

## QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES RURAIS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO HUMANO EN COMUNIDADES RURALES DEL NOROESTE DE RIO GRANDE DO SUL

QUALITY OF HUMAN CONSUMPTION UNDERGROUND WATERS IN RURAL COMMUNITIES IN THE NORTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL

Jéssica Scheffler<sup>1</sup>; Ramiro Pereira Bisognin<sup>2</sup>; Danni Maisa da Silva<sup>2</sup>, Fernanda Hart Weber<sup>2</sup>.

1. Egressa da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade em Três Passos
2. Docente da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade em Três Passos

### **PALAVRAS-CHAVE**

Poços artesianos; Enquadramento das águas; Coliformes totais; *Escherichia coli*; Nitrato.

### **PALABRAS CLAVE**

*Pozos artesianos; Encuadre de las aguas; Coliformes totales; Escherichia coli; Nitrato.*

### **KEY WORDS**

*Artesian wells; Water framework; Total coliforms; Escherichia coli; Nitrate.*

### **RESUMO**

A maioria das companhias de saneamento do País restringem seus serviços à zona urbana, sendo necessária a busca por fontes descentralizadas para o abastecimento de água na zona rural. Por isso, no presente estudo objetivou-se analisar a qualidade de águas subterrâneas, provenientes de poços artesianos, destinadas ao consumo humano em duas comunidades rurais no Noroeste do Rio Grande do Sul. O estudo foi realizado em cinco campanhas de coletas de água e análises em laboratório, nos meses de fevereiro a junho de 2020, em diferentes condições climáticas, sendo: de fevereiro a abril coletas sem interferência de chuvas nos últimos 10 dias; maio e junho coletas após período de chuvas. Os parâmetros analisados foram: cor aparente, sólidos totais dissolvidos, turbidez, temperatura, pH, condutividade elétrica, dureza, nitrato, coliformes totais e *Escherichia coli*, cujos valores foram comparados com o anexo XX da PRC nº 5, do Ministério da Saúde. Também foram analisadas as condições de uso do solo no entorno dos poços. A partir dos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas foi realizada a classificação das águas subterrâneas conforme resolução CONAMA nº 396/2008. Dessa forma, verificou-se que os parâmetros de maior risco apresentaram concentrações médias acima dos valores orientadores em ambos os poços, como nitrato ( $> 10 \text{ mg L}^{-1}$ ), coliformes totais e *Escherichia coli* ( $10^2$  a  $10^3 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ ), resultando no enquadrando das águas subterrâneas em classe 4. Os demais parâmetros analisados estiveram em conformidade com os valores estabelecidos na PRC nº 5. Verificou-se também, que os resultados dos parâmetros analisados possuem relação com as condições climáticas nos dias que antecederam as coletas, bem como, com as características do local no entorno dos poços, devido à proximidade de residências, lavouras e

manejo de animais. Contudo, para a melhoria da qualidade da água recomenda-se restringir o manejo de animais próximo aos poços, distanciar as áreas de plantio, e ainda sugere-se a implantação de filtros de carvão ativado e/ou nanofiltração, bem como sistema de desinfecção das águas.

## RESUMEN

*La mayoría de las empresas de saneamiento del país restringen sus servicios a las zonas urbanas, por lo que es necesario buscar fuentes descentralizadas para el abastecimiento de agua en las zonas rurales. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la calidad de las aguas subterráneas, de pozos artesianos, destinadas al consumo humano en dos comunidades rurales en el Noroeste de Rio Grande do Sul. El estudio se llevó a cabo en cinco campañas de recolección de agua y análisis en el laboratorio, de febrero a junio de 2020, bajo diferentes condiciones climáticas, así: de febrero a abril, recaudaciones sin interferencia de lluvia en los últimos 10 días; Recolecciones de mayo y junio después de la temporada de lluvias. Los parámetros analizados fueron: color aparente, sólidos disueltos totales, turbidez, temperatura, pH, conductividad eléctrica, dureza, nitrato, coliformes totales y Escherichia coli, cuyos valores fueron comparados con el Anexo XX del PRC n° 5, del Ministerio de Salud. Se analizaron las condiciones de uso del suelo alrededor de los pozos. Con base en los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos, las aguas subterráneas fueron clasificadas de acuerdo con la resolución CONAMA n° 396/2008. Así, se encontró que los parámetros de mayor riesgo tenían concentraciones medias por encima de los valores guía en ambos pozos, como nitrato ( $> 10 \text{ mg L}^{-1}$ ), coliformes totales y Escherichia coli ( $10^2$  a  $10^3$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$ ), resultando en la clasificación de las aguas subterráneas en clase 4. Los demás parámetros analizados estuvieron de acuerdo con los valores establecidos en el PRC n° 5. También se verificó que los resultados de los parámetros analizados están relacionados con las condiciones climáticas en los días previos las colecciones, así como con las características del lugar alrededor de los pozos, por la cercanía de residencias, cultivos y manejo de animales. Sin embargo, para mejorar la calidad del agua, se recomienda restringir el manejo de animales cerca de los pozos, distanciar las áreas de siembra e implementar filtros de carbón activado y/o nanofiltración, así como un sistema de desinfección de las aguas.*

## ABSTRACT

*Most sanitation companies in the country restrict their services to the urban area, requiring the search for decentralized sources for water supply in the countryside. For this reason, this study aimed to analyze the quality of groundwater for human consumption in two rural communities in the northwest of Rio Grande do Sul. The study was carried out in five campaigns of water collection and laboratory analysis, from February to June 2020, in different weather conditions, as follows: from February to April, collections without interference from rain in the last 10 days; May and June collections after the rainy season. The parameters analyzed were: apparent color, total dissolved solids, turbidity, temperature, pH, electrical conductivity, hardness, nitrate, total coliforms and Escherichia coli, whose values were compared with Annex XX of PRC n° 5, from the Ministry of Health. The conditions of land use around the wells were also analyzed. Based on the results of the physical-chemical analyzes, the classification of groundwater was carried out according to CONAMA resolution n° 396/2.008. Thus, it was found that the highest risk parameters showed average concentrations above the guiding values in both wells, such as nitrate ( $> 10 \text{ mg L}^{-1}$ ), total coliforms and Escherichia coli. ( $10^2$  to  $10^3$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$ ), resulting in the classification of groundwater in class 4. The other parameters analyzed were in accordance with the values established in PRC n° 5. It was also found that the results of the analyzed parameters are related direct with the climatic conditions in the days before the collections, as well as with the*

*characteristics of the place around the wells, due to the proximity of homes, crops and animal management. However, to improve water quality, it is recommended to restrict the management of animals close to the wells and to distance the planting areas, and suggests the implementation of activated carbon filters and / or nanofiltration, as well as a water disinfection system.*

## 1 INTRODUÇÃO

A água é uma substância vital presente na natureza e, por isso, é essencial para o consumo humano e para o desenvolvimento de atividades industriais e agropecuárias, cuja qualidade e disponibilidade limitam seus usos (Kuhn *et al.*, 2015). Segundo os mesmos autores, o Brasil possui uma das maiores reservas hídricas do mundo, não sendo apenas privilegiado em água aparente, mas também em mananciais subterrâneos, ou seja, do volume mundial estimado de águas subterrâneas de 10.360.230 km<sup>3</sup> (SHIKLOMANOV, 1998), o País possui um dos maiores potenciais hídricos subterrâneos, cerca de 112.311 km<sup>3</sup> de água, isto é, pouco mais de 1% de todo o volume dos aquíferos existentes no planeta (BORGHETTI *et al.*, 2004).

De acordo com Coelho *et al.* (2016) e Hirata *et al.* (2018), a água subterrânea é uma fonte extremamente importante para consumo humano, pois está sujeita a menor risco de contaminação, pela percolação da água nas camadas do solo que servem como filtros naturais e que eliminam ou reduzem a concentração dos contaminantes. Além disso, os aquíferos costumam ter grande capacidade de armazenamento de água, tornando as vazões dos poços estáveis, na maioria dos casos, mesmo após longos períodos de estiagem. Neste sentido, Hirata *et al.* (2018) ressaltam que 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas, as quais são a opção exclusiva para o abastecimento de 48% dos municípios com população inferior a 10 mil habitantes e para 30% daqueles com 10 a 50 mil habitantes. Kuhn *et al.* (2015) complementam que essa é a principal fonte de abastecimento para comunidades do meio rural.

Diante da importância da água, a Constituição Federal de 1988, em seu “Art. 26, inclui entre os bens dos Estados: I – as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União” (BRASIL, 1988). No Rio Grande do Sul (RS), a Lei Estadual nº 10.350/1.994, institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos e define as águas subterrâneas, como águas que ocorrem natural ou artificialmente no subsolo. Esta mesma lei, institui a outorga que autoriza a perfuração de poços artesianos e a utilização dos recursos hídricos, por prazo determinado, condicionando-o ao atendimento das restrições técnicas encontradas no local da perfuração (RIO GRANDE DO SUL, 1994). Atualmente no Estado, a outorga é concedida pelo Sistema de Outorgas de Água do RS (SIOUT, 2019).

Apesar das diretrizes que regulamentam os cuidados necessários com o manejo das águas, muitas fontes subterrâneas de abastecimento, em regiões isoladas e que não são atendidas por rede pública, estão sujeitas a contaminação, decorrentes do uso de fertilizantes agrícolas, criação de animais, e a deficiência ou inexistência de sistemas de saneamento (NANNI *et al.*, 2012). Também pode contribuir para a redução da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, a ocupação da terra na bacia hidrográfica (COELHO *et al.*, 2016).

Nesse sentido, Coelho *et al.* (2016) destacam que vários riscos estão associados ao consumo de água contaminada, tornando indispensável seu tratamento para consumo humano e usos que envolvam higiene pessoal ou de utensílios. Normalmente, o tratamento mais aplicado é a desinfecção, que apesar de não eliminar totalmente os microrganismos, diminui a população de patógenos, podendo ser realizada com métodos químicos, biológicos, físicos e/ou fotoquímicos. A desinfecção química, com a utilização de cloro, é a técnica mais empregada em sistemas de abastecimento coletivo para evitar surtos epidemiológicos. Se a água de um aquífero apresentar contaminação, sua capacidade de purificação é muito reduzida, portanto, o ideal é tomar medidas que evitem ao máximo a contaminação das águas subterrâneas (KUHN *et al.*, 2015), como ações que contemplem, entre outras, o tratamento de efluentes sanitários e industriais, a disposição adequada de dejetos de animais e de resíduos sólidos (COELHO *et al.*, 2016).

Conforme Braga *et al.* (2018), a qualidade da água é o que possibilita o consumo humano seguro e é representada por características intrínsecas de natureza física, química e biológica. Nesse sentido, a qualidade das águas subterrâneas para consumo humano deve ser avaliada por meio da comparação com padrões de referência estabelecidos na legislação pertinente, como a Portaria de Consolidação (PRC) nº 5/2017, do Ministério da Saúde (MS), que estabelece em seu anexo XX, os padrões de controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017), atualizada pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, e a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 396 que “dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências” (BRASIL, 2008).

Diante da importância deste tema, neste estudo propõe-se analisar a qualidade das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano em duas comunidades rurais no Noroeste do Rio Grande do Sul.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização dos locais de estudo

O estudo foi realizado em dois poços artesianos, de dois municípios localizados no noroeste do Rio Grande do Sul. Ambos os poços estão situados em terrenos rochosos, onde predominam Latossolos - solos profundos e bem drenados - pertencentes ao contexto geológico dos derrames basálticos da Formação Serra Geral, onde se intercalam arenitos intertrápicos Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da sequência, mais especificamente à fácies Paranapanema (CPRM, 2006). A região de estudo está inserida na pilha vulcânica que constitui o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), com características hídricas francamente anisotrópicas e heterogêneas, em que as condições de armazenamento estão relacionadas às fraturas de contração e à tectônica rúptil (CUNHA *et al.*, 2016; MENDONÇA *et al.*, 2019).

Os poços de amostragem foram escolhidos por estarem próximos um do outro, 2 km em linha reta, e também por servirem de fonte de água para consumo humano. O poço artesiano 1 possui 144 m de profundidade, e foi perfurado em maio de 1999. Essa água é destinada para o abastecimento humano de forma coletiva a 34 famílias, sem acesso à outra fonte de água potável, e que também a utilizam para dessedentação animal e limpeza das áreas de serviço. A água é bombeada automaticamente para um reservatório de 15 mil litros, de onde é distribuída à comunidade sem nenhum tratamento. O uso mensal permitido por família é de 10 mil litros, para os quais pagam uma taxa de 15 reais para a manutenção dos equipamentos. Uma vez ultrapassado esse limite, o usuário paga uma multa de cinco reais a cada mil litros excedidos.

A água do segundo poço, identificado neste estudo como poço 2, é utilizada em propriedade particular onde residem três famílias, para os diversos usos necessários, como consumo humano, dessedentação animal, e limpeza das áreas de serviço. A propriedade contempla uma área de 36 hectares, com atividade leiteira, sendo necessário grande volume de água para mantê-la. A perfuração deste poço ocorreu em dezembro de 2012, atingindo a profundidade de 85 m. Estima-se, com base no número de acionamentos da bomba do poço e a capacidade de 5 mil litros do reservatório, controlado por sensores de nível, o consumo diário de 12 a 15 mil litros de água. Esta água também é consumida sem nenhum tratamento ou processo de desinfecção.

## 2.2 Análise da qualidade das águas subterrâneas dos poços estudados

As amostras de água subterrânea foram coletadas utilizando métodos padronizados, estabelecidos pela norma ABNT NBR 15.847/2.010. Em cada poço foi realizado cinco campanhas de amostragem, previamente distribuídas nos meses de fevereiro, março, abril, maio e junho de 2.020, tendo ocorrido às coletas dos meses de fevereiro, março e abril sem interferências de chuvas e a dos meses de maio e junho, logo após a ocorrência de chuvas.

As análises foram realizadas em amostras íntegras, sem filtração ou qualquer alteração, no laboratório da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), Unidade em Três Passos. Os parâmetros analisados e os métodos empregados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Parâmetros de análise da qualidade das águas subterrâneas.**

Parâmetro	Unidade	Metodologia
Cor aparente	mg Pt L <sup>-1</sup>	SMWW 2120 B
Sólidos totais dissolvidos	mg L <sup>-1</sup>	SMWW 2540 D
Turbidez	NTU	SMWW 2130 B
Temperatura (a campo)	°C	SMWW 2550 B
pH	-	SMWW 4500 B [PGQ-017]
Condutividade elétrica	µS cm <sup>-1</sup>	SMWW 2510 B
Dureza	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	SMWW 2340 C
Nitrato	mg L <sup>-1</sup>	SMWW 4110 B
Coliformes totais	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	SMWW 9223 B
<i>Escherichia coli</i>	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	SMWW 9221 F

Legenda: LD – Limite de detecção. SMWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2012 (APHA, 2012).

Nas análises propostas para esse estudo, também foram observados os parâmetros mínimos para classificação das águas subterrâneas, de acordo com a Resolução CONAMA n° 396/2008. Os padrões das Classes 1 a 4 foram estabelecidos com base nos Valores de Referência de Qualidade (VRQ) e nos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada uso preponderante. Os parâmetros mínimos indicados pela Resolução para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes são sólidos totais dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes, neste caso, representado por *Escherichia coli*.

## 2.3 Identificação de fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas

A verificação das características dos poços de captação de águas subterrâneas e a identificação das possíveis fontes de contaminação foram realizadas com base nos aspectos das respectivas áreas, como declividade, uso e ocupação da terra em um raio de 50 m, e proteção contra acesso de animais. Desta

forma, foi possível prever as possíveis substâncias e elementos que podem estar presentes nos pontos de captação e, conseqüentemente, resultar em maior risco de contaminação.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Características do entorno dos poços artesanais e das potenciais fontes de contaminação das águas subterrâneas**

O poço 1 localiza-se no quintal de uma residência em área rural, não é cercado e possui em seus arredores grande extensão de lavoura, a uma distância mínima de 20 metros, cujo terreno apresenta declividade de 3% em direção ao poço. Na área de lavoura são produzidos soja e trigo, onde são aplicados dejetos líquidos de suínos (DLS) como biofertilizantes, e agroquímicos para controle de pragas e combate a ferrugem asiática.

O poço 2 também localiza-se em propriedade rural, onde realizam-se diversas atividades e não possui cercamento de proteção. A principal delas é a bovinocultura leiteira, sendo praticado o manejo dos animais bem próximo ao poço, a uma distância de aproximadamente 15 metros. Há também a residência da família usuária da água, logo acima do local, bem como produção agrícola em área com declividade acentuada (13,4%) em direção ao poço artesiano. As plantações próximas contemplam áreas de pastagem para os animais e cultivo de milho, onde também se aplicam DLS para adubação da pastagem e agroquímicos para o controle de pragas na plantação de milho.

Considerando as características de uso do solo no entorno dos poços artesanais, o Decreto Estadual nº 42.047, de 26 de dezembro de 2002, que regulamenta o gerenciamento e conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos do Estado do Rio Grande do Sul, estabelece em seu Art. 30 que nas áreas de proteção de poços subterrâneos, deve ser instituído um Perímetro Imediato de Proteção Sanitária que abrange um raio mínimo de 10 m (dez metros) a partir do ponto de captação, o qual deverá ser cercado e protegido, devendo seu interior estar resguardado da entrada ou da infiltração de poluentes. No Art. 31, estipula com base em estudos hidrogeológicos, um perímetro de alerta contra poluição, o qual deverá ser coincidente com a Zona de Contribuição do poço, sendo que neste Perímetro não poderá ser implantada qualquer atividade potencialmente poluidora. Portanto, para adequação ao Decreto Estadual mencionado, seria necessária a delimitação e cercamento da área no entorno dos poços, num raio mínimo de 10 m, e a restrição do manejo de animais, bem como o distanciamento das áreas de lavoura para além da zona de contribuição dos poços.

O poço 1 apresenta uma proteção de concreto externa em situações precárias inferior a um metro quadrado, e não há informações sobre os aspectos construtivos de estrutura interna, ou seja, esta

informação é desconhecida pelos moradores do local. No poço 2, existe uma proteção de concreto externa com um metro quadrado, sendo que na estrutura interna, não possui revestimento cimentado, e sim, um tubo de proteção de 5 metros de profundidade.

Nessas condições, ambos os poços estão sujeitos a alterações na qualidade das águas subterrâneas, devido à proximidade de casas, manejo de animais, fossas sanitárias e sumidouros das residências. A atividade de bovinocultura de leite, bem como, os cultivos agrícolas realizados no entorno e as substâncias químicas utilizadas nesses cultivos também podem ser fontes poluidoras.

Aderir às diretrizes estabelecidas para áreas de proteção máxima dos aquíferos, definidas no Decreto n.º 42.047/2.002 (RIO GRANDE DO SUL, 2002), bem como as definidas na NBR 12.244, de março de 2.006 (ABNT, 2006), que trata dos aspectos relacionados à construção de poços para captação de água subterrânea, protegeria e minimizaria a contaminação dessas águas subterrâneas.

### 3.2 Qualidade das águas subterrâneas dos poços estudados

A maioria dos resultados dos parâmetros avaliados de qualidade das águas subterrâneas apresentou variação ao longo das coletas mensais, sendo melhor representados com a segregação das coletas realizadas em períodos sem chuvas e com chuvas.

Apenas para o parâmetro sólidos totais dissolvidos (STD) não foi possível a quantificação, devido à natureza cristalina da água, comprovada pela baixa turbidez das amostras que variaram de 0,07 a 0,09 NTU, com apenas um registro de 1,2 NTU no poço 2, no mês de março de 2020. Destaca-se que o limite estabelecido no anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 (PRC nº5), do Ministério da Saúde, é de 5 NTU (BRASIL, 2017), portanto, bem abaixo do valor de referência. Outro parâmetro que comprova a natureza cristalina das águas é a cor aparente que apresentou valores inferiores a 2 uH, sendo o limite estabelecido na PRC nº 5/2017 de 15 uH (BRASIL, 2017).

Considerando que os sólidos totais dissolvidos são constituídos de sais inorgânicos, como magnésio, potássio, cálcio, bicarbonatos, sódio, cloretos, sulfatos e também pequenas quantidades de matéria orgânica dissolvidas em água (WATERRANGERS, 2015) há o indicativo de baixa concentração desses sais e matéria orgânica nas águas dos poços, o que é corroborado pelos resultados de cor aparente que, segundo a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), é desencadeada pela presença de substâncias húmicas, taninos e também por metais como ferro e manganês e resíduos industriais fortemente coloridos (FUNASA, 2013).

A temperatura da água dos poços foi analisada a campo no momento da coleta das amostras, com um termômetro de mercúrio. Durante as coletas, as temperaturas mais elevadas das águas foram registradas nos meses de fevereiro e março, durante o verão, e sem a ocorrência de chuvas nos dias

anteriores, quando o poço 1 apresentou média de 25,8 °C e o poço 2, média de 21,7 °C. As coletas dos meses de maio e junho foram realizadas, propositalmente, após a ocorrência de chuvas, com o intuito de verificar possíveis interferências na qualidade da água, principalmente dos demais parâmetros analisados. Contudo, em virtude de temperaturas externas mais baixas registradas no outono, somado ao período de chuvas, evidenciou-se uma redução na temperatura das águas subterrâneas, principalmente no poço 1 (17 °C), que apesar de ser mais profundo já vinha apresentando temperaturas mais altas nos meses anteriores. No poço 2, a temperatura média da água foi de 21,0 °C. Tal fato pode sugerir maior influência da recarga de águas superficiais, bem como facilidade de percolação dessas águas nos horizontes do solo.

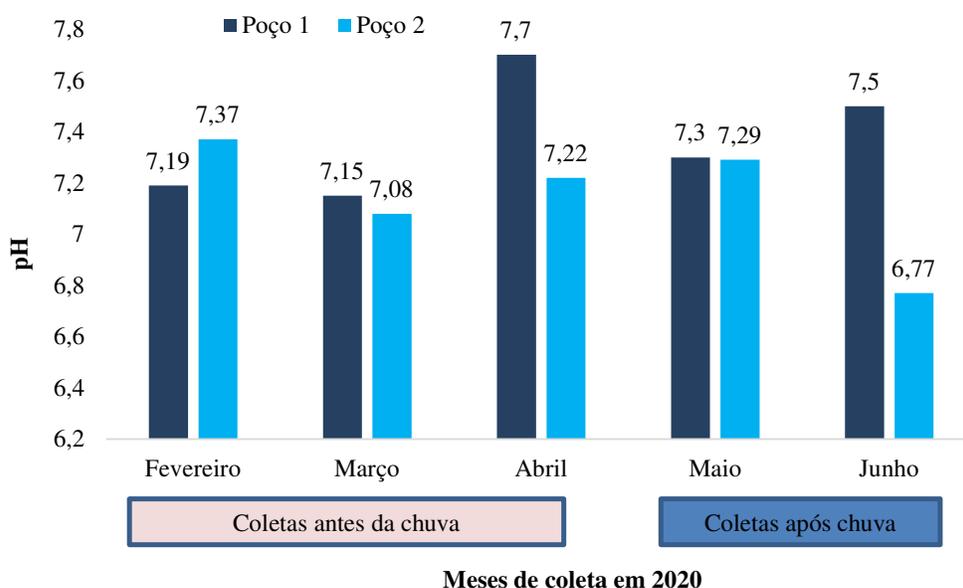
A temperatura da água é um parâmetro importante de ser analisado, quando se deseja avaliar sua qualidade, pois influencia na fluoretação, solubilidade e ionização das substâncias coagulantes, alterações de pH, condutividade elétrica e alcalinidade, entre outros parâmetros (FUNASA, 2013). Neste sentido, as variações de temperatura são parte do regime climático normal e condicionam uma série de parâmetros físico-químicos.

A seguir são apresentados os resultados dos demais parâmetros analisados nas águas de ambos os poços.

### 3.2.1 pH

Os resultados de pH das águas dos poços 1 e 2 são apresentados na Figura 1. No poço 1, todas as amostras apresentaram pH levemente alcalino. O mesmo foi observado nas amostras de água de fevereiro a maio do poço 2, no entanto a amostra de junho apresentou uma leve acidificação (6,77).

**Figura 1 – Valores de pH das águas dos poços estudados no Noroeste do Rio Grande do Sul, de fevereiro a junho de 2020.**



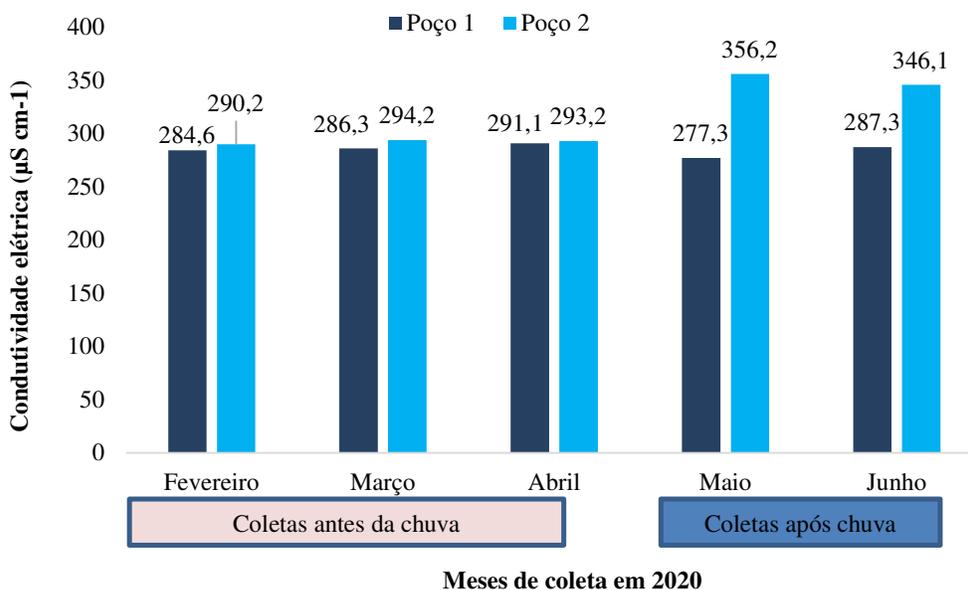
Ambos os poços apresentaram variação de pH a cada mês analisado. A redução no pH da água do poço 2, no mês de junho, pode ter sido provocada pela forte incidência de chuvas nos três dias que antecederam a coleta. A recarga das águas subterrâneas por precipitação pode reduzir os valores de pH do lençol freático devido tanto a natureza ácida da chuva quanto do solo. Prova disso, Cunha *et al.* (2009) em estudo sobre a dinâmica do pH das águas das chuvas em Passo Fundo, RS, relatam que a atmosfera é constituída por uma mistura de gases, componentes sólidos e líquidos em suspensão, que provocam alterações na composição química da atmosfera, o que tem sido a causa da acidificação da água da chuva e tem contribuído para a acidificação do solo após precipitação. Neste mesmo sentido, destacam-se ainda as considerações de Silva (2008), que sustenta que em condições naturais, e em regiões de clima úmido, há uma tendência constante para a acidificação do solo por dois mecanismos principais: o suprimento contínuo de íons  $H^+$ , originados principalmente da dissociação do ácido carbônico, formado pela dissolução do  $CO_2$  do ar e do solo, e também, entrada de ácido carbônico pelas águas das chuvas.

Apesar das variações observadas nos valores de pH, as águas dos poços se mantiveram em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação, visto que, a PRC nº 5/2017, recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para consumo humano.

### 3.2.2 Condutividade elétrica

Durante o estudo, avaliou-se a condutividade elétrica (CE) das águas subterrâneas, que variou de 277,3 a 291,3  $\mu\text{S cm}^{-1}$  no poço 1 e de 290,2 a 356,2  $\mu\text{S cm}^{-1}$  no poço 2, conforme Figura 2.

**Figura 2 - Condutividade elétrica das águas dos poços estudados no Noroeste do Rio Grande do Sul, de fevereiro a junho de 2020.**



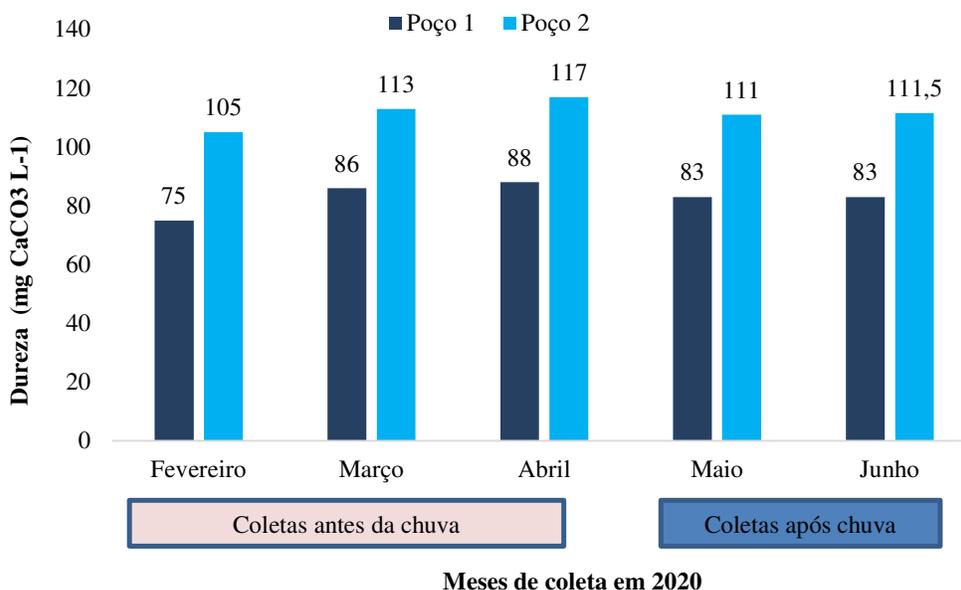
No poço 1, os valores de CE apresentaram mínima variação durante os meses avaliados. Já no poço 2, observou-se um aumento da CE nos meses em que as amostras de água foram coletadas após a ocorrência de chuvas. Esta elevação pode ter sido influenciada pela lixiviação de substâncias aniônicas e catiônicas durante a percolação da água no solo, aumentando a capacidade da água de transmitir corrente elétrica (BRASIL, 2014).

De acordo com Mendonça *et al.* (2019), a elevação da CE em águas subterrâneas pode ocorrer por meio da contaminação por dejetos e esgotos domésticos, o que pode ser uma possibilidade neste estudo, devido as características encontradas nas proximidades dos poços. A FUNASA estabelece que a faixa de CE para águas naturais é de 10 a 100  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (BRASIL, 2014), portanto, as concentrações obtidas em ambos os poços estão acima dos valores orientadores. Ainda, de acordo com a Quimlab (2016?), águas indicadas como potáveis apresentam baixa concentração total de sais dissolvidos e costumam apresentar valores inferiores a 200  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

### 3.2.3 Dureza

Os resultados de dureza das águas, que indica as concentrações de íons cálcio e magnésio expressos como carbonato de cálcio, dos dois poços estão apresentados na Figura 3.

**Figura 3 – Dureza das águas dos poços estudados no Noroeste do Rio Grande do Sul, de fevereiro a junho de 2020.**



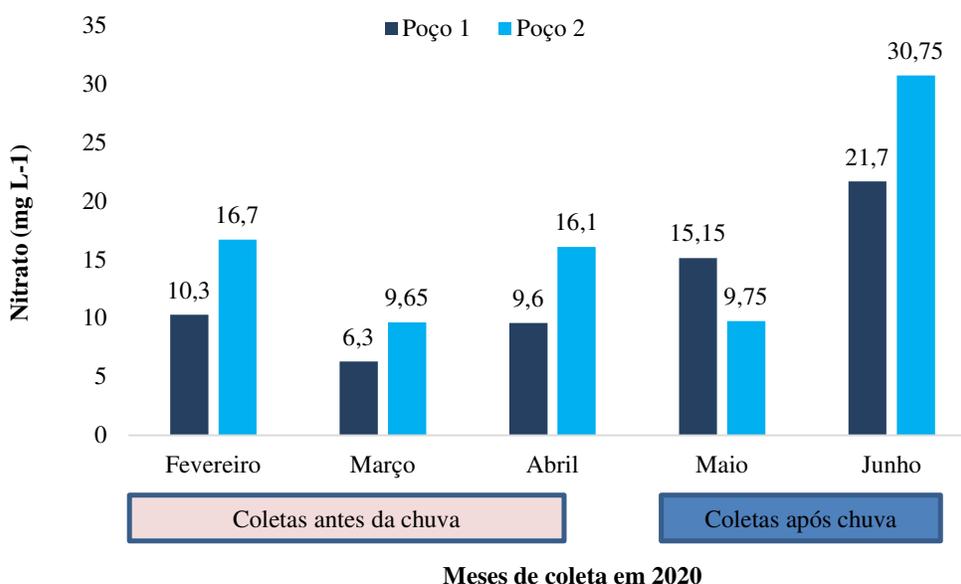
O poço 1 apresentou dureza da água inferior ao poço 2, com valores entre 75 a 88 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, enquanto que no poço 2 a concentração variou de 105 a 117 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, mantendo baixa oscilação em todos os meses analisados, independentemente dos fatores climáticas. Com esses resultados, as águas dos poços 1 e 2 são enquadradas como de dureza moderada, pois possuem valores de 50 a 150 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (BRASIL, 2014). Ademais, a PRC nº 5/2017 estabelece para dureza total o valor de 500 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> como o valor máximo permitido (VMP) para água potável.

Neste sentido, destacam-se ainda as considerações de Vilhena (2017), que sustenta a concepção de que valores acima de 50 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> já podem causar uma série de inconvenientes, como incrustação, entupindo de canos, chuveiros, torneiras e conexões hidráulicas devido a precipitação dos sais de cálcio e magnésio, principalmente em águas quentes. Além disso, causa corrosão acelerada de componentes elétricos, reduzindo a vida útil de equipamentos, canos e aparelhos, através do desgaste pela solidificação dos resíduos.

### 3.2.4 Nitrato

Em 60% das amostras (Figura 4), tanto do poço 1 quanto do poço 2, os valores de nitrato ultrapassaram os padrões de potabilidade estabelecidos na PRC nº 5/2017, cujo valor máximo permitido é de 10 mg L<sup>-1</sup>. O mesmo valor limite de referência é considerado pela Resolução CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008).

**Figura 4 – Concentrações de nitrato das águas dos poços estudados no Noroeste do Rio Grande do Sul, de fevereiro a junho de 2020.**



O poço 1 apresentou valor pouco acima do permitido (10,3 mg L<sup>-1</sup>) na amostra de fevereiro. Em março e abril, as concentrações de nitrato ficaram abaixo do VMP. Já em maio e junho, os valores ultrapassaram consideravelmente o permitido pela legislação para que seja considerada potável. Esse aumento expressivo pode ter ocorrido pela lixiviação de substâncias na superfície do solo e posterior percolação da água da chuva. Por sua vez, o poço 2 apresentou resultados superiores ao poço 1, exceto no mês de maio, e o pico de concentração foi registrado no mês de junho, sob forte influência das precipitações. Cabe destacar que em junho foi realizada a manutenção da bomba do poço 1 no período da coleta da amostra, o que pode ter contribuído para a elevação das concentrações desse e outros parâmetros monitorados. Todavia, no poço 2 também foi registrado aumento da concentração, porém sem modificações na rotina quanto ao uso da água e serviços, apenas a coleta da amostra que foi realizada após um período de chuvas.

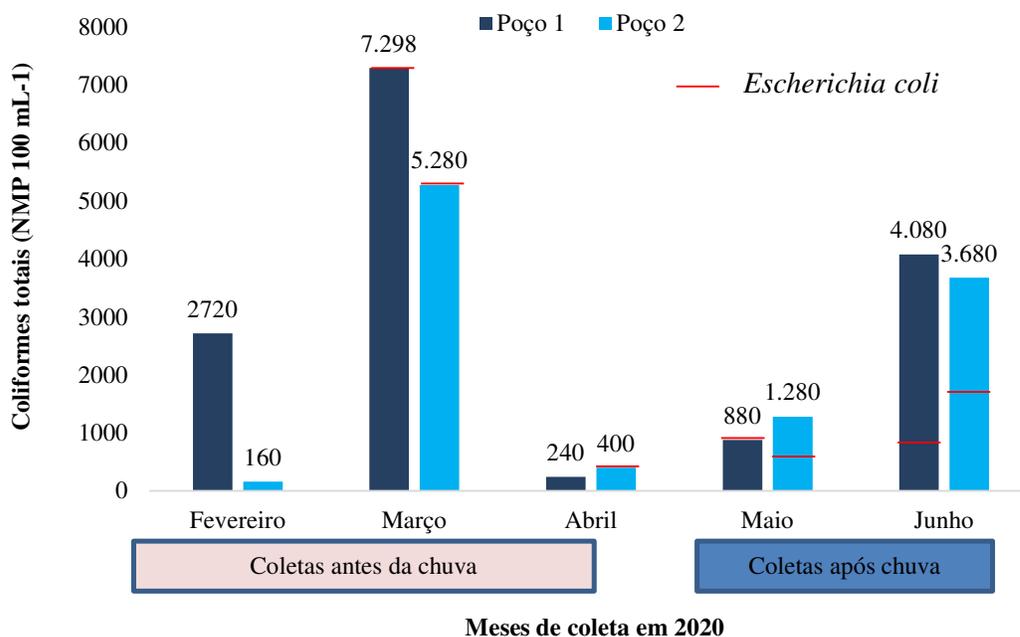
Os elevados valores de nitrato registrados no poço 2, em relação ao poço 1, podem estar associados ao acesso das substâncias lixiviadas da superfície para o lençol freático, devido a profundidade dos poços, já que o poço 1 possui profundidade de 144 metros, e o poço 2 possui 85 metros de profundidade, o que o torna mais susceptível ao acesso de contaminantes. Além disso, o nitrato é um poluente de ocorrência frequente nas águas subterrâneas. Essa ocorrência se dá, neste estudo, principalmente pelo uso de fertilizantes agrícolas, criação de animais e residências próximas aos poços, o que pode ser potencializado por perfuração inadequada ou falta de elementos construtivos necessários descritos na NBR 12244/2006. Neste sentido, Varnier e Hirata (2002) salientam que o nitrogênio é essencial para a vida, mas a alta concentração de nitrato na água potável a torna perigosa à saúde. A ingestão de águas de abastecimento com elevadas concentrações de nitrato pode causar, entre outros efeitos adversos à saúde: a indução à metemoglobinemia, especialmente em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (FREITAS, 2001).

No estudo de Biguelini e Gummy (2012), os autores ressaltam que em crianças, o nitrato é convertido a nitrito, que se combina com a hemoglobina no sangue, e forma metamoglobina, causando a “síndrome do bebê azul”, além de outros problemas que podem ser causados pela formação de nitrosaminas cancerígenas. Já em adultos, causa doenças cancerígenas, principalmente, de origens estomacais.

### **3.2.5 Coliformes totais e *Escherichia coli***

A presença de coliformes totais foi verificada em todas as amostras de águas coletadas dos poços, com variações no número mais provável por 100 mL de amostra (NMP 100 mL<sup>-1</sup>), entre os meses de estudo. Em 60% das amostras, o poço 1 apresentou maior número de coliformes totais que o poço 2, conforme Figura 5. Quando avaliada a presença de *Escherichia coli*, esta não foi encontrada em ambos os poços no mês de fevereiro, e no poço 1 no mês de abril, porém foi predominante nos meses de março, em ambos os poços, e no poço 1 no mês de maio.

**Figura 5 – Número mais provável de coliformes totais e *Escherichia coli* das águas dos poços estudados no Noroeste do Rio Grande do Sul, de fevereiro a junho de 2020.**



A análise de março foi a que mais apresentou presença de coliformes, tanto totais como *E. coli*, justamente em período de grande estiagem, podendo ter ocorrido o aumento da concentração de coliformes devido a redução do volume de água subterrânea disponível. Neste sentido, o estudo de Franco *et al.* (2007), corrobora essa constatação, uma vez que os autores verificaram que na estação seca, com a redução do volume de água dos mananciais as cargas poluidoras contendo matéria orgânica, nutrientes e principalmente bactérias, elevam o número de coliformes fecais.

Com relação à presença de *E. coli* na água, a PRC nº 5/2017 estipula a ausência em 100 mL de água como padrão microbiológico para consumo humano, estabelecendo as bactérias do grupo coliforme como principal parâmetro microbiológico de potabilidade.

A segunda amostra que apresentou resultados mais elevados, foi a análise de junho, coletada em períodos chuvosos. Os elevados valores de *E. coli*, possivelmente estão associados as atividades desenvolvidas no entorno dos poços, como agricultura com aplicação de DLS, presença de residências e manejo de animais. A elevação na contagem de coliformes totais no poço 1, no mês de junho, pode ter sido influenciada, também, pela manutenção realizada na bomba do poço. Luz *et al.* (2017) destacam que o consumo de água contaminada por material fecal representa riscos graves à saúde humana, como diarreia e doenças gastrointestinais estudo realizado por Toyama *et al.* (2016), sobre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica em municípios de São Paulo, foram registradas

mortes por diarreia, provocadas pela ingestão da água contaminada por coliformes fecais, bem como, incidência de hepatite A, o que denota a gravidade do consumo de águas com a presença desses microrganismos.

### 3.3 Enquadramento das águas subterrâneas dos poços estudados

A partir dos resultados dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes, representado por *E. coli*, realizou-se a classificação e o enquadramento das águas subterrâneas, de acordo com as diretrizes e parâmetros mínimos obrigatórios da Resolução CONAMA nº 396/2008, anexo II, para águas subterrâneas destinadas ao uso concomitante para consumo humano, dessedentação, irrigação e recreação. A classificação realizada com os valores médios de cada poço é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2 - Classificação das águas subterrâneas dos poços estudados, segundo os parâmetros mínimos da Resolução CONAMA nº 396/2008.**

Poço	Classificação por parâmetros com base nos VRQs			Enquadramento Final
	STD (mg/L)	<i>Escherichia coli</i> presença/ausência	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	
1	Classe 1	Classe 4	Classe 4	Classe 4
2	Classe 1	Classe 4	Classe 4	Classe 4

Nota: STD – sólidos totais dissolvidos; VRQ – valor de referência de qualidade

Os parâmetros determinantes para classificação final das águas foram *E. coli* e nitrato, uma vez que os sólidos totais dissolvidos apresentaram resultados não quantificáveis (classe 1). Segundo a Resolução CONAMA nº 396/2.008, águas de classe 1 a 3 não devem apresentar contagem de coliformes termotolerantes em 100 mL, enquanto que águas de classe 4 podem conter até 4.000 em 100 mL. A PRC nº 5/2017 também determina a ausência de *E. coli* em 100 mL para águas destinadas a consumo humano. Com relação à concentração de nitrato, a Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelece como classe 1, águas com VRQ < a 10 mg L<sup>-1</sup> e classe 4 até 90 mg L<sup>-1</sup>. Portanto, como a média no poço 1 foi de 12,61 mg L<sup>-1</sup> de nitrato e a do poço 2 foi de 16,59 mg L<sup>-1</sup>, ambos foram enquadrados como pertencentes a classe 4, uma vez que o valor máximo permitido mais restritivo (VMPr+) na PRC nº 5/2.017 também é de 10 mg L<sup>-1</sup>.

Segundo a Resolução CONAMA nº 396/2.008, a classe 4 representa águas de “aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que

somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo”. Portanto, para consumo humano as águas dos poços devem ser submetidas a processos de redução da concentração de nitrato, bem como de desinfecção para eliminação de coliformes totais e *E. coli*.

Diante disso, sugere-se a implantação de tecnologias de baixo custo para a melhoria da qualidade da água e redução da concentração de nitrato e *E. coli*.

A FUNASA (2014) indica o cloro para a desinfecção da água, com o intuito de inativar os microrganismos patogênicos existentes, principalmente, em pequenos serviços de abastecimento, como é o caso deste estudo. Porém, essa comunidade sempre consumiu a água sem adição de cloro, o que dificultaria a adaptação a esse tratamento, levando em consideração a alteração de sabor causada pelo agente desinfetante. Com isso, sugere-se, como alternativa, a implantação de um sistema de desinfecção por radiação ultravioleta (UVC 254 nm).

Conforme Terra (2017), o processo de desinfecção por radiação ultravioleta, é extremamente seguro, o que o torna um método confiável de desinfecção de água para o consumo diário, além de ser rápido, com baixo investimento inicial e custos reduzidos quando comparado a tecnologias semelhantes, não deixando gosto ou odor na água. Em estudo, Follmer *et al.* (2019) analisaram a eficiência de desinfecção de um fotorreator de luz UVC (254 nm) fabricado a partir conexões de PVC de baixo custo, mais reator e lâmpada UV (R\$ 137,88), que possibilitou a remoção superior a 99% de microrganismos em amostras com mais de 4.000 UFC 100 mL<sup>-1</sup>, servindo como opção para comunidades que vivem distantes de estações de tratamento. Nesse processo, a radiação UVC de 254 nm, emitida por lâmpada de vapor de mercúrio, atinge o material genético (DNA e RNA) dos microrganismos e as reações fotoquímicas provocam alterações nas funções enzimáticas dos organismos-alvos, que impedem a reprodução celular e provocam a morte.

Os processos de desinfecção não possuem efeito sobre as concentrações de nitrato, então se sugere o processo de nanofiltração, em que as membranas filtrantes podem atuar também em outros compostos nocivos à saúde das pessoas que consomem a água. Como alternativa de menor custo, também é possível a utilização de filtros de carvão ativado, que são constituídos de material carbonáceo com elevada área superficial interna. Desta forma, apresentam estrutura porosa interna extremamente desenvolvida que confere eficiente capacidade de adsorver moléculas orgânicas. As principais características que fazem do carvão ativado um bom adsorvente contemplam volume, distribuição e tamanho dos poros, existência de grupos funcionais de superfície, pH e teor de cinzas (FUKUMOTO; KURODA, 2019).

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas análises de qualidade das águas condizem com as condições e características constatadas no entorno dos poços analisados, visto que, os parâmetros de maior risco, como o nitrato, coliformes totais e *Escherichia coli*, apresentaram concentrações acima dos valores de referência nas legislações.

As análises realizadas em diferentes condições climáticas possibilitaram verificar os diferentes comportamentos dos parâmetros e sua relação com as características ambientais, demonstrando que mesmo as águas subterrâneas estão sujeitas a alterações de qualidade.

A classificação realizada enquadrou a água dos dois poços artesianos em classe 4, ou seja, devem ser destinadas para usos preponderantes menos restritivos, quando não houver tratamento. Contudo, para a melhoria da qualidade das águas de consumo são necessárias medidas de restrição de acesso de animais e afastamento da área de plantio dos poços, bem com a implantação de processos de desinfecção das águas com radiação UV, ou cloração, e filtração com carvão ativado e/ou nanofiltração para minimizar futuros problemas de saúde à população.

#### Contribuições dos autores

Jéssica Scheffler: realização das coletas; análise em laboratório; redação da minuta do artigo.

Ramiro Pereira Bisognin: análise em laboratório; validação dos resultados; revisão e redação do artigo.

Danni Maisa da Silva: validação dos resultados; revisão do artigo.

Fernanda Hart Weber: validação dos resultados; revisão do artigo.

#### Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesse na realização do estudo.

#### REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**. 22 ed. Washington: APHA. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12244:2006: Poço tubular – Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=003245>. Acesso em: 07 jul. 2020.

\_\_\_\_\_. NBR 15847:2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento. Métodos de purga. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=60080>. Acesso em: 10 nov. 2019.

- BIGUELINI, C. P.; GUMY, M. P. **Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região Sudoeste do Paraná.** v. 14, n. 20, p. 153-175, Jul./Dez. 2012.
- BORGHETTI, N. R. B, BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul.** Curitiba: Imprensa oficial, p. 214. 2004.
- BRAGA, E. S. *et al.* Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano. **Revista Aguas Subterrâneas**, São Paulo, v. 32, n. 1, p 17-24, 2018. Doi: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28969>.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil:** texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988 [...]. Disponível em: [https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88\\_Livro\\_EC91\\_2016.pdf](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf). Acesso em: 14 jul. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida---o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Poder executivo. Disponível em: [http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_2008\\_396.pdf](http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2008_396.pdf). Acesso em: 24 out. 2015.
- COELHO, S. C. *et al.* Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Revista ambiente e água**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 156-167, jun./dez. 2016. Doi:10.4136/ambi-agua.1962
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Serviço Geológico do Brasil.** Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, 2006. Escala 1:750.000.
- CUNHA, G. R. *et al.* Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4. p. 339-346, abr. 2009. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000400002>
- CUNHA, G. G.; ROISENBERG, A.; PULGATTI, F. H.; FREITAS, M. A. Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na Região do Alto Uruguai, Noroeste do Rio Grande do Sul e sua relação espacial com a tectônica rúptil. **Pesquisas em Geociências**, v. 43, n.1, p. 55-67, 2016.
- FOLLMER, D. L. S. *et al.* Construção e eficiência de um fotorreator de radiação ultravioleta de baixo custo para desinfecção de água. **Revista gestão e sustentabilidade ambiental**, Florianópolis, v. 8, n. 4, p. 165-181, out./dez. 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e42019165-181>
- FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S. **Utilização dos parâmetros coliformes totais e fecais e oxigênio dissolvido na avaliação da qualidade de água para**

**irrigação na microbacia do córrego três barras, Marinópolis, SP.** In: XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Bonito – MS, 30 jul. a 02 ago. 2007.

FREITAS, M. B. *et al.* **Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, vol. 17, n. 3, p.651-660, mai./jun. 2001. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000300019>

FUKUMOTO, A. A. F; KURODA, E. K. Seleção de carvões ativados para adsorção de microcistinas. **Eng. Sanit. Ambient.** v.24. n.2, p. 295-304. 2019. Doi: 10.1590/S1413-41522019183445

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

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE - FUNASA. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa.** 1 ed. Brasília, 2014.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs.** 1 ed. Brasília, 2014.

HIRATA, R. *et al.* A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. **Estudo de águas subterrâneas.** Instituto Trata Brasil, (2018?)

KUHN, M. R. *et al.* Avaliação físico-química e microbiológica da qualidade das águas dos poços artesianos que abastecem o distrito de Boa Vista, no município de Triunfo – RS. **Revista destaques acadêmicos**, v. 7, n. 4, 2015.

LUZ, R. B. *et al.* Contaminação viral e bacteriana em águas subterrâneas na porção aflorante do Aquífero Guarani, município de Ivoti, RS. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté - SP, v.12, n. 5, P. 871-880, 2017. Doi: 10.4136/ambi-agua.2068

MEIO AMBIENTE NEWS. 2011. Recursos hídricos. **Aquífero Guarani 2.** Disponível em: [http://meioambientenews.com.br/conteudo.ler.php?q\[1%7Cconteudo.idcategoria\]=27&id=271](http://meioambientenews.com.br/conteudo.ler.php?q[1%7Cconteudo.idcategoria]=27&id=271). Acesso em: 12 nov. 2019.

MENDONÇA, P. C. *et al.* Avaliação da qualidade das águas em poços destinados ao abastecimento público no noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, v. 12, n. 3. p. 552-570, jun. 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2019.12.3.63431>

NANNI, A. S. *et al.* Avaliação da Influência das Atividades Antrópicas na Qualidade das Águas Subterrâneas no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, n.2, p. 43-51, Abr./Jun. 2012.

RIO GRANDE DO SUL, **Lei Estadual nº 10.350 de 30 de dezembro de 1994.** Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio

Grande do Sul. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/10.350.pdf>. Acesso em: 19 out. 2015.

RIO GRANDE DO SUL. Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande Do Sul. **Decreto nº 42.047, de 26 de dezembro de 2002.** Regulamenta disposições da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: [http://www.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100099.ASP?Hid\\_Tipo=TEXT0&Hid\\_TodasNormas=277&hTexto=&Hid\\_IDNorma=277#:~:text=Texto%20da%20Norma&text=DECRETO%20%C2%BA%2042.047%2C%20DE%2026,do%20Rio%20Grande%20do%20Sul](http://www.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100099.ASP?Hid_Tipo=TEXT0&Hid_TodasNormas=277&hTexto=&Hid_IDNorma=277#:~:text=Texto%20da%20Norma&text=DECRETO%20%C2%BA%2042.047%2C%20DE%2026,do%20Rio%20Grande%20do%20Sul). Acesso em: 20 jul. 2020.

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st Century.** A summary of the monograph World Water Resources. 47 p. 1998. Disponível em: [https://www.protos.org/sites/default/files/library\\_assets/w-alg-e51\\_assess21century.pdf](https://www.protos.org/sites/default/files/library_assets/w-alg-e51_assess21century.pdf). Acesso em: 23 jun. 2020.

SILVA, V. Variáveis de acidez em função da mineralogia do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Curitiba, v. 32, n. 2, Mar./Abr. 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200010>

SIOUT, 2019. **Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <http://www.siout.rs.gov.br/#/>. Acesso em: 21 out. 2019.

TERRA. **Desinfecção por raios ultravioletas é tratamento ideal para água.** 2017. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/dino/desinfeccao-por-raios-ultravioletas-e-tratamento-ideal-para-agua,97950ee99e953b036ec38e1732589b753wm4owle.html>. Acesso em: 14 jul. 2020.

TOYAMA, D.; SANTINO, M. B. C; FUSHITA, A. **Qualidade da água e doenças de veiculação hídrica: o caso dos municípios de barra bonita e Igarapu do Tietê – SP.** In: V SIGA - Simpósio Científico de Gestão Ambiental, At Piracicaba, São Paulo, Brasil. 20 e 21 ago. 2016.

VARNIER C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê - São Paulo, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 16, mai. 2002.

VILHENA, J. L. Grupo Hídrica. **Dureza da água: o que é e como ela influencia na qualidade.** 2017. Disponível em: <https://grupohidrica.com.br/dureza-da-agua/>. Acesso em: 07 jul. 2020.

WATERRANGERS. **Sólidos Totais Dissolvidos.** 2015. Disponível em: <https://waterrangers.ca/testkits/tests/solidos-totais-dissolvidos/?lang=pt-br>. Acesso em: 19 jun. 2020.