsevier, 2019. p. 417–435. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489118378>. Acesso em: 5 out. 2021.

FLATEN, Trond Peder. **Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. Brain Research Bulletin**, [s. l.], v. 55, n. 2, Metals and the Brain, p. 187–196, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (org.). **Review of world water resources by country**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003. (Water reports, v. 23).

GAO, Shuai; LI, Changsuo; JIA, Chao; ZHANG, Hailin; GUAN, Qin; WU, Xiancang; WANG, Jinxiao; LV, Minghui. **Health risk assessment of groundwater nitrate contamination: a case study of a typical karst hydrogeological unit in East China.** *Environmental Science and Pollution Research*, [s. l.], v. 27, n. 9, p. 9274–9287, 2020.

GAUTHIER, E.; FORTIER, I.; COURCHESNE, F.; PEPIN, P.; MORTIMER, J.; GAUVREAU, D.. **Aluminum forms in drinking water and risk of Alzheimer’s disease.** *Environmental Research*, [s. l.], v. 84, n. 3, p. 234–246, 2000.

GOLAKI, Mohammad; AZHDARPOOR, Aboalfazl; MOHAMADPOUR, Amin; DERAKHSHAN, Zahra; CONTI, Gea Oliveri. **Health risk assessment and spatial distribution of nitrate, nitrite, fluoride, and coliform contaminants in drinking water resources of kazerun, Iran.** *Environmental Research*, [s. l.], v. 203, p. 111850, 2021.

GONÇALVES, José Augusto Costa; LENA, Jorge Carvalho de. **Avaliação de risco à saúde humana por contaminação natural de arsênio nas águas subterrâneas e nos solos da área urbana de Ouro Preto (MG).** *Geologia USP. Série Científica*, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 145–158, 2013.

**GUIA NACIONAL DE COLETA E PRESERVACAO DE AMOSTRAS 2012.**PDF. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amstras-2012.pdf>. Acesso em: 23 out. 2021.

MASUDA, Harue. **Arsenic cycling in the Earth’s crust and hydrosphere: interaction between naturally occurring arsenic and human activities | Progress in Earth and Planetary Science | Full Text.** [S. l.], 2018. Disponível em: <https://progearthplanetsci.springeropen.com/articles/10.1186/s40645-018-0224-3>. Acesso em: 1 out. 2021.

IARC. **Arsenic, metals, fibres and dust. Volume 100 C. A review of human carcinogens.** [S. l.: s. n.], 2012.

IARC. **Tobacco smoke and involuntary smoking.** [S. l.: s. n.], 2004.

**INDICADORES BRASILEIROS PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 31 jul. 2021.

JANDU, Anchal; MALIK, Anju; DHULL, Sanju Bala. **Fluoride and nitrate in groundwater of rural habitations of semiarid region of northern Rajasthan, India: a hydrogeochemical, multivariate statistical, and human health risk assessment perspective.** *Environmental Geochemistry and Health*, [s. l.], v. 43, n. 10, p. 3997–4026, 2021.

LAMM, Steven H.; BOROJE, Isabella J.; FERDOSI, Hamid; AHN, Jaeil. **A review of low-dose arsenic risks and human cancers.** *Toxicology*, [s. l.], v. 456, p. 152768, 2021.

**MANUAL DE PROCEDIMENTOS DE ENTRADA DE DADOS DO SISAGUA.**PDF. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2016/agosto/08/Manual-de-procedimentos-de-entrada-de-dados-do-Sisagua---Vigil--ncia.pdf>. Acesso em: 25 set. 2021.

MARIANA LISBOA PESSOA. **Disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento : ODS 6 no Rio Grande do Sul.** [S. l.]: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, 2020.

MENDEZ, William M.; EFTIM, Sorina; COHEN, Jonathan; WARREN, Isaac; COWDEN, John; LEE, Janice S.; SAMS, Reeder. **Relationships between arsenic concentrations in drinking water and lung and bladder cancer incidence in U.S. counties.** *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 235–243, 2017.

MS. **Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017.** 28 set. 2017.

MS. **Guia Prático de Inspeção Sanitária em Formas de Abastecimento de Água para Consumo Humano.** [S. l.: s. n.], 2021a.

MS. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021.** 4 maio 2021b.

MS. **Revisão do Anexo XX da Portaria de Consolidação no 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde Tema II - Padrão de Potabilidade e Planos de Amostragem Substâncias Químicas Inorgânicas.** [S. l.: s. n.], 2018.

**NITRATE AND NITRITE IN DRINKING-WATER. BACKGROUND DOCUMENT FOR PREPARATION OF WHO GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY.** [S. l.: s. n.], 2003. Disponível em: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/75380/WHO\\_SDE\\_WSH\\_04.03\\_56\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/75380/WHO_SDE_WSH_04.03_56_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 4 out. 2021.

RICHARDS, Jayne; CHAMBERS, Tim; HALES, Simon; JOY, Mike; RADU, Tanja; WOODWARD, Alistair; HUMPHREY, Alistair; RANDAL, Edward; BAKER, Michael G.. **Nitrate contamination in drinking water and colorectal cancer: Exposure assessment and estimated health burden in New Zealand.** *Environmental Research*, [s. l.], p. 112322, 2021.

RONDEAU, Virginie; JACQMIN-GADDA, Hélène; COMMENGES, Daniel; HELMER, Catherine; DARTIGUES, Jean-François. **Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort.** *American Journal of Epidemiology*, [s. l.], v. 169, n. 4, p. 489–496, 2009.

RONDEAU, Virginie; JACQMIN-GADDA, Hélène; COMMENGES, Daniel; DARTIGUES, Jean-François.. **Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow-up study.** *American Journal of Epidemiology*, [s. l.], v. 152, n. 1, p. 59–66, 2000.

RS. **Quase 90% da população do Estado tem acesso à água tratada.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/quase-90-da-populacao-do-estado-tem-acesso-a-agua-tratada>. Acesso em: 1 ago. 2021.

SADEGHI, Hadi; NASSERI, Simin; YUNESIAN, Masud; MAHVI, Amir Hossein; NABIZADEH, Ramin; ALIMOHAMMADI, Mahmoud. **Trihalomethanes in urban drinking water: measuring exposures and assessing carcinogenic risk.** *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 619–632, 2019.

SHAH, Ali Haidar, SHAHID, Muhammad; KHALID, Sana; Natasha; SHABBIR, Zunaira; BAKHAT, Hafiz Faiq; MURTAZA, Behzad; FAROOQ, Amjad; AKRAM, Muhammad; SHAH, Ghulam Mustafa; NASIM, Wajid; NIAZI, Nabeel Khan. **Assessment of arsenic exposure by drinking well water and associated carcinogenic risk in peri-urban areas of Vehari, Pakistan. Environmental Geochemistry and Health**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 121–133, 2020.

SLATER, Denise. Water Scarcity in Brazil: A Case Study. **Expeditions with MCUP**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.usmcu.edu/Outreach/Marine-Corps-University-Press/Expeditions-with-MCUP-digital-journal/Water-Scarcity-in-Brazil/>. Acesso em: 7 nov. 2021.

SNIS. **SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento)**. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>.

STAYNER, Leslie T.; SCHULLEHNER, Jörg; SEMARK, Birgitte Dige; JENSEN, Anja Søndergaard; TRABJERG, Betina B.; PEDERSEN, Marie; OLSEN, Jørn; HANSEN, Birgitte; WARD, Mary H.; JONES, Rena R.; COFFMAN, Vanessa R.; PEDERSEN, Carsten B.; SIGSGAARD, Torben. **Exposure to nitrate from drinking water and the risk of childhood cancer in Denmark. Environment International**, [s. l.], v. 155, p. 106613, 2021.

STEINMAUS C, Smith AH. **Lung, bladder, and kidney cancer mortality 40 years after arsenic exposure reduction**. [s. l.], 2018.

TARIQI, Arianna Q.; NAUGHTON, Colleen C. **Water, Health, and Environmental Justice in California: Geospatial Analysis of Nitrate Contamination and Thyroid Cancer. Environmental Engineering Science**, [s. l.], v. 38, n. 5, p. 377–388, 2021.

TRATA BRASIL. **Água - Trata Brasil**. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua>. Acesso em: 1 ago. 2021.

**TRihalOMETHANES IN DRINKING-WATER. BACKGROUND DOCUMENT FOR DEVELOPMENT OF WHO GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY**. [S. l.: s. n.], 2005. Disponível em: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/THM200605.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/THM200605.pdf). Acesso em: 4 out. 2021.

UFRGS. **Tratamento d'água — @limentus**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus/disciplinas/tecnologia-de-alimentos-especiais/bebidas-carbonatadas/tratamento-dagua>. Acesso em: 25 set. 2021.

USEPA. **Quick Guide To Drinking Water Sample Collection - Second Edition Updated**. [s. l.], p. 20, 2016.

VAN DYKE, Nicole; YENUGADHATI, Nagarajkumar; BIRKETT, Nicholas J.; LINDSAY, Joan; TURNER, Michelle C.; WILLHITE, Calvin C.; KREWSKI, Daniel. **Association between aluminum in drinking water and incident Alzheimer's disease in the Canadian Study of Health and Aging cohort. Neurotoxicology**, [s. l.], v. 83, p. 157–165, 2021.

VILLANUEVA, Cristina M.; GRACIA-LAVEDAN, Esther; BOSETTI, Cristina; RIGHI, Elena; MOLINA, Antonio José; MARTÍN, Vicente; BOLDO, Elena; ARAGONÉS, Nuria; PEREZ-GOMEZ, Beatriz; POLLAN, Marina; ACEBO, Ines Gomez; ALTZIBAR, Jone M.; ZABALA, Ana Jiménez; ARDANAZ, Eva; PEIRÓ, Rosana; TARDÓN, Adonina; CHIRLAQUE, Maria Dolores; TAVANI, Alessandra; POLESEL, Jerry; SERRAINO, Diego; PISA, Federica; CASTAÑO-VINYALS, Gemma; ESPINOSA, Ana; ESPEJO-HERRERA, Nadia; PALAU, Margarita; MORENO, Victor; La VECCHIA, Carlo; AGGAZZOTTI, Gabriella; NIEUWENHUIJSEN, Mark J.; KOGEVINAS, Manolis. **Colorectal Cancer and Long-Term Exposure to Trihalomethanes in Drinking Water: A Multicenter Case-Control Study in Spain and Italy.** *Environmental Health Perspectives*, [s. l.], v. 125, n. 1, p. 56–65, 2017.

WALTON, J. R. **Bioavailable Aluminum: Its Effects on Human Health**☆. In: NRIAGU, Jerome (org.). **Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition)**. Oxford: Elsevier, 2019. p. 315–327. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489111972>. Acesso em: 5 out. 2021.

WANG, Huiliang; LU, Keyu; SHEN, Chenyang; SONG, Xiaoguang; HU, Bin; LIU, Gang. **Human health risk assessment of groundwater nitrate at a two geomorphic units transition zone in northern China.** *Journal of Environmental Sciences (China)*, [s. l.], v. 110, p. 38–47, 2021.

WHO. **Aluminium in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.** [S. l.: s. n.], 2003.

WHO. **Guidelines for Drinking Water Quality, 4th edition.** [S. l.: s. n.], 2011.

WHO. **Surveillance of drinking-water quality.** [S. l.: s. n.], 1976.

## APÊNDICE A

Figura A.1: Código utilizado para a conversão dos dados csv para planilha excel.

### OBTENÇÃO DOS DADOS DE ANÁLISE DA ÁGUA

- Dados do monitoramento da qualidade da água (Controle Semestral) registrados no Sistema Sisagua
- Dados do período 2014 - 2020 para os municípios: Canoas, Caxias do Sul, Pelotas, Porto Alegre e Santa Maria
- Fonte dos dados: <https://dados.gov.br/dataset/controle-semesteral>

Importação da biblioteca Pandas para análise de dados:

1. Leitura do arquivo CSV
2. Filtro dos dados do Brasil para selecionar apenas os municípios alvo
3. Conversão dos dados em planilha excel

```
[ ] import pandas as pd
```

#### 1. Leitura do arquivo CSV

```
dados = pd.read_csv('https://sage.saude.gov.br/dados/sisagua/controle_semesteral_2020.zip', compression = 'zip', sep = ';', encoding = 'la
dados.head()
```

```
/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/IPython/core/interactiveshell.py:2718: DtypeWarning: Columns (5,6,7,9,14) have mixed types.Specify
interactivity=interactivity, compiler=compiler, result=result)
```

	Região Geográfica	UF	Regional de Saúde	Município	Código IBGE	Tipo da Instituição	Sigla da Instituição	Nome da Instituição	CNPJ da Instituição	Nome do escritório regional/local	CNPJ do escritório regional/local	Tipo da Abasteci
0	NORDESTE	CE	18 REGIONAL DE SAUDE IGUATU	PIQUET CARNEIRO	231090	Empresa Estadual	CAGECE	COMPANHIA DE AGUA E ESGOTO DO CEARA	7.040108e+12	UNIDADE DE NEGOCIO DA BACIA DE BANABUIU UNBBA	7.040108e+12	
1	NORDESTE	CE	18 REGIONAL DE SAUDE IGUATU	PIQUET CARNEIRO	231090	Empresa Estadual	CAGECE	COMPANHIA DE AGUA E ESGOTO DO CEARA	7.040108e+12	UNIDADE DE NEGOCIO DA BACIA DE BANABUIU UNBBA	7.040108e+12	

#### 2. Filtro dos dados do Brasil para selecionar apenas os municípios alvo

```
#filtro1 = (dados['Município'] == 'PELOTAS') | (dados['Município'] == 'CAXIAS DO SUL') | (dados['Município'] == 'CANOAS') |
#(dados['Município'] == 'PORTO ALEGRE') | (dados['Município'] == 'SANTA MARIA')

dados_2014_2020 = pd.DataFrame()

for i in [2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020]:
    print(i)
    dados = pd.read_csv('https://sage.saude.gov.br/dados/sisagua/controle_semesteral_' + str(i) + '.zip', compression = 'zip', sep = ';', en

    filtro1 = (dados['UF'] == 'RS')
    dados_RS = dados[filtro1]

    filtro2 = (dados_RS['Município'].isin(['PELOTAS', 'CAXIAS DO SUL', 'CANOAS', 'PORTO ALEGRE', 'SANTA MARIA']))
    dados_5mais = dados_RS[filtro2]

    dados_2014_2020 = pd.concat([dados_2014_2020, dados_5mais])
```

#### 3. Conversão dos dados em planilha excel

```
dados_2014_2020.to_excel('Dados controle semestral 2014-2020 5 mais.xlsx', index = False)
```

Tabela A.1: População estimada com respectiva faixa populacional de acordo com o plano de amostragem por município e forma de abastecimento com respectivo tipo de manancial.

Município	Forma de abastecimento	Tipo de manancial	População estimada (habitantes)	Faixa populacional (plano de amostragem)
Canoas	1	Superficial	343 mil	> 250 mil
	1	Superficial	17,7 mil	< 50 mil
	2	Superficial	260 mil	> 250 mil
	3	Superficial	20 mil	< 50 mil
	4	Superficial	86 mil	50 a 250 mil
	5	Superficial	6 mil	< 50 mil
	6	Superficial e Subterrâneo	2,5 mil	< 50 mil
	7	Superficial	650	< 50 mil
	8	Subterrâneo	630	< 50 mil
	9	Subterrâneo	1,5 mil	< 50 mil
	10	Subterrâneo	700	< 50 mil
	11	Subterrâneo	2,2 mil	< 50 mil
	12	Superficial	4,6 mil	< 50 mil
	13	Subterrâneo	500	< 50 mil
	14	Superficial	123 mil	50 a 250 mil
	15	Subterrâneo	145	< 50 mil
	16	Subterrâneo	110	< 50 mil
	17	Subterrâneo	240	< 50 mil
	18	Subterrâneo	300	< 50 mil
	19	Subterrâneo	40	< 50 mil
20	Subterrâneo	70	< 50 mil	
Pelotas	1	Superficial	950	< 50 mil
	2	Superficial	270 mil	> 250 mil
Porto Alegre	1	Superficial	245 mil	50 a 250 mil
	2	Superficial	8 mil	< 50 mil
	3	Superficial	545 mil	> 250 mil
	4	Superficial	167 mil	50 a 250 mil
	5	Superficial	475 mil	> 250 mil
	6	Superficial	45 mil	< 50 mil
Santa Maria	1	Superficial	265 mil	> 250 mil
	2	Subterrâneo	1,3 mil	< 50 mil
	3	Subterrâneo	1,3 mil	< 50 mil
	4	Subterrâneo	500	< 50 mil

Tabela A.2: Percentual de cumprimento do plano de amostragem para o município de Canoas para os parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos no período de 2014 a 2020.

<b>CANOAS</b>						
Ano	Alumínio, Arsênio e Nitrato			Trihalometanos		
	Nº Análises previstas (saída do tratamento)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento)	Cumprimento plano amostragem (%)	Nº Análises previstas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Cumprimento plano amostragem (%)
2014	6	9	150,0	20	1	5,0
2015	6	18	300,0	20	10	50,0
2016	6	6	100,0	20	3	15,0
2017	6	10	166,7	20	8	40,0
2018	6	10	166,7	20	12	60,0
2019	6	Sem dados	/	20	Sem dados	/
2020	6	Sem dados	/	20	Sem dados	/
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>53</b>	<b>126,2</b>	<b>140</b>	<b>34</b>	<b>24,3</b>

Tabela A.3: Percentual de cumprimento do plano de amostragem para o município de Caxias do Sul para os parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos no período de 2014 a 2020.

<b>CAXIAS DO SUL</b>						
Ano	Alumínio, Arsênio e Nitrato			Trihalometanos		
	Nº Análises previstas (saída do tratamento)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento)	Cumprimento plano amostragem (%)	Nº Análises previstas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Cumprimento plano amostragem (%)
2014	120	70	58,3	119	30	25,2
2015	120	75	62,5	119	74	62,2
2016	120	74	61,7	119	64	53,8
2017	120	96	80,0	119	62	52,1
2018	120	89	74,2	119	57	47,9
2019	120	87	72,5	119	57	47,9
2020	120	81	67,5	119	50	42,0
<b>TOTAL</b>	<b>840</b>	<b>572</b>	<b>68,1</b>	<b>833</b>	<b>394</b>	<b>47,3</b>

Tabela A.4: Percentual de cumprimento do plano de amostragem para o município de Pelotas para os parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos no período de 2014 a 2020.

<b>PELOTAS</b>						
Ano	Alumínio, Arsênio e Nitrato			Trihalometanos		
	Nº Análises previstas (saída do tratamento)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento)	Cumprimento plano amostragem (%)	Nº Análises previstas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Cumprimento plano amostragem (%)
2014	12	12	100,0	28	4	14,3
2015	12	12	100,0	28	8	28,6
2016	12	12	100,0	28	8	28,6
2017	12	12	100,0	28	8	28,6
2018	12	12	100,0	28	8	28,6
2019	12	15	125,0	28	9	32,1
2020	12	12	100,0	28	8	28,6
<b>TOTAL</b>	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>103,6</b>	<b>196</b>	<b>53</b>	<b>27,0</b>

Tabela A.5: Percentual de cumprimento do plano de amostragem para o município de Porto Alegre para os parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos no período de 2014 a 2020.

<b>PORTO ALEGRE</b>						
Ano	Alumínio, Arsênio e Nitrato			Trihalometanos		
	Nº Análises previstas (saída do tratamento)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento)	Cumprimento plano amostragem (%)	Nº Análises previstas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Cumprimento plano amostragem (%)
2014	36	18	50,0	108	24	22,2
2015	36	36	100,0	108	48	44,4
2016	36	36	100,0	108	48	44,4
2017	36	36	100,0	108	48	44,4
2018	36	36	100,0	108	48	44,4
2019	36	36	100,0	108	48	44,4
2020	36	36	100,0	108	47	43,5
<b>TOTAL</b>	<b>252</b>	<b>234</b>	<b>92,9</b>	<b>756</b>	<b>311</b>	<b>41,1</b>

Tabela A.6: Percentual de cumprimento do plano de amostragem para o município de Santa Maria para os parâmetros alumínio, arsênio, nitrato e trihalometanos no período de 2014 a 2020.

<b>SANTA MARIA</b>						
Ano	Alumínio, Arsênio e Nitrato			Trihalometanos		
	Nº Análises previstas (saída do tratamento)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento)	Cumprimento plano amostragem (%)	Nº Análises previstas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Nº Análises realizadas (saída do tratamento e sistema de distribuição)	Cumprimento plano amostragem (%)
2014	24	6	25,0	23	6	26,1
2015	24	6	25,0	23	3	13,0
2016	24	6	25,0	23	4	17,4
2017	24	3	12,5	23	4	17,4
2018	24	6	25,0	23	11	47,8
2019	24	6	25,0	23	20	87,0
2020	24	9	37,5	23	9	39,1
<b>TOTAL</b>	<b>168</b>	<b>42</b>	<b>25,0</b>	<b>161</b>	<b>57</b>	<b>35,4</b>