

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE PETROLOGIA E GEOTECTÔNICA
CURSO DE GEOLOGIA

**Aspectos da qualidade das águas subterrâneas de poços
outorgados na Região Hidrográfica do Piabanha (RH-IV)**

Aluno

Caio Henrique Moreira Machado

201604007-4

Orientadora

Prof. Dra. Olga Venimar de Oliveira Gomes

Dezembro de 2021

1- MOREIRA-MACHADO, CAIO HENRIQUE

Aspectos da qualidade das águas subterrâneas de poços outorgados
na Região Hidrográfica do Piabanha (RH-IV)

Curso de Geologia / Departamento de Petrologia e Geotectônica
Instituto de Agronomia / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro –
UFRRJ

[Seropédica]

Ano 2021

Trabalho de Graduação
Monografia

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente às três fortes mulheres que me criaram: a minha mãe Sara, a minha tia Dabinha e a minha avó Florinda. Obrigado por todo o carinho incondicional, pela valorização da minha educação e confiança no meu potencial. Agradeço também ao meu pai, irmãos, primos e familiares que me fizeram ser quem eu sou.

A todos meus amigos anteriores à universidade que levo para a vida e que me ajudaram a chegar até aqui. Aos amigos do ensino médio Leticia, Roberta, Mirian e Marcella. À Camila e aos amigos da UFG. Ao meu canadense favorito Léomike.

Aos meus amigos da Rural que nunca me deixaram desistir e fizeram da minha jornada um período repleto de boas lembranças. Em especial à Déborah, Iany e Larissa que estiveram ao meu lado me apoiando desde o início da graduação. Ao Alex e ao Tércio que alegraram com o nosso bromance. À Polliana e Paloma que chegaram depois, mas sinto como se estivessem comigo desde o início. À Mayara que sempre esteve disposta me ouvir e me acolher, e a todos os meus calouros. Agradeço também à Neila, Isadora, Joanna, Bia e toda minha turma de 2016.

Aos meus professores e à UFRRJ, com educação pública e de qualidade.

Aos estudantes e pesquisadores Altair Venancio, Helder Martins, Maristela Almada e Rodrigo Brust que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho. E por último, mas não menos importante, agradeço a minha orientadora Olga Gomes pela parceria incrível nesses longos dois anos de escrita. Sua dedicação e paciência foram fundamentais para mim.

RESUMO

Com o constante crescimento populacional, escassez e comprometimento da qualidade das águas superficiais, as águas subterrâneas tem sido uma alternativa cada vez mais utilizada. Entretanto, os aquíferos também estão suscetíveis à contaminação, ainda que estejam mais protegidos que as águas superficiais. Como maneira de analisar a qualidade das águas, os compostos nitrogenados e as bactérias são considerados parâmetros indicadores de influências antrópicas de diversas fontes, como atividades agropecuárias, disposição de resíduos sólidos e esgotamento sanitário. Desse modo, o presente trabalho faz uma análise quanti-qualitativa das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos da Região Hidrográfica do Piabanha (RH-IV), com base em dados bacteriológicos e de compostos nitrogenados de 84 poços com informações obtidas a partir de processos de outorga do Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Os resultados foram confrontados com os limites estabelecidos pela Portaria 888/21 do Ministério da Saúde que trata dos padrões de potabilidade de água para consumo humano. Nas unidades hidroestratigráficas com maior número de poços foi empregado o método não paramétrico de Spearman para correlacionar diferentes parâmetros hidrodinâmicos, físico-químicos e biológicos, visando um melhor entendimento dos contaminantes e suas origens. Foram constatadas contaminações por alterações antrópicas próximas a centros urbanos e em regiões atividades agrícolas, totalizando 65,48% dos poços fora dos padrões de potabilidade para nitrato (>10 mg/L), nitrito (>1 mg/L) e/ou bactérias heterotróficas (>500 UFC/ml), coliformes totais (presença) e coliforme termotolerantes (presença). Poços localizados em Petrópolis e Teresópolis, nas unidades Serra dos Órgãos e Rio Negro, excederam o valor máximo permitido de nitrato em até 3.335%. Nas unidades Arcádia-Areal, Conservatória, Cordeiro, Rio Turvo e Granito Nova Friburgo as concentrações de nitrato não ultrapassaram os limites de potabilidade, no entanto são relevantes o suficiente para apontar possíveis alterações por atividades antrópicas. Em 43,75% dos poços a contagem de bactérias heterotróficas foi maior que o limite máximo, e em 44,44% e 10,39% dos poços foi detectada a presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes, respectivamente.

Palavras-chave: nitrato, coliformes, bactérias, contaminação antrópica.

ABSTRACT

With the constant population growth, scarcity and compromised quality of surface water, groundwater has been an increasingly used alternative. However, aquifers are also susceptible to contamination, even though they are more protected than surface waters. As a way to analyze the quality of water, nitrogen compounds and bacteria are considered to be indicators of human influences from different sources, such as agricultural activities, solid waste disposal and sanitary sewage. Thus, the present work makes a quantitative-qualitative analysis of the groundwater of the aquifer systems of the Piabanha Hydrographic Region (RH-IV), based on bacteriological and nitrogen compounds data from 84 wells with information obtained from Instituto Estadual do Ambiente (INEA). The results were compared with the limits defined by regulation 888/21 of the Brazilian Health Regulatory Agency, which deals with drinking water standards for human consumption. In hydrostratigraphic units with a larger number of wells, Spearman's nonparametric method was defined to correlate different hydrodynamic, physicochemical and biological parameters, providing a better understanding of the contaminants and their origins. of the wells out of the wells for the potability standards for nitrate (>10 mg/L), nitrite (>1 mg/L) and/or heterotrophic bacteria (>500 CFU/ml), total coliform (presence) and thermotolerant coliform (presence). Wells acquired in Petrópolis and Teresópolis, at the Serra dos Órgãos and Rio Negro units, exceeded the maximum allowed value of nitrate by up to 3,335%. In the Arcadia-Areal, Conservatória, Cordeiro, Rio Turvo and Granito Nova Friburgo units, they did not exceed the potability limits, however they are relevant enough to point out possible changes due to anthropic activities. In 43.75% of the wells the count of heterotrophic bacteria was higher than the maximum limit, and in 44.44% and 10.39% of the wells the presence of total coliforms and thermotolerant coliforms was detected, respectively.

Keywords: nitrate, coliforms, bacteria, anthropogenic contamination.

SUMÁRIO

1 Introdução.....	8
2 Objetivos.....	10
3 Área de estudo.....	11
4 Materiais e Métodos.....	16
5 Revisão temática	17
5.1 Contaminantes	17
5.1.1 Compostos Nitrogenados.....	17
5.1.1.1 Fixação.....	18
5.1.1.2 Amonificação.....	19
5.1.1.3 Nitrificação.....	19
5.1.1.4 Desnitrificação.....	20
5.1.2 Bactérias.....	21
5.2 Contaminação dos aquíferos por atividades agropecuárias.....	22
5.3 Disposição de resíduos sólidos e contaminação da água subterrânea	22
5.4 Impacto do efluente doméstico na água subterrânea	23
5.5 Riscos à saúde humana	24
6 Resultados e Discussões.....	26
6.1 Distribuição espacial dos indicadores na RH-IV	26
6.2 Análises dos indicadores de Contaminação em Aquíferos da RH-IV.....	30
6.3 Correlações estatísticas das principais unidades exploradas	32
7 Considerações finais.....	36
Referências.....	37
Apêndice.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da região hidrográfica Piabanha.	11
Figura 2. Unidades hidroestratigráficas da Região Hidrográfica Piabanha.	14
Figura 3. Ciclo do nitrogênio na natureza (Santos, c2020).	18
Figura 4. As quatro etapas da desnitrificação (Vieira, 2017).	20
Figura 5. Distribuição das concentrações de nitrato.	26
Figura 6. Distribuição das concentrações de nitrito.	27
Figura 7. Distribuição da contagem de bactérias heterotróficas.	28
Figura 8. Distribuição dos poços com ausência e presença de coliformes totais.	29
Figura 9. Distribuição dos poços com ausência e presença de coliformes termotolerantes.	29
Figura 10. Correlação dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a unidade Serra dos Órgãos.	32
Figura 11. Correlação dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a unidade Rio Negro. ...	33
Figura 12. Tendência de diminuição das concentrações dos íons cloreto, fluoreto, nitrato e nitrito conforme saem da zona de recarga e se aproximam da zona de descarga do aquífero.	34
Figura 13. Correlação dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a unidade Arcádia-Areal..	35

1 INTRODUÇÃO

No Brasil encontra-se 12% da água doce superficial do mundo. Desse volume, 80% se encontra na região amazônica e 20% se encontra nas outras regiões distribuídas de maneira heterogênea. Entretanto, a disponibilidade de água doce não pode ser vista apenas como uma questão quantitativa, mas também qualitativa, já que nas últimas décadas a qualidade da água tem sido comprometida com o aumento significativo nos processos de urbanização e industrialização (Grassi, 2001).

A ONU identificou a demanda de água de boa qualidade em países menos desenvolvidos como o principal desafio mundial na década de 80 e desde então observa-se um agravamento da situação (Grassi, 2001). Nesse contexto, a água subterrânea é uma alternativa cada vez mais utilizada, pois os aquíferos podem ter uma boa capacidade de armazenamento, tornando o abastecimento contínuo mesmo após longos períodos de estiagem e muitas vezes sem a necessidade de tratamento após a captação. Tais vantagens resultam na perfuração de poços tubulares de maneira crescente, sendo possível atender demandas mesmo em locais distantes de rios ou da rede pública de água (Hirata, 2019).

As águas subterrâneas, apesar de serem mais protegidas que as águas superficiais, também são suscetíveis à contaminação, dependendo de fatores como uso e tipo de solo, além da profundidade (Libânio, 2010). Devido à alta mobilidade e persistência, o nitrato é um bom indicador de contaminação. Sua presença em aquíferos pode compreender fontes naturais, sendo mais comum indicar influências antrópicas decorrente de atividades agrícolas e criação de animais; disposição de resíduos sólidos; e efluentes (Varnier, 2019).

Em se tratando de contaminação por efluentes nas águas naturais, além dos compostos nitrogenados que são mais persistentes, a presença de bactérias consiste em outro indicador de contaminação antropogênica, sendo elas as bactérias heterotróficas, coliformes totais e coliformes termotolerantes, que consistem em indicadores de fontes próximas e recentes nos recursos hídricos.

Na literatura são relatados numerosos casos de contaminação de águas subterrâneas em todo o Brasil. Freitas & Almeida (1998) avaliaram a qualidade da água subterrânea em Duque de Caxias-RJ e identificaram que 53% das amostras apresentaram contaminação por coliformes totais e/ou fecais, e 54% apresentaram concentrações de nitrato maiores que 10 mg/L, possivelmente relacionadas à contaminação por esgoto.

Cajazeiras (2007) analisou a qualidade das águas subterrâneas da região de Crajubar-CE, onde cerca de 18% dos poços estavam contaminados por nitrato e 62% eram impróprios para o consumo humano devido a contaminação por coliformes termotolerantes associados a disposição direta de esgoto nos recursos hídricos. O autor ainda afirma que a falta de saneamento básico estava relacionada com o aumento de doenças de origem hídrica e aumento nos números de mortalidade infantil na região. Em Carlinda-MT, Camargo & Paulosso (2009) encontraram contaminação de coliformes totais em 100% das amostras e contaminação de *Escherichia coli* em

91% dos poços no período chuvoso e 79% no período de seca. Tal contaminação possivelmente estava relacionada a pequena distância entre os poços e as fossas sépticas.

Um estudo realizado no sudoeste do Paraná por Biguelini & Gummy (2012) indicou que 32,35% das amostras analisadas ultrapassaram o valor máximo permitido de nitrato, assim como ocorreu com outros compostos nitrogenados. A contaminação se deu pela presença dos poços absorventes ou sumidouros. Na área urbana de Barreiras-BA, Almeida et al. (2016) constatou a presença de coliformes totais e termotolerantes em 65% dos poços, a qual está associada principalmente aos aspectos construtivos dos poços, localização e sazonalidade. Além disso, as concentrações de nitrato atingiram até 130,87 mg/L em poços rasos e 14,43 mg/L em poços profundos, com limite do padrão de potabilidade para consumo humano extrapolado em 83% dos poços rasos. Stradioto et al. (2019) ao estudar a água subterrânea do estado de São Paulo concluiu que 8,4% das amostras analisadas apresentaram valores de nitrato maiores que o permitido pela legislação vigente e 18,9% estavam acima do valor de prevenção. As maiores concentrações de nitrato foram encontradas no Aquífero Bauru onde há alta exploração deste sistema aquífero, extensa área aflorante e presença de grandes centros urbanos.

Embora haja muitos estudos de contaminação antropogênica nas águas subterrâneas brasileiras, não há evidências sobre estudos que apontem a abrangência da contaminação na Região Hidrográfica do Piabanha (RH-IV). Estima-se que as presenças dos referidos indicadores de contaminação antropogênica tenham relações com águas subterrâneas rasas, já que tem influência de eventos ocorridos em superfície. Em virtude do exposto, o presente trabalho busca realizar uma análise das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos dessa região com base em dados bacteriológicos e de compostos nitrogenados para 84 poços. Dessa maneira, tal estudo espera inclusive fomentar e contribuir com futuros estudos que auxiliem o entendimento de questões relativas a doenças de veiculação hídrica na RH-IV.

2 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é fazer uma análise quanti-qualitativa dos dados bacteriológicos e dos compostos nitrogenados nos sistemas aquíferos da RH-IV.

Os objetivos específicos são:

- Espacialização das contaminações de compostos nitrogenados ($N-NO_3$ e $N-NO_2$) e bactérias nas águas subterrâneas ao longo da RH-IV, a partir dos os limites estabelecidos pela Portaria 888/21;
- Caracterização das unidades hidroestratigráficas impactadas por compostos nitrogenados e bactérias;
- Análise dos indicadores compostos nitrogenados ($N-NO_3$ e $N-NO_2$) e bactérias considerando o uso do solo;

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a Região Hidrográfica IV (Piabanha) do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1), a qual está totalmente inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, com uma área de 3.460 km², que compreende a bacia hidrográfica do Piabanha e parcelas fluminenses da bacia do Rio Paraíba do Sul, localizada na região serrana do estado. Os municípios Areal, São José do Vale do Rio Preto, Sapucaia, Sumidouro, e Teresópolis estão inseridos integralmente na RH-IV, enquanto que os municípios Carmo, Paraíba do Sul, Paty dos Alferes, Petrópolis e Três Rios estão inseridos de forma parcial, totalizando cerca de 550 mil habitantes (AGEVAP, 2019). O rio homônimo a esta região hidrográfica, de 80 km de extensão, banha os municípios de Areal, Petrópolis, e Três Rios e tem como seu principal afluente o rio Preto, de 54 km de extensão (COPPETEC, 2007).

Os municípios com maior população são Petrópolis, Teresópolis, Três Rios e Paraíba do Sul. No que se refere às atividades econômicas da região, destacam-se: em Petrópolis, o turismo, a indústria têxtil e cervejeira; em Teresópolis, a agropecuária e a indústria; em Areal, o comércio e a indústria; em Paraíba do Sul, a pecuária, agricultura, comércio e indústrias. Sabe-se que as atividades econômicas podem contribuir para o aumento das concentrações de nitrogênio e bactérias nas águas subterrâneas. (AGEVAP, 2019).

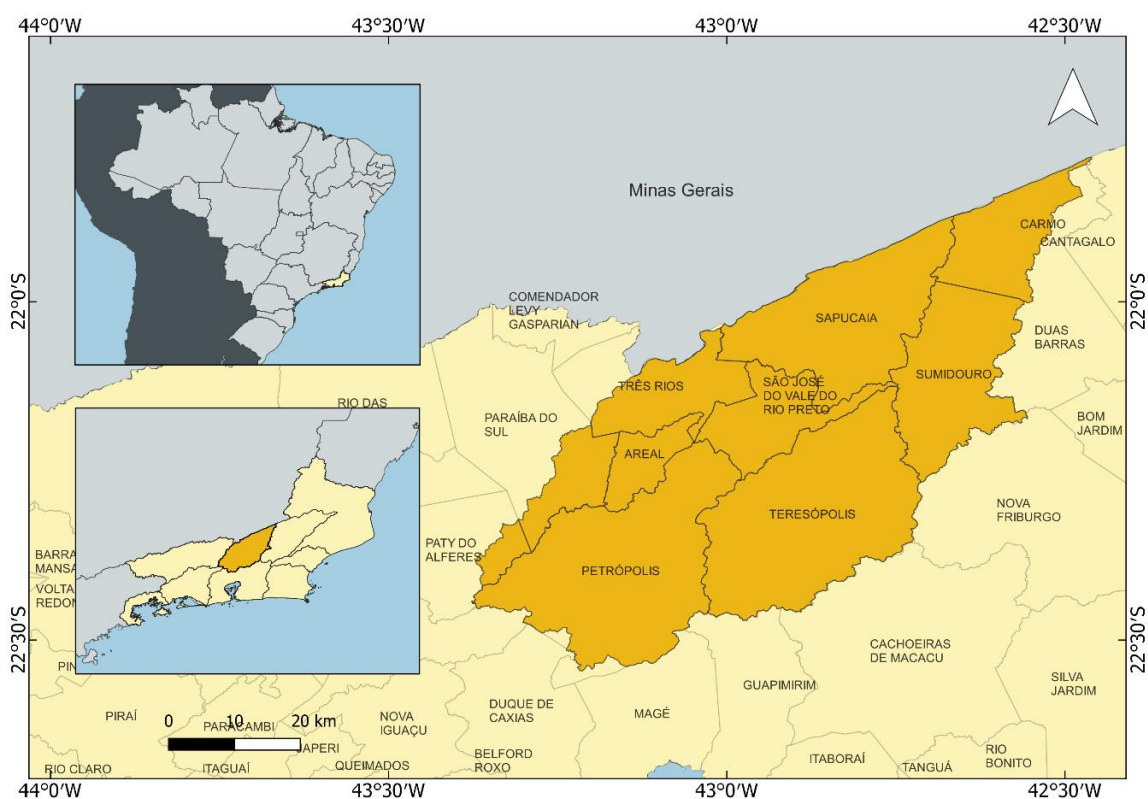


Figura 1. Mapa de localização da região hidrográfica Piabanha.

O relevo acidentado compõe 91% da região, distribuídos como 25% de serras escarpadas, 31% de serras isoladas e 35% de morros. Nesses relevos existem as maiores concentrações de afloramentos rochosos (COPPETEC, 2014).

Na região de entorno dos municípios de Teresópolis e Petrópolis predomina um clima úmido com temperatura média de 10 a 15° C, enquanto o clima na região de Sapucaia e Carmo é considerado como semiúmido, com presença de seca por até cinco meses e temperatura média de 18° C (PROFILL, 2020). Considerando os dados dos pluviométricos apresentados por AGEVAP (2019), o período mais seco se concentra nos meses de junho, julho e agosto, enquanto os maiores níveis de precipitação estão concentrados nos meses de dezembro a março. No período chuvoso, a precipitação acumulada varia entre 200 e 250 mm/mês e no período mais seco a precipitação acumulada é inferior a 50 mm/mês. As máximas precipitações são provenientes das regiões mais altas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, atingindo até 2.250 mm/ano. (PROFILL, 2020).

O crescimento dos centros urbanos é muitas vezes comprometido pelo relevo e pelo índice pluviométrico, ocasionando muitas vezes a ocupação por assentamentos irregulares. Os maiores centros urbanos são Petrópolis e Teresópolis, ambos sem tratamento adequado de esgoto, o que pode comprometer a qualidade das águas superficiais e subterrâneas (COPPETEC, 2014).

Em dados de 1.544 pontos de interferência (pontos de captações e lançamentos em corpos hídricos) registrados no sistema de cadastro de usuários do Comitê Piabanha (2021), 30% apresentam como finalidade a irrigação; seguido de 19% que representam interferências realizadas por hotéis, pousadas, postos de combustível e outras atividades comerciais. Posteriormente, 17% se destinam a consumo humano; 13% a indústria; 8% a atividade de criação animal e 13% se enquadram em demais finalidades. As captações de águas subterrâneas totalizam 55%, enquanto 45% são provenientes de fontes superficiais. Os dados estão dispostos na tabela 1.

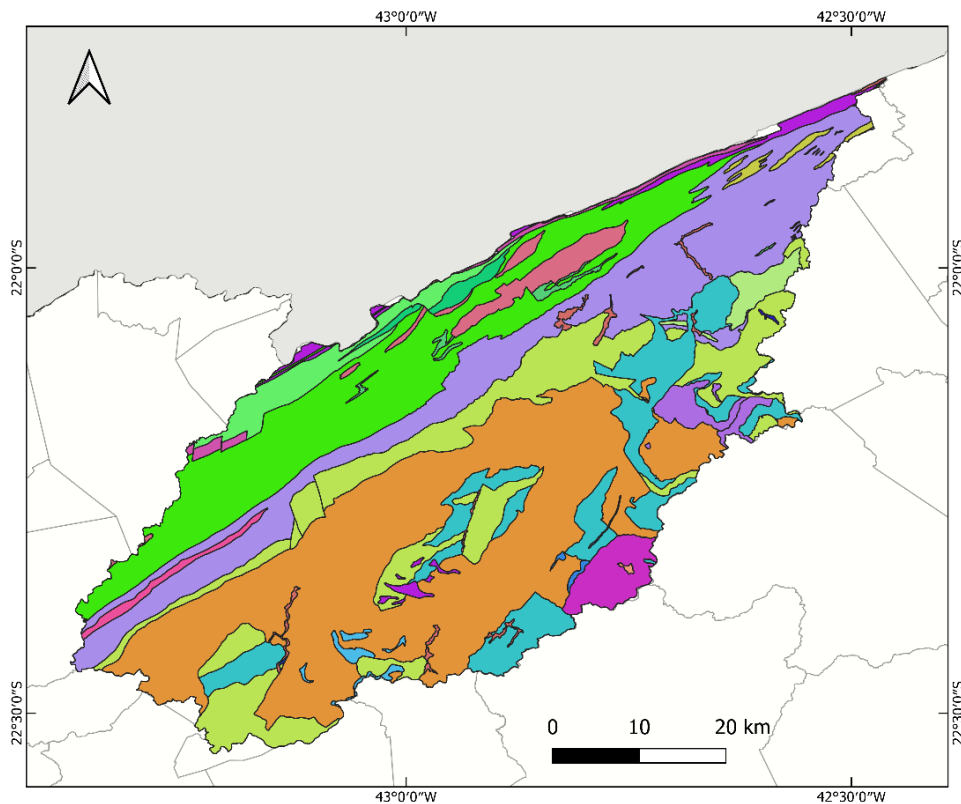
O município que capta mais água superficial e subterrânea para abastecimento público é Petrópolis, enquanto a captação para criação animal predomina no município de Carmo. Para o uso industrial, o quantitativo de captação prevalece para os municípios Teresópolis e Petrópolis, enquanto que para o uso irrigação, Sumidouro é o município que mais se destaca, seguido dos municípios de Sapucaia e São José do Vale do Rio Preto. No que se refere ao consumo humano, destacam-se os municípios Areal, Petrópolis e Teresópolis. Três Rios é o município com porcentagens mais expressivas na captação tendo a mineração como finalidade. Menos de 2% da captação de cada município apresentava com a finalidade a agricultura.

Em relação ao lançamento, a agricultura é mais expressiva no município de Carmo, enquanto a criação animal é mais expressiva em Teresópolis. Relacionado ao esgoto sanitário destacam-se os municípios de Petrópolis e Sumidouro, enquanto o lançamento relacionado a agricultura e a serviços se restringem aos municípios de Carmo e Petrópolis, respectivamente. Para consumo humano predominam os municípios de Teresópolis, Petrópolis e Areal. Apenas os municípios de Petrópolis e Teresópolis apresentam menos de 50% do quantitativo de lançamento associado à indústria.

Tabela 1: Porcentagem dos tipos de captação e lançamento por município.

Município		Areal	Carmo	Petrópolis	São José do Vale do Rio Preto	Sapucaia	Sumidouro	Teresópolis	Três Rios
Captação	Abastecimento Público	-	-	10,59%	5,28%	4,00%	1,09%	3,98%	2,50%
	Agricultura	-	1,96%	-	1,05%	1,33%	-	-	-
	Consumo humano	34,69%	9,80%	27,33%	5,26%	4,00%	2,17%	23,45%	12,50%
	Criação Animal	4,08%	54,90%	0,21%	10,53%	20%	5,80%	5,31%	22,50%
	Indústria	6,12%	9,80%	18,22%	8,42%	10,67%	-	20,35%	7,50%
	Irrigação	26,53%	11,76%	9,11%	46,32%	49,33%	88,41%	27,43%	20,00%
	Mineração	6,12%	5,88%	1,69%	4,21%	-	1,45%	3,10%	12,50%
	Outras finalidades	22,45%	5,88%	32,84%	18,95%	10,67%	1,09%	16,37%	22,50%
Lançamento	Agricultura	-	7,69%	-	-	-	-	-	-
	Consumo humano	16,66%		20,73%	-	-	-	34,78%	-
	Criação Animal	-	-	1,22%	-	-	-	13,04%	-
	Esgoto Sanitário	-	-	51,22%	-	-	42,86%	4,35%	-
	Indústria	50%	69,23%	12,19%	50%	75%		17,39%	80%
	Serviços	-	-	1,22%	-	-	-	-	-
	Outras finalidades	33,33%	23,08%	13,41%	50%	25%	57,14%	30,43%	20%

Os 84 poços analisados a partir de pedidos de outorga do INEA estão distribuídos em dez unidades hidroestratigráficas identificadas de acordo com Albuquerque (2019) (Figura 2): Serra dos Órgãos, Rio Negro, Arcádia-Areal, Conservatória, Paraíba do Sul, Cordeiro, Rio Turvo, Granito Nova Friburgo, Juiz de Fora e Depósitos Aluvionares. As principais unidades Serra dos Órgãos, Rio Negro e Arcádia-Areal representam juntas 84,14% dos poços analisados.



Unidades Hidroestratigráficas

Andorinha	Granito Teresópolis
Anta	Juiz de Fora, ortogranulitos
Arcádia Areal	Leucognaisses Domínio Costeiro
Arcádia Areal, calcissilicáticas	Paraíba do Sul
Conselheiro Paulino	Quirino
Conservatória	Raposos, quartzito
Cordeiro	Rio Negro
Depósitos aluvionares	Rio Negro, gabro
Depósitos gravitacionais (talús)	Rio Turvo
Graminha	Serra da Bolívia
Granito Frades	Serra dos Órgãos
Granito Nova Friburgo	

Figura 2. Unidades hidroestratigráficas da Região Hidrográfica Piabanha.

A unidade Serra dos Órgãos é formada por gnaisses meso a leucocráticos de granulação grossa, com aglomerados centimétricos de biotita, hornblenda, granada e quartzo (Tupinambá et al., 2012).

A unidade Rio Negro se dispõe em um conjunto de quatro rochas ortoderivadas: diorito melanocrático de granulação fina; tonalito mesocrático de granulação média; corpos tabulares de leucogranito em contatos discordantes com a foliação de dioritos ou tonalitos; e gnaisses porfiróides com megacristais de microclina mal formados (Tupinambá et al., 1996).

A unidade Arcádia-Areal compreende por uma sucessão de gnaisses bandados normalmente miloníticos, de composição psamítica e com intercalações de quartzitos, rochas calcissilicáticas, gonditos, além de corpos de rochas metabásicas e metaultramáficas (Heilbron et al., 2016).

A unidade Conservatória corresponde a biotita gnaiss bandado quartzo-feldspático e gnaisses de derivação pelítica, com intercalações de quartzitos, gonditos, rochas calcissilicáticas e anfibolitos (Heilbron et al., 2016).

A unidade Paraíba do Sul está representada por gnaisses migmatíticos com intercalações de xisto, lentes de rochas calcissilicáticas, gondito, mármore, granada anfibolito e quartzitos (Eirado et al., 2006).

A unidade Cordeiro é constituída por gnaisses leucocráticos que afloram como soleiras ou diques intrudidos no Complexo Rio Negro, de composição de granodiorítica a granítica e por vezes tonalíticos (Heilbron et al., 2016).

A unidade Rio Turvo é composta por granada-biotita gnaisses com composição que variam de granito a alcalifeldspato granito, com granulação grossa em corpos lenticulares e intrudidos em gnaisses dos Grupos Andrelândia e Raposas (Heilbron et al., 2016).

A unidade Granito Nova Friburgo apresenta composição quartzo álcali-sienito a monzogranito em estágios finais de cristalização de uma série granítica, com granulação grossa (Heilbron et al., 2016).

A unidade Juiz de Fora está representada por granulitos gnaissificados de origem ígnea e composição que varia entre gabros, dioritos, tonalitos e granodioritos. (Tupinambá et al., 2013).

Os Depósitos Aluvionares são constituídos por depósitos de tálus na parte basal, enquanto as deposições mais recentes dessa cobertura são representadas por depósitos nas margens, fundos de canal, barras arenosas e planícies de inundação de rios (Heilbron et al., 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho analisou dados do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) presentes em processos de requerimento de outorga de poços, com solicitações entre os anos de 2016 e 2020, para a Região Hidrográfica Piabanha (RH-IV). Foram avaliados oitenta e quatro poços considerando os municípios de Areal (27 poços), Petrópolis (42 poços), Sapucaia (02 poços), Sumidouro (01 poço), Teresópolis (07 poços) e Três Rios (05 poços).

Para a análise da qualidade das águas subterrâneas da RH-IV, os dados presentes nos processos de outorga foram separados de acordo com as unidades hidroestratigráficas e dispostos em planilhas do Excel® com informações sobre a localização e profundidade dos poços, litologia de captação, nível d'água estático, nível d'água dinâmico, vazão e dados relativos a parâmetros físico-químicos e biológicos. Nos dados físico-químicos em que o limite inferior de detecção não foi atingido, primando por uma ação conservadora, considerou-se a metade do seu valor ($<LD/2$) para as análises estatísticas (Reimann & Filzmoser, 2000).

Foram calculadas as médias aritméticas e as medianas das concentrações de nitrato e realizada a análise do nitrito para cada unidade, assim como a porcentagem de poços com contaminação por bactérias. Os resultados obtidos foram confrontados com os padrões de potabilidade de água para consumo humano conforme a Portaria 888/21 (Brasil, 2021). Tal portaria estabelece valores máximos de 10 mg/L e 1 mg/L para nitrato e nitrito, respectivamente; recomenda que a contagem de bactérias heterotróficas deve ser menor que 500 Unidades Formadoras de Colônias por 1 mililitro de amostra (500 UFC/ml), e ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 mL de água.

Devido ao maior número de poços nas unidades Serra dos Órgãos, Rio Negro e Arcádia-Areal, também foi possível realizar nessas unidades uma análise estatística bivariada para observar o grau de correlação entre diferentes parâmetros: profundidade do poço, nível d'água estático, nível d'água dinâmico, vazão, pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, cloreto, fluoreto, nitrato, nitrito, dureza, cloro livre, bactérias heterotróficas, e presença ou ausência de coliformes totais e termotolerantes.

Para isso, foi utilizado o método estatístico não paramétrico de correlação de Spearman, aplicado em dados que não apresentam uma distribuição normal e que incluem outliers (Reimann et al., 2008), assim como em pesquisas geoquímicas descritas por Carmo et al. (2005) e Ribeiro (2017).

O coeficiente de Spearman varia de -1 a +1. Uma correlação positiva indica que as duas variáveis aumentam ou diminuem juntas, e uma correlação negativa indica que uma variável diminui à medida que a outra aumenta. O valor do coeficiente indica a força de correlação. Valores mais próximos de -1 ou +1 apontam um maior grau de correlação enquanto valores próximos de zero apontam menor relação entre as variáveis (Figueiredo Filho & Silva Júnior, 2009). Por meio da correlação de Spearman foi gerado um correlograma para cada unidade hidroestratigráfica no software R.

5 REVISÃO TEMÁTICA

Além da disponibilidade de contaminantes no meio, o comportamento da contaminação nos aquíferos pode ter relação com o uso, tipo de solo e a profundidade, tornando evidente que os aquíferos livres são mais suscetíveis à contaminação do que os aquíferos confinados, já que estão mais próximos a superfície. Embora as águas superficiais sejam ainda mais suscetíveis aos efeitos de ações antrópicas, a ausência da autodepuração nas águas subterrâneas faz com que a qualidade da água seja comprometida mesmo anos após cessar a fonte de contaminação, podendo perdurar por um longo tempo (Libânio, 2010).

5.1 Contaminantes

5.1.1 Compostos Nitrogenados

Os compostos nitrogenados podem estar presentes em águas subterrâneas por fontes naturais ou por alterações antrópicas. A diferenciação desses casos é difícil e as medições dos níveis de nitrogênio de *background* são mais bem realizadas em áreas remotas, e por isso, a interpretação desses dados pode ser incerta em algum grau (USEPA, 1993).

As formas de nitrogênio encontradas nos aquíferos são nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+), óxido nitroso (NO_2) e nitrogênio molecular (N_2). Nitrito (NO_2^-) e óxido de nitrogênio (NO) são formas pouco estáveis e intermediárias no processo de oxidação, resultando em baixas concentrações. O gás amônia (NH_3) é volátil e se dissolve apenas em águas com pH maior que nove (Varnier et al., 2019).

Dentre esses compostos, o nitrato é o contaminante mais comum, devido à alta mobilidade e persistência. Esse contaminante geralmente ocorre de forma natural em concentrações abaixo de 0,7 mg/L, dependendo das formações geológicas, as quais podem ser fontes primárias de nitrogênio. Águas ricas em oxigênio percolam sedimentos que contém nitrogênio, oxidando o amônio em processos anteriormente discutidos, dando origem ao nitrato (Varnier et al., 2019).

As principais fontes antrópicas dos compostos nitrogenados incluem atividades agrícolas e criação de animais; disposição de resíduos sólidos; e sistemas de saneamento, através de poluição difusa ou multipontual (Varnier et al., 2019).

Os diferentes compostos nitrogenados variam devidas alterações no estado de oxidação de acordo com o ciclo do nitrogênio (Figura 3). Essas alterações são controladas por condições ambientais, como temperatura, pH, microbiologia, potencial de oxidação/redução, disponibilidade de substrato, nutrientes e oxigênio. Os principais mecanismos que promovem essa alteração incluem fixação, amonificação/mineralização, nitrificação e desnitrificação (USEPA, 1993).

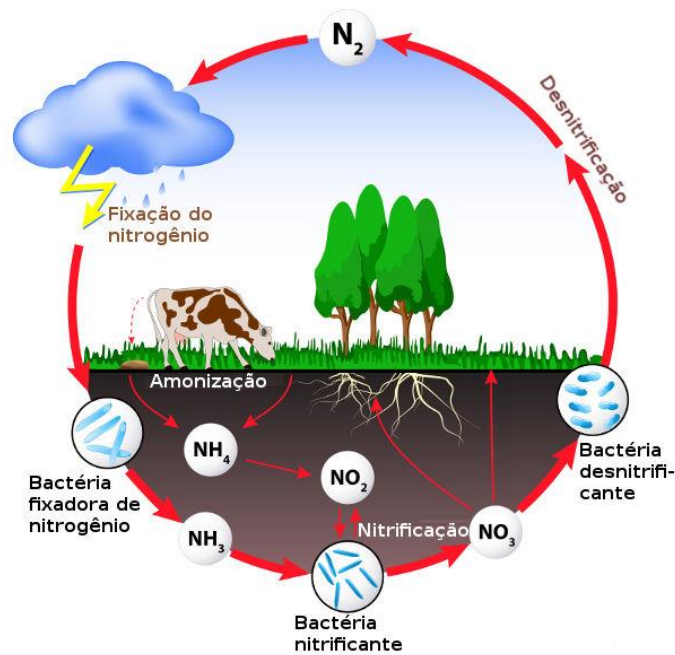


Figura 3. Ciclo do nitrogênio na natureza (Santos, c2020).

5.1.1.1 Fixação

A fixação é o processo de incorporação de nitrogênio gasoso em um composto químico, para que possa ser utilizado por plantas e animais (USEPA, 1993). Esse processo é realizado de forma física por descargas elétricas ou de forma biológica por microrganismos de vida livre e associações entre microrganismos e plantas (Chapelle, 2000).

A fixação de nitrogênio em descargas elétricas ocorre na parte mais alta da atmosfera, onde processos fotoquímicos transformam o nitrogênio em compostos que são transportados para a superfície terrestre por meio de precipitação (Chapelle, 2000).

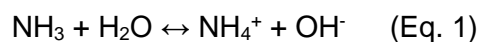
A maior parte do nitrogênio fixado é proveniente da associação de mutualismo da bactéria *Rhizobium* nas raízes de plantas leguminosas (como feijão, soja e ervilha), sendo a rotação de cultura de leguminosa uma alternativa ecológica ao uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Os organismos de vida livre contribuem de forma menos expressiva nesse processo. Dentre eles existem as bactérias aeróbias, como a *Azotobacter*; as bactérias anaeróbias, como a *Clostridium*; algumas algas, principalmente as cianofíceas; e bactérias fotossintéticas, como a *Rhodospirillum* (Braga et al., 2005).

Dos 140 a 700 mg/m² de nitrogênio fixado pela biosfera ao ano, apenas cerca de 35 mg/m² são fixados por processos físicos (Odum, 1971 apud Braga et al., 2005). Dentre os processos de fixação biológica, os organismos simbióticos fixam uma quantidade de pelo menos cem vezes mais nitrogênio que os organismos de vida livre (Kormondy, 1976 apud Braga et al., 2005).

A intervenção humana através de processos industriais de fixação de nitrogênio e o cultivo de leguminosas fixadoras tem alterado o ciclo do nitrogênio de forma significativa, com uma quantidade de nitrogênio fixado anualmente superior a 10% quando comparado à quantidade de nitrogênio fixado antes do advento da agricultura (USEPA, 1993).

5.1.1.2 Amonificação

Uma vez que o nitrogênio é fixado, o ciclo continua. A amônia (NH₃) e o nitrato (NO₃⁻) produzidos na fixação são assimilados pelas plantas na forma de compostos orgânicos, como as proteínas (USEPA, 1993). Quando esse nitrogênio orgânico entra na cadeia alimentar, ele passa a fazer parte do organismo dos consumidores primários, secundários e assim por diante. Bactérias mineralizam o nitrogênio a partir dos produtos de eliminação desses consumidores e da morte dos mesmos, em um processo conhecido como amonificação ou mineralização, produzindo gás de amônia (NH₃) e sais de amônio (NH₄⁺) (Braga et al. 2005). No solo, a amônia reage com a água para formar íons amônio (Eq. 1), mas em pH elevado a amônia predomina e pode ser perdida para a atmosfera por volatilização (Vieira, 2017).



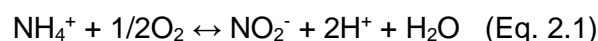
Os fatores que controlam a mineralização são associados às atividades dos micro-organismos presente no solo, os quais são controlados pela temperatura e teor de água (O'leary et al., 1990).

Como o NH₄⁺ apresenta carga positiva, ele pode ser adsorvido por argilominerais por processos de troca catiônica. O NH₄⁺ que não é adsorvido pelas argilas e nem aproveitado pelas plantas, fica sujeito a outras alterações no sistema do solo, como a nitrificação (O'leary et al., 1990).

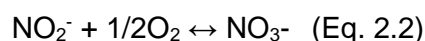
5.1.1.3 Nitrificação

Segundo Moreira & Siqueira (2006), a nitrificação é a oxidação do amônio realizada por bactérias quimiautotróficas que usam esse processo como fonte de energia para realização de atividades vitais. A nitrificação ocorre em duas etapas.

Na primeira etapa, chamada de nitritação, o amônio pode ser oxidado a nitrito (NO₂⁻) por bactérias nitrificadoras chamadas *Nitrossomonas*, conforme a equação 2.1.



Na segunda etapa, chamada de nitratação, o nitrito é oxidado por outras bactérias nitrificadoras chamadas *Nitrobacter*, dando origem ao nitrato, conforme a equação 2.2.



Os dois tipos de bactérias são organismos aeróbios. Desta forma, ambientes mais aerados tendem a apresentar uma maior taxa de nitrificação. A nitrificação depende também de condições ideais de umidade, temperatura e teor de matéria orgânica no solo (Moreira & Siqueira, 2006).

A maioria das plantas assimilam preferencialmente NO₃⁻ e, por isso, a capacidade nitrificadora é um bom indicador da fertilidade do solo. Contudo, o nitrato também traz efeitos negativos para o meio ambiente. Ao contrário do NH₄⁺, o NO₃⁻ não pode ser adsorvido aos colóides do solo e é facilmente solubilizado, o que pode acarretar em sua lixiviação para fora da zona

radicular, culminando na contaminação do lençol freático (Moreira & Siqueira, 2006). Em épocas de alto índice pluviométrico, a concentração de nitrato nos aquíferos tende a aumentar, uma vez que a recarga do aquífero é maior, e mais nitrato pode ser lixiviado até as águas subterrâneas (Chapelle, 2000).

5.1.1.4 Desnitrificação

A desnitrificação é um processo de redução bioquímica de formas oxidadas de nitrogênio a formas gasosas (N_2 e N_2O), envolvendo quatro etapas redutivas catalisadas principalmente por micro-organismos em condições anaeróbias, conforme a figura 4. Esse é o principal processo de perda de nitrogênio do solo para a atmosfera, e ainda que seja um processo de perda do sistema solo-planta, é benéfico em termos globais porque retira o nitrogênio do solo antes que ele chegue até o oceano, cujo enriquecimento desse elemento causa desequilíbrio biológico (Moreira & Siqueira, 2006).

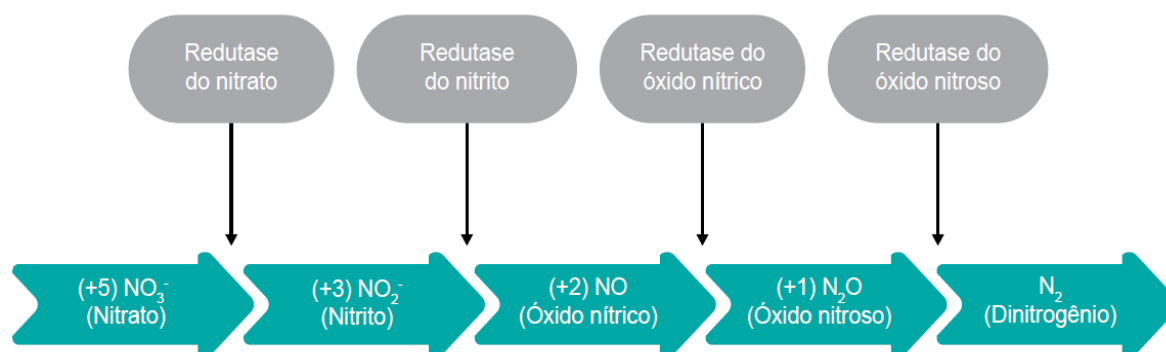


Figura 4. As quatro etapas da desnitrificação (Vieira, 2017).

Na desnitrificação, as bactérias *Pseudomonas* e *Paracoccus* utilizam o oxigênio do nitrato para sua respiração, reduzindo-o a nitrito, óxido nítrico, óxido nitroso e dinitrogênio, consecutivamente (Vieira, 2017).

Em situações onde há oxigênio e nitrato, as bactérias usarão preferencialmente o oxigênio na oxidação da matéria orgânica, pois ela gera mais energia. Desse modo, para que a desnitrificação aconteça, devem existir condições anóxicas, embora não seja o caso de todas as bactérias (USEPA, 1993).

De acordo com Moreira & Siqueira (2006), os fatores que regulam a desnitrificação são:

a) Umidade e aeração do solo: a umidade controla a disponibilidade de oxigênio e por consequência, regula a desnitrificação. Essa ocorre a partir de 60% do espaço poroso preenchido por água, se intensificando com 80%.

b) pH e temperatura: a desnitrificação é lenta em pH menor que 5 e as bactérias desnitrificantes crescem melhor em pH 6 a 8. A temperatura entre 5 e 75°C possibilita a ocorrência de desnitrificação, e acima de 50°C o nitrato pode sofrer decomposição química. A relação entre

temperatura e potencial de desnitrificação é mais linear que exponencial e esse processo se intensifica com o aquecimento global.

c) teor de nitrato e carbono: a decomposição da matéria orgânica consome O_2 , aumentando a necessidade de NO_3^- como aceptor de elétrons para o crescimento microbiano, gerando uma correlação positiva entre o teor de carbono e potencial de desnitrificação.

Os aquíferos tendem a serem aeróbios próximos ao lençol freático, onde o nitrato acumula em solução. Entretanto, em zonas mais profundas do aquífero, as condições são anaeróbias e a concentração de nitrato diminui ao sofrer desnitrificação (Chapelle, 2000).

5.1.2 Bactérias

As bactérias heterotróficas são microrganismos que fazem o uso de carbono orgânico como fonte de nutrientes. A partir da sua contagem é possível fazer uma análise ampla da qualidade das águas, fornecendo informações acerca de eventuais falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição, e possível não-integridade do sistema de distribuição (Brasil, 2005).

No grupo dos coliformes totais se encontram bactérias capazes de fermentar lactose com produção de gás a $35^\circ C$ (Silva et al., 2017). Esse grupo abrange espécies que podem ocorrer naturalmente no solo, plantas e águas, não sendo exclusivamente relacionada a uma origem fecal. Por isso, a análise individual dos coliformes totais apresenta um panorama limitado e sua aplicação se restringe à avaliação da qualidade da água tratada e distribuída (Brasil, 2005).

Os coliformes fecais são um subgrupo dos coliformes totais restrito a bactérias que fermentam a lactose de $44,5$ a $45,5^\circ C$. Em princípio, essa denominação veio com o intuito de separar apenas as bactérias originárias do trato intestinal, como a *Escherichia coli*, cujo habitat natural é o trato intestinal de animais de sangue quente. Mas apesar do nome, esse grupo também abrange espécies de origem não exclusivamente fecal e por isso o termo “coliformes termotolerantes” tem sido gradativamente mais utilizado (Silva et al., 2017).

São relativamente limitadas as pesquisas sobre a sobrevivência das bactérias em águas subterrâneas, mas em geral, estima-se que o seu período de sobrevivência em aquíferos seja maior que em águas superficiais, em virtude da ausência de sol e da baixa intensidade de competição por nutrientes disponíveis (Coelho & Duarte, 2008).

À medida que as bactérias são transportadas pela água subterrânea que flui através de meios porosos, elas são removidas por filtração, adsorção e morte natural. A migração da frente bacteriana é muito mais lenta que o fluxo da água e suas vidas são geralmente curtas em comparação com a velocidade do fluxo. Em areia de granulação média ou materiais mais finos, organismos patogênicos e coliformes geralmente não penetram mais do que vários metros. Em aquíferos heterogêneos de areia e cascalho, as bactérias podem ser transportadas por dezenas ou centenas de metros. Em fraturas o transporte se dá ainda mais rapidamente, podendo chegar a quilômetros de distância (Freeze & Cherry, 1979).

5.2 Contaminação dos aquíferos por atividades agropecuárias

O crescimento populacional nas últimas décadas causou uma demanda mais alta de alimentos, que por sua vez, acarretou em uma maior produção agrícola. Devido ao uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, essa atividade representa atualmente a maior fonte de nitrato em águas subterrâneas em todo o mundo. O nitrato é facilmente lixiviado, atingindo grandes extensões nos aquíferos (Varnier et al., 2019). Os fatores que controlam a lixiviação são difíceis de serem mensurados e representam uma complexa função da interação entre o regime climático e a irrigação, com o sistema do solo-colheita (Foster & Hirata, 1993).

Através da comparação de solos arenosos, comprovou-se que a irrigação em áreas agrícolas promove significativo aumento da concentração de nitrato em aquíferos livres. Nos solos com presença de irrigação com pivô central e aplicação de fertilizantes, a concentração de nitrato variou entre 0,1 a 133 mg/L, ao passo que nos solos com vegetação natural esta variação foi de 0,1 a 1,0 mg/L (Libânio, 2010).

O Brasil começou a usar agrotóxico em larga escala a partir da década de 70, e até o final da década de 80 não havia grandes preocupações quanto à contaminação do solo e da água. A partir de 1992, com a divulgação do Fórum Internacional Rio-92, o tema ganhou destaque e começaram os estudos de contaminantes por agrotóxicos, porém vinte anos depois, o avanço na pesquisa foi modesto. Em 2008 o Brasil passou a ser o maior mercado consumidor de agrotóxicos do mundo (Gomes & Barizon, 2014).

Os resíduos gerados pelos animais por serem ricos em nutrientes são muitas vezes utilizados como fertilizantes na agricultura. Apesar disso, muito do nitrogênio não é aproveitado na fertilização das culturas porque o nitrogênio contido nos dejetos é assimilado pelas plantas de forma lenta. Desse modo, a aplicação de resíduos animais na agricultura em larga escala põe em risco os recursos hídricos subterrâneos (Zaporozec, 2004).

Segundo ANA (2007), o estudo do impacto nas águas subterrâneas causado pelo uso de fertilizantes ainda é escasso no Brasil, em especial nas áreas de recarga, onde os aquíferos são mais vulneráveis, o que torna a dimensão do problema ainda pouco conhecida.

5.3 Disposição de resíduos sólidos e contaminação da água subterrânea

A disposição de resíduos é um dos maiores problemas da sociedade moderna. A produção de resíduos tem aumentado, enquanto que as áreas de disposição final têm diminuído, já que os centros urbanos crescem e demandam cada vez mais por espaço (Jacobi & Besen, 2011).

Os aterros ou lixões são os principais destinos dos resíduos urbanos na maioria dos países. No Brasil, a coleta de lixo em 2015, considerando-se apenas os domicílios urbanos, era de, aproximadamente 90,8%, onde somente 18% de todos os municípios realizam técnicas de manejo

do lixo, pela incineração, reciclagem e deposição segura em aterros sanitários. Os outros 82% depositam seus resíduos em locais irregulares, denominados de lixões (IPT, 2018).

Se os aterros estiverem situados em locais adequados, a poluição pode ser evitada. Contudo, geralmente não é possível escolher uma local ideal, por características hidrogeológicas desfavoráveis, ou pela grande distância de transporte. Nas situações em que os aterros estão localizados sobre materiais permeáveis, como areia, cascalho ou rocha fraturada, a contaminação pode atingir áreas muitas vezes maiores que a própria área ocupada pelo aterro (Freeze & Cherry, 1979).

A maior parte do nitrogênio presente no chorume formado na base do local de descarte está sob a forma amoniacal, devido às condições anaeróbias (Varnier et al., 2019). A percolação do chorume se dá através de interstícios do solo e o escoamento na zona não saturada ocorre verticalmente, ao passo que na zona saturada é governado pela direção de fluxo das águas subterrâneas (Libânio, 2010).

5.4 Impacto do efluente doméstico na água subterrânea

O esgoto doméstico e industrial é disposto sobre ou abaixo da superfície do solo de diversas maneiras. Dentre elas, o uso de fossas sépticas e drenos são umas das principais causas de contaminação em água subterrânea (Freeze & Cherry, 1979).

Com o atual aumento na porcentagem de tratamento de esgoto em países industrializados, a produção de sólidos residuais conhecidos como lodo de esgoto tende a aumentar. Em muitas áreas esse resíduo é utilizado na agricultura ou zonas florestais, fertilizando áreas antes inférteis, já que o lodo contém muitos nutrientes como nitrogênio e fósforo. No entanto, essa prática apresenta potencial impacto na qualidade da água subterrânea. Além disso, os efluentes do esgoto intensamente tratado, também são utilizados na irrigação de culturas ou como fonte artificial de recarga de aquíferos que servem para suprimento urbano e controle de intrusão de água salgada em regiões costeiras (Freeze & Cherry, 1979).

Varnier (2001) ao desenvolver estudos em fossas sépticas constatou uma evolução caracterizada por compostos nitrogenados menos oxidados (nitrogênio orgânico e amônio) quando estes se situavam mais próximos à fossa. À medida que se afasta da fonte de contaminação, surgem compostos mais oxidados (amônio e posteriormente nitrato), em virtude do contato do contaminante com águas mais ricas em oxigênio. A nitrificação libera íons H^+ , ocasionando a diminuição do pH.

Proveniente de efluentes domésticos, as bactérias entéricas podem sobreviver em águas subterrâneas por cem dias ou mais, dependendo da temperatura. Em regiões tropicais o período de sobrevivência das bactérias é menor que em regiões temperadas, pois a temperatura das águas subterrâneas rasas tende a ser mais elevada. Além disso, a possibilidade de reprodução das bactérias e a natureza química das águas devem ser levados em consideração (Lewis, 1986 apud Coelho & Duarte, 2008).

5.5 Riscos à saúde humana

A exposição ao nitrato pelo homem acontece principalmente através da dieta, já que esse composto está presente naturalmente tanto nas águas, como nos vegetais. Nos Estados Unidos, a população ingere em média de 75 a 100 mg por dia, sendo 80 a 90% dessa quantidade proveniente dos vegetais como beterraba, alface e tomate (Nugent et al., 1999 apud Guerrero, 2003). Além disso, nitritos e nitratos são amplamente utilizados como aditivo de salsicha, linguiça e conservas de carnes para prevenir o crescimento de bactérias. Os dois aditivos podem ser encontrados em concentrações de centenas (nitratos) ou dezenas (nitritos) de miligramas por quilo (Vittozzi, 1992).

Apesar dos benefícios na conservação de alimentos, os compostos nitrogenados podem trazer danos à saúde da população quando ingerido em excesso. A ingestão de quantidades superiores ao padrão de potabilidade pode acarretar em doenças como a metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul) e alguns tipos de câncer (Varnier et al., 2019).

A metahemoglobinemia ocorre em indivíduos geralmente abaixo de três anos de idade onde a presença e tipologia de bactérias no estomago reduz o nitrato para nitrito. O nitrito combina com a hemoglobina do sangue, promovendo sua oxidação e impedindo o transporte adequado de oxigênio. O bebê sofre insuficiência respiratória e fica azul. Em estudos associados à ingestão de nitrato por água, a doença ocorreu em 97% dos casos em concentrações de nitrato superiores a 44,3 mg/L (WHO, 1993).

Essa doença não ocorre em adultos, pois a hemoglobina oxidada é facilmente reduzida novamente para a sua forma transportadora de oxigênio, e o nitrito é rapidamente oxidado para nitrato. Ademais, antes que ocorra a redução do nitrato, ele é absorvido no trato digestivo dos adultos (Nóbrega et al., 2006).

Embora a metahemoglobinemia possa ocorrer como resultado da alta ingestão de nitratos, a situação mais comum é a ocorrência em bebês alimentados com mamadeira, consequência dos altos níveis de nitrato na água. Os bebês alimentados com mamadeira são considerados de maior risco porque a ingestão de água em relação ao peso corporal é alta. O risco da doença é aumentado na presença de infecções gastrointestinais simultâneas, que aumentam a formação endógena de nitrito (WHO, 1993).

A melhor forma de prevenção da doença é a substituição da água contaminada. Caso a substituição não seja possível, recomenda-se a diluição da água contaminada em uma água com baixa concentração de nitrato (WHO, 1993).

Segundo Fernícola (1989), ao contrário da Europa, há poucos dados sobre a doença na América, deixando em dúvida se isso se deve a baixa notificação ou a baixa incidência da doença. A autora sugere que os países efetuem mais estudos de concentração de compostos nitrogenados, principalmente em zonas rurais e ainda estabeleçam técnicas simples de laboratório para detectar a metahemoglobinemia.

Outro dano possivelmente associado à ingestão de nitritos e nitratos é o surgimento de câncer, entre eles o gástrico. Os compostos nitrogenados podem reagir com aminas e amidas, formando compostos cancerígenos, como as nitrosaminas e nitrosamidas (Varnier, 2001).

Em testes realizados em animais, foi observada a ocorrência de câncer em todas as espécies estudadas, o que leva a crer que os seres humanos também seriam suscetíveis ao desenvolvimento da doença (PROFILL, 2020).

Entretanto, de acordo com WHO (1993), mesmo com um número significativo de pesquisas, não há evidências concretas para uma associação direta entre a ingestão de nitrato com o câncer gástrico ou qualquer outro tipo de câncer no organismo humano, tornando essa questão ainda inconclusiva.

Em relação as bactérias, o homem sofre exposição principalmente através das águas e dos alimentos, causando diversas doenças por contaminantes biológicos, sendo este um dos problemas de saúde pública mais comum no Brasil. As doenças podem ser transmitidas de forma direta, por meio da ingestão de água ou alimentos contaminados, e também indireta, no preparo de alimentos, higiene pessoal, agricultura e lazer (Sousa, 2006).

Dessa maneira, os coliformes são bons indicadores das condições higiênicas da qualidade dos alimentos processados, já que geralmente esses organismos são eliminados nas condições de processamento térmico, como a pasteurização de leite. Em vista disso, a sua presença em alimentos pode indicar um processo térmico inadequado ou contaminação pós-processamento (Santana, 2017).

No geral as bactérias heterotróficas não são patogênicas. No entanto, alguns dos gêneros incluem espécies oportunistas, que podem causar doenças quando o sistema imunológico do hospedeiro está enfraquecido (Rusin et al., 1997).

Os principais agentes causadores de doenças por veiculação hídrica são representados por membros da família *Enterobacteriace*. Dentre esses, a *Escherichia coli* tem destaque nas categorias diarreogênicas, sendo o principal representante dos coliformes termotolerantes (Sousa, 2006).

A *Escherichia coli* coloniza o intestino dos humanos poucas horas após o nascimento em uma relação à qual a bactéria e o hospedeiro obtêm benefícios mútuos. Para os humanos essa relação é benéfica pois a *Escherichia coli* compete com bactérias patogênicas e é inofensiva aos humanos quando confinada ao intestino. Entretanto, mesmo as cepas não patogênicas podem causar danos quando o hospedeiro se encontra imunossuprimido, ou quando as barreiras gastrointestinais são violadas. As infecções causadas por *E. coli* podem ser limitadas às superfícies mucosas ou podem se disseminar por todo o corpo, resultando em infecção do trato urinário, meningite e infecções gastro-intestinais (Nataro & Kaper, 1998).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Distribuição espacial dos indicadores na RH-IV

A seguir apresenta-se uma análise da distribuição dos poços nos municípios da RH-IV em comparação com os limites de nitrato, nitrito e bactérias estabelecidos pela Portaria 888/21. Os municípios de Carmo, São José do Vale do Rio Preto, Paty do Alferes e Paraíba do Sul não foram incluídos na análise, já que não haviam dados de poços disponíveis.

Com exceção de Petrópolis e Teresópolis, as concentrações de nitrato nos poços dos municípios analisados se encontram dentro do limite de 10 mg/L (Figura 5). Em Teresópolis, um poço apresentou concentração de 11 mg/L e em Petrópolis sete poços extrapolaram o valor de referência, com concentrações elevadas de até 333,5 mg/L, 3.335% acima do limite. O mesmo poço em Teresópolis ultrapassou o limite de 1 mg/L de nitrito, com concentração de 3,5 mg/L. Outro poço do mesmo empreendimento apresentou concentração de 2,04 mg/L (Figura 6).

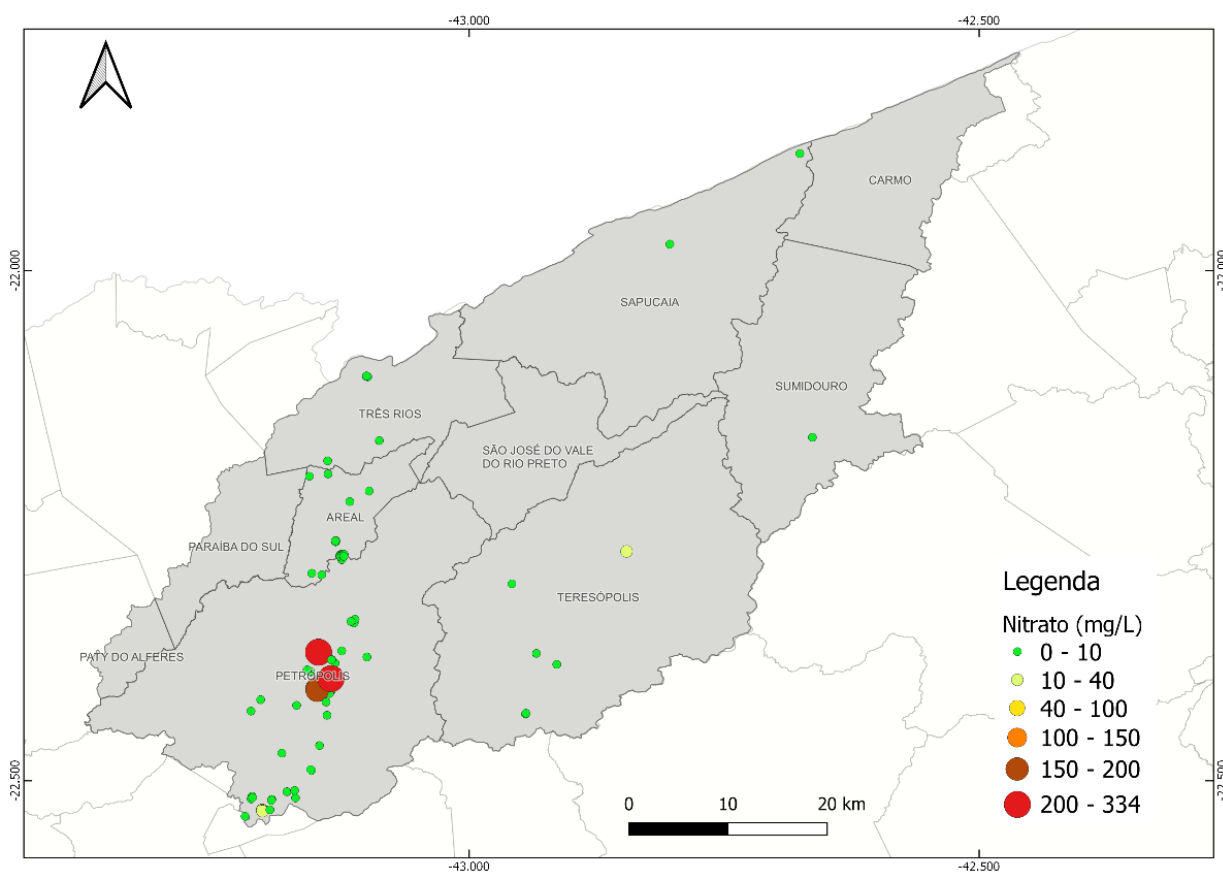


Figura 5. Distribuição das concentrações de nitrato.

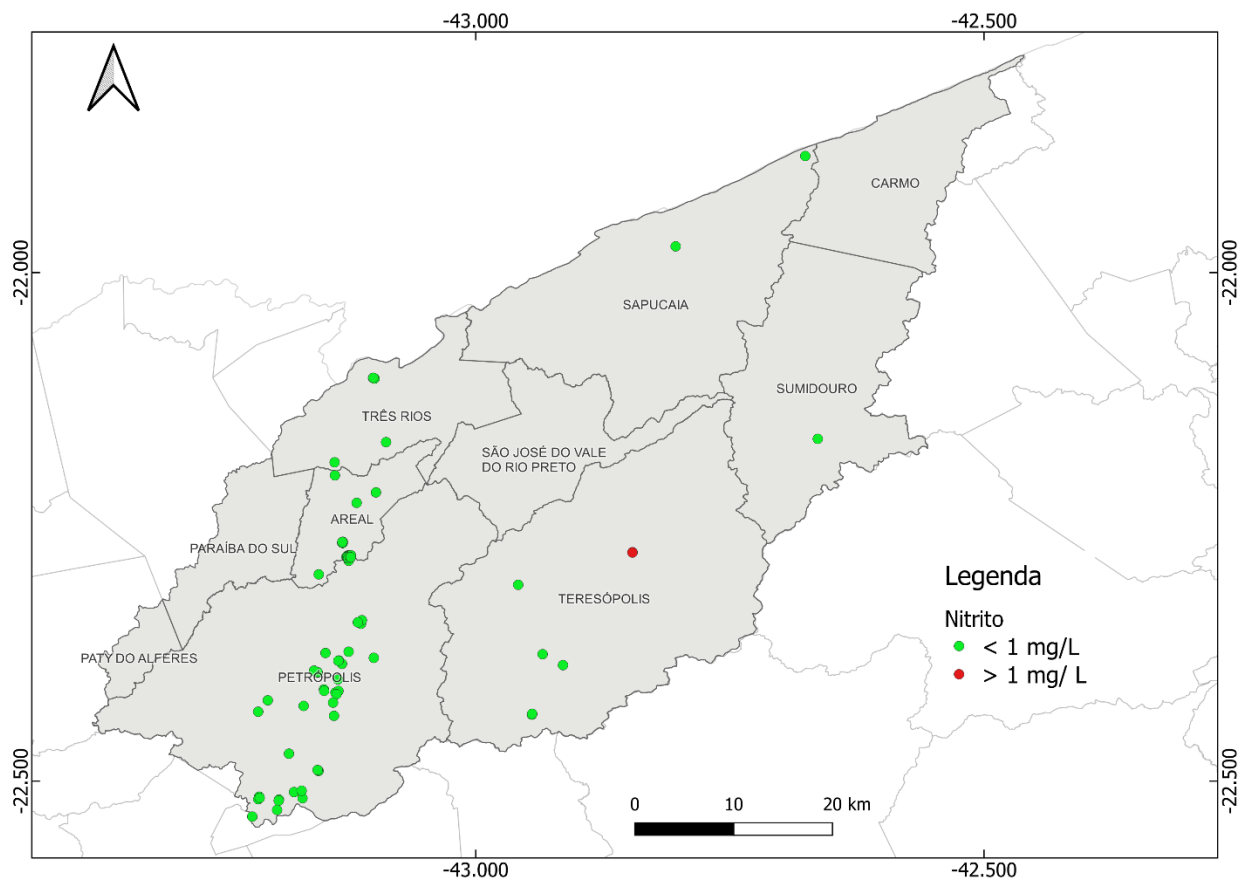


Figura 6. Distribuição das concentrações de nitrito.

Em 43,75% dos poços a contagem de bactérias heterotróficas foi maior que o limite de 500 UFC/mL. Sapucaia e Sumidouro são os municípios com os menores quantitativos de poços com concentrações de bactérias heterotróficas acima do valor máximo (Figura 7), não sendo também detectada a presença de coliformes totais e termotolerantes. Entretanto, o baixo número de amostras compromete uma análise representativa para os referidos municípios.

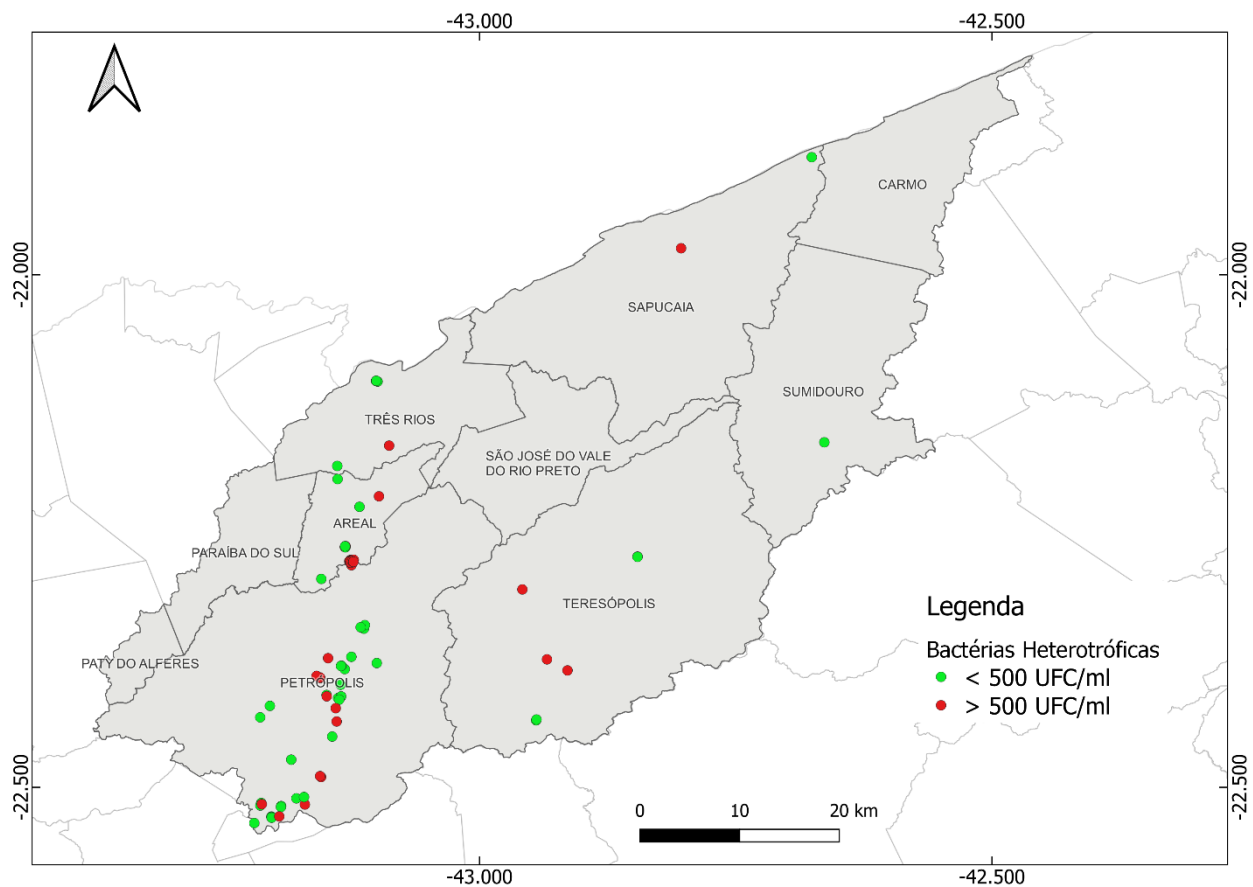


Figura 7. Distribuição da contagem de bactérias heterotróficas.

Em 44,44% dos poços foi detectada a presença de coliformes totais (Figura 8) e em 10,39% dos poços foi detectada a presença de coliformes termotolerantes (Figura 9). Interessante analisar que, apesar dos dados apontarem para uma maior degradação das águas subterrâneas na região sudoeste da RH-IV, essa análise deve ser feita com cautela ao considerarmos que para a região nordeste e periferia da RH-IV existem poucas representatividades de poços cadastrados. Tal fato pode maquiar a caracterização das influências antrópicas nas águas subterrâneas das referidas áreas (Sumidouro, Carmo, Sapucaia, São José do Vale do Rio Preto, Paty do Alferes e Paraíba do Sul).

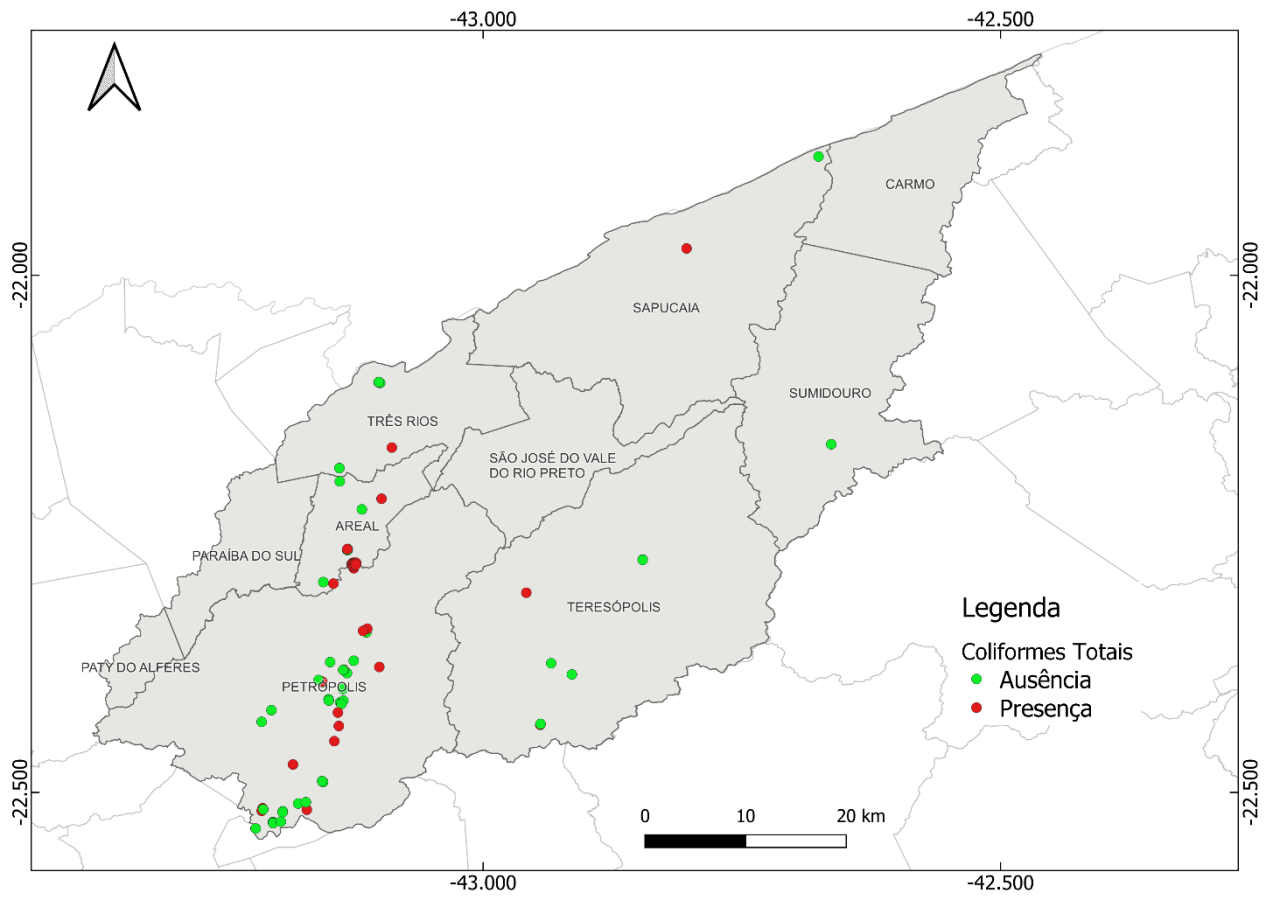


Figura 8. Distribuição dos poços com ausência e presença de coliformes totais.

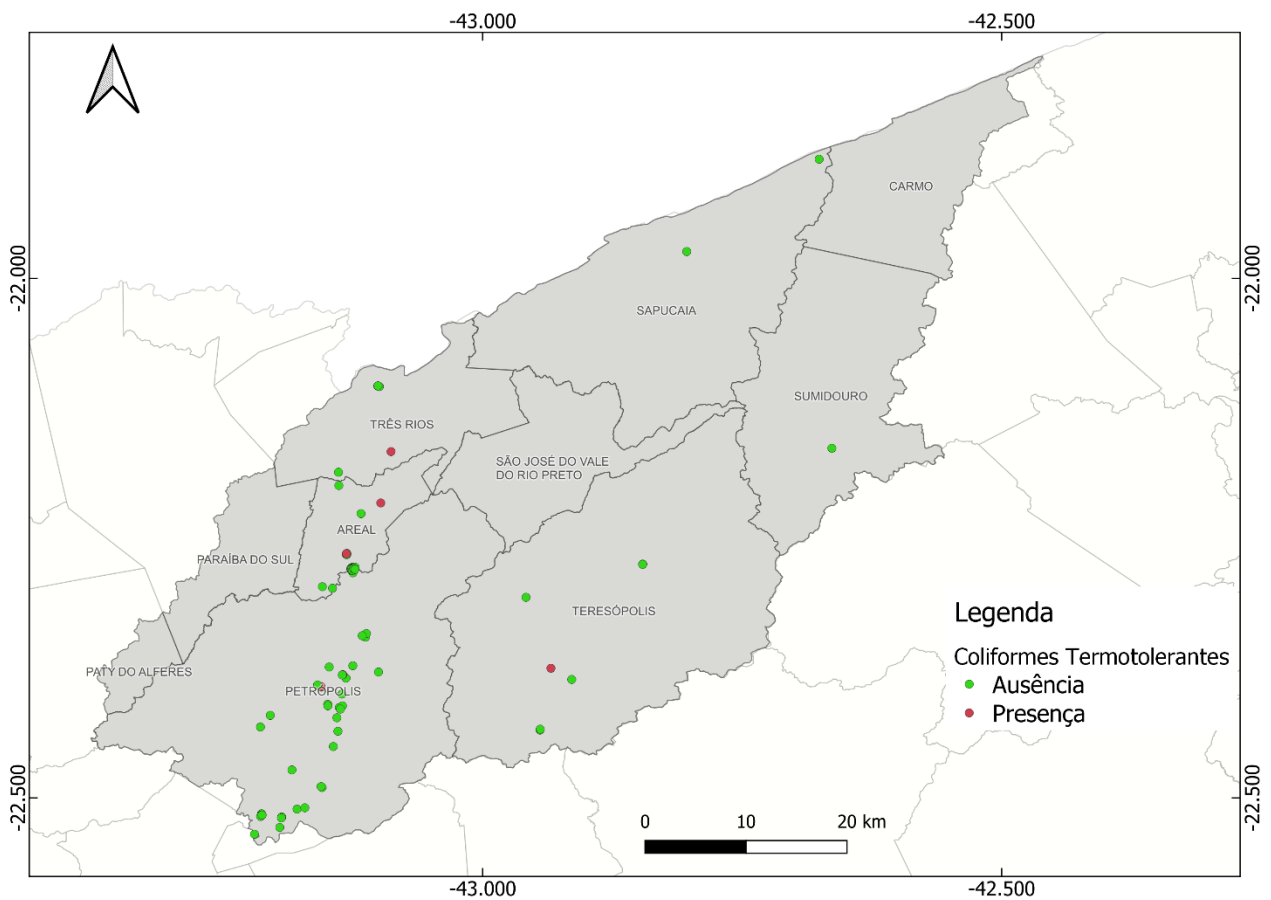


Figura 9. Distribuição dos poços com ausência e presença de coliformes termotolerantes.

6.2 Análises dos indicadores de Contaminação em Aquíferos da RH-

IV

As influências antropogênicas nas unidades hidroestratigráficas exploradas foram avaliadas a partir dos compostos nitrogenados e de bactérias (indicadores). Além da caracterização das condições hidrodinâmicas por unidade aquífera explorada, foram estabelecidos os valores máximos e mínimos desses indicadores.

Para a unidade Serra dos Órgãos (gnaisse) foram avaliados 28 poços com vazão média de 3,99 m³/h e profundidades que variaram de 3 a 250 m e mediana de 120 m. As concentrações de nitrato variaram de 0,16 mg/L a 333,5 mg/L, com média de 34,18 mg/L e mediana de 1,65 mg/L. As concentrações de nitrito variaram de 0,003 mg/L a 3,5 mg/L, com média de 0,2437 mg/L e mediana de 0,025 mg/L. Dentre os poços com dados de bactérias heterotróficas, 37,04% apresentaram níveis maiores que 500 UFC/mL. Foram detectadas presenças de coliformes totais e termotolerantes em 55,55% e 51,85% das amostras, respectivamente. Nessa unidade, os poços com maiores níveis de contaminação por nitrato e bactérias foram encontrados no município de Petrópolis e apresentam como finalidades o uso industrial e o uso doméstico. Os dois poços com níveis de nitrito acima do limite se localizam em Teresópolis e tem o uso doméstico como finalidade.

Os 27 poços identificados na unidade Rio Negro (rochas ortoderivadas) apresentaram uma vazão média de 4,52 m³/h e profundidades que variaram de 8 a 333 m, com mediana de 80 m. As concentrações de nitrato variaram de 0,01 mg/L a 34,8 mg/L, com média de 4,15 mg/L e mediana de 1,22 mg/L. As concentrações de nitrito variaram de 0,0045 mg/L a 0,08 mg/L, com média de 0,0178 mg/L e mediana de 0,0125 mg/L. Em 40,74% dos poços a contagem de bactérias heterotróficas esteve acima de 500 UFC/mL. Dentre os poços com dados de coliformes, foram constatadas presenças de coliformes totais e termotolerantes em 44,44% e 21,74% dos poços, respectivamente. Os poços com concentrações de nitrato acima de 10 mg/L estão localizados em Petrópolis e apresentaram o uso doméstico como finalidade. Também em Petrópolis observou-se poços com altos níveis de bactérias heterotróficas, chegando a valores de 350.000 UFC/mL e para Areal os valores chegaram a ultrapassar 5.700 UFC/mL.

Os 14 poços distribuídos na unidade Arcádia-Areal (gnaisse bandados) apresentaram uma vazão média de 4,03 m³/h e profundidades que variaram de 35 a 150m, com mediana de 100 m. Para essa unidade, as concentrações de nitrato variaram de 0,03 mg/L a 1,15 mg/L, com média de 0,19 mg/L e mediana de 0,03 mg/L. As concentrações de nitrito variaram de 0,0045 mg/L a 0,025 mg/L, com média de 0,0086 mg/L e mediana de 0,0045 mg/L. Dentre os poços com dados de bactérias heterotróficas, 69,23% apresentaram contagens maiores que 500 UFC/mL, tendo um dos poços em Areal contagens maiores que 5.700 UFC/mL. Foram detectadas presenças de coliformes totais e termotolerantes em 78,57% e 21,42% dos poços, respectivamente.

Os 5 poços distribuídos na unidade Conservatória (biotita gnaisse) apresentaram uma vazão média de 3,93 m³/h e profundidades que variaram de 84 a 130 m, com mediana de 120 m. Na

unidade Conservatória as concentrações de nitrato variaram de 0,02 mg/L a 4,33 mg/L, com média de 1,25 mg/L e mediana de 0,53 mg/L. As concentrações de nitrito variaram de 0,025 mg/L a 0,09 mg/L, com média de 0,0413 mg/L e mediana de 0,025 mg/L. Para a maioria dos poços foram encontrados níveis de bactérias heterotróficas abaixo de 500 UFC/mL, com exceção de um poço em Três Rios que atende as necessidades de abastecimento de um matadouro, com níveis maiores que 5.700 UFC/mL. Esse mesmo poço foi o único com presença de coliformes totais e termotolerantes.

Os 3 poços distribuídos na unidade Paraíba do Sul (gnaisses migmatitos) apresentam vazões 5 m³/h, 6,6 m³/h e 7 m³/h e profundidades que variam de 7,5 a 300 m. As concentrações de nitrato foram de 0,05 mg/L, 0,14 mg/L e 0,29 mg/L. As concentrações de nitrito foram de 0,01 mg/L, 0,07 mg/L e 0,32 mg/L. Nos três poços a contagem de bactérias heterotróficas estava abaixo de 500 UFC/mL. Em um poço em Três Rios utilizado para lavagem de dependências e rega de jardim foi detectada a presença de coliformes totais e nos outros poços foi constatada a ausência de coliformes termotolerantes.

Para a unidade Cordeiro (gnaisses), os 3 poços analisados, apresentam vazões de 1,5 m³/h, 1,61 m³/h e 7,2 m³/h e profundidades que variam de 120 a 240 m. As concentrações de nitrato foram de 0,5 mg/L, 1,95 mg/L e 3,67 mg/L. Apenas dois poços continham dados de nitrito, com concentrações de 0,007 mg/L e 0,0025 mg/L. Os mesmos dois poços são os que continham dados de bactérias, ambos com contagem de bactérias heterotróficas acima de 500 UFC/mL e presença de coliformes totais. Um dos poços em Petrópolis com finalidade de uso doméstico apresentou coliformes termotolerantes.

A unidade Rio Turvo (granada biotita gnaiss) apresenta um poço com vazão de 1,1 m³/h e profundidade de 200 m. A concentração de nitrato nesse poço foi de 0,5 mg/L. A concentração de nitrito foi de 0,0025 mg/L. O nível de bactérias heterotróficas foi maior que 5700 UFC/mL, com presença de coliformes totais e ausência de coliformes termotolerantes. O poço se localiza em Sapucaia e tem como finalidade o uso industrial.

A unidade Granito Nova Friburgo apresenta um poço com vazão de 2 m³/h e profundidade de 152 m. A concentração de nitrato do poço analisado foi de 4,4 mg/L. A concentração de nitrito foi de 0,0025 mg/L. A contagem de bactérias heterotróficas foi de 150 UFC/mL, com ausência de coliformes totais e termotolerantes.

A unidade Juiz de Fora (granulito gnaissificado) apresenta um poço com vazão de 1,70 m³/h e profundidade de 80 m. A concentração de nitrato do poço analisado foi de 0,12 mg/L. A concentração de nitrito foi de 0,005 mg/L. A contagem de bactérias heterotróficas foi de 60 UFC/mL, com ausência de coliformes totais e termotolerantes.

O único poço identificado nos Depósitos Aluvionares apresenta vazão de 0,97 m³/h e profundidade de 12 m. Não havia dados de nitrato e nitrito no pedido de outorga do poço analisado. A contagem de bactérias heterotróficas foi de 250 UFC/mL e foram detectadas presenças de coliformes totais e termotolerantes.

6.3 Correlações estatísticas das principais unidades exploradas

As relações com os indicadores ainda foram avaliadas considerando outros dados físico-químicos e hidrodinâmicos, sendo eles: profundidade do poço, nível d'água estático, nível d'água dinâmico, vazão, pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, cloreto, fluoreto, nitrato, nitrito, dureza, cloro livre, bactérias heterotróficas, e presença ou ausência de coliformes totais e termotolerantes. Os dados de cada poço estão dispostos no apêndice deste trabalho.

Foi realizada uma análise estatística para os aquíferos, além da discussão sobre a origem dos contaminantes e do comportamento do cloreto, um íon estável, conservativo, tendo em vista reduzida reatividade e capacidade de adsorção (Santos et al, 2014).

Na análise através do coeficiente de Spearman para a unidade Serra dos órgãos (Figura 10) foram desconsiderados 9 poços com informações incompletas sobre os parâmetros, totalizando uma avaliação para 19 poços. Foram encontradas associações positivas (0,7) entre nível d'água dinâmico, profundidade e nível d'água estático. Desta forma, não foi possível notar relevância dos indicadores com parâmetros físico-químicos.

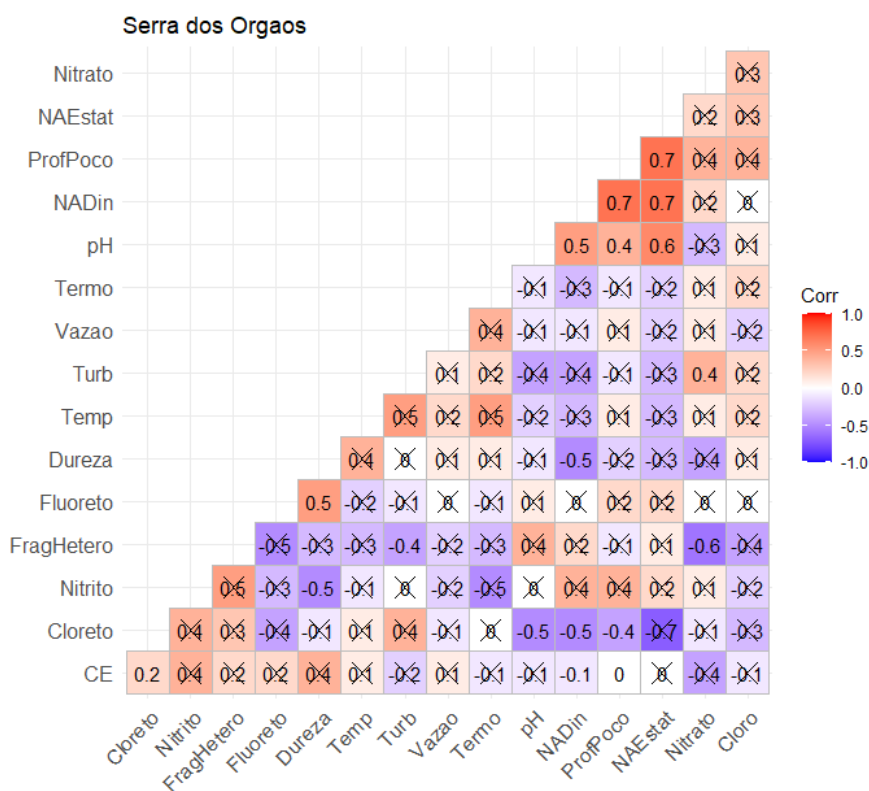


Figura 10. Correlação dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a unidade Serra dos Órgãos. As correlações sobrepostas por X indicam um nível de significância menor de 5%.

Na unidade Rio Negro (Figura 11) foram desconsiderados 6 poços com informações incompletas sobre os parâmetros analisados, totalizando 21 poços com associações negativas entre a dureza e a vazão. O nitrito apresentou associação negativa com a dureza e a temperatura, além de associação positiva com o fluoreto. O indicador nitrato também apresentou correlação

positiva com o fluoreto e ainda com o cloreto. Considerando a análise de Spearman, a associação entre os compostos nitrogenados, fluoreto e cloreto nas águas subterrâneas da unidade Rio Negro pode ter como origem a ocupação urbana, especialmente os efluentes domésticos e industriais.

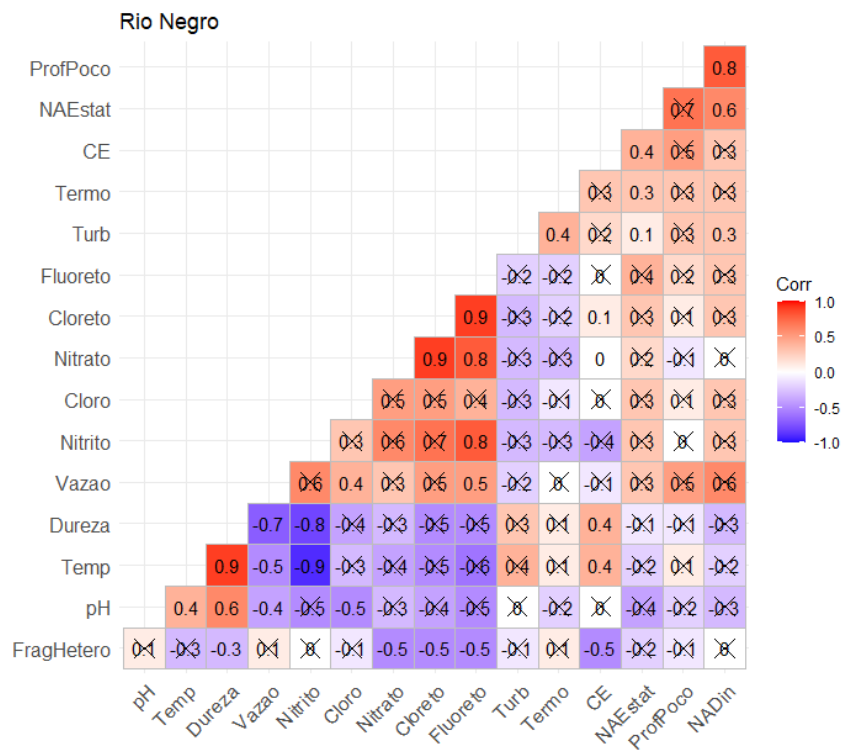


Figura 11. Correlação dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a unidade Rio Negro. As correlações sobrepostas por X indicam um nível de significância menor de 5%.

As concentrações de cloreto, fluoreto, nitrito e nitrato são maiores em poços da zona urbana de Petrópolis se comparadas com as concentrações nos poços da mesma unidade da região de Areal e adjacências, zona rural (Figura 12).

É importante pontuar que em Petrópolis, poços dessa unidade estão instalados em zona de recarga, enquanto Areal e adjacências encontram-se em área de descarga da RH-IV (Almada, 2021). Fato que não é esperado, principalmente para íons conservativos como o cloreto, que tendem a se acumular na água subterrânea conforme percolam pelo aquífero, fomentando dessa forma, a influência da ocupação urbana nas águas subterrâneas da cidade de Petrópolis.

A área de Petrópolis, onde os poços com maiores concentrações estão instalados, consiste no território com maior população da RH-IV, com 295.917 habitantes, que equivale a cerca de 54% dos habitantes da região hidrográfica (AGEVAP, 2019). Diante deste contexto, o esgotamento sanitário poderia ser uma das fontes relevantes que concentrariam cloretos, fluoretos e compostos nitrogenados, já que esses íons são comuns nos efluentes domésticos. Queiroz (2011) ao estudar as águas superficiais da RH-IV notou que no Rio Paquequer, o cloreto apresentou uma carga de 6 kg/dia antes de atravessar o centro urbano e 730 kg/dia após a passagem do centro urbano no período de estiagem.

É importante enfatizar que o cloreto é considerado um íon traçador em meio aquoso (Lima, 2003), já que tem pouquíssima afinidade para troca catiônica, logo, seria de se esperar que em condições naturais de fluxo subterrâneo suas concentrações fossem maiores na zona de descarga e não ao contrário, como acontece nos poços analisados para a unidade Rio Negro (Figura 12). Interessante perceber ainda que além do cloreto, os demais íons relacionáveis (fluoreto, nitrito e nitrato) possuem os valores altos também para o município de Petrópolis. Os poços instalados próximos a pontos de lançamentos de efluentes e de águas resultantes de consumo humano possuem as maiores concentrações dos indicadores, ratificando que o aumento desses contaminantes nas águas subterrâneas do referido aquífero tem origem antrópica.

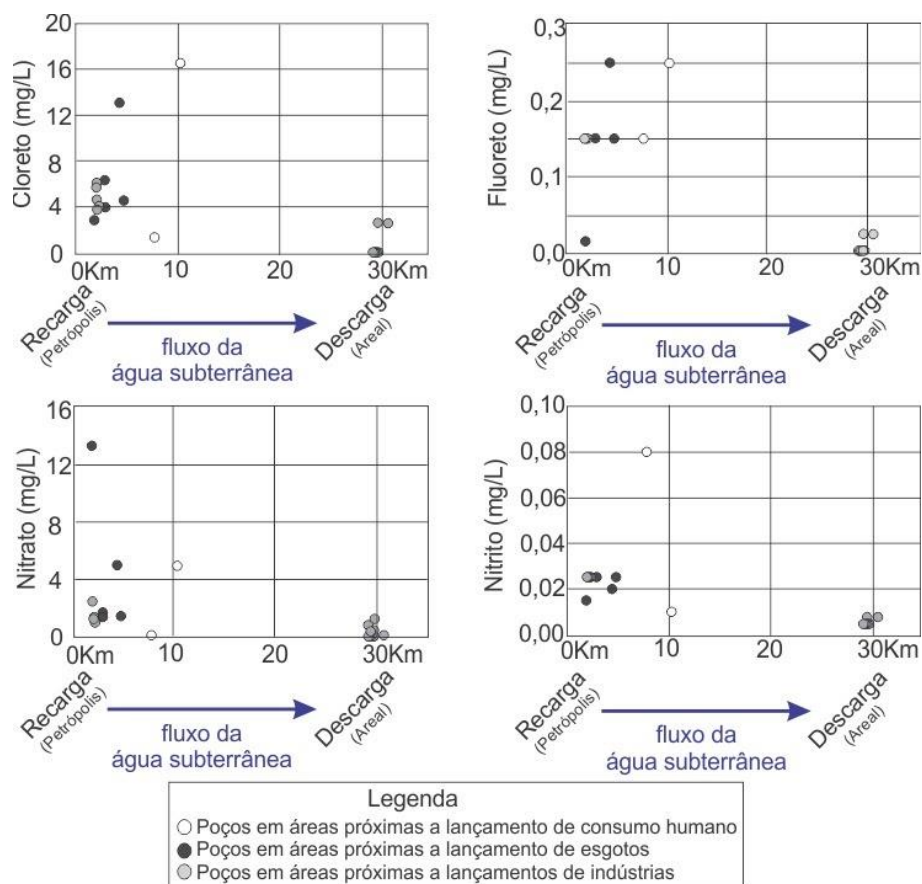


Figura 12. Tendência de diminuição das concentrações dos íons cloreto, fluoreto, nitrato e nitrito conforme saem da zona de recarga e se aproximam da zona de descarga do aquífero.

Para a unidade Arcádia-Areal (Figura 13), com representantes no município de Areal e proximidades, foi desconsiderado 1 poço com informações incompletas sobre os parâmetros, totalizando 13 poços analisados. Observou-se a correlação positiva do nitrito com o cloreto e com a vazão, além da profundidade do poço com o nível d'água dinâmico.

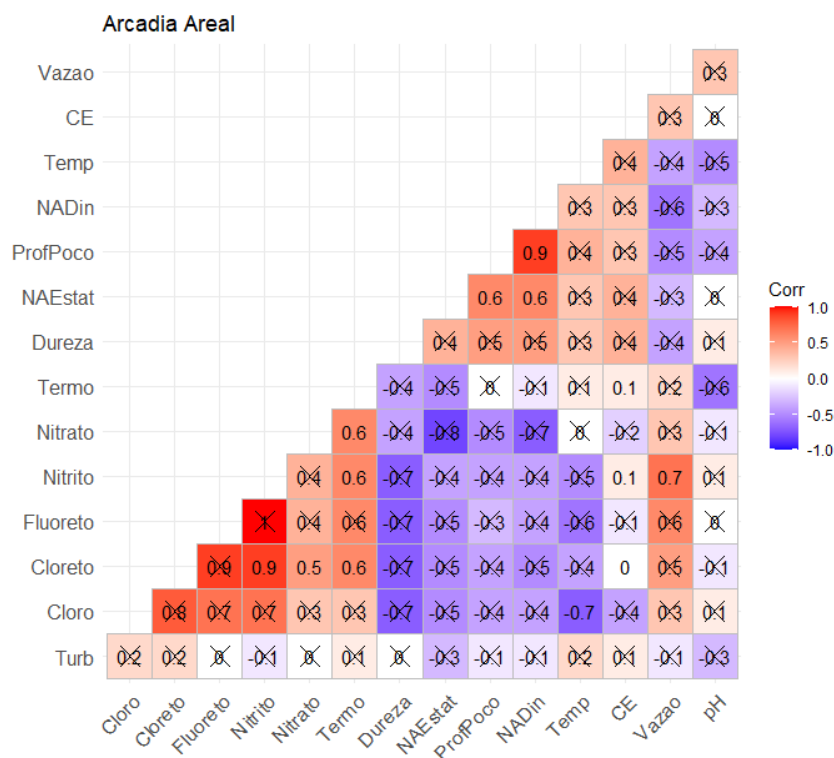


Figura 13. Correlação dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a unidade Arcádia-Areal. As correlações sobrepostas por X indicam um nível de significância menor de 5%.

Segundo Almada (2021), a produção agrícola é uma atividade importante para Areal e outros municípios que compõem a unidade Arcádia-Areal. A utilização de fertilizantes pode contribuir para a presença de compostos nitrogenados e cloreto pode ser acrescentado ao solo através da irrigação, podendo colaborar para a salinização das águas subterrâneas. Este fato justificaria a correlação positiva entre o nitrito e cloreto. O nitrito também apresenta uma correlação positiva com a vazão, já que maiores explorações de água subterrânea podem causar a indução de água contaminada com fertilizantes, por exemplo, através do deslocamento da pluma de contaminação (Borghetti et al., 2004).

Apesar de significativas associações com o nitrito, não houve correlação de parâmetros com o nitrato. Desse modo, supõe-se que as águas subterrâneas explotadas possam estar próximas a fonte ou características de zonas mais reduzidas.

Ainda na unidade Arcádia-Areal, os poços analisados apresentavam o cloro livre dentro do limite dos padrões de potabilidade, mas com uma correlação negativa com a temperatura, uma vez que maiores temperaturas contribuem com reações químicas que causam a redução do cloro em água (Meier, 1994; Clark, 1995).

O aquífero Serra dos Órgãos, Rio Negro e Arcádia Areal apresentaram relação positiva entre os níveis dinâmicos e as profundidades dos poços, indicando que as entradas de águas relevantes tendem a ser as mais profundas. Não foram identificadas associações hidrodinâmicas de aquíferos mais rasos com compostos nitrogenados ou bactérias.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao início desse trabalho foi constatada a ausência de estudos que apontassem a abrangência da contaminação das águas subterrâneas na Região Hidrográfica do Piabanha, sendo importante a realização de pesquisas que abrissem essa discussão e fomentasse futuros estudos. Diante disso, o presente trabalho atinge sua pretensão de fornecer um prognóstico da qualidade das águas subterrâneas dessa região, uma vez que foram identificados e discutidos poços com potabilidade comprometida, totalizando 65,48% dos poços fora dos padrões de potabilidade para nitrato, nitrito e/ou bactérias.

O volume de dados das unidades Serra dos Órgãos, Rio Negro e Arcádia-Areal permitiu uma análise estatística detalhada acerca da relação dos contaminantes e suas origens. Para as outras unidades, a análise foi generalista quanto aos aspectos relacionados a nitrato e bactérias.

Em relação ao nitrato, as unidades mais afetadas foram Serra dos Órgãos e Rio Negro, com concentrações até 3335% maior que o valor máximo permitido de 10 mg/L, principalmente em áreas próximas de centros urbanos e subordinadamente por contribuição de atividades agrícolas. Ademais, as unidades Arcádia-Areal, Conservatória, Cordeiro, Rio Turvo e Granito Nova Friburgo apresentaram poços com concentrações de nitrato acima de 1 mg/L, sendo uma possível evidência de alteração por atividades antrópicas. Ainda na unidade Serra dos Órgãos, foram identificados dois poços em Teresópolis com concentrações de nitrito acima do valor máximo de 1 mg/L.

Em 42,5% dos poços a contagem de bactérias heterotróficas foi maior que o limite de 500 UFC/mL. Apenas as unidades Paraíba do Sul, Granito Nova Friburgo, Juiz de Fora e Depósitos Aluvionares não continham poços com bactérias heterotróficas acima do valor máximo permitido. Contudo, não é possível assegurar uma boa qualidade das águas subterrâneas nessas unidades, uma vez que a quantidade de poços analisados foi baixa. Em Arcádia-Areal, Conservatória, e Rio Turvo as bactérias heterotróficas ultrapassaram valores acima de 5.700 UFC/mL.

Em 44,44% e 10,39% dos poços foi detectada a presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes, respectivamente.

Tendo em vista que os efluentes são disponibilizados majoritariamente em águas de superfície (rios) ou em poucas profundidades dos solos (fossas sumidouros), ou ainda que os fertilizantes sejam utilizados em superfícies de solo agricultáveis, esperava-se que os poços com maiores valores de compostos nitrogenados e bactérias compreendessem os poços menos profundos e/ou com níveis d'água mais rasos. Entretanto, essa hipótese não foi confirmada já que não foram verificadas relações entre as concentrações dos indicadores com a profundidade dos poços ou os níveis das águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS

- AGEVAP - ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (2019)** – Atlas da Região Hidrográfica IV: Piabanha. Petrópolis. 1ª edição. 127p. Disponível em < <http://www.comitepiabanha.org.br/atlas.php> > Acessado em 20 de maio, 2020.
- ALBUQUERQUE, Y. M. (2019)** - Cenário do Uso dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região Hidrográfica do Piabanha (RH-IV). Monografia de Graduação. DCMA/UFRRJ. 71p.
- ALMADA M. G. O. (2021)** - Delimitação das zonas potenciais e análises hidroquímicas das águas subterrâneas na Região Hidrográfica IV - Piabanha (RJ). Dissertação de Mestrado. IA/UFRRJ. 85p.
- ALMEIDA, L. F. S.; LEITE, O. D.; GUARDA, L. D. C. (2016)** - Avaliação da qualidade bacteriológica e espécies nitrogenadas das águas subterrâneas de poços da área urbana de Barreiras-BA. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Campinas. 11p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (2007)** - Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Caderno de Recursos Hídricos 5. Brasília. 124p.
- BIGUELINI, C. P. & GUMY, M. P. (2012)** - Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná. Revista faz ciência. 14(20): 153.
- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. (2004)** - Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul. Ed. dos Autores. 214p.
- BRAGA B.; HESPANHOL L.; CONEJO J. G. L.; BARROS M. T. L.; SPENCER M.; PORTO M.; et al. (2005)** - Introdução à Engenharia Ambiental. 2ª edição. Prentice Hall, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 29-31p.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE (2005)** - Comentários sobre a portaria MS Nº518/2004: subsídios para implementação.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE (2021)** - Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicada no DOU nº 85, de 7 de maio de 2021.
- CAJAZEIRAS, C. C. A. (2007)** - Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, Região de Crajubar, CE. Dissertação de Mestrado. DG/UFC. 131p.
- CAMARGO, M. F. & PAULOSSO, L. V. (2009)** - Avaliação qualitativa da contaminação microbiológica das águas de poços no município de Carlinda–MT. Semina: Ciências Biológicas e da Saúde. 30(1): 77-82

CARMO M. S.; BOAVENTURA G. R.; OLIVEIRA E. C. (2005) - Geoquímica das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF. Química Nova. 28(4): 565-574.

CHAPELLE, F.H. (2000) - Ground-water microbiology and geochemistry. Editora John Wiley & Sons. 2ª Edição. 477p.

CLARK, R. M.; ROSSMAN, L. A. e WYMER, L. J. (1995) - Modeling distribution system water quality: Regulatory implications. Journal of water resources planning and management. 121(6): 423-428.

COELHO, V. M. T. & DUARTE, U. (2008) - Potencial de contaminação de aquífero freático por esgoto doméstico – quantificação do decaimento bacteriológico. Águas Subterrâneas, 22(1): 01-12.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIABANHA E DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PAQUEQUER E PRETO (2021) - Cadastro de usuários da RH-IV, 2021. Disponível em: <https://comitepiabanha.org.br/cadastro-de-usuarios.php> acesso em 20 de julho de 2021.

COPPETEC - FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE PROJETOS, PESQUISAS E ESTUDOS TECNOLÓGICOS (2007) - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – AGEVAP. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo: Caderno de Ações Área de Atuação do Comitê Piabanha. Anexo 4 do Relatório Contratual R-10. Rio de Janeiro. 125p. Disponível em <<http://www.comitepiabanha.org.br/plano-de-bacia.php>> Acessado em 14 de maio, 2020.

COPPETEC - FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE PROJETOS, PESQUISAS E ESTUDOS TECNOLÓGICOS (2014) - Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: R2-F Caracterização Ambiental Versão Final Rio de Janeiro. 102p. Disponível em <<http://www.agevap.org.br/downloads/Diagnostico-Characterizacao-Ambiental.pdf>>. Acessado em 03 de junho, 2020.

EIRADO L. G.; HEILBRON M.; ALMEIDA J. C. H. (2006) - Os terrenos tectônicos da Faixa Ribeira na Serra da Bocaina e na Baía da Ilha Grande, sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências. 36(3):426–36.

FERNÍCOLA, N. G. J. (1989) - Metahemoglobinemia infantil causada por nitratos. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP). 106(1): 32-40.

FIGUEIREDO FILHO D. B.; SILVA JÚNIOR J. A. D. (2009) - Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). Revista Política Hoje. 18(1): 115-146.

FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. C. A. (1993) - Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico. 92p.

FREEZE R. A. & CHERRY J. A. (1979) - Groundwater. Editora Prentice Hall. Nova Jersey, EUA. 604p.

FREITAS, M. B. & ALMEIDA, L. M. (1998) - Qualidade da água subterrânea e sazonalidade de organismos coliformes em áreas densamente povoadas com saneamento básico precário. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 6p.

GOMES, M. A. F. & BARIZON, R. R. M. (2014) - Panorama da contaminação ambiental por agrotóxicos e nitrato de origem agrícola no Brasil: cenário 1992/2011. Embrapa Meio Ambiente. 35p

GRASSI, M. (2001) - As águas do planeta Terra. Cadernos Temáticos de Química Ambiental. Química Nova na escola, n.º 1. 31-40.

GUERRERO, C. A. C. (2003) - Estratégias de controle da poluição das águas subterrâneas pelos nitratos de origem agrícola. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais /Universidade do Algarve. 202p.

HEILBRON, M. C. L.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. C. H. (2016) - Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro: Texto Explicativo dos Mapas Geológicos e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. Programa Geologia do Brasil (PGB), Mapas Geológicos Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. (2019) - A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. Editora Instituto Trata Brasil. 36p.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (2018) - Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. IPT/CEMPRE. 316p.

JACOBI, P. R. & BESEN, G. R. (2011) - Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. Estudos avançados. 25(71): 135-158.

LIBÂNIO, M. (2010) - Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Editora Átomo. 640p.

LIMA, L. J. D. S. (2003) - Transporte de água e de soluto em um latossolo do brejo paraibano. Dissertação de Mestrado. DEN/UFP. 160p.

MEYER, S. T. (1994) - O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. Cadernos de Saúde Pública. 10(1): 99-110.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. (2006) - Microbiologia e bioquímica do solo. Editora UFLA. Lavras. 2ª Edição. 729 p.

NATARO J. P. & KAPER, J. (1998) - Diarrheagenic Escherichia coli. Clinical Microbiology Reviews. 11(1): 142-201.

NÓBREGA, M.; SANTOS, J.; ARAÚJO, A. (2006) - Qualidade das águas subterrâneas na grande Natal: o alcance da contaminação por nitrato nas águas minerais. I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica Natal-RN-2006. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. 11 p.

O'LEARY, M.; REHM, G.; SCHMIT, M. (1990) - Understanding Nitrogen in Soils. University of Minnesota Extension. Reviewed 1990. 4p.

PROFILL - PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA (2020) - Diagnóstico e prognóstico da Região Hidrográfica do rio Piabanha e sub-bacias hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto. 210p. Disponível em <http://www.sigaceivap.org.br:8080/publicacoesArquivos/ceivap/arq_pubMidia_Processo_591-2019_PF02_Piabanha.pdf>. Acessado em 13 de julho, 2021.

QUEIROZ, L. A. V. D. (2017) - Hidrogeoquímica fluvial da bacia do rio Paquequer, Teresópolis-RJ. Dissertação de Mestrado. IQ/UFF. 99p.

REIMANN, C. & FILZMOSER, P. (2000) – Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. Environmental Geology. 39(9): 1001-1014.

REIMANN C.; FILZMOSER P.; GARRETT R. G.; DUTTER R. (2008) - Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R. Editora John Wiley. 362p.

RIBEIRO, T. G. (2017) - Indicadores geoquímicos na avaliação da qualidade ambiental: bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns em Goiânia, Goiás. Tese de Doutorado. IG/UNB. 160p.

RUSIN, P. A.; ROSE, J. B.; HAAS, C. N.; GERBA, C. P. (1997) - Risk assessment of opportunistic bacterial pathogens in drinking water. Reviews of environmental contamination and toxicology, 57-83.

SANTANA, A. (2017) - O que são coliformes fecais e quais os riscos à saúde. Food Safety Brazil. Disponível em <<https://foodsafetybrazil.org/o-que-sao-coliformes-fecais-e-quais-os-riscos-saude-2/>>. Acessado em 20 de novembro, 2021.

SANTOS, M. R. P.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; MENDES, J. (2014) - Modelagem do transporte de cloreto proveniente de esgoto urbano em um aquífero sedimentar usando MT3D: o caso da bateria de poços de Juazeiro do Norte (CE). Engenharia Sanitária e Ambiental. 19(3): 283-292.

SANTOS, V. S. (c2020) - Ciclo do Nitrogênio. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/ciclo-nitrogenio.htm>. Acesso em 20 de junho de 2020.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; ARRUDA SILVEIRA, N. F.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M. (2017) - Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água. Editora Blucher. 535p.

SOUSA, C. P. (2006) - Segurança alimentar e doenças veiculadas por alimentos: utilização do grupo coliforme como um dos indicadores de qualidade de alimentos. Revista APS. 9(1): 83-88.

STRADIOTO, M. R.; TERAMOTO, E. H.; & CHANG, H. K. (2020) - Nitrato em águas subterrâneas do estado de São Paulo. Revista do Instituto Geológico. 40(3): 1-12.

TUPINAMBÁ, M.; GONTIJO, A.; SILVA, T. M. D.; DIAS, D. A.; MENEZES, P. D. T. L., MANE, M. A.; et al. (2012) - Geologia e recursos minerais da folha Nova Friburgo SF. 23-ZB-II, estado do Rio de Janeiro. CPRM. 136p.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; ET AL. (2013) - Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. Geonomos. 15(1): 67-79.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; OLIVEIRA, A.; PEREIRA, A. J.; CUNHA, E. R. S. P.; FERNANDES, G. A.; et al. (1996) - Complexo Rio Negro - Uma Unidade Estratigráfica Relevante no Entendimento da Evolução da Faixa Ribeira. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, v. 6. Salvador, BA. 104-107.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1993) – Manual: Nitrogen Control. EPA/625/R-93/010. US Environmental Protection Agency. Washington, EUA. 311p.

VARNIER, C. L. (2001) - O Efeito do nitrogênio proveniente de sistemas de saneamento In Situ na qualidade das águas subterrâneas em aquíferos livres e rasos. Tese de Doutorado. IG/USP. 150 p.

VARNIER, C.; ROCHA, G. A.; CAMPOS, J. E.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SIMONATO, M.; HIRATA, R. (2019) - Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual. São Paulo. SIMA/IG, 99 p.

VIEIRA, R. F. (2017) - Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. Embrapa Meio Ambiente. 163p.

VITTOZZI, L. (1992) - Toxicology of nitrates and nitrites. Food Additives and Contaminants, 9(5): 579-585.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (1993) - Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization. Genebra. 142 p.

ZAPOROZEC, A. (2004) - Groundwater contamination inventory: A methodological guide. International Hydrological Program (IHP) VI. Groundwater Series N° 2. UNESCO. 160p.

APÊNDICE

Tabela com dados hidrodinâmicos, físico-químicos e biológicos dos poços analisados

Processo	ID do poço	Município	Unidades	Profundidade do poço (m)	Nível d'água estático (m)	Nível d'água dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Parâmetros físico-químicos				Cl-	F-	N-NO ₃	N-NO ₂	Dureza	Bac. Heterotróf (UFC/mL)	Coliformes totais	Coliformes Termotoler.	Cloro livre
								pH	Temperatura (°C)	Cond. elétrica (µS/cm)	Turbidez (NTU)									
PD_07_006.96_2019 Cond Dr Thouzet	Poço 1	Petrópolis	Rio Negro	100	6	75.71	4.9	5.31	25	75.1	0.5*	7.22	0.04	19.6	-	3.07	0	ausência	-	3
PD_07_006.96_2019 Cond Dr Thouzet	Poço 2	Petrópolis	Rio Negro	100	11.36	36.58	4.9	5.37	25	92.2	0.5*	7.422	0.07	24.6	-	18	0	ausência	-	4
PD_07_006.96_2019 Cond Dr Thouzet	Poço 3	Petrópolis	Rio Negro	100	10.4	37.24	4.9	5.24	25	123	0.5*	10.8	0.11	34.8	-	16.9	0	ausência	-	5
PD-07_006.6_2018 Cond Sítio da Ponte	Poço 1	Petrópolis	Serra dos Orgãos	80	18.97	49.51	0.56	7.1	4	233.9	0.3	5.77	0.7	0.27	0.025*	35.26	280	ausência	ausência	0.005*
PD-07_006.6_2018 Cond Sítio da Ponte	Poço 2	Petrópolis	Serra dos Orgãos	150	16.58	89.36	1	7.2	4	82.3	0.3	5.15	0.15*	2.16	0.025*	7.33	25	ausência	ausência	0.005*
PD-07_006.6_2018 Cond Sítio da Ponte	Poço 3	Petrópolis	Serra dos Orgãos	120	55.97	98.65	0.41	7.2	4	94.6	0.33	1.7	0.15*	1.34	0.025*	10.97	102	ausência	ausência	0.005*
PD-07_006.20_2018 Francisco Brandão	Poço 1	Areal	Arcádia Areal	35	3.55	19.89	4	7.86	5.1	94.9	338.4	2.5	0.025*	0.035*	0.0075*	18	770	presença	ausência	0.065*
PD-07_006.20_2018 Francisco Brandão	Poço 2G	Areal	Arcádia Areal	35	8.08	19	7.2	7.19	5.1	67.5	0.5*	2.5	0.025*	0.035*	0.0075*	14	3	ausência	ausência	0.065*
PD-07_006.20_2018 Francisco Brandão	Poço 3L	Areal	Arcádia Areal	35	6.67	19.87	4.8	7.5	5.1	72.6	0.5*	2.5	0.025*	0.035*	0.0075*	17	240	ausência	ausência	0.065*
PD-07_006.20_2018 Francisco Brandão	Poço 4	Areal	Rio Negro	100	5.4	19.42	1.1	6.03	5.1	69.8	0.5*	2.5	0.025*	0.12	0.0075*	12	980	ausência	ausência	0.065*
PD-07_006.20_2018 Francisco Brandão	Poço 6	Areal	Rio Negro	102	29.87	96	1	5.7	5.1	110	48.7	2.5	0.025*	0.47	0.0075*	29	5700	presença	presença	0.065*
PD-07_006.36_2018 Cond Sta Monica	P-01	Areal	Conservatória	120	31	45.6	1.63	6.12	4	294	3.57	0.5*	0.5	0.025*	0.025*	41.8347	<1	ausência	ausência	1.71
PD-07_006.36_2018 Cond Sta Monica	P-02	Areal	Conservatória	130	17	49.8	3.62	6.32	4	194.4	4.55	1*	0.4	0.53	0.025*	43.0232	4	ausência	ausência	0.81
PD-07_006.41_2018 Altenhaus Hotels	Poço 01	Petrópolis	Serra dos Orgãos	70	5.73	63.38	4	6.3	22	64.4	0.5*	2*	0.25*	5*	0.01*	32	<1	ausência	ausência	0.005*
PD-07_006.67_2019 SMH	Poço 1	Petrópolis	Rio Negro	50	4.1	18.5*	4.88	6.9	5	45.6	0.63	3.95	0.15*	1.69	0.025*	3.2835	310	ausência	ausência	0.01*
PD-07_006.68_2019 SMH	Poço 1	Petrópolis	Rio Negro	50	1.59	41	7.2	7.3	5	47.9	0.01	6.28	0.15*	1.393	0.025*	3.5	6	ausência	ausência	0.01*
PD-07_006.72_2018 Cond Ed Mayworm	Poço 1	Petrópolis	Serra dos Orgãos	78	10.78	18.51	2.72	7.2	4	78.3	0.71	6.26	0.15*	1.93	0.025*	8.8888	417	ausência	ausência	0.005*

Processo	ID do poço	Município	Unidades	Profundidade do poço (m)	Nível d'água estático (m)	Nível d'água dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Parâmetros físico-químicos				Cl-	F-	N-NO ₃	N-NO ₂	Dureza	Bac. Heterotróf (UFC/mL)	Coliformes totais	Coliformes Termotoler.	Cloro livre
								pH	Temperatura (°C)	Cond. elétrica (µS/cm)	Turbidez (NTU)									
PD-07_006.83_2019 Green Valley	-	Teresópolis	Serra dos Orgãos	30	2.1	28	4	7.1	27.6	14.5	0.5	4	0.027	0.16	0.003*	21.4	>300	ausência	presença	0.005*
PD-07_006.109_2019 Cervejaria Petropolis	LC 03	Petrópolis	Serra dos Orgãos	150	9.83	24.98	6	-	-	142.31	2.24	3.5	0.05*	333.5	0.016*	47.5	23000	ausência	ausência	0.1*
PD-07_006.109_2019 Cervejaria Petropolis	LC 01/02	Petrópolis	Serra dos Orgãos	250	9.41	43.95	5.5	-	-	99.26	1.76	1.3*	0.05*	158.5	0.016*	31.7	380	ausência	ausência	0.1*
PD-07_006.109_2019 Cervejaria Petropolis	LC 02/02	Petrópolis	Serra dos Orgãos	250	10.34	45.3	11.1	-	-	78.42	1.69	1.3*	0.05*	175.4	0.016*	27.7	1300	ausência	ausência	0.22
PD-07_006.109_2019 Cervejaria Petropolis	LC 05	Petrópolis	Serra dos Orgãos	175	98.87	148.11	25.12	-	-	107.72	2.01	1.3*	0.05*	233.4	0.016*	38.6	78	ausência	ausência	0.1*
PD-07_006.126_2018 GE Celma	Poço 05	Três Rios	Paraíba do Sul	7.5	1.85	5.4	6.6	6.03	5	77.7	22.9	3.97	0.15*	0.29	0.07	0.02	108	presença	ausência	0.01*
PD-07_006.153_2019 Francisco Brandão	Poço 7	Areal	Arcádia Areal	120	2.5	48	3.2	6.09	5.1	37.7	1*	2.5*	0.75*	0.3	0.008*	15	11	presença	presença	0.065*
PD-07_006.162_2018 Cond Village	Poço 1	Areal	Arcádia Areal	120	7.57	46.59	1.61	6.41	-	-	5.9	3.9	-	0.5*	-	32	-	presença	ausência	0
PD-07_006.263_2019 Shopp Alberto Dias	Poço 1	Petrópolis	Rio Negro	100	16.1	31.65	8	6	24.5	171.5	0.42	15.1	0.4	0.29	0.005*	75	350000	presença	-	0.005*
PD-07_006.307_2019 Ed 16 de Março	Poço _01	Petrópolis	Rio Negro	50	4.05	8.46	3.23	6.04	20.9	131	0.5	13	0.25*	5*	0.02	42	<1.0	ausência	ausência	0.06*
PD-07_006.3232_2018 Chácara das Rosas	Poço 01	Petrópolis	Rio Negro	80	9.74	40.54	3.695	6.01	5	38.4	0.68	1.32	0.15*	0.11	0.08	6.8911	8	presença	ausência	0.005*
PD-07_006.5713_2010 Regina Célia	Poço 1	Petrópolis	Cordeiro	120	15.25	21.45	7.2	7.2	2.5*	153.2	0.2	5.8	ND	1.95	ND	15.38	-	-	-	ND
PD-07_007.84_2020 Associação Sítio Taquari	Poço - 01	Petrópolis	Serra dos Orgãos	75	4	49.76	2.1	7.8	2.5*	93.4	0.005*	2.3	0.59	ND	ND	66.08	>5700	ausência	ausência	0.005*
PD-07_007.84_2020 Associação Sítio Taquari	Poço - 01	Petrópolis	Serra dos Orgãos	8	6.5	6.8	0.2	7.5	2.5*	61.7	0.005*	1.5	ND	0.63	ND	14.78	>5700	presença	presença	0.005*
PD-07_007.125-2018 Adm Moura Brasil	Poço 2	Petrópolis	Depósitos aluvionares	12	5.31	6.07	0.972	6.1	-	-	0.02	53.3	-	-	-	-	250	presença	ausência	-
PD-07_007.149_2019 Sítio Queluz	Poço	Petrópolis	Serra dos Orgãos	100	6.17	60.87	4.5	6.1	2.5*	111.8	0.005*	4.16	0.15*	1.378	0.025*	16.2419	9	presença	ausência	0.005*
PD-07_007.285_2019 Cond Bonclima	P-01	Petrópolis	Serra dos Orgãos	75	5	54.29	0.7	6.8	2.5*	55.6	1.67	7.3	0.15*	0.93	0.025*	5.8	>5700	presença	ausência	0.01*
PD-07_007.339_2019 Cond Sesmarias	Poço 01	Petrópolis	Serra dos Orgãos	100	23.72	66.61	2.9	7.66	25	98	1	15.6	0.1	4.36	-	23.7	-	-	-	-

Processo	ID do poço	Município	Unidades	Profundidade do poço (m)	Nível d'água estático (m)	Nível d'água dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Parâmetros físico-químicos				Cl-	F-	N-NO ₃	N-NO ₂	Dureza	Bac. Heterotróf (UFC/mL)	Coliformes totais	Coliformes Termotoler.	Cloro livre
								pH	Temperatura (°C)	Cond. elétrica (µS/cm)	Turbidez (NTU)									
PD-07_007.510_Cond Pouso das Maitacas	Poço 01	Areal	Arcádia Areal	104	14.2	58.5	9	7.97	2.5*	200	0.3	1.3	0.15*	0.025*	0.025*	55.01	448	ausência	ausência	0.05
PD-07_007.515_2019 Cond Sta Monica	Poço 01	Areal	Conservatória	100	32.5	52.06	4.986	7.36	25	96	1	15.8	0.11	4.33	-	22.9	-	-	-	-
PD-07_007.533_2019 Cond Gj Sta Lucia	P-01	Petrópolis	Serra dos Orgãos	180	43.86	77.13	1.6	7.37	23.2	100	0.2	1.9	0.15*	0.77	0.025*	33.02	5	ausência	ausência	0.24
PD-07_007.533_2019 Cond Gj Sta Lucia	P-02	Petrópolis	Serra dos Orgãos	120	17.55	70.77	8.37	7.67	23.2	100	0.7	2.5	0.15*	0.37	0.025*	27.69	137	presença	ausência	0.005*
PD-07_007.533_2019 Cond Gj Sta Lucia	P-03	Petrópolis	Serra dos Orgãos	145	24.5	64.2	1.47	7.69	23.3	100	0.2	2.1	0.15*	1.14	0.025*	16.56	381	presença	ausência	0.13
PD-07_009.267_2019 Cond Floresta I	Poço 01	Sapucaia	Juiz de Fora	80	56.23	57.66	1.7	7.85	-	355.1	0.6	5.4	0.05*	0.125*	0.005*	109	60	ausência	ausência	0.16
PD-07_014.62_2017 Assoc Nóbrega	-	Petrópolis	Cordeiro	120	3.64	98.81	1.61	6.4	17.1	165.8	8	15.5	0.05*	3.67	0.007	24.1	590	presença	ausência	-
PD-07_014.86_2019 Cond Novo Albuquerque	Poço 01	Teresópolis	Serra dos Orgãos	54	6.15	18.65	2.8	7.1	25	253	0.025*	-	0.05*	0.05*	0.015*	31	>5700	ausência	ausência	0.025*
PD-07_014.100_2016 Petro Ita	-	Petrópolis	Rio Negro	8	1	5.45	0.85	6.06	10	38.8	1.04	2.872	0.015*	1.3354	0.015*	12.7428	>5700	ausência	ausência	0.025*
PD-07_014.117_2018 Assoc Jd América	Poço 1 JÁ	Três Rios	Rio Negro	150	24.79	59.58	1.76	6.8	29.2	242	2	16.48	0.25*	5*	0.01*	104	<1	ausência	ausência	0.015*
PD-07_014.137_2017 Vadecar	P01	Três Rios	Conservatória	84	2.5	14.45	4.9	6.76	24.8	425.5	0.005*	67.99	0.05*	1.33	0.09	127.5424	>5700	presença	presença	0.01
PD-07_014.156_2020 AR Empreendimentos	POÇO 1	Petrópolis	Serra dos Orgãos	3	1.38	2.74	2.66	6.22	25.8	575	0.6	89.9	0.15*	0.025*	0.025*	40.14	>4200	ausência	ausência	0.005*
PD-07_014.156_2020 AR Empreendimentos	POÇO 2	Petrópolis	Serra dos Orgãos	3.5	1.22	2.95	1.24	6.25	25.8	516	0.6	87.1	0.15*	0.025*	0.025*	55.08	>4700	ausência	ausência	0.005*
PD-07_014.159_2018 Bacco Patrimonial	P-01	Petrópolis	Serra dos Orgãos	200	54.5	84.5	4.5	8.03	23	231.5	0.03	0.5*	0.3	0.025*	0.025*	27.5007	>5700	ausência	ausência	0.005*
PD-07_014.183_2018 Adonias Azevedo	PAS 01	Sapucaia	Rio Turvo	200	5.2	139.9	1.1	6.8	20	156.4	16.1	1.4	0.3	0.5*	0.0025*	55.91	>5700	presença	ausência	0
PD-07_014.192_2019 Vale da Serra	PAS 01	Teresópolis	Cordeiro	240	11.05	180.6	1.5	6.8	16	169.9	0.56	1.4	1.68	0.5*	0.0025*	29.22	>5700	presença	ausência	0
PD-07_014.329_2016 Alpha Tauri	-	Petrópolis	Rio Negro	60	1.36	34.05	2.12	7.8	20	174	-	7.3	-	5*	0.01*	-	<1	ausência	ausência	0.015*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 1	Areal	Rio Negro	333	10.42	42.54	3.84	7.2	23.9	95.7	0.99	0.0045*	0.003*	0.82	0.0045*	65.3	>500	presença	ausência	0.055
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 2	Areal	Arcádia Areal	100	11.32	39.62	5.24	6.9	23.8	163.4	11.73	0.0045*	0.003*	0.03	0.0045*	28.1	>500	presença	ausência	0.0085*

Processo	ID do poço	Município	Unidades	Profundidade do poço (m)	Nível d'água estático (m)	Nível d'água dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Parâmetros físico-químicos				Cl-	F-	N-NO ₃	N-NO ₂	Dureza	Bac. Heterotróf (UFC/mL)	Coliformes totais	Coliformes Termotoler.	Cloro livre
								pH	Temperatura (°C)	Cond. elétrica (µS/cm)	Turbidez (NTU)									
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 3	Areal	Arcádia Areal	88	12.38	41.32	2.32	7.2	22.3	58.1	0.07	0.0045*	0.003*	0.03	0.0045*	67.03	>500	presença	ausência	0.0085*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 4	Areal	Arcádia Areal	150	24.72	61.02	2.25	7	25	155.3	0.08	0.0045*	0.003*	0.03	0.0045*	25.79	>500	presença	ausência	0.0085*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 5	Areal	Arcádia Areal	145	11.85	74.87	0.78	6.8	22.5	114.5	5.62	0.51	0.003*	0.029	0.0045*	75.52	>500	presença	ausência	0.058
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 6	Areal	Arcádia Areal	100	8.21	57.66	1.24	7	23.6	88.9	6.9	0.0045*	0.003*	0.03	0.0045*	70.89	>500	presença	ausência	0.0085*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 7	Areal	Rio Negro	110	5.31	24.41	5.36	6.8	21.9	75	1.34	0.0045*	0.003*	0.03	0.0045*	29.18	>500	presença	presença	0.0085*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 8	Areal	Arcádia Areal	100	4.57	22.84	5.16	7.6	22.4	136.5	0.36	0.0045*	0.003*	0.54	0.0045*	133.95	>500	presença	ausência	0.0085*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 9	Areal	Arcádia Areal	150	21.09	48.22	3.15	6.9	22.9	168.3	3.56	1.15	0.003*	0.03	0.0045*	104.62	>500	presença	ausência	0.0085*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 10	Areal	Rio Negro	150	2.11	47.73	3.68	7	25.3	101.2	4.25	0.0045*	0.003*	0.03	0.0045*	46.38	>500	presença	ausência	0.0085*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 11	Areal	Rio Negro	10	1.74	9.94	0.87	7.1	21.9	56.4	0.15	0.0045*	0.003*	1.17	0.0045*	77.98	>500	presença	ausência	0.069
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 12	Areal	Rio Negro	14	3.33	6.71	0.86	7.2	23.8	106.1	0.08	0.0045*	0.003*	0.01*	0.0045*	54.51	>500	presença	ausência	0.0085*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 13	Areal	Rio Negro	12	1.43	7.6	0.9	6.8	24.1	57.2	2.4	0.0045*	0.003*	0.52	0.0045*	46.33	>500	presença	ausência	0.0085*
PD-07_014.430_2018 Paddock	Poço 14	Areal	Rio Negro	14	1.59	6.46	0.84	7.3	22.5	24.1	0.77	0.0045*	0.003*	0.03	0.0045*	74.91	>500	presença	ausência	0.0085*
PD-07_014.489_2018 Sumidouro	Poço 01	Sumidouro	Granito Nova Friburgo	152	8.97	139.9	2	6.98	21	246.8	0.25*	5.9	0.29	4.4	0.0025*	88.82	150	ausência	ausência	0
PD-07_014.563_2018 Cond Ed Lincoln	Poço n°1	Petrópolis	Rio Negro	67	8.44	16.64	1	7	4	79.1	0.66	4.58	0.15*	1.48	0.025*	11.9458	78	ausência	ausência	0.01*
PD-07_014.589_2018 Albacete	Poço 1	Teresópolis	Serra dos Orgãos	170	14.25	86.15	2.571	6.93	23.6	92.1	0.55	6.68	0.15*	2.6	0.07	9.9163	20	presença	ausência	0.005*
PD-07_014.589_2018 Albacete	Poço 2	Teresópolis	Serra dos Orgãos	150	3.54	69.26	3.956	6.97	24.1	150.2	1.11	9.21	0.15*	2.01	0.07	16.6277	86	ausência	ausência	0.005*
PD-07_014.637_2017 Lucia Fontes	Poço 1	Areal	Arcádia Areal	70	4.85	20.22	6.428	6.22	24.5	269.5	3.14	26.38	0.15*	1.15	0.025*	23.2294	>5700	presença	presença	0.01
PD-07_014.649_2018 GE Celma	PW 01	Petrópolis	Rio Negro	46.4	3.62	12.2	11.4	5.32	5	47.2	0.46	4.57	0.15*	1.36	0.025*	2.77	49	ausência	ausência	0.22
PD-07_014.649_2018 GE Celma	PW 02	Petrópolis	Rio Negro	80	4.9	45.7	9.4	5.78	5	61.7	0.62	4.05	0.15*	1.18	0.025*	4.03	150	presença	ausência	0.01*
PD-07_014.649_2018 GE Celma	PW 03	Petrópolis	Rio Negro	150	8.46	63.1	11.76	5.52	5	55.9	0.3	6.14	0.15*	1.22	0.025*	2.52	153	ausência	ausência	0.29

Processo	ID do poço	Município	Unidades	Profundidade do poço (m)	Nível d'água estático (m)	Nível d'água dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Parâmetros físico-químicos				Cl-	F-	N-NO ₃	N-NO ₂	Dureza	Bac. Heterotróf (UFC/mL)	Coliformes totais	Coliformes Termotoler.	Cloro livre
								pH	Temperatura (°C)	Cond. elétrica (µS/cm)	Turbidez (NTU)									
PD-07_014.649_2018 GE Celma	PW 04	Petrópolis	Rio Negro	80	17.64	36.07	7.02	5.49	5	65.1	0.43	5.68	0.15*	2.49	0.025*	3.2	145	presença	ausência	0.31
PD-07_014.649_2018 GE Celma	PW 06	Petrópolis	Rio Negro	80	3.74	64.2	12	6.09	5	47.3	1.08	3.68	0.15*	0.99	0.025*	1.94	713	ausência	ausência	0.21
PD-07_014.730_2017 Cond Quinta	P-01	Areal	Conservatória	125	33.2	44.3	4.5	7.7	21.6	235.5	0.005*	-	-	0.025*	0.025*	374.77	181	ausência	ausência	0.11
PD-07_014.858_2017 GE Celma	Poço 01	Três Rios	Paraíba do Sul	300	13.27	231.3	7	7.2	26	216	0.19	16.34	0.1	0.05*	0.01*	38.46	90	ausência	ausência	0.005*
PD-07_014.858_2017 GE Celma	Poço 02	Três Rios	Paraíba do Sul	200	4.73	151.7	5	7.61	24.5	107	0.14	15.38	0.02*	0.14	0.32	42.51	70	ausência	ausência	0.005*
PD-07_014.880_2017 Del Paraíso	Poço 1	Teresópolis	Serra dos Orgãos	-	-	-	2.24	6.6	22.2	176	1	2*	0.25*	10	2.04	36	<1	ausência	ausência	0.015*
PD-07_014.880_2017 Del Paraíso	Poço 2	Teresópolis	Serra dos Orgãos	-	-	-	2.36	6.7	22.4	187	2	2*	0.25*	11	3.5	32	<1	ausência	ausência	0.015*
PD-07_014.4174_2018 Cond Albergó Dei Pini	Poço 01	Petrópolis	Serra dos Orgãos	150	10.9	40.78	5.754	6.66	25.8	158.2	3	2.7	0.25*	5*	0.01*	34	<1	presença	presença	0.015*
PD-07_014.4174_2018 Cond Albergó Dei Pini	Poço 02	Petrópolis	Serra dos Orgãos	150	11.97	41.81	1.308	6.87	26.6	35.5	3.6	2*	0.25*	5*	0.01*	46	<1	ausência	ausência	0.015*
PD-07-014.164_2016 Casa do Alemão	Poço 1	Petrópolis	Rio Negro	79.2	3.84	26.12	4.7	5.5	5	35.07	0.08	7.12	0.45	1.24	0.04	4.1477	35	ausência	ausência	0.02

* Metade do limite inferior de detecção

ND: Não detectado