



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



Análise da Qualidade de Águas Subterrâneas do Município de Ivoti e Proposta de Tratamento

Autora: Giorgia Corrêa

Orientador: Edson Cordeiro do Valle

Coorientadora: Caroline Borges Agustini

Porto Alegre, setembro de 2023

Autora: Giorgia Corrêa

Análise da Qualidade de Águas Subterrâneas do Município de Ivoti e Proposta de Tratamento

*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*

Orientador: Edson Cordeiro do Valle
Coorientadora: Caroline Borges Agustini

Banca Examinadora:

Profa. Liliane Damaris Pollo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ma. Júlia Toffoli de Oliveira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Carine e Giovane, por nunca duvidarem do meu potencial, sempre me apoiarem e não medirem esforços para que eu chegasse até aqui, sou eternamente grata por investirem na minha carreira. Amo vocês.

Ao meu namorado Joel, por amenizar minhas angústias, me motivando e não me deixando desistir. Obrigada por estar do meu lado em todos os momentos, pelo apoio, carinho e risadas. Amo tu.

Aos professores Caroline e Edson, pela orientação, paciência e ajuda na elaboração deste trabalho.

A Água de Ivoti por fornecer a informação e ajuda para que o trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a análise da qualidade da água distribuída no município de Ivoti, sendo em sua totalidade proveniente de captação subterrânea, a partir da análise dos dados de coletas semestrais dos últimos quatro anos. Verificou-se que dois poços (denominados 24 e 27) apresentam concentração de bário acima do valor máximo permitido pela legislação, dessa forma foi proposta a precipitação química como uma forma de tratamento a fim de remediar esse problema. O consumo constante de águas com teores de bário acima do limite de 0,7 mg/L, estipulado pela Portaria Nacional GM/MS nº 888 de 2021, pode ocasionar problemas de saúde, tais como hipertensão e efeitos no sistema nervoso. Águas subterrâneas podem naturalmente apresentar bário em baixas concentrações na sua composição, devido a características geológicas, o que foi confirmado pela análise geográfica, que indicou que as rochas presentes na região podem liberar bário para o aquífero por intemperismo, o que explica a presença de bário na água captada. Uma análise do sistema de abastecimento mostrou que a desativação dos poços não é viável, devido à crescente demanda e, como a água distribuída, após mistura, apresenta teores de bário abaixo do limite permitido, ainda não é necessário. Para reduzir o teor de bário foi proposto o método de precipitação química, realizou-se o ensaio e observou-se uma redução de 17,52 % da concentração de bário presente na amostra do poço 24 e 20,58 % da concentração presente na amostra do poço 27, indicando que a precipitação química para redução da concentração de bário em água subterrânea até o limite normativo é uma alternativa viável de tratamento.

Palavras-chave: qualidade, bário, precipitação química

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the quality of water distributed in the municipality of Ivoti, which comes entirely from underground collection, based on the analysis of data from half-yearly collections of the last four years. It was found that two wells (named 24 and 27) present barium concentration above the maximum value allowed by law, thus chemical precipitation was proposed as a form of treatment in order to remedy this problem. Constant consumption of water with barium levels above the limit of 0.7 mg/L, stipulated by National Ordinance GM/MS No. 888 of 2021, can cause health problems, such as hypertension and effects on the nervous system. Groundwater can naturally contain barium in low concentrations in its composition, due to geological characteristics, which was confirmed by the geographic analysis, which indicated that the rocks present in the region can release barium into the aquifer due to weathering, which explains the presence of barium in the captured water. An analysis of the supply system showed that the deactivation of the wells is not feasible, due to the growing demand and, as the distributed water, after mixing, presents barium contents below the permitted limit, it is still not necessary. To reduce the barium content, the method of chemical precipitation was proposed, the test was carried out and a reduction of 17.52% of the barium concentration present in the sample from well 24 and 20.58% of the concentration present in the sample was observed. from well 27, indicating that chemical precipitation to reduce the barium concentration in groundwater up to the normative limit is a viable treatment alternative.

Keywords: *quality, barium, chemical precipitation*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma típico para tratamento de água superficial.....	3
Figura 2: Fluxograma típico para tratamento de água subterrânea	3
Figura 3: Perfil construtivo esquemático de um poço tubular	4
Figura 4: Localização dos poços	5
Figura 5: Localização dos reservatórios	6
Figura 6: Mapa geológico da região.....	6
Figura 7: Resultado das análises de coliformes totais no período em estudo	14
Figura 8: Resultado das análises de nitrato no período em estudo	15
Figura 9: Resultado das análises de sulfeto de hidrogênio no período em estudo.....	15
Figura 10: Resultado das análises de níquel no período em estudo	16
Figura 11: Resultado das análises de bário no período em estudo	16
Figura 12: Locais de coleta (poços 24 e 27)	17
Figura 13: Ensaio de precipitação química com jartest	18
Figura 14: Fluxograma para tratamento de remoção de bário de água subterrânea	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Eficiência do amaciamento com cal para remoção de contaminantes inorgânicos	11
Tabela 2: Relação produção/consumo por mês.....	19
Tabela 3: Remoção de bário por precipitação química.....	20
Tabela A.1: Análises semestrais de coliformes totais fora do padrão	25
Tabela A.2: Análises semestrais de nitrato fora do padrão	25
Tabela A.3: Análises semestrais de sulfeto de hidrogênio fora do padrão.....	26
Tabela A.4: Análises semestrais de níquel fora do padrão	26
Tabela A.5: Análises semestrais de bário fora do padrão	27

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	2
2.1	Fontes de água potável	2
2.2	Caracterização do município	4
2.2.1	Abastecimento de água	4
2.2.2	Geologia	6
2.2.2.1	Presença geológica de bário	7
2.3	Legislação	8
2.3.1	Portaria Nacional GM/MS Nº 888/2021	8
2.3.2	Portaria Estadual Nº 320/2014	9
2.4	Caracterização da água potável	9
2.5	Tratamentos	10
2.5.1	Precipitação química	10
2.5.2	Coagulação	11
2.5.3	Troca iônica	11
2.5.4	Filtração por membrana	12
2.5.5	Adsorção	13
3	Materiais e Métodos	14
3.1	Coleta e análise de dados da autarquia de Ivoti	14
3.1.1	Coliformes totais	14
3.1.2	Nitrato	15
3.1.3	Sulfeto de hidrogênio	15
3.1.4	Níquel	16
3.1.5	Bário	16
3.2	Coleta e armazenamento das amostras	17
3.3	Ensaio de precipitação química de bário	17
3.4	Quantificação de bário	18
4	Resultados	19
4.1	Análise do sistema de abastecimento	19
4.2	Análise da presença geológica de bário	19
4.3	Precipitação química	20
5	Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	22
	REFERÊNCIAS	23
	ANEXO A	25

1 Introdução

A água é fundamental para a manutenção da vida na Terra, sendo um recurso natural limitado, considerado um bem público dotado de valor econômico. A água subterrânea é o recurso de água doce mais abundante do planeta e fornece quase metade de toda a água potável em todo o mundo (GENARO, 2022).

No Brasil, a disponibilidade de água subterrânea é estimada em torno de 13 mil m³/s, com um total de 347.095 poços registrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). O monitoramento de águas subterrâneas é recente no Brasil, quando comparado ao das águas superficiais (ANA, 2023). No município de Ivoti todo o abastecimento de água é feito a partir da captação por poços tubulares. São 27 poços em operação, os quais estão distribuídos estrategicamente pelo município.

A fim de garantir a qualidade da água distribuída, as empresas devem atender aos critérios da Portaria Nacional GM/MS nº 888, de 2021, e da Portaria Estadual nº 320, de 2014, que regram a qualidade da água distribuída para consumo humano, seja por captação superficial ou subterrânea, variando a periodicidade em que alguns compostos devem ser analisados, mas os limites para ambos os casos são os mesmos.

Entre os 27 poços do município e todas as análises que são previstas nas portarias, o único parâmetro que aparece acima do limite estabelecido de 0,7 mg/L de forma recorrente é o bário, em 2 dos poços. O bário é encontrado em várias partes do corpo humano, mas não é essencial à saúde. A exposição crônica a compostos de bário pode causar problemas de saúde, incluindo hipertensão, hipotensão, efeitos no sistema nervoso, fraqueza muscular e afetar o coração (SANTOS, 2017).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar a qualidade da água dos poços do município de Ivoti e propor um tratamento adicional. Sendo assim, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- avaliar os dados de análises semestrais nos poços, verificando parâmetros que se encontram fora do padrão;
- para os parâmetros que não atendem a legislação: analisar a presença quanto a geologia local; propor alternativas para que o limite normativo seja atingido, a partir da análise do sistema de distribuição de água e tratamento de remoção.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Fontes de água potável

As fontes de água doce utilizadas para consumo humano ou atividades econômicas são chamadas de mananciais de abastecimento público e podem ser superficiais ou subterrâneas (BRASIL, 2020).

Para a escolha do manancial e do local de implantação devem ser avaliadas: as informações geográficas da área; levantamento sanitário da bacia hidrográfica a montante dos pontos de captação; características físicas; químicas e biológicas da água; transporte de sólidos; níveis máximo e mínimo de água nos locais de captação; e os prováveis períodos de recorrência. Além disso, o local de captação de água deve garantir a vazão necessária para o sistema, ter água de qualidade adequada para as tecnologias de tratamento disponíveis, apresentar acesso facilitado, características geológicas favoráveis, níveis de inundação e condições de arraste e deposição de sólidos adequados ao tipo e tamanho da captação (HELLER; PÁDUA, 2010a).

Mananciais superficiais são formados por rios, córregos, represas ou lagos, provenientes do escoamento da água da chuva e afloramentos de fontes subterrâneas. São mais suscetíveis à contaminação por materiais grosseiros, esgotos e substâncias químicas por conta da exposição, além de apresentar características que variam ao longo do ano, o que geralmente exige maior grau de tratamento (BRASIL, 2020).

Mananciais subterrâneos, como lençóis freáticos e artesianos, têm a qualidade da água definida pelas características do solo e das rochas com os quais entram em contato. O solo e as rochas retêm grande parte dos sólidos durante a infiltração, proporcionando uma purificação natural da água, além de dificultar sua contaminação, especialmente através de camadas impermeáveis de solo. A principal vantagem do uso de mananciais subterrâneos é a necessidade de um tratamento mínimo, frequentemente apenas com etapa de desinfecção. Contudo, devido às limitações de vazão disponível/autorizada, esse tipo de abastecimento é mais comum em comunidades menores ou em combinação com água superficial (BRASIL, 2020).

A estação de tratamento de água tem como principal objetivo adequar a qualidade da água bruta para atender aos padrões de potabilidade exigidos para consumo humano. A potabilização da água pode exigir processos especiais para remover contaminantes, incluindo substâncias químicas e metais pesados, requerendo operação especializada e investimentos significativos na seleção e proteção adequada dos mananciais. A água para consumo humano deve ser desinfetada e manter um mínimo de 0,2 mg/L de cloro residual livre em toda a extensão do sistema de distribuição, além de ser filtrada quando proveniente de mananciais superficiais (HELLER; PÁDUA, 2010b).

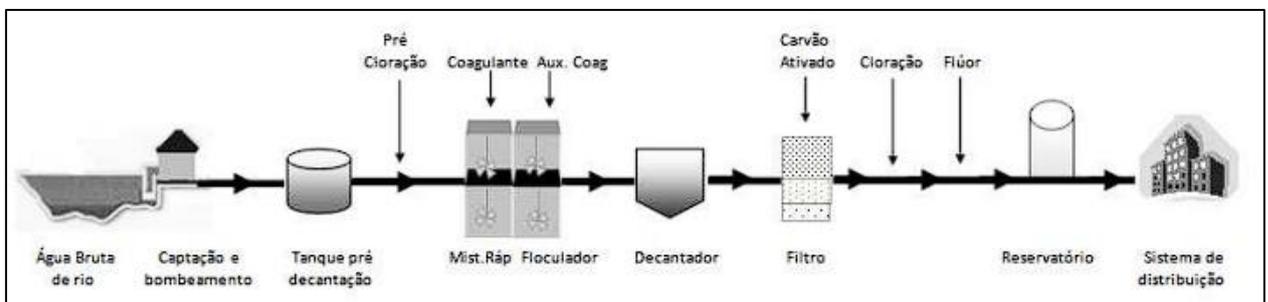
Um sistema de abastecimento de água é uma instalação sob a responsabilidade do poder público que produz e distribui água potável para a população, funcionando como uma atividade industrial transformando a matéria-prima (água bruta) através de processos

(tratamento), chegando no produto final (água potável), que será distribuído para os consumidores (população) (FLORENÇANO, 2011).

O tratamento da água para consumo humano tem como principais objetivos torná-la potável, removendo organismos patogênicos e substâncias químicas prejudiciais à saúde, além de melhorar suas características estéticas. Isso visa atender aos padrões de potabilidade, prevenir doenças e proteger o sistema de abastecimento contra corrosão e incrustação (BRASIL, 2006).

Conforme indicado na Figura 1, em uma estação de tratamento de água superficial os processos mais comuns são a coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação, chamado de tratamento convencional (FLORENÇANO, 2011).

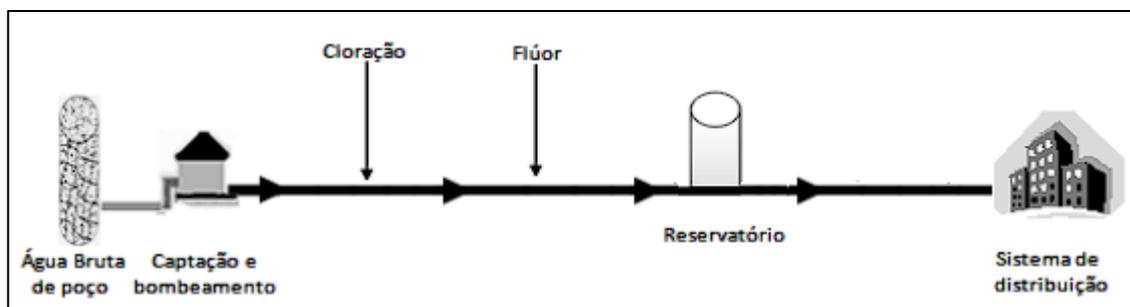
Figura 1: Fluxograma típico para tratamento de água superficial



Fonte: (FLORENÇANO, 2011)

Para águas subterrâneas, as etapas de clarificação geralmente não são necessárias devido às características da água bruta. Neste caso é feito o tratamento simplificado conforme a Figura 2 onde o agente desinfetante é adicionado na etapa de desinfecção para eliminar microrganismos patogênicos e manter a água segura durante a distribuição à população (BRASIL, 2020).

Figura 2: Fluxograma típico para tratamento de água subterrânea



Fonte: (FLORENÇANO, 2011)

2.2 Caracterização do município

2.2.1 Abastecimento de água

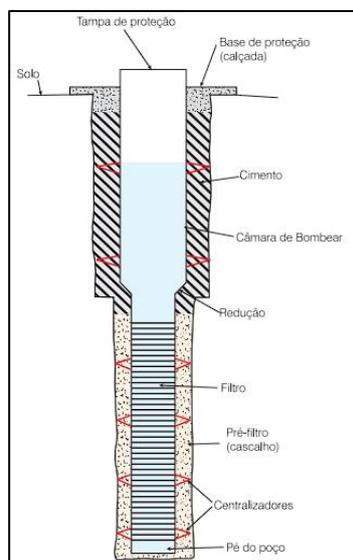
O município de Ivoti conta com uma extensão territorial de 63 mil km² e aproximadamente 23 mil habitantes. Os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário na cidade foram prestados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) de 1974 até 2012. A partir do apelo da comunidade para sanar as constantes faltas de água, o município passou a realizar a prestação dos serviços após o fim do contrato da CORSAN. Em fevereiro de 2013 foi criada pela Lei Municipal nº 2748 a autarquia Água de Ivoti, de administração direta, com personalidade jurídica de direito público, que dispõe de autonomia econômica, financeira e administrativa (“Água de Ivoti”, 2022).

A Água de Ivoti atende em torno de 22 mil pessoas no perímetro urbano do município, com 7.180 ligações de água e aproximadamente 8.900 economias abastecidas. A captação é feita por 27 poços tubulares profundos, entre 150 e 380 m da superfície, com capacidade de produção de 257.000 m³ por mês (“Água de Ivoti”, 2022).

Os poços tubulares profundos são utilizados por sistemas de distribuição de água para captação de água subterrânea proveniente dos aquíferos profundos e possuem revestimento constituído por tubos, responsáveis por sustentar as paredes do poço. Devem ser construídos de acordo com as especificações técnicas da ABNT, ditadas por duas normas que fixam as condições de projeto e construção destes (HELLER; PÁDUA, 2010a).

São dimensionados a partir de estudo da hidrogeologia da área, dados de demanda e por testes de bombeamento, que informam parâmetros hidrodinâmicos, análises granulométricas e de qualidade da água, a fim de alcançar a maior descarga possível e uma vida útil longa (FEITOSA et al., 2008). Para melhor rendimento hidráulico, a profundidade do poço deve ser tal que toda a formação aquífera seja atravessada, mas isso pode variar de acordo com a vazão requerida.

Figura 3: Perfil construtivo esquemático de um poço tubular

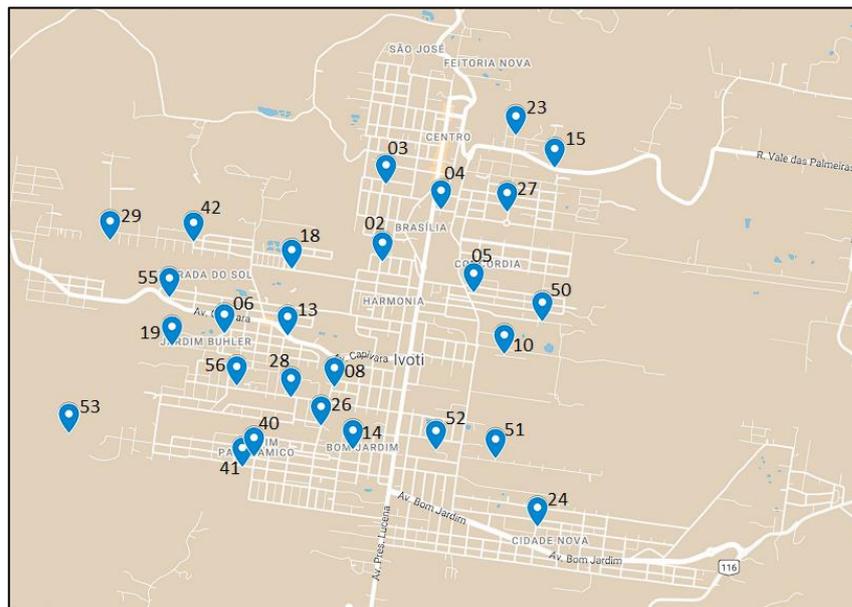


Fonte: (FEITOSA et al., 2008)

A Figura 3 apresenta o perfil construtivo de um poço tubular. A bomba fica localizada na chamada câmara de bombeamento, e é definida a partir da capacidade de produção e o nível dinâmico. Os filtros são encontrados na zona de admissão da água, sendo um revestimento especial que permite a passagem da água do aquífero para dentro do poço.

Os poços são distribuídos estrategicamente pelo município, demarcados na Figura 4. Os locais são definidos a partir de estudos hidrogeológicos, o que faz com que cada um tenha características próprias.

Figura 4: Localização dos poços



Fonte: A autora (2023)

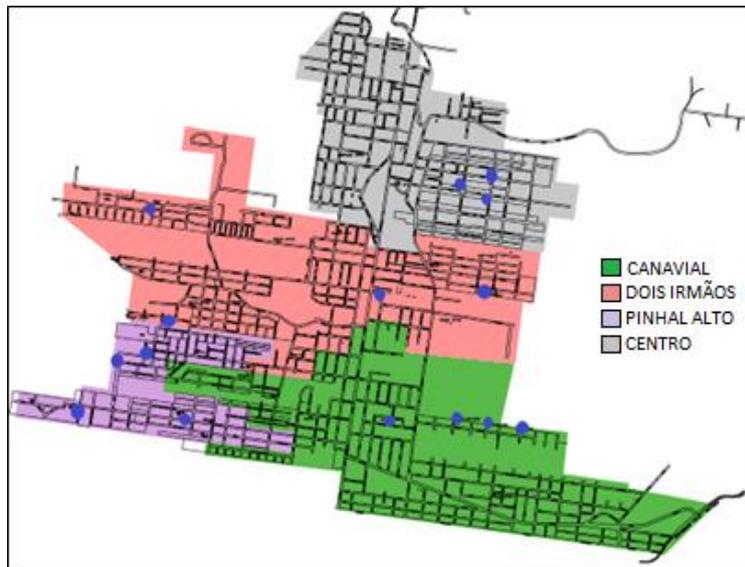
O único tratamento realizado nos poços é a desinfecção, feita por cloração direta no poço com uma bomba dosadora. A desinfecção tem como objetivo a eliminação de microrganismos patogênicos presentes na água, além de atuar preventivamente em caso de contaminação na rede de distribuição através do residual de desinfetante presente (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Em Ivoti o agente desinfetante utilizado é o hipoclorito de sódio, comprado com concentração de 12 % em bombonas de 60 kg. A solução a ser dosada é preparada na casa de tratamento do poço, em toneis de 200 L. É adicionado o hipoclorito de sódio comercial em quantidade proporcional à vazão de captação do poço e o tonel é completado com água. A solução é adicionada ao poço por uma dosadora automática, sendo o intervalo de dosagem estipulado pelos técnicos.

Diariamente é feito um roteiro de verificação dos poços, onde os técnicos realizam as leituras dos horímetros e hidrômetros e analisam o teor de cloro residual livre. Além disso, através da telemetria, é feito o controle da operação dos poços, horas de operação e descanso, controle de nível dos reservatórios.

O sistema de abastecimento possui uma reserva de 1.975 m³ de água armazenados em 30 reservatórios, e é subdividido em 4 sistemas: Canavial, Pinhal Alto, Dois Irmãos e Centro, indicados na Figura 5. Em pontos de maior concentração populacional há necessidade de mais reservatórios, pois a água não é distribuída diretamente dos poços para as residências.

Figura 5: Localização dos reservatórios

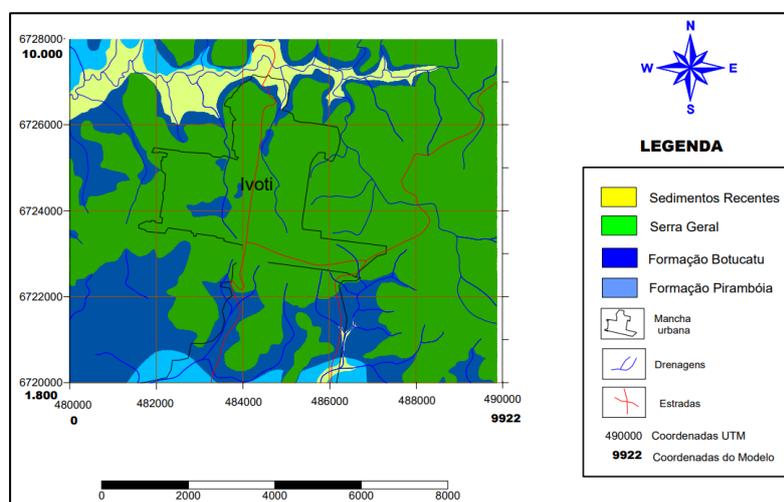


Fonte: A autora (2023)

2.2.2 Geologia

A água do município de Ivoti é captada do Sistema Aquífero Guarani. A cidade se encontra na área formada geologicamente pelas formações Serra Geral, Pirambóia e Botucatu, como é possível observar na Figura 6 (HEINE et al., 2005).

Figura 6: Mapa geológico da região



Fonte: (HEINE et al., 2005)

Nas porções rasas (livres) o teor de sólidos totais dissolvidos é baixo, em torno de 100 mg/L, o que torna a água do aquífero de melhor qualidade. Nas porções intermediárias o teor aumenta para 200 mg/L, e na porção confinada para 650 mg/L, o que interfere na interação fluído-rocha (HEINE, 2008).

A formação Botucatu é formada por arenitos quartzosos de granulometria fina a média, com coloração avermelhada, estratificação cruzada de grande porte, areias apresentando bimodalidade, pouco friáveis, com grãos bem arredondados, polidos e bem selecionados. A formação Pirambóia é formada por arenitos finos, argilosos, com elevado teor de feldspatos, granulometria fina e coloração avermelhada. As duas formações possuem porosidades entre 15 e 23 %, o que representa uma importante reserva regional de água potável (HEINE et al., 2005).

Os arenitos são rochas sedimentares com composição mista, formados pela mistura de grãos minerais e fragmentos provenientes da erosão de várias rochas. Teoricamente, poderiam conter uma ampla variedade de espécies mineralógicas, mas na prática, a composição dos arenitos é complexa e não se limita apenas à mistura de minerais das rochas de origem. O arenito é composto principalmente por quartzo e também pode conter porções menores de feldspato e mica, apresentando variações de cores de acordo com a formação e os materiais cimentantes (SUGUIO, 2003).

A Formação Serra Geral recobre a Botucatu, sendo formada por efusivas básicas e intercalações eventuais de arenitos eólicos de pequena espessura. O aquífero livre possui níveis de água subterrânea próximos a superfície e porosidades e permeabilidades elevadas, e são vulneráveis às contaminações superficiais (HEINE et al., 2005).

2.2.2.1 Presença geológica de bário

O bário é um elemento macio e prateado, um cátion divalente que pertence ao grupo dos metais alcalino-terrosos. É amplamente distribuído na crosta terrestre e pode estar presente em concentrações variadas, ocorrendo naturalmente pela combinação de sete isótopos estáveis (HEALTH CANADA, 2018).

O bário, na forma de íon Ba^{2+} , pode ser encontrado naturalmente em águas superficiais e subterrâneas, resultante do intemperismo de minerais ricos em bário, como barita e feldspatos, ou devido a atividades humanas. As concentrações baixas estão relacionadas com a geologia, uma vez que a oxidação de sulfetos e a lixiviação de carbonatos de bário durante a alteração das rochas podem levar à formação de barita em águas subterrâneas ricas em ânion sulfato ou com bário solúvel (SANTOS, 2017).

A barita ($BaSO_4$) e a witherita ($BaCO_3$) são os principais minerais de bário encontrados na natureza. A barita ocorre em veios e cavidades, principalmente em carbonatitos que, assim como as rochas alcalinas, apresentam minerais ricos em bário. Além disso, o bário também é encontrado como elemento traço em minerais silicáticos, como feldspatos, micas, piroxênios e hornblenda, e em minerais não silicatados, como calcita, apatita e baritocalcita. Fatores como pH, capacidade de troca catiônica e a presença de sulfato, carbonato, argilominerais e óxidos de metais influenciam a distribuição do bário e seus compostos no ambiente (TAVARES, 2013).

A solubilidade dos compostos contendo bário em água não é afetada diretamente por mudanças no estado de oxidação. No entanto, o potencial redox pode influenciar as espécies de enxofre, levando a alterações na concentração de sulfato e, conseqüentemente, afetando a solubilidade do bário. O bário está presente naturalmente em várias rochas e sua concentração pode ser aumentada por atividades industriais. No solo, o bário é precipitado por sulfatos e carbonatos e adsorvido em minerais e matéria orgânica, resultando em baixa mobilidade. No entanto, em condições ácidas, anaeróbicas e com baixo teor de sulfato, o bário pode ter sua mobilidade aumentada, o que auxilia na migração para as águas subterrâneas (HEALTH CANADA, 2018).

O bário ocorre naturalmente em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares e sua presença em águas superficiais e subterrâneas é influenciada pela lixiviação e erosão de rochas sedimentares. A concentração de bário na água é determinada pela presença de íons dissolvidos, como sulfato e carbonato, e pela adsorção em partículas suspensas, argila e óxidos metálicos. A solubilidade do bário em água é afetada pelo pH, sendo o sulfato e o carbonato mais sensíveis ao pH do que o cloreto de bário. Os sais de bário têm solubilidade inversamente proporcional ao pH, exceto o sulfato (HEALTH CANADA, 2018).

O bário é encontrado no corpo humano na mucosa intestinal, medula óssea, pulmão, baço, tecido ósseo, dentre outros, mas não é um elemento essencial ao ser humano. A exposição crônica a compostos de bário pode causar problemas de saúde, como hipertensão, hipotensão, efeitos no sistema nervoso, fraqueza muscular e afetar o coração (SANTOS, 2017).

2.3 Legislação

A qualidade da água potável distribuída é controlada pelo Ministério da Saúde através do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), um instrumento do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua), que auxilia no gerenciamento dos dados, geração de informações, tomada de decisão e execução de ações relacionadas à água para consumo humano (SISAGUA, 2023).

Para que a água seja adequada, os critérios estabelecidos pela Portaria Nacional GM/MS Nº 888 /2021 e pela Portaria Estadual nº 320 /2014 devem ser atendidos. Cabe ao responsável pelo sistema de abastecimento de água registrar os dados de controle mensal, semestral e de parâmetros adicionais no Sisagua dentro dos prazos estabelecidos pelas portarias.

2.3.1 Portaria Nacional GM/MS Nº 888/2021

A Portaria Nacional dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e os padrões de potabilidade. Esta define que água potável é toda água que atende ao padrão de potabilidade estabelecido e que não oferece riscos à saúde, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre em toda a extensão do sistema de distribuição e nos pontos de consumo. (BRASIL, 2021)

O padrão de potabilidade é um conjunto de valores permitidos para os parâmetros da qualidade da água para consumo humano. São definidos valores de padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde (substâncias inorgânicas, substâncias orgânicas, agrotóxicos e metabólitos e subprodutos da desinfecção) e para padrão organoléptico.

Além dos limites permitidos, a portaria também estabelece a periodicidade das análises, coletas e quantidade de amostras, que variam de acordo com o tipo de manancial e população abastecida. Para manancial subterrâneo, são sete análises que devem ser feitas semanalmente nos poços de captação e 93 análises semestrais. Para o controle da água distribuída são feitas análises mensais, coletando-se uma amostra a cada mil habitantes.

2.3.2 Portaria Estadual Nº 320/2014

A Portaria Estadual dispõe sobre os parâmetros de agrotóxicos, adicionais ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria Nacional, para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no estado do Rio Grande do Sul. São 46 análises que devem ser realizadas semestralmente nos pontos de captação de água, sendo oito destes solicitados pelas duas portarias (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

2.4 Caracterização da água potável

A caracterização da água envolve a identificação e quantificação de impurezas físicas, químicas, biológicas e radiológicas presentes nela, sendo essencial para selecionar o método de tratamento adequado, avaliar sua eficácia e garantir a segurança do abastecimento. A caracterização da água tem como objetivos monitorar a qualidade, planejar o uso dos recursos hídricos, compreender a variação sazonal, verificar a conformidade com os padrões, avaliar a eficiência do tratamento e obter informações para pesquisas científicas. Os padrões de caracterização no Brasil são definidos por parâmetros de potabilidade da água destinada ao consumo humano, abrangendo critérios físicos, químicos e biológicos. Essas diretrizes visam evitar a rejeição ao consumo e a busca por fontes alternativas menos seguras em termos de saúde pública (HELLER; PÁDUA, 2010b).

As principais propriedades físicas da água, utilizadas para avaliar sua qualidade, incluem: temperatura, gosto e odor, cor, turbidez, sólidos e condutividade elétrica. Estes fatores abrangem principalmente elementos relacionados à aparência, desempenhando um papel significativo na percepção do consumidor. No entanto, é importante considerar que os resultados da análise física não devem ser avaliados isoladamente, mas sim em conjunto com os demais parâmetros (BRASIL, 2006).

A avaliação das características microbiológicas da água envolve a utilização de indicadores biológicos para detectar possíveis contaminações. A presença de material de origem fecal sugere proporcionalmente a existência de outras bactérias patogênicas. As bactérias do grupo coliforme são os indicadores biológicos mais comumente empregados para esse propósito,

com detecção realizada por métodos estabelecidos e os resultados são apresentados como presença ou ausência de coliformes por 100 mL de amostra (MIRANDA; MONTEGGIA, 2007).

As características químicas da água são determinadas pela presença de substâncias dissolvidas, podendo ser de origem natural ou antropogênica. Análises laboratoriais são realizadas para avaliar essas características seguindo métodos padronizados, geralmente com resultados expressos em concentrações de mg/L. Os parâmetros considerados são: pH, alcalinidade, acidez, dureza, salinidade, metais e radioatividade. Ao estabelecer padrões de segurança para substâncias químicas, consideram-se os efeitos crônicos resultantes da exposição prolongada, determinando limites seguros com base em evidências toxicológicas e epidemiológicas para garantir a saúde da população (BRASIL, 2006).

Os metais pesados são uma classe importante de contaminantes químicos em corpos d'água, encontrados na forma iônica na água ou associados ao solo e sedimentos. Exemplos de metais pesados incluem: antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, selênio e urânio. Embora alguns possam ocorrer em organismos vivos em pequenas quantidades, altas concentrações desses metais podem ser tóxicas. Além disso, os metais pesados podem danificar as estações de tratamento de água devido à formação de precipitados indesejáveis (GRAÇA et al., 2022).

Os metais pesados são liberados no meio ambiente através de atividades industriais, como galvanoplastia, mineração e produção de fertilizantes, baterias, papel e pesticidas, especialmente em países em desenvolvimento. Devido a regulamentações cada vez mais rigorosas, eles são considerados poluentes prioritários e sua remoção das águas residuais é fundamental para proteger tanto as pessoas quanto o meio ambiente (FU; WANG, 2011).

2.5 Tratamentos

Os tratamentos convencionais para remoção de metais pesados solúveis em água, incluem: precipitação, coagulação, adsorção, troca iônica e filtração por membrana (FU; WANG, 2011).

2.5.1 Precipitação química

A precipitação química é um processo amplamente utilizado para a remoção de metais da água devido à sua eficácia, simplicidade e custo-benefício. Ele consiste na adição de uma base, em pH ajustado, que reage com o íon do metal e forma um precipitado insolúvel, que pode ser separado da água por sedimentação ou filtração (FU; WANG, 2011).

Cada metal possui um pH específico que favorece a formação do precipitado desejado, mas na faixa de 9 a 10 a eficiência é maior, mesmo por sedimentação. Uma vez que a concentração dos metais na água costuma ser relativamente baixa, muitas vezes a filtração é escolhida no lugar da sedimentação (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Devido à baixa ocorrência de contaminação por metais pesados em água potável, tem poucos estudos dedicados à remoção de um metal específico por meio de tratamentos de

precipitação. O abrandamento com cal é o tipo mais comum de precipitação química, e além de remover os metais, também diminui a dureza da água. Após o pH ser ajustado de acordo com o metal a ser removido, cal é adicionada em excesso. A Tabela 1 resume a eficiência do método para cada contaminante presente na água (LETTERMAN, 1999).

Tabela 1: Eficiência do amaciamento com cal para remoção de contaminantes inorgânicos

Contaminante	pH ótimo	% remoção
Arsênio	11	> 90
Bário	10 - 11	> 80
Cádmio	> 8,5	> 95
Cromo	> 10,5	> 95
Chumbo	7 – 8,5	> 95
Prata	7 – 9	70 - 90

Fonte: Adaptado de (LETTERMAN, 1999)

2.5.2 Coagulação

A coagulação é o processo químico que desestabiliza as partículas suspensas na água, por meio da adição de um coagulante como sais de alumínio e de ferro. Tem como objetivo minimizar as forças de repulsão entre as partículas, promovendo sua aglomeração e formação de flocos na etapa seguinte, chamada de floculação (BRASIL, 2006).

O processo envolve a injeção e rápida dispersão do coagulante. A reação depende do pH e ocorre entre o coagulante e a água, formando espécies hidrolisadas com carga positiva. As partículas suspensas e coloidais presentes na água possuem carga predominantemente negativa, e os coagulantes formam espécies com carga positiva em solução aquosa, que, ao entrarem em contato com as impurezas, desestabilizam-nas e permitem a aproximação e aglomeração das partículas, facilitando sua remoção durante as etapas de tratamento (SANJUAN, 2017).

Após a coagulação, é necessário realizar uma etapa de mistura lenta dentro do floculador, chamada de floculação, que tem o objetivo de facilitar o contato entre as partículas desestabilizadas. Nessa etapa, as partículas desestabilizadas colidem entre si para formar coágulos maiores, conhecidos como flocos, que podem ser removidos através de sedimentação ou filtração (MIRANDA; MONTEGGIA, 2007).

2.5.3 Troca iônica

É um processo no qual ocorre a substituição de íons presentes em uma solução por íons que estão ligados a um material sólido poroso e insolúvel, uma resina. Esse processo tem diversas aplicações, incluindo deionização da água, purificação de soluções e separação de íons (GRAÇA et al., 2022).

A troca iônica pode ser utilizada para remoção de cátions contaminantes de metais da água através do uso de resinas. As resinas podem ser sintéticas ou naturais e possuem a

capacidade de trocar seus cátions pelos metais presentes no efluente. As resinas sintéticas são geralmente preferidas devido à sua eficácia na remoção quase completa dos metais pesados da solução (FU; WANG, 2011).

As resinas podem ser aniônicas ou catiônicas, dependendo da carga elétrica com que são produzidas. A escolha do tipo a ser utilizado depende do íon (cátion ou ânion) que se deseja remover da água a ser tratada. Após a saturação, a resina é regenerada com uma solução apropriada para manter seu funcionamento (BRASIL, 2006).

2.5.4 *Filtração por membrana*

Segundo Fu (2011), as tecnologias de filtração por membrana com diferentes tipos de membranas apresentam grande potencial para a remoção de metais pesados devido à alta eficiência, facilidade de operação e economia de espaço. Os processos de membrana utilizados para remover metais das águas residuais incluem ultrafiltração, osmose reversa, nanofiltração e eletrodialise.

Os tratamentos usam membranas semipermeáveis projetadas para remover contaminantes dissolvidos em soluções, como água, que possuem dimensões muito pequenas. Os contaminantes são retidos na membrana enquanto o líquido é atravessado sob pressão hidrostática (BRASIL, 2006).

A ultrafiltração (UF) é uma técnica de membrana que remove material dissolvido e coloidal operando com baixas pressões transmembrana. Devido aos tamanhos de poro das membranas de UF serem maiores do que os íons metálicos dissolvidos ou complexos de baixo peso molecular, esses íons passam facilmente pelas membranas de ultrafiltração. A osmose reversa utiliza uma membrana semipermeável para purificar fluidos, rejeitando contaminantes. Embora capaz de remover várias espécies dissolvidas, a principal desvantagem é o alto consumo de energia devido à pressão de bombeamento e à manutenção das membranas. A nanofiltração (NF) é um processo intermediário entre a ultrafiltração e a osmose reversa, promissora para remover íons de metais pesados como níquel, cromo, cobre e arsênio de águas residuais. O processo de NF apresenta vantagens como facilidade de operação, confiabilidade, baixo consumo de energia e alta eficiência na remoção de poluentes. A Eletrodialise é um processo de membrana que usa um campo elétrico como força motriz para a separação de íons entre soluções através de membranas carregadas. Esse método é amplamente utilizado na produção de água potável, tratamento de efluentes industriais e recuperação de materiais úteis, além de mostrar potencial promissor no tratamento de águas residuais com metais pesados (FU; WANG, 2011).

As membranas usadas no tratamento de água utilizam a pressão como força motriz para separação. Dentre os diversos tipos, a microfiltração e a ultrafiltração removem partículas e microrganismos eficientemente a baixas pressões, a osmose reversa dessaliniza e remove compostos orgânicos e inorgânicos, e a nanofiltração remove íons cálcio e magnésio (MIRANDA; MONTEGGIA, 2007).

A filtração por membranas oferece vantagens como produção reduzida de lama, menor ocupação de espaço, potencial de automação e redução de unidades de clarificação. No

entanto, sua principal desvantagem é a possibilidade de obstrução irreversível dos poros devido a sólidos em suspensão, exigindo a remoção prévia desses sólidos por outros métodos (MIRANDA; MONTEGGIA, 2007).

2.5.5 *Adsorção*

A adsorção é um processo em que compostos dissolvidos na água, especialmente substâncias orgânicas se transferem para a superfície de um material adsorvente, como o carvão ativado. O carvão ativado é amplamente utilizado para remover substâncias orgânicas que podem causar problemas de sabor, odor, cor ou toxicidade na água, devido à sua alta relação área/volume e distribuição de tamanhos de poros intergranulares (BRASIL, 2006).

A adsorção é um método eficaz e econômico para tratar águas residuais contaminadas por metais pesados. Esse processo oferece flexibilidade no design e operação, e produz frequentemente efluentes tratados de alta qualidade. Além disso, a adsorção é reversível em alguns casos, permitindo a regeneração dos adsorventes através de processos de dessorção adequados (FU; WANG, 2011).

3 Materiais e Métodos

No presente trabalho analisou-se os dados de análises semestrais do sistema de abastecimento de água do município de Ivoti. A partir da análise, verificou-se que o bário é um parâmetro que se encontra fora do limite permitido, então foi feito um estudo sobre a presença deste nos poços do município e da geologia local, além de um tratamento para a redução da concentração pelo método da precipitação química. O tratamento foi feito no LACOURO (Laboratório de Estudos em Couro e Meio Ambiente) do Departamento de Engenharia Química da UFRGS e a quantificação foi feita pelo laboratório terceirizado que realiza as análises para a Água de Ivoti.

3.1 Coleta e análise de dados da autarquia de Ivoti

Os dados para estudo foram obtidos no setor de tratamento e qualidade da água da Água de Ivoti. Foram coletados os dados de análises semestrais de junho de 2019 a junho de 2023, que somam um total de 146 análises realizadas em cada poço em cada coleta.

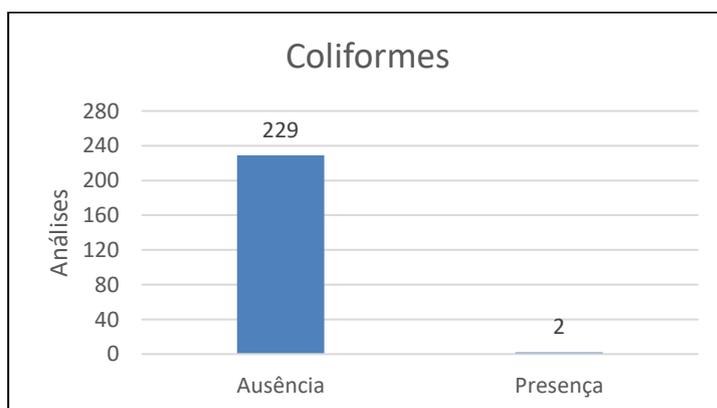
Os dados foram analisados frente as normativas nacional e estadual a fim de verificar a conformidade dos mesmos. Entre as 146 análises realizadas, apenas 5 apresentaram algum resultado fora dos critérios estabelecidos pelas portarias Nacional e Estadual, e somente uma destas apresentou resultados acima do limite recorrentes, em dois poços.

As análises que apresentaram algum resultado acima do limite permitido são analisadas a seguir, e os dados se encontram tabelados, no Anexo A deste documento.

3.1.1 Coliformes totais

Entre os 231 resultados obtidos para coliformes totais, houve apenas duas indicações de presença no período em estudo, o que representa 0,87 % do total. Os resultados fora do padrão ocorreram para o poço 14 em junho 2019, e para o poço 02 em dezembro 2022, não demonstrando ser um padrão característico dos poços.

Figura 7: Resultado das análises de coliformes totais no período em estudo

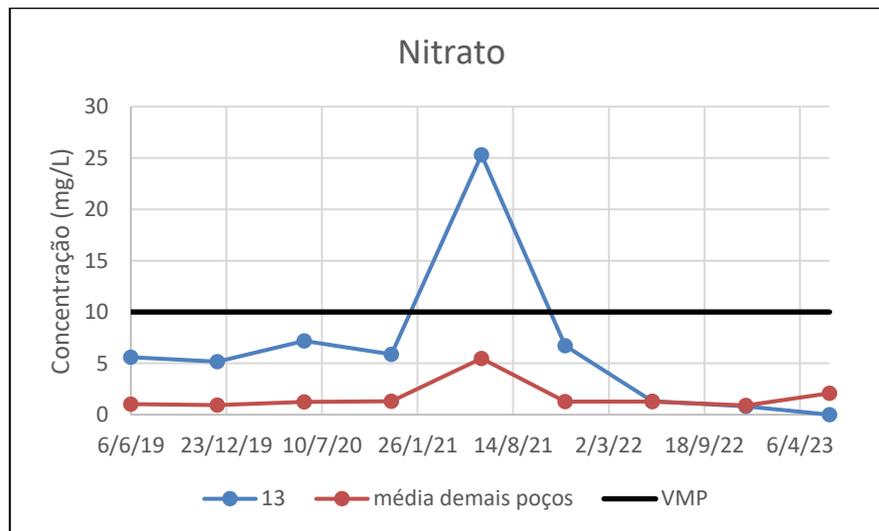


Fonte: A autora (2023)

3.1.2 Nitrato

A análise de nitrato apresentou um resultado acima do limite permitido de 10 mg/L, no poço 13 em junho de 2021. Esse foi o único resultado não-conforme dentro do período de quatro anos, correspondendo a apenas 0,4 % do total de análises realizadas.

Figura 8: Resultado das análises de nitrato no período em estudo

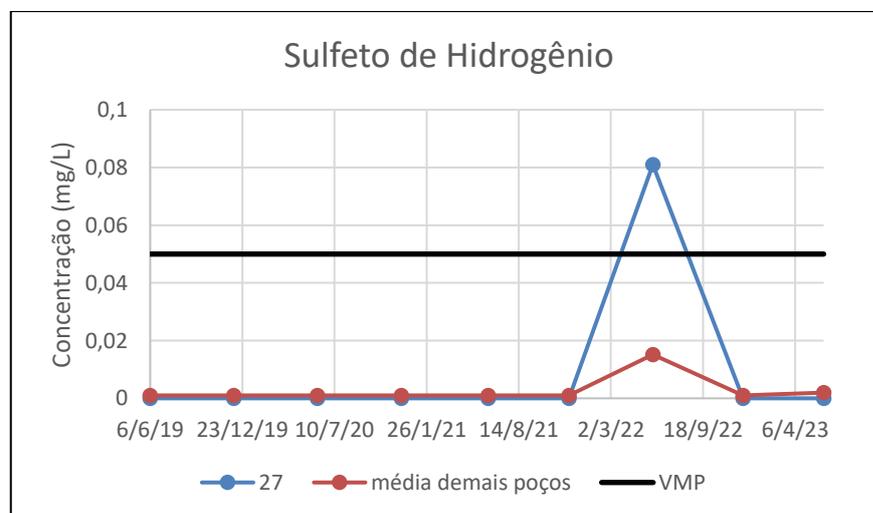


Fonte: A autora (2023)

3.1.3 Sulfeto de hidrogênio

O ensaio de determinação de sulfeto de hidrogênio também apresentou um resultado acima do limite permitido de 0,05 mg/L, no poço 27 em junho de 2022. Como pode ser observado na Figura 9, trata-se de um resultado pontual, que não caracteriza o poço.

Figura 9: Resultado das análises de sulfeto de hidrogênio no período em estudo

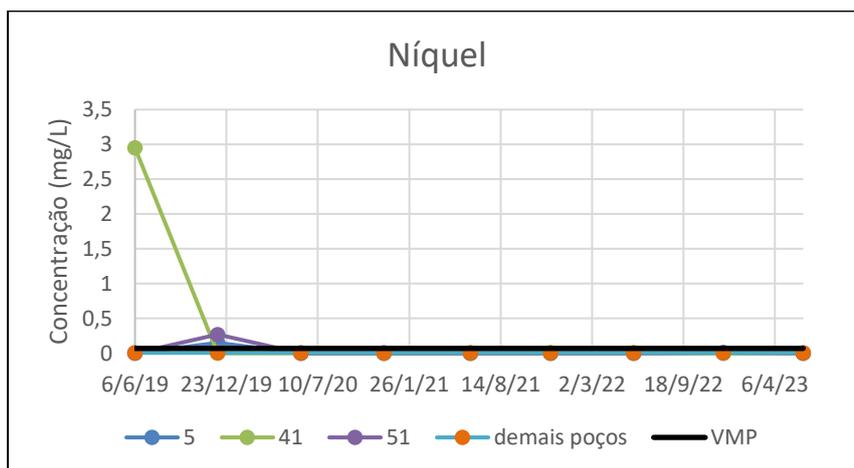


Fonte: A autora (2023)

3.1.4 Níquel

Foram encontrados três resultados acima do aceitável para a concentração de níquel: poço 41 em junho de 2019; e poços 05 e 51 em dezembro de 2019. A partir das coletas de julho de 2020 não foram mais obtidos resultados fora do padrão para a concentração de níquel.

Figura 10: Resultado das análises de níquel no período em estudo

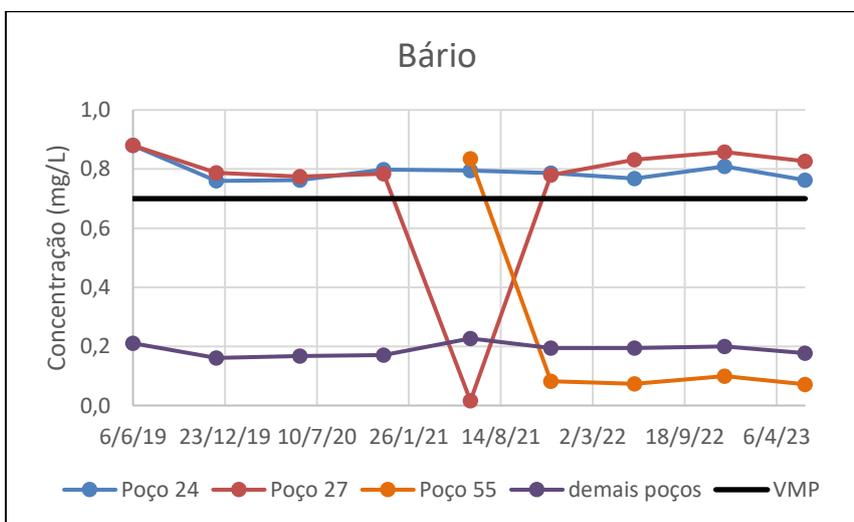


Fonte: A autora (2023)

3.1.5 Bário

A análise de bário apresentou 16 resultados não-conformes desde junho de 2019. O poço 55 teve um resultado pontual elevado em junho de 2021 e, como pode ser visto na Figura 11, os poços 24 e 27 apresentam resultados recorrentes acima do limite permitido pela portaria Nacional. O poço 24 apresentou todos os resultados acima do limite, enquanto o poço 27 apresentou 8 dos 9 resultados acima.

Figura 11: Resultado das análises de bário no período em estudo



Fonte: A autora (2023)

Os resultados para coliformes totais, nitrato, sulfeto de hidrogênio e níquel não se mostram uma característica dos poços, já que foram pontuais, podendo ter ocorrido devido erro de coleta ou sobrecarga no sistema. Já a presença de bário durante os 4 anos de estudo se mostra uma característica dos poços 24 e 27, e o trabalho focou no estudo desse metal, buscando analisar sua presença e propor soluções para resolver o problema.

3.2 Coleta e armazenamento das amostras

As amostras foram coletadas em bombonas de polipropileno de 5 litros e acidificadas com ácido nítrico 50 % para preservação. A coleta foi realizada em junho de 2023 nos poços 24 e 27, indicados na Figura 12.

Figura 12: Locais de coleta (poços 24 e 27)



Fonte: A autora (2023)

3.3 Ensaio de precipitação química de bário

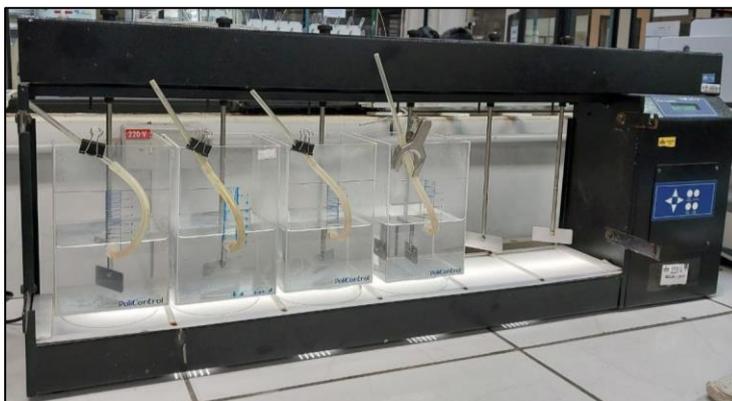
Entre os métodos para remoção de metais pesados em água, a precipitação química é o mais utilizado para o bário, podendo atingir uma remoção de mais de 80 %, que depende do pH. Para o bário, a remoção máxima ocorre em uma faixa de pH de 10 a 11, por isso optou-se em ajustar o pH em 10,5 para os ensaios.

Os ensaios foram realizados utilizando o equipamento de teste de jarros (jartest), que é formado por 6 recipientes com capacidade de 2 L cada e 6 agitadores mecânicos que operam em paralelo. É possível programar gradientes de velocidade para simular a coagulação, floculação e decantação.

O equipamento utilizado foi o FlocControl, que se encontra no LACOURO, no Departamento de Engenharia Química da UFRGS. O ensaio foi feito em duplicata para cada

poço, utilizando-se 4 jarros, mas escolheu-se 1 jarro de cada poço para realizar a coleta e fazer a quantificação. Foi utilizado 1 L de amostra em cada jarro, com pH ajustado em 10,5 por adição de solução básica de NaOH 1M.

Figura 13: Ensaio de precipitação química com jarrest



Fonte: A autora (2023)

A precipitação foi feita adicionando cal em excesso nos jarros (1 mg), com mistura rápida de 300 rpm por 1 minuto. A etapa de floculação ocorreu com 25 rpm por 30 minutos, sem adição de floculante, e a decantação por 2 horas. No fim, com auxílio de pipetador, foram coletados 100 mL de amostra de dois jarros, acondicionado nos frascos disponibilizados pelo laboratório e enviadas para análise de quantificação.

3.4 Quantificação de bário

A quantificação do bário após os procedimentos de remoção foi feita pelo laboratório terceirizado que realiza as análises para Água de Ivoti utilizando os métodos descritos no Standart Methods. A amostra deve ser preservada em pH 2, alcançado com adição de ácido nítrico (HNO₃) 50 %.

A determinação é feita por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS), que determina os metais presentes na amostra através de um espectrômetro de massa de plasma acoplado indutivamente e gás argônio de alto grau de pureza.

A amostra é nebulizada e o aerossol resultante é transportado por gás argônio para a tocha de plasma acoplado indutivamente por radiofrequência. Os íons produzidos por altas temperaturas são arrastados e introduzidos, por meio de uma interface, em um espectrômetro de massas, onde são medidos.

4 Resultados

4.1 Análise do sistema de abastecimento

A partir da análise dos dados semestrais verificou-se que a presença de bário acima do limite normativo está focada em dois poços. Uma primeira proposta de solução para o problema seria a desativação dos dois poços em questão, já que os demais atendem ao limite permitido.

Dessa maneira, foi realizado um estudo do sistema de abastecimento, que se limitou aos dois sistemas em que se encontram os poços 24 e 27, denominados sistema “Canavial” e “Centro”, respectivamente. Foram coletados dados de produção, reserva, perdas e consumo para cada sistema, que podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2: Relação produção/consumo por mês

Sistema	Produção (m ³)	Perdas (m ³)	Consumo (m ³)	Diferença (m ³)	Reserva (m ³)
Canavial	41.007	16.403	24.546	58,2	705
Centro	40.804	16.322	24.804	-321,6	430

Fonte: A autora (2023)

A autarquia possui uma média de 40 % de perdas decorrentes de vazamentos. A partir da tabela é possível observar que a produção não é suficiente para se equiparar ao volume consumido e perdido no sistema Centro, resultando em uma falta de 321,6 m³ por mês. Já para o sistema Canavial, sobraria apenas 58,2 m³ por mês, o que não garante o abastecimento em caso de possíveis problemas.

Além disso, apesar de esses dois poços apresentarem bário acima do permitido, a água que chega à população está dentro dos padrões. Em análises realizadas nos pontos de consumo, as concentrações de bário aparecem abaixo do limite, com um máximo de 0,635 mg/L, valor 9,3 % abaixo do permitido. Isso acontece porque ocorre a diluição da concentração de bário quando as águas dos poços se misturam nos reservatórios e rede de distribuição.

O poço 27 produz o correspondente a 7,5 % da produção total, enquanto o 24 produz 2,9 %. Além disso, devido a demanda cada vez maior, a autarquia possui três poços em processo de instalação para aumentar a disponibilidade de água e garantir o abastecimento. Assim, a retirada dos poços em estudo de operação vai afetar negativamente a distribuição de água, já que são essenciais para o abastecimento e a água que efetivamente chega aos consumidores está dentro dos padrões.

4.2 Análise da presença geológica de bário

Conforme citado anteriormente, o município de Ivoti apresenta em sua constituição geológica arenitos finos, com elevado teor de feldspatos, granulometria fina e cor

avermelhada e areias. Assim, pode-se observar que a presença de bário na água captada é proveniente da geologia local, que apresenta arenitos compostos por feldspatos, que por intemperismo liberam bário para a água.

4.3 Precipitação química

Uma vez que a retirada dos poços de operação não é viável, foi feita uma proposta de tratamento para que o limite normativo seja atendido, através de ensaio de precipitação química.

Os resultados de quantificação de bário podem ser vistos na Tabela 3. No dia 07 de junho foi feita uma coleta de amostra em branco e dia 30 de junho foi feita a coleta após o teste. A precipitação utilizando cal em excesso removeu 17,82 % do bário presente no poço 24 e 20,58 % do bário presente no poço 27.

Tabela 3: Remoção de bário por precipitação química

Amostra	POÇO 24	POÇO 27	Unidade
Branco	0,763	0,826	mg/L
Precipitação química	0,627	0,656	mg/L
Redução (%)	17,82	20,58	

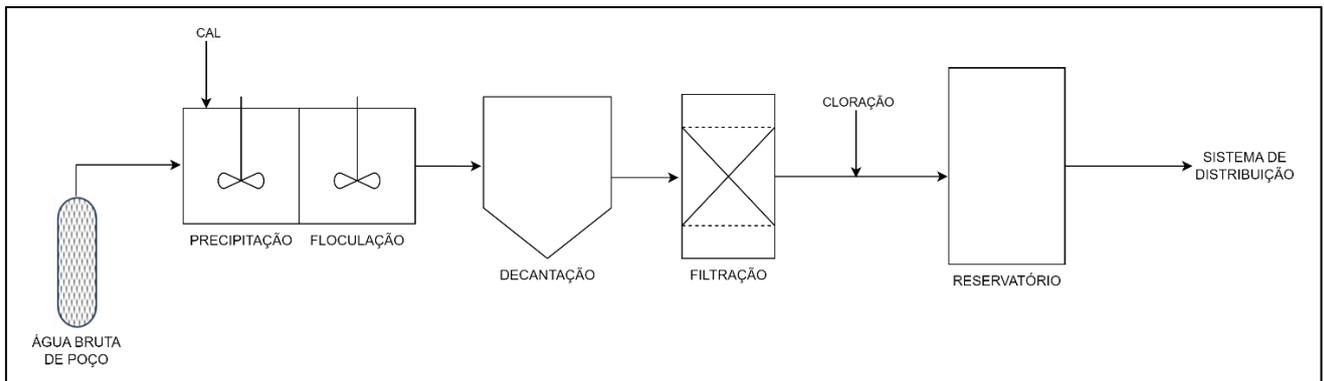
Fonte: A autora (2023)

Pode-se observar que a redução da concentração de bário encontrada no ensaio realizado foi menor do que a sugerida pela literatura, que indica uma redução de mais de 80 %. Isso pode ocorrer devido à baixa concentração inicial de bário na água, que faz com que a precipitação seja menor. Além disso, como a concentração já está próxima ao limite normativo, a redução de 20 % foi suficiente para atingir o objetivo.

Como este tratamento é utilizado para a remoção de metais em geral, pode ocorrer a precipitação de sais de outros metais, como arsênio, cádmio, chumbo, cromo, ferro, manganês, mercúrio, prata, selênio e zinco. Isso não afetaria a qualidade da água, uma vez que os precipitados desses metais também são removidos no processo de decantação e filtração, e não acarretariam em aumento de concentração. Porém, por também consumirem a cal, podem acabar reduzindo a precipitação do bário.

Assim, a precipitação química se mostrou um tratamento eficiente, diminuindo a concentração de bário dos dois poços em estudo para valores abaixo do limite normativo de 0,7 mg/L. Com o tratamento adicional, o fluxograma do processo nos poços 24 e 27 seguiria o fluxograma indicado na Figura 14.

Figura 14: Fluxograma para tratamento de remoção de bário de água subterrânea



Fonte: A autora (2023)

Como atualmente é feita apenas a etapa de desinfecção por cloração, seria necessário comprar os demais equipamentos e reagentes para implementar o tratamento de remoção de bário, sendo eles: um tanque para realizar a precipitação e floculação, um decantador, um filtro e cal. Além disso, é preciso ajustar o tratamento existente para o novo modelo, visto que a etapa de cloração não será mais feita diretamente no poço, mas sim após os demais tratamentos.

Para analisar a viabilidade do uso do tratamento adicional deve ser feita uma análise do espaço físico disponível nos poços e o ajuste das tubulações, além de viabilidade econômica para analisar os gastos de implantação e de operação para o novo processo. Como a autarquia possui pessoal qualificado, o custo principal seria na compra dos equipamentos.

Uma vez que a concentração de bário nos poços, apesar de se encontrar acima do limite, é considerada baixa, a quantidade de cal necessária para a precipitação também será, sendo gastos em torno de 16 kg por mês. Assim, após implantado o sistema não terá custos significativos e os custos principais seriam com manutenção do sistema de tratamento.

5 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Com os resultados obtidos no presente trabalho, nota-se que entre os 27 poços do município, apenas 2 apresentaram parâmetro acima do limite permitido de forma recorrente nos quatro anos em estudo, o bário. Os demais poços apresentaram todos os parâmetros dentro das especificações, salvo casos pontuais. Dessa forma, pode-se concluir que a água distribuída atende aos padrões estabelecidos de potabilidade.

Pela análise geológica pode-se concluir que o bário ocorre naturalmente na região. Isso se deve às formações geológicas, que apresentam arenitos finos, com elevado teor de feldspatos, granulometria fina e cor avermelhada e areias, que liberam o bário para as águas subterrâneas.

Com respeito a análise do sistema de abastecimento, a desativação dos dois poços em estudo não se mostrou uma boa alternativa, já que estes contribuem significativamente para a produção e a retirada afetaria negativamente o abastecimento. Além disso, as águas dos poços diluem a concentração ao se misturarem nos reservatórios e rede de distribuição, o que faz com que a água distribuída apresente bário abaixo do limite, não representando risco à população.

Já a precipitação química se mostrou uma alternativa para o tratamento de águas subterrâneas que apresentam bário em sua composição, visto que foi capaz de remover o composto da matriz. No caso do município de Ivoti, foi capaz de reduzir em aproximadamente 20 % da quantidade presente e levar os poços a ficarem dentro dos limites normativos.

Para complementar o estudo, alguns trabalhos futuros podem ser realizados:

- dimensionamento do tratamento adicional nos poços: realizar os cálculos de tamanho e operação dos equipamentos. Um foco especial pode ser dado para o decantador, já que o tempo de decantação utilizado no ensaio foi longo, seria necessário um decantador contínuo muito grande. Podem ser feitos testes de vazão e de tempo para otimizar essa etapa;

- análise da influência dos outros íons presentes, que podem ter reduzido a eficiência da precipitação do bário;

- análise da viabilidade econômica;

- realização do teste de precipitação química direto nos poços.

REFERÊNCIAS

- Água de Ivoti.** Disponível em: <<https://aguadeivoti.com.br/home/>>. Acesso em: 25 jun. 2023.
- ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2022 - informe anual.** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília. Disponível em: <www.gov.br/ana/pt-br>.
- BRASIL. **Boas Práticas no Abastecimento de Água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde.** Brasília. Disponível em: <www.saude.gov.br>.
- BRASIL. **Curso Básico de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano.** Brasília. Acesso em: 24 jul. 2023.
- BRASIL. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021.** Ministério da Saúde, 2021.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** São Paulo: RiMa, 2005.
- FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3a. ed. Rio de Janeiro.
- FLORENÇANO, J. C. S. **Saneamento Básico: Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água.** Taubaté: Universidade de Taubaté, 2011.
- FU, F.; WANG, Q. **Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review.** Journal of Environmental Management, v. 92, n. 3, p. 407–418, 1 mar. 2011.
- GENARO, D. T. **Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS.** Rio de Janeiro.
- GRAÇA, J. K. et al. **Técnicas tradicionais e emergentes de remoção de bário para o tratamento de água e efluentes.** Research, Society and Development, v. 11, n. 2, 2022.
- HEALTH CANADA. **Barium in Drinking Water - Guideline Technical Document for Public Consultation.** Disponível em: <<https://www.canada.ca/en/health-canada/programs/consultation-barium-drinking-water/document.html#a723>>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- HEINE, C. A. et al. **Monitoramento da depleção e detecção dos limites de exploração do Sistema Aquífero Guarani em Ivoti (RS): uma aplicação de geoprocessamento no gerenciamento municipal do uso sustentável de recursos hídricos subterrâneos.** 2005.

HEINE, C. A. **Análise de sustentabilidade de uso do sistema Aquífero Guarani em Ivoti – RS**. São Leopoldo: Unisinos, 2008.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. DE. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 2a. ed. Belo Horizonte. v. 2

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. DE. **Abastecimento de água para Consumo Humano**. 2a. ed. Belo Horizonte. v. 1

LETTERMAN, R. D. **Water quality and treatment : a handbook of community water supplies**. McGraw-Hill, 1999.

MIRANDA, L. A. S.; MONTEGGIA, L. O. **Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento**. Porto Alegre.

RIO GRANDE DO SUL. **PORTARIA Nº 320/2014**. Secretaria da Saúde, 2014.

SANJUAN, K. E. V. **Avaliação da Remoção de Arsênio no Tratamento Convencional de Água para Consumo Humano**. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 2017.

SANTOS, V. L. DOS. **Concentração de Bário e Elementos-traço nos Córregos Areia e Feio em Araxá-MG**. Uberlândia.

SISAGUA. **Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo.

TAVARES, T. **Investigação de anomalias hidrogeoquímicas de Bário em aquíferos do Estado de São Paulo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013.

ANEXO A

Tabela A.1: Análises semestrais de coliformes totais fora do padrão

Poço	Data da Coleta	Análise	Resultado	Unidade
02	06/06/2019	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
02	04/12/2019	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
02	03/06/2020	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
02	02/12/2020	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
02	09/06/2021	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
02	01/12/2021	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
02	01/06/2022	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
02	14/12/2022	Coliformes Totais	Presença	em 100 mL
02	07/06/2023	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
14	06/06/2019	Coliformes Totais	Presença	em 100 mL
14	04/12/2019	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
14	03/06/2020	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
14	02/12/2020	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
14	09/06/2021	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
14	01/12/2021	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
14	01/06/2022	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
14	14/12/2022	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
14	07/06/2023	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL
DEMAIS POÇOS	06/06/2019 a 07/06/2023	Coliformes Totais	Ausência	em 100 mL

Tabela A.2: Análises semestrais de nitrato fora do padrão

Poço	Data da Coleta	Análise	Resultado	Unidade
13	06/06/2019	Nitrato como N	5,59	mg/L
13	04/12/2019	Nitrato como N	5,16	mg/L
13	03/06/2020	Nitrato como N	7,17	mg/L
13	02/12/2020	Nitrato como N	5,88	mg/L
13	09/06/2021	Nitrato como N	25,30	mg/L
13	01/12/2021	Nitrato como N	6,73	mg/L
13	01/06/2022	Nitrato como N	1,32	mg/L
13	14/12/2022	Nitrato como N	0,81	mg/L
13	07/06/2023	Nitrato como N	< 1,50	mg/L
Média demais poços	06/06/2019	Nitrato como N	1,03	mg/L
Média demais poços	04/12/2019	Nitrato como N	0,92	mg/L
Média demais poços	03/06/2020	Nitrato como N	1,25	mg/L
Média demais poços	02/12/2020	Nitrato como N	1,30	mg/L
Média demais poços	09/06/2021	Nitrato como N	5,48	mg/L
Média demais poços	01/12/2021	Nitrato como N	1,27	mg/L
Média demais poços	01/06/2022	Nitrato como N	1,27	mg/L
Média demais poços	14/12/2022	Nitrato como N	0,90	mg/L
Média demais poços	07/06/2022	Nitrato como N	2,10	mg/L

Tabela A.3: Análises semestrais de sulfeto de hidrogênio fora do padrão

Poço	Data da Coleta	Análise	Resultado	Unidade
27	06/06/2019	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
27	04/12/2019	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
27	03/06/2020	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
27	02/12/2020	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
27	09/06/2021	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
27	01/12/2021	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
27	01/06/2022	Sulfeto de Hidrogênio	0,081	mg/L
27	14/12/2022	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
27	07/06/2023	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
Média demais poços	06/06/2019	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
Média demais poços	04/12/2019	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
Média demais poços	03/06/2020	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
Média demais poços	02/12/2020	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
Média demais poços	09/06/2021	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
Média demais poços	01/12/2021	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
Média demais poços	01/06/2022	Sulfeto de Hidrogênio	0,015	mg/L
Média demais poços	14/12/2022	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L
Média demais poços	07/06/2023	Sulfeto de Hidrogênio	< 0,001	mg/L

Tabela A.4: Análises semestrais de níquel fora do padrão

Poço	Data da Coleta	Análise	Resultado	Unidade
05	06/06/2019	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
05	04/12/2019	Níquel Total (Ni)	0,150	mg/L
05	03/06/2020	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
05	02/12/2020	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
05	09/06/2021	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
05	01/12/2021	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
05	01/06/2022	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
05	14/12/2022	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
05	07/06/2023	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
41	06/06/2019	Níquel Total (Ni)	2,950	mg/L
41	04/12/2019	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
41	03/06/2020	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
41	02/12/2020	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
41	09/06/2021	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
41	01/12/2021	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
41	01/06/2022	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
41	14/12/2022	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
41	07/06/2023	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
51	06/06/2019	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
51	04/12/2019	Níquel Total (Ni)	0,270	mg/L
51	03/06/2020	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
51	02/12/2020	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
51	09/06/2021	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
51	01/12/2021	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
51	01/06/2022	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
51	14/12/2022	Níquel Total (Ni)	0,009	mg/L
51	07/06/2023	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L

DEMAIS POÇOS	06/06/2019 a 07/06/2023	Níquel Total (Ni)	< 0,006	mg/L
--------------	----------------------------	-------------------	---------	------

Tabela A.5: Análises semestrais de bário fora do padrão

Poço	Data da Coleta	Análise	Resultado	Unidade
24	06/06/2019	Bário Total (Ba)	0,880	mg/L
24	04/12/2019	Bário Total (Ba)	0,760	mg/L
24	03/06/2020	Bário Total (Ba)	0,763	mg/L
24	02/12/2020	Bário Total (Ba)	0,798	mg/L
24	09/06/2021	Bário Total (Ba)	0,795	mg/L
24	01/12/2021	Bário Total (Ba)	0,786	mg/L
24	01/06/2022	Bário Total (Ba)	0,768	mg/L
24	14/12/2022	Bário Total (Ba)	0,809	mg/L
24	07/06/2023	Bário Total (Ba)	0,763	mg/L
27	06/06/2019	Bário Total (Ba)	0,880	mg/L
27	04/12/2019	Bário Total (Ba)	0,787	mg/L
27	03/06/2020	Bário Total (Ba)	0,775	mg/L
27	02/12/2020	Bário Total (Ba)	0,784	mg/L
27	09/06/2021	Bário Total (Ba)	0,016	mg/L
27	01/12/2021	Bário Total (Ba)	0,780	mg/L
27	01/06/2022	Bário Total (Ba)	0,832	mg/L
27	14/12/2022	Bário Total (Ba)	0,858	mg/L
27	07/06/2023	Bário Total (Ba)	0,826	mg/L
55	09/06/2021	Bário Total (Ba)	0,835	mg/L
55	01/12/2021	Bário Total (Ba)	0,082	mg/L
55	01/06/2022	Bário Total (Ba)	0,074	mg/L
55	14/12/2022	Bário Total (Ba)	0,100	mg/L
55	07/06/2023	Bário Total (Ba)	0,072	mg/L
Média demais poços	06/06/2019	Bário Total (Ba)	0,211	mg/L
Média demais poços	04/12/2019	Bário Total (Ba)	0,161	mg/L
Média demais poços	03/06/2020	Bário Total (Ba)	0,167	mg/L
Média demais poços	02/12/2020	Bário Total (Ba)	0,171	mg/L
Média demais poços	09/06/2021	Bário Total (Ba)	0,227	mg/L
Média demais poços	01/12/2021	Bário Total (Ba)	0,195	mg/L
Média demais poços	01/06/2022	Bário Total (Ba)	0,195	mg/L
Média demais poços	14/12/2022	Bário Total (Ba)	0,200	mg/L
Média demais poços	07/06/2023	Bário Total (Ba)	0,178	mg/L