



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 7, nº 2 (2021)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2ID26237>



ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS DE MONITORAMENTO EM ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO SUL DO BRASIL

Willian Fernando de Borba¹; José Luiz Silvério da Silva²; Pedro Daniel da Cunha Kemerich³; Éricklis Édson Boito de Souza⁴; Gabriel D'Ávila Fernandes⁵; Ivan Ricardo Carvalho⁶ e Leandra Morandi⁷

¹ Professor Doutor, Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Frederico Westphalen/RS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5717-1378>

Email: borbawf@gmail.com

² Professor Doutor, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria/RS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-9145>

Email: silverioufsm@gmail.com

³ Professor Doutor, Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, Caçapava do Sul/RS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9369-769X>

Email: eng.kemerich@yahoo.com.br

⁴ Doutorando em Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria/RS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8138-8040>

Email: ericklisboito@gmail.com

⁵ Doutorando em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria/RS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1106-3838>

Email: enggabrielfernandes@gmail.com

⁶ Professor Doutor, Departamento de Estudos Agrários, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI, Cruz Alta/RS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7947-4900>

Email: carvalho.irc@gmail.com

⁷ Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Frederico Westphalen/RS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9413-0943>

Email: morandi.leandra@gmail.com

Resumo

O monitoramento da qualidade da água subterrânea em áreas com potencial de contaminação desempenha uma importante ferramenta de gestão. Essa pesquisa teve como objetivo analisar uma série histórica do monitoramento da qualidade da água subterrânea por meio de uma rede de poços na área ocupada por um aterro sanitário localizado na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, entre os anos de 2007 a 2018. Os resultados indicaram alterações nos parâmetros microbiológicos (coliformes totais e termotolerantes) os quais apresentaram maior contribuição relativa dos parâmetros analisados. As variáveis cloreto, nitrato e sulfato também apresentaram alterações no período analisado. Sendo estes, com valores em desacordo com a legislação vigente para o uso de abastecimento humano. Entre os parâmetros analisados, somente o pH apresentou relação com a precipitação. O agrupamento permitiu a formação de grupos específicos, com destaque ao PM03, com características individuais entre os demais. Assim, conclui-se que ocorreram alterações nos parâmetros de qualidade da água entre o período analisado, principalmente na direção do fluxo subterrâneo do aquífero suspenso temporário não contínuo.

Palavras-chave: Aquífero; Água subterrânea; Contaminantes ambientais.

WATER QUALITY ANALYSIS OF MONITORING WELLS IN A URBAN SOLID WASTE DISPOSAL AREA IN SOUTHERN BRAZIL

Abstract

Monitoring groundwater quality in areas with potential contamination plays an important management tool. This research aimed to analyze a historical series of groundwater quality monitoring through a network of wells in the area occupied by a landfill located in the northwest region of the state of Rio Grande do Sul, between the years 2007 to 2018. The results indicated

changes in microbiological parameters (total and thermotolerant coliforms) which presented the largest relative contribution of the analyzed parameters. The variables chloride, nitrate and sulfate also showed changes in the analyzed period. Being these, with values in disagreement with the current legislation for the use of human supply. Among the analyzed parameters, only the pH was related to the precipitation. The grouping allowed the formation of specific groups, especially WM03, with individual characteristics among the others. Thus, it is concluded that there were changes in the water quality parameters between the analyzed period, mainly in the direction of the underground flow of the non-continuous temporary suspended aquifer.

Keywords: Aquifer; Groundwater; Environmental contamination.

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS POZOS DE MONITOREO EN UNA ZONA URBANA DE ELIMINACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SUR DE BRASIL

Resumen

El monitoreo de la calidad del agua subterránea en áreas con potencial de contaminación juega una importante herramienta de gestión. Esta investigación tuvo como objetivo analizar una serie histórica de monitoreo de la calidad del agua subterránea a través de una red de pozos en el área ocupada por un relleno sanitario ubicado en la región noroeste del estado de Rio Grande do Sul, entre los años 2007 a 2018. Los resultados indicaron cambios en los parámetros microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes) estos que presentaron mayor contribución relativa de los parámetros analizados. Las variables cloruro, nitrato y sulfato también mostraron cambios en el período analizado. Siendo éstos, con valores en desacuerdo con la legislación vigente para el uso de suministros humanos. Entre los parámetros analizados, solo el pH se relacionó con la precipitación. La agrupación permitió la formación de grupos específicos, con énfasis en PM03, con características individuales entre los demás. Así, se concluye que hubo cambios en los parámetros de calidad del agua entre el período analizado, principalmente en la dirección del flujo subterráneo del acuífero suspendido temporal no continuo.

Palabras-clave: Acuífero; Aguas subterráneas; Contaminantes ambientales.

1. INTRODUÇÃO

O processo de gerenciamento dos recursos hídricos (superficiais e/ou subterráneos) é um dos principais desafios da sociedade atual. O Brasil dispõe de uma grande reserva hídrica, tanto superficial quanto subterránea, porém o processo de contaminação desses mananciais vem afetando sua qualidade.

No Estado do Rio Grande do Sul (RS), as águas subterráneas desempenham um papel primordial no abastecimento público. Segundo informações da Agência Nacional das Águas (ANA, 2015), 57,50 % dos municípios gaúchos são abastecidos exclusivamente por águas subterráneas, 13,40 % possuem sistema misto (superficial mais subterránea) e apenas 29,10 % são abastecidos exclusivamente por mananciais superficiais.

Nesse contexto, pesquisas que envolvem o monitoramento de qualidade da água subterránea desempenham grande importância, principalmente em atividades com potencial de contaminação do meio ambiente. Foster *et al.* (2002; 2006) descrevem alguns processos comuns de contaminação das águas subterráneas, como: aterro de resíduos sólidos, drenagem em áreas industriais, vazamento de tanques de armazenagem, saneamento in situ, dentre outras.

Em áreas de disposição de resíduos sólidos, o processo de monitoramento é imprescindível, visto que permite identificar possíveis focos de contaminação oriundo da atividade, auxiliando no processo de tomada de decisão. Nessas áreas, o sistema de monitoramento é realizado por meio de piezômetros, ou poços de monitoramento (ABNT, 1992; 1997a; 2006; 2007; 2008; 2010; 2017).

A contaminação das águas subterráneas em áreas de disposição de resíduos sólidos, conforme Foster *et al.* (2002; 2006) é composta, principalmente por cargas orgânicas gerais, metais pesados, salinidade e microrganismos tóxicos. Esses compostos são oriundos da percolação do lixiviado gerado no processo de decomposição dos resíduos pelo solo até a zona vadosa. Davis e Masten (2016) afirmam que o processo de migração de contaminantes no solo e nos aquíferos dependem, dentre outros fatores, das propriedades do composto e do material geológico envolvido no processo.

Com base no exposto, essa pesquisa tem por objetivo realizar uma análise qualitativa dos parâmetros de qualidade da água oriunda de seis Poços de Monitoramento (PM) em uma área de disposição de resíduos sólidos e um poço de abastecimento público, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Essa análise se deu através de uma série histórica das concentrações de 12 elementos químicos.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo é um aterro sanitário, localizado no sul do Brasil, próximo a divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. No que se refere à hidrografia, pertence à Região Hidrográfica do Uruguai (U) na Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea (U - 100), conforme SEMA (2004). Já em relação ao clima, possui uma média anual de 1.900 mm (Sotério *et al.*, 2005; ABNT, 1997b) bem distribuídas ao longo do ano, onde o clima é do tipo Cfa (sub-tropical úmido) conforme descrito por Moreno (1961).

Em relação aos aspectos geológicos, CPRM (2006) descreve que, na região em estudo, está presente a Formação Serra Geral (FSG), Fácies Paranapanema. Essa formação, segundo o autor, é constituída por derrames basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares, espessos preenchidos com quartzo (ametista), zeólitas, carbonatos, seladonita, cobre nativo e barita. Em termos geológicos/geomorfológicos pertence a Província Vulcânica da Bacia do Paraná (ROSS, 1985).

Já no que se refere à hidrogeologia, Machado e Freitas (2005) dizem que a área de estudo está inserida no Sistema Aquífero Serra Geral I (SASG 1). Segundo os autores, essa unidade hidroestratigráfica delimita-se pelos municípios de Soledade, Tupanciretã, Santo Antônio das Missões, Santa Rosa, Tenente

Portela, Nonoai, Erechim e Passo Fundo, e é constituída principalmente, de litologias basálticas, amigdalóides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado. O solo local foi classificado por Borba (2016), seguindo o proposto pela EMBRAPA (2018), como um LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (LVdf), com altos teores de argila (valores médios de 86 %). Em um estudo anterior realizado na área, o solo apresentou espessura variando de 3,70 a 7,5 m até encontrar um horizonte impenetrável ao equipamento utilizado para perfuração (DARIVA AMBIENTAL, 2006; BORBA, 2016).

A unidade, objeto desse estudo, recebe cerca de 1.700 toneladas de resíduos sólidos urbanos mensalmente de 31 Municípios da região. Ainda, realiza o processo de triagem, compostagem e destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos. No processo de triagem, são recuperados cerca de 16 % do montante recebido, ou seja, 272 toneladas mensalmente. O restante é disposto nas células de disposição de rejeitos.

2.2. Sistema de monitoramento ambiental

Em relação ao monitoramento ambiental exigido para a atividade, existem seis PM, denominados de PM01 a PM06 (Figura 1), sendo que o PM01 fica localizado fora da área do aterro (à montante do empreendimento), e é considerado como ponto controle ou branco. Na Tabela 1 apresenta-se suas informações construtivas. Por questões construtivas, o PM 06 apresentou apenas algumas amostras de água. Já o PM 04 foi soterrado no ano de 2011, devido a um deslizamento na área superior do terreno. Assim, esses poços não apresentam monitoramento durante o período analisado.

Para estimar o nível freático regional, incluindo a área de estudo, foi utilizado os valores descritos por Borba (2016), a partir da interpolação pelo método do inverso da distância ao quadrado de 98 informações de nível da água de poços tubulares localizados nos municípios limítrofes. Utilizando a base de dados da CPRM, o valor estimado para o local entre 80,46 e 103,77 m.

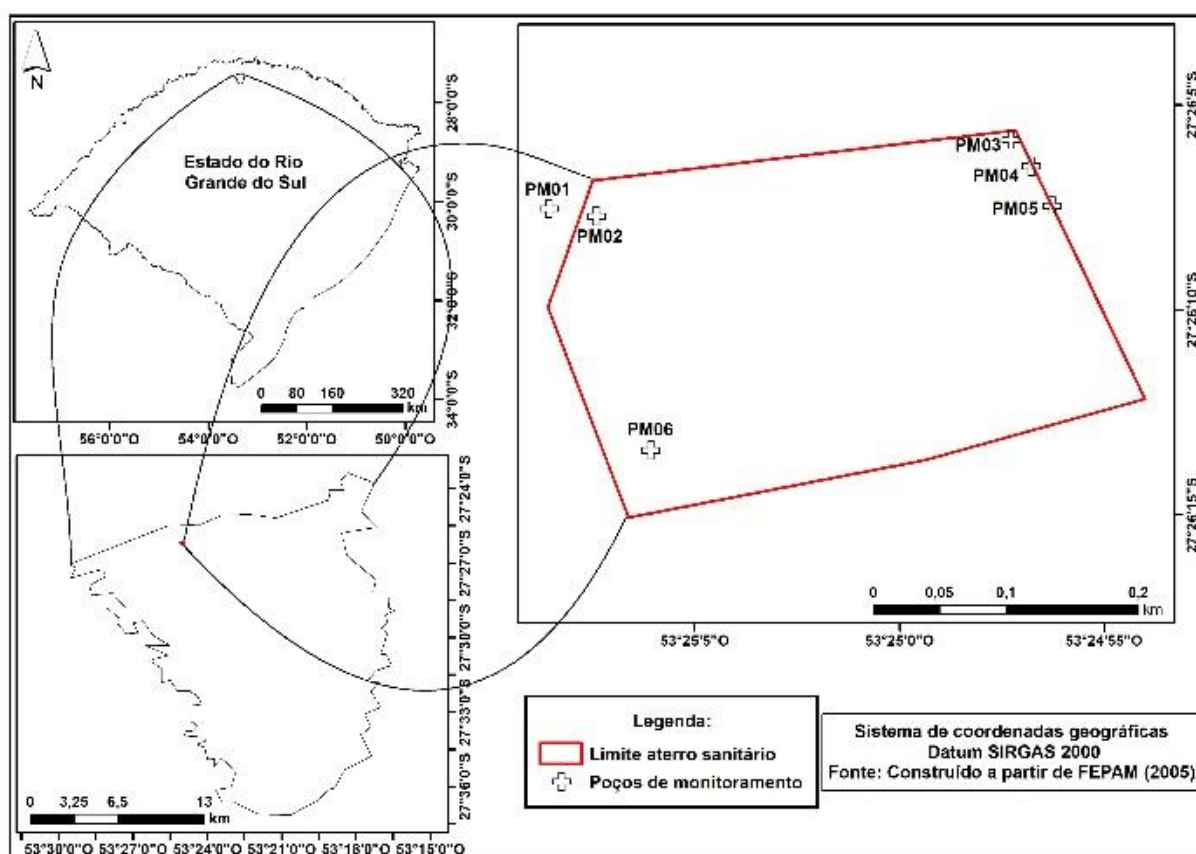


Figura 1 - Localização poços de monitoramento. Fonte: Construído a partir de FEPAM (2005).

Ainda, é realizado o monitoramento da água subterrânea em um poço de abastecimento localizado cerca de 500 m distante do aterro (à montante do empreendimento). Cabe salientar que esse poço foi construído fora das normas propostas pela NBR 12.244/1992 (ABNT, 1992), principalmente pela ausência de

cercamento, selo sanitário, torneira e sistema de cloração. Salienta-se que existem edificações próximas ao poço de abastecimento, assim podem influenciar na qualidade da água deste.

Tabela 1 - Informações construtivas dos seis PM localizados na área de estudo. Fonte: Borba (2016).

PM	Cota topográfica (m)	Profundidade (m)**	Nível da água (m)***
01	537,00	5,30	0,60
02	540,00	4,20	0,25
03	528,00	3,70	0,20
04*	529,00	7,50	0,00
05	529,00	4,50	0,10
06	546,39	4,50	0,10

* Soterrado no ano de 2011. ** Profundidade até encontrar um horizonte impenetrável ao equipamento utilizado na perfuração e; *** Indica o nível da água quando da perfuração. Acredita-se que tenha ocorrido em período chuvoso, ou após chuvas pesadas, uma vez que foi marcado bem elevado. O PM03 medido com auxílio de sonda solinst TLC apresentou 4,60 m de profundidade. O poço PM04 estava sem leituras desde o ano de 2011 e o PM06 apresentou apenas algumas leituras iniciais no ano de 2007, não sendo possível realizar coletas a partir desse período.

O monitoramento de qualidade da água subterrânea é realizado trimestralmente por uma empresa prestadora de serviços, nos PM e no poço de abastecimento. Sendo que é recebido as embalagens, coletadas as amostras e encaminhadas para análise em todos os pontos de interesse, totalizando em média quatro análises ao ano. Porém, esse montante é dependente do nível do lençol frático no período, sendo que em alguma época do ano, o poço pode não apresentar água para coleta. A Tabela 2 mostra o total de coleta para cada ponto de análise, e o período inicial e final. Já a Tabela 3, mostra os parâmetros analisados, além da metodologia utilizada.

Tabela 2 - Pontos de análise e total de amostras. Fonte: Construído a partir dos relatórios de monitoramento

Ponto de análise	Período analisado (Mês/ano)	Total de amostras no período
Abastecimento	05/2010 a 08/2017	18
PM01	10/2007 a 04/2018	22
PM02	10/2007 a 12/2015	6
PM03	10/2007 a 04/2018	18
PM04	10/2007 a 07/2011	6
PM05	10/2007 a 04/2015	7
PM06	10/2007	1

Tabela 3 - Parâmetros de qualidade da água monitorados nos PM e no poço de abastecimento desde o ano de 2007 a 2018. Fonte: Adaptado de Brasil (2021) e Relatórios de monitoramento.

Parâmetro	Unidade	Metodologia	L.D.*
Alcalinidade	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	SMEWW 22 ^a , Método n° 2320 "B"	1,00
Cloretos	mg Cl ⁻ .L ⁻¹	SMEWW 22 ^a , Método n° 4500 Cl "B"	0,50

Coliformes termotolerantes	NMP**/100 mL	SMEWW 22 ^a , Método n° 9221 E	1,8 x 10 ¹
Coliformes totais	NMP/100 mL	SMEWW 22 ^a , Método n° 9223 B ***	1,8 x 10 ¹
Condutividade elétrica	µS.cm ⁻¹	SMEWW 22 ^a , Método n° 2510 "B"	0,00
DBO	mg O ₂ .L ⁻¹	SMEWW 22 ^a , Método n° 5210 E	1,00
DQO	mg O ₂ .L ⁻¹	SMEWW 22 ^a , Método n° 5220 "D"	5,00
Nitratos	mg N-NO ₃ .L ⁻¹	ABNT NBR 12.620	0,01
pH	-	SMEWW 22 ^a , Método n° 4500 - H ⁺ B	0,01
Sólidos Dissolvidos Totais	mg.L ⁻¹	SMEWW 22 ^a	-
Sólidos Totais	mg.L ⁻¹	SMEWW 22 ^a , Método n° 2540 B	2,00
Sulfatos	mg.L ⁻¹	SMEWW 22 ^a , Método n° 4500 - SO ₄ ²⁻ E	1,00

* Limite de Detecção do método analisado, ** Número Mais Provável, *** Standard Methods for the examination of Water and Wastewater.

As informações referentes à precipitação pluviométrica, para cruzamento com os dados de qualidade da água, foram obtidas no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o município de Frederico Westphalen - RS, estação automática

código A854. O período analisado foi de dezembro de 2007 a abril de 2018, onde foram acumulados os valores de precipitação de 5 dias anteriores as coletas de água, conforme já descrito por Borba (2016).

2.3. Análise estatística das variáveis

Foram aplicados testes estatísticos nos valores médios das variáveis de qualidade da água dos poços, além dos parâmetros construtivos dos PM. Assim, esses foram submetidos as pressuposições, visando a identificação de observações discrepantes, após submeteu-se a matriz ao algoritmo euclidiano com o intuito de construir a matriz de distâncias entre as variáveis mensuradas neste estudo.

Após, utilizou-se esta matriz para proceder as contribuições relativas das variáveis pelo método de Sigh (1981), com a finalidade de expor e expressar quais e quanto cada variável contribui para diferenciar os tratamentos, bem como, empregou-se a metodologia otimizada de Tocher (CRUZ, 2006) para definir grupos de tratamentos homogêneos para todas as variáveis mensuradas, e maximizando a heterogeneidade entre os grupos.

Com intuito de demonstrar graficamente as distâncias e contrastes multivariados dos tratamentos, a matriz de distâncias foi submetido ao método de agrupamento Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages (UPGMA) e foram construídos dendrogramas, bem como, aplicou-se a metodologia dos componentes principais para representar a variabilidade total do experimento em um plano cartesiano X, Y e Z, desta maneira, possibilitando compreender quais fontes de tratamento assemelhavam-se multivariadamente. As análises estatísticas foram realizadas através dos softwares Genes (CRUZ, 2006) e Statistical Analysis System (SAS, 1997) e Sigma Plot.

A aplicação desses testes, em específico, se deu em virtude das características das informações. Por serem informações sem repetições e coletas em períodos não semelhantes, inviabilizou na utilização de testes estatísticos convencionais. Para isso, serão aplicados diferentes testes e metodologias que mais se adequaram as características do banco de dados.

Com a aplicação dos métodos destacados acima busca-se avaliar se as normativas envolvendo aterros sanitários de pequeno porte são eficazes na proteção do meio físico, mesmo este sendo um substrato argiloso de baixa permeabilidade e com um lençol freático profundo, com valores superiores a 80 m.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento da qualidade das águas tem por objetivos principais o controle, o diagnóstico e prognóstico do risco à contaminação (MESTRINHO, 2008). Assim, é possível identificar as possíveis alterações na qualidade natural do meio. Na área em estudo, o monitoramento das águas subterrâneas é realizado por uma empresa prestadora de serviços, conforme solicitação do órgão ambiental competente.

Na sequência, serão ilustrados os resultados daqueles parâmetros que possuem Valor Máximo Permitido (VMP) para legislação vigente (BRASIL, 2021), conforme o uso preponderante para abastecimento humano, sendo esse o seu uso preponderante. Nessa área, o monitoramento entre os anos de

2007 e 2015 já foi descrito por Borba (2016). Assim, nessa pesquisa foi ampliado o monitoramento até o ano de 2018, englobando mais 3 anos na série de informações de frequência trimestral, visando identificar possíveis anomalias em todo o período. Salienta-se que o poço PM04 possui informações somente até o ano de 2011 e o PM06 somente no ano de 2007.

No que se refere aos parâmetros microbiológicos de qualidade da água, a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021), considera como potável a ausência em 100 mL para coliformes totais e termotolerantes. Para água de abastecimento, foram realizadas 18 análises realizadas durante o período (2010 a 2018), apenas quatro estiveram dentro do VMP para coliformes totais e um para termotolerantes.

No PM 01, foram realizadas 22 amostras entre outubro de 2007 e abril de 2018, sendo que duas estiveram dentro do VMP para coliformes totais e seis para termotolerantes, indicando alteração na qualidade natural.

No PM02 (em seis amostras entre outubro de 2007 e dezembro de 2015), duas amostras estiveram de acordo com o VMP para ambos os parâmetros. Cabe salientar que o PM02 está localizado próximo à fossa séptica, assim pode sofrer alguma interferência nos parâmetros de qualidade. Já no PM03, em 18 amostras entre outubro de 2007 e abril de 2018, duas apresentaram ausência em 100 mL para coliformes totais e seis para termotolerantes.

Em seis amostras do PM04 entre outubro de 2007 e julho de 2011, apenas uma apresentou ausência em 100 mL para coliformes totais e duas para termotolerantes. No PM05, entre outubro de 2007 e dezembro de 2015 e no PM06, em outubro de 2007, apenas uma amostra apresentou ausência para ambos os parâmetros em sete coletas (PM05) e uma coleta (PM06).

Assim, os parâmetros microbiológicos de qualidade da água apresentaram concentrações em desacordo com o estabelecido por Brasil (2021) na maioria das coletas. Isso indicaria que essa água está imprópria ao consumo humano, visto que até a água de abastecimento em algumas amostras apresentaram presença de coliformes totais. Isso indica a presença de organismos patogênicos, no caso do poço de abastecimento, pode ser em virtude da irregularidade de sua construção como a ausência de selo sanitário, conforme NBR 12.212/2017 (ABNT, 2017) e 12.244/2006 (ABNT, 2006), estando fora das normas construtivas. Esse procedimento visa a proteção da qualidade natural e proteção da saúde pública dos usuários. Além disso, pode estar sob interferência antrópica (fossas sépticas/rudimentares) localizadas próximas.

No que se refere aos parâmetros físicos e químicos, as concentrações foram aleatórias em todos os PM analisados. Na água de abastecimento e no PM02, apenas o parâmetro nitrato esteve acima do VMP estabelecido pela legislação vigente (10 mg.L⁻¹) em uma amostra. No PM01, os parâmetros cloreto, nitrato e STD apresentaram concentrações acima do VMP estabelecido (250, 10 e 1.000 mg.L⁻¹, respectivamente). No caso do PM03, estiveram acima do VMP os parâmetros Nitrato, Sulfato e STD. Os PM04, 05 e 06 não apresentaram concentrações acima do VMP para os parâmetros citados.

Santos (2008) diz que as concentrações de nitrato acima de 5 mg.L⁻¹ podem indicar contaminação por ações antrópicas, sendo uma delas a disposição de resíduos. O autor ainda afirma, que esses subprodutos oriundos da decomposição dos RSU são ricos

DB	0,74	0,37	0,49	1,00															
DQO	0,69*	0,30	0,41*	0,81*	1,00														
Nitr.	0,01	0,67*	0,49*	-0,18	-0,23	1,00													
pH	0,39	0,20	0,33	0,16	0,05	-0,03	1,00												
S Tot.	-0,05	-0,11	-0,15	0,23	0,57*	-0,10	-0,21	1,00											
STD	0,81*	0,92*	0,89*	0,50*	0,36	0,55*	0,31	-0,20	1,00										
Sulf.	0,30	0,22	0,20	0,04	0,28	-0,14	0,16	0,08	0,18	1,00									
Prec.	0,06	-0,09	0,08	-0,19	-0,29	0,04	0,48*	-0,22	0,11	-0,13	1,00								

*Correlações significativas com $p < 0,05$; $N = 24$; ¹Alcalinidade, ² Cloretos, ³Condutividade Elétrica, ⁴ Demanda Bioquímica de Oxigênio, ⁵Demanda Química de Oxigênio, ⁶Nitrogênio, ⁷Potencial Hidrogeniômico, ⁸Sólidos totais, ⁹Sólidos Dissolvidos Totais, ¹⁰Sulfato e ¹¹Precipitação.

Para a análise mais específica entre as variáveis relacionadas à qualidade da água e os parâmetros construtivos dos poços foi utilizado o método de Singh (1981). Foi possível perceber que os parâmetros microbiológicos de qualidade da água (coliformes termotolerantes e totais) foram os que mais influenciaram na variabilidade dos dados coletados, com 35,28 % e 20,91 %, respectivamente, indicando alteração na qualidade natural. Esses parâmetros também apresentaram, na maioria das amostras, concentrações em desconformidade com a legislação vigente (BRASIL, 2021). Assim, na Tabela 6 mostra-se a contribuição relativa dos 12 parâmetros de qualidade da água avaliados nos seis PM e no poço de abastecimento.

Na Tabela 7 apresenta-se a contribuição relativa das variáveis analisadas entre os seis PM e o poço de abastecimento. Foi possível perceber que o PM2 (16,75 %) e o PM3 (15,94 %), foram os que mais contribuíram para a variabilidade das variáveis. Isso

possivelmente está relacionado com as altas concentrações das variáveis nesses pontos. Assim, esses poços foram os que mais contribuíram para diferenciação, independente da característica de qualidade da água analisada. Buscando identificar, quais dessas variáveis apresentavam comportamento homogêneo entre si, ou seja, a formação de grupos, foi aplicado o método de Tocher (CRUZ, 2006), conforme ilustrado na Tabela 7.

Tabela 6 - Contribuição relativa de 12 parâmetros de qualidade da água avaliados em seis PM e no poço de abastecimento. Fonte: Autor (2019).

Parâmetro de qualidade	Contribuição relativa (%)
Coliformes termotolerantes ¹	35,28
Coliformes totais ²	20,91
Condutividade elétrica ³	6,30
Alcalinidade ⁴	5,98
pH ⁵	5,39
STD	5,38
DQO ⁷	5,00
Sólidos totais ⁸	4,35
Cloretos ⁹	3,94
Nitratos ¹⁰	3,27
DBO ¹¹	2,40
Sulfatos ¹²	1,80
Total	100,00

¹Coliformes termotolerantes; ²Coliformes totais; ³Condutividade elétrica; ⁴Alcalinidade; ⁵Potencial hidrogeniômico; ⁶Sólidos totais dissolvidos; ⁷Demanda química de oxigênio; ⁸Sólidos totais; ⁹Cloretos; ¹⁰Nitrato; ¹¹Demanda química de oxigênio e ¹²Sulfato.

Analisando a Tabela 8, é possível perceber a presença de três grandes grupos, os quais possuem características homogêneas entre si e heterogêneas entre os grupos (CRUZ *et al.*, 2012). O poço de abastecimento, o PM01, o PM05 e o PM06 são os mais homogêneos entre si, ou seja, foram aqueles que mais apresentaram características semelhantes (variáveis pH, coliformes fecais e termotolerantes). Esses poços estão localizados em cotas topográficas superiores, assim, sofrem uma menor interferência da atividade, quando relacionada ao relevo. O mesmo ocorreu entre o PM02 e o PM03 (parâmetros nitrato, pH, coliformes fecais e termotolerantes). Já o PM04 foi o mais heterogêneo entre os sete analisados, indicando que esse não apresenta características semelhantes com os demais.

Cabe salientar que esse poço foi soterrado no ano de 2011, assim não possui todo o monitoramento. Uma melhor visualização pode ser observada na Figura 2 (A) e (B), as quais ilustram a dissimilaridade e os componentes principais, respectivamente. A aplicação dos componentes principais buscou explicar a variabilidade de 70,66 % da variação geral, onde as variáveis abastecimento (ABST), PM01, 05 e 06 apresentaram maior similaridade entre as variáveis analisadas, já o PM04 apresentou menor similaridade entre as variáveis, isso pode estar relacionado a variabilidade das concentrações das variáveis químicas da água do poço no período analisado, pois no geral, foi o que apresentou menores valores de concentração.

Tabela 7 - Contribuição relativa entre os PM e o poço de abastecimento. Fonte: Autor (2019).

Variáveis	Contribuição relativa (%)
PM02 ¹	16,75
PM03 ²	15,94
PM04 ³	14,32
PM06 ⁴	14,14
PM05 ⁵	13,13
PM01 ⁶	12,89
Abastecimento ⁷	12,82
Total	100,00

¹Poço de monitoramento 02; ²Poço de monitoramento 03; ³Poço de monitoramento 04; ⁴Poço de monitoramento 06; ⁵Poço de monitoramento 05; ⁶Poço de monitoramento 01; ⁷Poço de abastecimento.

Tabela 8 - Aplicação do método de Tocher para agrupamento das variáveis relacionadas aos PM e o poço de abastecimento. Fonte: Autor (2019).

Grupos	Indivíduos			
1	Abastecimento	PM01	PM05	PM06
2	PM02	PM03		
3	PM04			

Assim, pode-se identificar que os parâmetros microbiológicos foram aqueles que mais influenciaram nos demais parâmetros de qualidade da água. Já em relação aos PM, o PM02 e 03 foram aqueles que mais contribuíram para a diversidade das variáveis.

No que se refere aos parâmetros construtivos dos poços, foi considerada uma série de variáveis (Tabela 9), buscando identificar quais seriam as mais importantes. Essas variáveis buscaram apresentar a relação das características envolvendo o terreno e a localização dos poços. Salienta-se que não foram levadas em consideração as informações referentes ao PM04 e PM06, visto que não foram realizadas campanhas para monitoramento do nível da água desses poços.

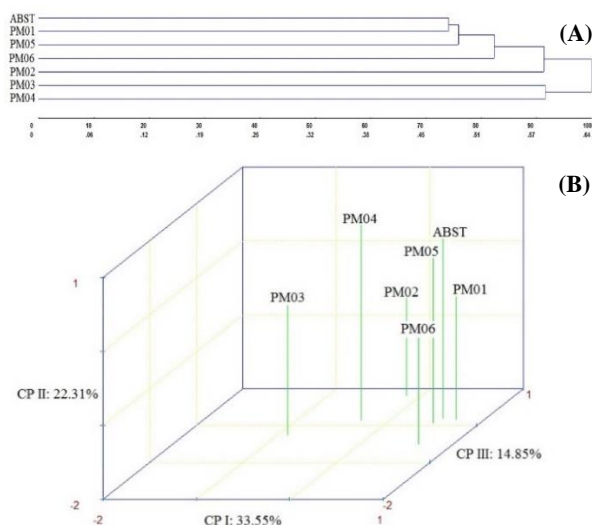


Figura 2 - Dissimilaridade (A) e componentes principais (B) entre as variáveis analisadas. Fonte: Autor (2019).

Tabela 9 - Parâmetros construtivos dos PM em operação. Fonte: Autor (2019).

Poço	Cota terreno (m)	Profundidade (m)	Distância até a célula (m)	Nível da água (m)
PM01	537,00	5,3	275	2,89
PM02	540,00	4,2	212	3,85
PM03	528,00	3,7	138	3,09
PM05	529,00	4,5	184	3,61

Na Tabela 10, mostra-se a contribuição relativa das variáveis construtivas. Como pode ser observado, as variáveis profundidade (28,33 %) e o nível da água (26,17 %) foram as que mais contribuíram para a diversidade dos dados, ou seja, representam suma importância, na distribuição das variáveis. Os valores de nível de água médio foram descritos por Borba (2016) entre os meses de abril de 2015 e março de 2016, para condição de um aquífero suspenso temporário. Esse tipo de aquífero apresenta flutuação no nível da água como resposta aos períodos de maior precipitação pluviométrica. Porém sua localização na paisagem não apresentou correlação direta, conforme mencionado anteriormente. Na Tabela 11 apresentam-se o agrupamento das variáveis, conforme teste de Tocher (CRUZ, 2006). Foi possível identificar a presença de dois grandes grupos, representado pelos PM 02, 05 e 01 e outro grupo representado pelo PM03. Isso indica que os PM 01, 02 e 05 apresentam condições semelhantes entre si, já o PM03 apresenta características mais heterogêneas entre os PM analisados.

Tabela 10 - Contribuição relativa das quatro variáveis construtivas dos PM. Fonte: Autor (2019).

Variáveis	Contribuição relativa (%)
Profundidade	28,33
Nível da água	26,17
Distância até a célula	23,02
Cota de terreno	22,46
Total	100,00

Tabela 11 - Aplicação do método de Tocher para agrupamento das variáveis relacionadas aos parâmetros construtivos. Fonte: Autor (2019).

Grupo	Indivíduos		
1	PM02	PM05	PM01
2	PM03		

Na Figura 3 A mostra-se a dissimilaridade e os componentes principais. Como pode ser observado, o PM02, 05 e 01 possuem maior similaridade, através das variáveis profundidade e nível estático. Já no segundo grupo o PM03 apresentou maior dissimilaridade das informações, em todas as variáveis.

A análise a partir dos componentes principais (Figura 3 B) permitiu explicar 96,30 % da variação geral das variáveis. Como representado, o PM02 e o PM05 apresentaram tendências

similares nas variáveis cota do terreno, profundidade e nível estático.

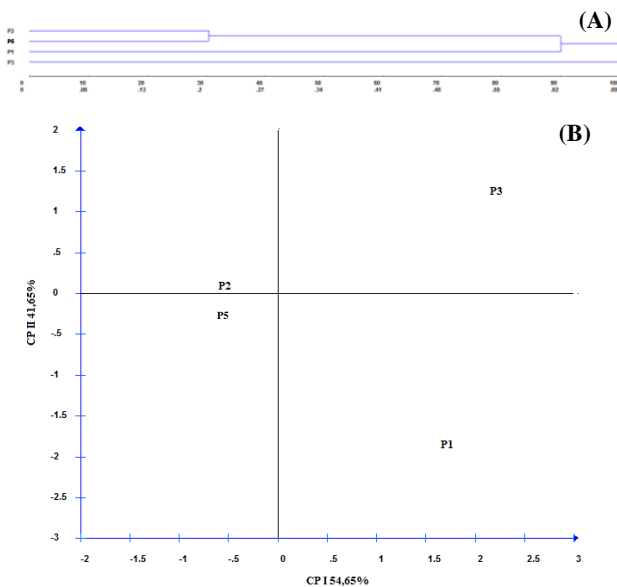


Figura 3 - Dissimilaridade (A) e componentes principais (B) dos PM analisados. Fonte: Autor (2019).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos parâmetros de qualidade da água dos poços de monitoramento permitiu identificar alterações nas concentrações, principalmente, coliformes (totais e termotolerantes), cloretos, nitratos e sulfatos. Sendo que, somente o pH apresentou correlação positiva ao nível de 5 % com a precipitação, indicando que essa variável não está relacionada com as concentrações das demais.

As variáveis microbiológicas de qualidade da água (coliformes totais e termotolerantes) foram as que mais contribuíram para a variabilidade das informações. Além disso, as variáveis foram agrupadas em três grandes grupos, com características similares. Já em relação aos parâmetros construtivos entre os poços de monitoramento, apenas o PM03 ficou isolado, indicando que este possui características individuais, as quais foram verificadas também no monitoramento da qualidade da água subterrânea, pois foi o que apresentou maiores oscilações. Assim, essa pesquisa se mostrou eficiente, servindo como base, por exemplo, para a instalação de novos poços de monitoramento, pois indicaram, a partir das informações dos parâmetros construtivos, quais dos poços ativos possuem características que condizem com a realidade do local. Além disso, permitiu analisar a variabilidade dos elementos químicos a partir do período analisado, servindo como base para o processo de tomada de decisão. Assim, foi possível identificar que as alterações nos parâmetros foram condizentes com o fluxo subterrâneo, visto que o poço ativo de menor cota topográfica, foi o que apresentou maior variabilidade nas variáveis de qualidade da água.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 8.419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. a
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13.969: Projeto, construção e operação de tanques sépticos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. b
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12.244: Poço tubular - Construção de poço tubular para captação de água subterrânea*. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15.495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas de aquíferos granulares. Parte 1 - Projetos e construção*. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15.495-2: Poços de monitoramento de águas subterrâneas de aquíferos granulares. Parte 2 - Desenvolvimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15.849: Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12.212: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea - Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Atlas água e esgotos*. Brasília: ANA, 2015.
- BORBA, W. F. de. *Vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea em área ocupada por aterro sanitário em Seberi - RS*. Santa Maria, 2016. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2016.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 abr. 2008. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>> Acesso em: 10 fev. 2018.
- BRASIL. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 07 mai. 2021. Disponível em:

- < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>> Acesso em: 07 set. 2021.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM, 2006.
- CRUZ, C. D. *Programa genes - Análise multivariada e simulação*. Viçosa: Editora da UFV, 2006.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas*. Viçosa: Ed. UFV, 2012.
- DANCEY, C. P.; REIDY, J. *Estatística sem matemática para psicologia*. Porto Alegre: Penso, 2013.
- DARIVA AMBIENTAL. *Relatório técnico de instalação de poços de monitoramento*. Frederico Westphalen: Dariva Ambiental, 2006.
- DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. *Princípios de engenharia ambiental*. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual e métodos de análise de solo*. Brasília: EMBRAPA, 2018.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. Washington: Groundwater Management Advisory GW.MATE WB, 2002.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Washington: Groundwater Management Advisory GW.MATE WB, 2006.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. *Estação automática de Frederico Westphalen - RS*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTg1NA> Acesso em: 19 jul. 2018.
- MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. *Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000, relatório final*. Porto Alegre: CPRM, 2005.
- MESTRINHO, S. S. P. Monitoramento em água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008.
- MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Secção de Geografia. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.
- ROSS, J. L. S. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 4, p. 25 - 39, 1985.
- SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C., MANOEL FILHO, J., FEITOSA, E. C., DEMETRIO, J. G. A. *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. 3ª ed. Rio de Janeiro, CPRM/LABHIDRO, 2008.
- SAS INSTITUTE. *SAS/STAT software: changes and enhancements through release 6.12*. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1997.
- SEMA. Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul - SEMA. *Mapa das bacias hidrográficas e municípios do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: SEMA, 2004.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *The Indian Journal of Genetics e Plant Breeding*, v. 41, p. 237 - 245, 1981.
- SOTÉRIO, P. W.; PEDROLLO, M. C. R.; ANDRIOTTI, J. L. Mapa de isoietas do Rio Grande do Sul. In: *XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Trabalho completo, João Pessoa: ABRH, 2005.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Recebido em: 10/08/2021

Aceito para publicação em: 13/10/2021