ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Avaliação da qualidade da água em aquífero raso em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil

Cleber de Jesus Santos¹, Luca Lämmle², Vinicius Borges Moreira³, Jefferson de Lima Picanço⁴, Ronaldo Luiz Mincato⁵, Joaquim Ernesto Bernardes Ayer⁶

¹ Doutorando da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências. Rua Carlos Gomes, 250 – Cidade Universitária. Cep: 13.083-250 – Campinas/SP. E-mail: cleber.geofisico@gmail.com. ² Doutorando da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências. Rua Carlos Gomes, 250 – Cidade Universitária. Cep: 13.083-250 – Campinas/SP. E-mail: lucalammle@ige.unicamp.br. ³ Doutorando da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências. Rua Carlos Gomes, 250 – Cidade Universitária. Cep: 13.083-250 – Campinas/SP. E-mail: viniciusmoreira@ige.unicamp.br. ⁴ Professor da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências. Rua Carlos Gomes, 250 – Cidade Universitária. Cep: 13.083-250 – Campinas/SP. E-mail: jeffpicanco@ige.unicamp.br. ⁵ Professor da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Instituto de Ciências da Natureza. Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 – Centro. Cep: 37.130-001 – Alfenas/MG. E-mail: ronaldo.mincato@unifal-mg.edu.br. ⁶ Professor do Centro Universitário de Paulínia (UNIFACP). Rua Maria Vilac, 121 – Jardim Bela Vista. Cep: 13.140-000 – Paulínia/SP. E-mail: joaquimeba@gmail.com.

Artigo recebido em 10/06/2021 e aceito em 24/09/2021

RESUMO

Diversas formas de uso e ocupação em áreas urbanas tem ocasionado impactos ambientais negativos em diferentes escalas, sendo um deles a degradação dos recursos hídricos, que tem suscitado novas discussões sobre mecanismos de alteração da água subterrânea rasa. A proposição de estratégias metodológicas eficientes a partir da identificação e dimensionamento de características hidroquímicas da água em determinado espaço geográfico, consiste em desafio oportuno a colaborar para a conservação e o uso adequado. Diante desse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar a qualidade da água no aquífero raso em área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ, correlacionando com a influência de estruturas urbanas nessa dinâmica. Foram coletadas e analisadas amostras de água de 15 poços, além de dados potenciométricos, a fim de correlacionar fatores como: qualidade da água, tipo de uso por parte da população, influência do cemitério e hidrodinâmica subsuperficial. Tais poços foram previamente espacializados, seguido da coleta e armazenamento das amostras, análise em laboratório, e interpretação a partir das diferentes variáveis que compuseram o quadro síntese para análise simplificada. Em adição, foi elaborado mapa potenciométrico a partir dos níveis freáticos encontrados, permitindo compilar os parâmetros elencados. Os resultados sugerem que o lençol freático é consideravelmente raso na área estudada, tornando os recursos hídricos mais vulneráveis. Por se tratar de uma área de múltiplos usos, como residencial, agrícola, comercial, além da presença de um cemitério, acaba por expor a região a maiores riscos de contaminação. Destaca-se que, conforme verificado em trabalho de campo, a região possui potenciais agentes poluidores, levando a um maior número de substâncias contaminantes que podem ser liberadas neste ambiente. Adicionalmente, constatou-se alteração dos padrões biológicos, físicos e químicos, com contaminações acima do valor máximo permitido em lei para os seguintes elementos: Fe, Al, Pb, Mn e P, além da presença de *Escherichia coli* (E. Coli).

Palavras-chave: Hidroquímica; Hidrodinâmica; Aquífero raso; Contaminação.

Assessment of water quality in a shallow aquifer in Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brazil

ABSTRACT

Various forms of use and occupation in urban areas have caused negative environmental impacts at different scales, one of them being the degradation of water resources, which has given rise to new discussions on mechanisms for altering shallow groundwater. The proposition of efficient methodological strategies based on the identification and dimensioning of the hydrochemical characteristics of water in a given geographic space is an opportune challenge to collaborate for the conservation and proper use. In this context, the objective of this work is to analyze the water quality in the shallow aquifer in urban area Campos dos Goytacazes/RJ, correlating with the influence of urban structures in this dynamic. Water from 15 wells were collected and analyzed, in addition to potentiometric data, in order to correlate factors such as: water quality, type of use by the population, influence of the cemetery, and subsurface hydrodynamics. Such wells were previously spatialized, followed by collection and storage of aggregates, laboratory analysis, and interpretation based on the different variables that made up the synthetic framework for simplified analysis. In addition, a potentiometric map

was drawn up from the groundwater levels found, allowing for the compilation of the listed parameters. The results obtained that the water table is considerably shallow in the studied area, making water resources more vulnerable. As it is an area with multiple uses, such as residential, agricultural, commercial, in addition to the presence of a cemetery, it ends up exposing the region to greater risks of contamination. It is noteworthy that, as verified in field work, the region has potential polluting agents, leading to a greater number of contaminants that can be released into this environment. Additionally, there was a change in biological, physical and chemical standards, with contamination above the maximum value allowed by law for the following elements: Fe, Al, Pb, Mn and P, in addition to the presence of *Escherichia coli* (E. Coli).

Keywords: Hydrochemistry; Hydrodynamic; Shallow Aquifer; Contamination.

Introdução

A composição microbiológica e físico-química das águas superficiais subterrâneas são condicionadas pelas características geomorfológicas, geológicas, pedológicas, climáticas, vegetação natural e pelos padrões de uso e ocupação da terra (Tundisi e Tundisi, 2016; Garofalo, 2017).

O uso e ocupação das terras em centros urbanos pode gerar e/ou intensificar diversos impactos ambientais, a exemplo da degradação dos recursos hídricos, seja pelo uso indiscriminado ou pelas alterações na qualidade da água (Clément et al. 2017). O controle inadequado de passivos ambientais está inserido neste contexto, instigando, assim, a produção do conhecimento voltado para o entendimento atual das características físico-químicas dos corpos d'água, recurso vital que está inserido em todas as dimensões da atividade humana, incluindo social, ambiental e econômica (Korkanç, 2017; Marques et al., 2020; Empinotti et al., 2021).

As modificações citadas, geram o que compreendemos como impactos ambientais, que necessitam de identificação e monitoramento contínuo para evitar sua replicação e expansão em áreas urbanas (Mauro e Moreira, 2020). O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) define impacto ambiental no seu artigo 1º da Resolução 001, de 1986. Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais. (BRASIL, 1986, s/p).

Esta conceituação serve como ponto de partida para o entendimento da problemática dos impactos ambientais sobre os recursos hídricos em centros urbanos, sendo que estes podem ser múltiplos, devido à grande variedade de atividades realizadas nas cidades com potencial de exercer pressão sobre os sistemas naturais. A concentração

do habitat humano em áreas urbanizadas acelera com grandes repercussões os impactos ambientais causados em função do modelo vigente de ocupação dos territórios. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), 84% da população brasileira está concentrada nos centros urbanos, produzindo mercadorias, consumindo produtos, gerando resíduos, se locomovendo com veículos automotores, residindo, dentre outras atividades inerentes ao cotidiano urbano. Todas estas com alto potencial de impacto deletério aos recursos hídricos.

Dentre estas, destaca-se para a área de investigação, para além dos outros usos, os cemitérios, inicialmente construídos distanciado das moradias nos grandes centros urbanos, ordenamento comum no início do século XX, gradualmente cedeu lugar a um contexto de expansão urbana, no qual a proximidade da população com os referidos estabelecimentos tornou-se inevitável. O reconhecimento das atividades de cemitério como impactantes ao meio ambiente é relativamente recente, se levar em consideração a legislação nacional.

As resoluções nº 335/03 e nº 368/06 do CONAMA estabelecem regras para a implantação de cemitérios visando minimizar os impactos negativos ao lençol freático (Matos, 2001; Pacheco, 1986; Brasil, 2003; 2006). Nestes ambientes é possível verificar possíveis impactos em relação à contaminação do solo e água subterrânea, bem como sociais no âmbito da saúde pública em decorrência da utilização dessas águas para uso doméstico por parte da população que reside no entorno. No Brasil, grande parte dos cemitérios estão localizados em áreas urbanas, o que torna comum o fato de haver ocupação nas proximidades.

Em condições normais, os solos agem na retenção de micro-organismos patogênicos, porém, em circunstâncias de intensa deposição de matéria orgânica, a capacidade de depuração torna-se incompatível com o considerável volume a ser degradado. O líquido formado por meio deste processo de infiltração de água da chuva com o carreamento de líquidos humorais é caracterizada como *Necrochorume*, que consiste em líquido

viscoso, de cor acinzentada a acastanhada, odor acre e fétido, polimerizável (tendência a endurecer), rico em sais minerais (30%) e substâncias orgânicas degradáveis (Almeida e Macedo, 2005), que somado aos resíduos gerados pela população do entorno e características geológicas-geomorfológicas podem ser prejudiciais à qualidade da água (Feitosa et al., 2020; Rego et al., 2021).

Sendo assim, a produção de resíduos é um fato inerente a existência humana, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos. Contudo, os impactos negativos provenientes da ação antrópica têm interferido na preservação de diversos recursos naturais, com destaque para os recursos hídricos em áreas urbanizadas, comprometendo a qualidade e a quantidade do mesmo (Appelo e Postma, 2004). Assim, a gestão e monitoramento adequado destas áreas configura-se como desafio.

Diversos trabalhos ressaltam que a análise estatística e modelagem a partir de dados geoespaciais e hidroquímicos apresentam êxito ao identificar e projetar cenários futuros de contaminação da água superficial e subterrânea (Alhamed e Wohnlich, 2014; Sattari et al. 2016; Korkanç et al. 2017; Ayer et al., 2020). Neste sentido, o presente estudo teve o objetivo de avaliar o estado de alteração da água subterrânea rasa na área de estudo, a partir de parâmetros hidroquímicos, indicando os possíveis responsáveis pela contaminação de acordo com a espacialização dos resultados e correlação com as atividades do entorno, possibilitando, assim,

fomentar discussões e colaborar no aprimoramento de mecanismos de gestão a fim de reduzir esses impactos ambientais negativos.

Diante disto, parte-se da hipótese que o intenso uso caracterizado na área e o fato de estar localizada em área de planície litorânea, acaba ficando mais suscetível à contaminação da água subterrânea rasa e consequentemente afetando a vida da população local.

Material e métodos

Área de estudo

Está inserida no município de Campos dos Goytacazes, região Norte Fluminense (Figura 01), que apresenta destaque no cenário regional, estadual e nacional, em função e atividades relacionadas à extração de petróleo e gás a partir do final dos anos 1970. Contudo, em paralelo com o desenvolvimento regional, ocorreu grande aumento populacional e consequentemente uma série de impactos ambientais negativos (Gomes, 2015).

A área de estudo está circunscrita no Parque São benedito (Figura 01) - coordenadas 21°47'20"S, 41°19'29"W-, bairro no centro do município que possui uma população inferior a 5 mil pessoas segundo CIDAC (2013). O clima da região é tropical com temperatura média anual de 22,7° C e precipitações pluviométricas de 1.055,3 mm anuais (PMCG, 2018).

Figura 1: Mapa de localização da área de Estudo.

Geomorfologicamente, representa uma área de planície variando de 5 a 10 m de altitude. Constitui-se de sedimentos quaternários flúvio-deltaicos, sendo nos quatro primeiros metros de profundidade encontradas, argilas e siltes de planície de inundação, seguido de turfa; e nos noventa metros seguintes, areias quartzosas com intercalações de argilas. As tipologias de solos predominantes são: Neossolo Flúvico (solo aluvial) e secundariamente Argissolos (Podzólico Vermelho-escuro Eutrófico). A vegetação presente na região é basicamente secundária, visto que a original foi praticamente destruída pela atividade humana (Souza, 2004).

Para avaliar como os usos múltiplos do território tem afetado as águas subterrâneas em aquíferos livres das planícies litorâneas da região de Campos dos Goytacazes, foram seguidas as etapas descritas a seguir.

Amostragem e Delineamento Experimental

Para avaliar a qualidade da água subterrânea foram coletadas amostras de água em quinze poços de monitoramento perfurados para o estudo (Figura 2). As medidas foram realizadas durante o período seco (inverno) no mês de julho no ano de 2017. A malha de amostragem catalogada para a pesquisa é composta por 11 poços (05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15) localizados em área urbana, sendo 4 poços adjacentes ao cemitério e no entorno de áreas agropecuárias (01, 02, 03, 04) (Figura 2).

Os poços foram perfurados até a camada do lençol freático, de onde foram obtidas o nível da água subterrânea. A espacialização dos pontos de coleta foi parcialmente limitada, devido à falta de permissão de acesso em algumas áreas pertinentes, porém, porém foi possível realizar distribuição satisfatória da amostragem (Figura 2).

Figura 2: Mapa de espacialização dos poços com coordenadas e profundidade.

Em cada poço e para caracterização destes corpos hídricos foram bombeadas e coletadas amostras de água. O procedimento de coleta das amostras foi feito por meio de tubulação acoplada a uma válvula de retenção vertical. As amostras destinadas à análises físicas e -químicas foram armazenadas em recipientes esterilizados de 500 mL; para a análise bacteriológica utilizou-se recipientes esterilizados de vidro de 100 mL; a coleta de metais foi feita em recipientes esterilizados de 250 mL; e, por fim, os recipientes esterilizados de vidro esmerilhado com 100 mL

foram destinados ao armazenamento das amostras para o exame de oxigênio dissolvido.

Nos recipientes destinados ao exame de oxigênio dissolvido foram acrescentados cloreto de manganês ($MnCl_2$) e iodeto de potássio (KI) respectivamente, 1 ml de cada, como forma de acondicionar as amostras. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Ciências Ambientais (LCA) da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF).

Parâmetros Hidroquímicos Selecionados

Na seleção dos indicadores (variáveis físicas e químicas da água), foi considerado elementos que são normalmente originados e ou intensificados pela ação antrópica. Sendo assim, foram realizadas as seguintes análises: *Escherichia coli* (*E. Coli*), coliformes fecais, pelo método Defined Substrate Technology (DST) (Edberg et al., 1991); oxigênio dissolvido e pH, via análise por sonda multiparâmetro; nitrogênio e fósforo total utilizando espectrofotômetro; e metais foram selecionados 9 (nove) elementos, a saber - Pb (chumbo), Al (alumínio), Zinco (Zn), Fe (Ferro), Mn (Manganês), Na (Sódio), Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), S (Enxofre) e Cu (cobre) pelo método de Análise por Ativação com Nêutrons (AAN) (Kusaka et al., 1982).

A potabilidade da água está relacionada, entre outros fatores, com a inexistência de micro-organismos patogênicos e deve estar livre de bactérias indicadoras de contaminação fecal (DAWSON e SARTORY 2000). Tradicionalmente, o grupo de bactérias coliformes são indicadores de contaminação fecal, sendo o principal representante o *Escherichia coli* (*E. Coli*). O uso deste grupo como indicador na potabilidade deve-se, dentre outros fatores, a sua relação direta com o grau de contaminação fecal, por estas encontrarem-se em fezes de animais de sangue quente, como os seres humanos e pela facilidade de detecção e quantificação através de técnicas simples e baratas, em qualquer tipo de água (Cogger, 1988).

O indicador Oxigênio Dissolvido (OD) representa a quantidade de oxigênio molecular (O_2) dissolvido na água. Este provém naturalmente de processos de dissolução, aeração das águas e como produto de reações de fotossíntese. A quantidade de oxigênio presente na água em condições normais, depende da temperatura, da quantidade de sais presentes e da pressão atmosférica. Considera-se que, para este parâmetro, valores a partir de 6 mg L^{-1} são adequados para águas destinadas ao consumo humano. Sua medida se torna necessária para entendimento de processos químicos e bioquímicos que ocorrem nos aquíferos, além de ser um indicativo de atividade bacteriológica (Esteves, 1998).

O pH (Potencial Hidrogeniônico) representa a quantidade de íons hidrogênio numa determinada amostra. Um indicador que possui relação com a proliferação bacteriana, sendo que o intervalo mais favorável para esta condição ocorre entre 6,5 e 7,5 (Soares e Maia 1999). A portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde recomenda pH entre 6 e 9,5 para consumo humano.

A presença do fósforo na água provém de processos naturais como a decomposição da matéria orgânica, bem como pela lixiviação de minerais provenientes de rochas fosfatadas. No entanto, a sua ocorrência na água está relacionada principalmente a ação antropogênica, seja na forma de resíduos domésticos provenientes da ação metabólica humana, ou mesmo por detergentes polifosfatados. O excesso de fosfato na água causa o crescimento de bactérias heterotróficas, alterações nas características físico-químicas, além de causar redução nos níveis de oxigênio dissolvido e promover eutrofização de corpos hídricos (Spellman, 2003).

O uso do nitrogênio (compostos nitrogenados) na composição do índice se deve ao seu risco à saúde humana e também à diversidade de procedências antrópicas. A presença deste composto na água subterrânea pode indicar a ocorrência de fontes de poluição nas adjacências, como fossas rudimentares, vazamentos de esgoto ou mesmo passivos ambientais do tipo cemitérios. No caso dos cemitérios, este parâmetro adquire ainda mais importância visto que, a degradação do necrochorume, resulta em compostos nitrogenados, dentre outros. (Bouchard et. al, 1992; Formaggia et al., 1996; Matos, 2001; Silva, 2000).

Análise Geoespacial

Para análise geoespacial e geoprocessamento dos dados foi utilizado o software ArcGIS 10.5. Dos níveis (cota água) para cada poço de monitoramento, foram subtraídas a cota do topo do terreno, oriundas do Modelo digital de terreno SRTM 2, resultando no mapa potenciométrico da água subterrânea. Isto possibilitou avaliar a direção de fluxo preferencial hidrogeológico. Para melhor visualização deste fluxo foi gerada a direção linear média, que calcula a direção vetorial principal para dados *raster*.

Os dados de hidroquímica correspondente a Pb, TDS, pH, P, OD, CT obtidos, foram interpolados. Para tanto foi utilizando método Anudem de Hutchinsom (1989), sendo ainda criada isolinhas de contorno para cada um dos mapas gerados.

Resultados e discussão

A primeira variável analisada refere-se à qualidade da água e sua classificação, conforme resolução CONAMA nº357/2005, expressa no (Quadro 1). A partir dos resultados, fica claro que a qualidade da água subterrânea na região analisada é imprópria para consumo, por se tratar de uma área de múltiplos usos como: residencial, agrícola, industrial, comercial, além de um cemitério

localizado na mesma, tal configuração territorial, expõe a região a maiores riscos de contaminação. Neste contexto, foi identificado potenciais agentes poluidores, distribuídos por toda área analisada, levando ao maior número de substâncias contaminantes liberadas no ambiente. Sendo assim,

foi constatada uma alteração dos padrões, biológicos, físicos e químicos das águas, identificando contaminações acima do valor máximo permitido em lei para *Fe*, *Al*, *Pb*, *Mn* e *P*. Além disto foi constatada presença de *Escherichia coli* (*E. Coli*).

Quadro 1: Classificação da qualidade das águas subterrâneas em relação a concentração de parâmetros químicos selecionados

POÇOS	PARÂMETROS					LEGENDA
	OD	E. Coli	P. Total	N. Total	Pb	
P1	IV	-	II	I	I	<i>E. Coli</i> : <i>Escherichia Coli</i> N: Nitrogênio O.D.: Oxigênio Dissolvido P: Fósforo Pb: Chumbo
P2	IV	-	III	III	II	
P3	IV	-	III	III	II	
P4	IV	-	III	III	II	
P5	IV	-	II	III	II	CLASSIFICAÇÃO*
P6	III	-	II	III	I	
P7	III	-	II	III	I	
P8	III	-	III	III	I	
P9	III	-	II	III	I	<div>I</div> Classe I <div>II</div> Classe II <div>III</div> Classe III <div>IV</div> Classe IV
P10	III	-	II	III	I	
P11	IV	-	III	III	I	
P12	III	-	IV	I	I	
P13	IV	-	III	III	I	*Segundo Conama nº357/2005
P14	III	-	III	III	I	
P15	III	-	III	III	I	

A classificação da água, estabelecida no quadro acima, está fundamentada na resolução nº357/2005 do CONAMA conforme segue: Classe I – são águas destinadas para consumo humano, após tratamento simplificado, servem à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274/2000, à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas; Classe II – águas que se destinam aos mesmos usos da classe anterior, sendo que esta necessita de melhor tratamento para consumo humano (tratamento convencional); já a Classe III são águas destinadas ao consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e a dessedentação de animais; Por fim, a Classe IV se reserva a águas destinadas apenas à navegação, e a harmonia paisagística. (Brasil, 2005). Portanto, de acordo com os parâmetros apresentados no (Quadro 1), às águas subterrâneas da área avaliada não estão aptas para dessedentação humana ou animal, sendo classificada como Classe IV.

Nesta perspectiva, destaca-se os trabalhos de (Chaves et al., 2020; Gomes et al., 2020; Formiga et al., 2020; Medeiros et al., 2021) que realizaram análises de qualidade da água, utilizando

parâmetros similares, em diferentes regiões do Brasil. Foi identificando, na maioria das vezes, índices de qualidade alterado, demonstrando a recorrência deste problema, no que se refere a qualidade das águas subterrâneas para uso humano.

Quanto ao relevo, a área de estudo situa-se em compartimento geomorfológico de planície, formada a partir de sucessivos processos deposicionais desde o início do Quaternário, gerando complexo mosaico estratigráfico, intercalando sistemas aluviais, costeiros, colúvio-aluvial, marinho e flúvio-lagunares (PMCG, 2018), o que torna a dinâmica hidrogeológica na área igualmente diversa e complexa, do ponto de vista hidroquímico e hidrodinâmico. Sendo assim, destaca-se que, por se tratar de área de planície, onde o nível de base local está próximo, foram encontradas as profundidades máximas do nível d'água para o período seco entre 7 e 15 metros, podendo inferir que, o mesmo, provavelmente deve ser mais superficial no período de chuvas, considerando a maior entrada de águas no sistema.

No contexto geomorfológico citado também são comuns a ocorrência de aquíferos livres e rasos, implicando em maiores riscos de contaminação das águas subterrâneas por contaminantes superficiais, gerados tanto no local, quando trazidos de outras áreas via fluxos hidrossedimentológicos do escoamento superficial pluvial (Fetter, 1994; Feitosa 2012). Além disto, aquíferos livres em regiões de planícies como as que predominam na

área de estudo, tendem a concentrar contaminantes, visto sua hidrodinâmica normalmente mais lenta.

Sendo assim, foi identificado que a área avaliada está rodeada de áreas de afloramento do aquífero freático em lagoas, sendo que a mais próxima está a menos de 1 km, além desta a área está a cerca de 3 km do Lago dos Ceramistas e a cerca de 20 km da Lagoa Feia, que possui grandes dimensões, além disto, a área está a 3,9 km Rio Paraíba do Sul, que tem sua foz a cerca de 37 km, o que resulta em diferentes níveis de bases locais e regionais a serem considerados de acordo com a escala de análise. Considerando que o Rio Paraíba

do Sul, carrega sedimentos e águas oriundas de diversas áreas urbanas e rurais e as lagoas tendem a concentrar poluentes pois servem como níveis de base local a deposição de sedimentos, estes sistemas hidrogeológicos podem com o tempo concentrar poluentes, visto que o aquífero estudado está em uma áreas de concentração e deposição de fluxos hidrossedimentológicos, onde a baixa declividade tende a reduzir a velocidade hidrodinâmica tanto dos fluxos superficiais quanto dos subterrâneos de aquíferos livres. A partir deste contexto, são apresentados valores aferidos para os parâmetros químicos analisados no quadro 2.

Quadro 2: Teor de elementos químicos nas águas subterrâneas, destacando (em cor laranja) os valores acima do máximo permitido estabelecido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

POÇOS	Fe	Cu	Zn	Al	Pb	Mg	Na	Mn	Ca	P
P1	3,532	0,015	0,013	0,723	0,004	4,54	18,91	0,079	12,09	0,05
P2	5,497	0,095	0,083	1,752	0,014	4,59	15,64	0,083	11,24	0,14
P3	3,378	0,061	0,058	0,395	0,01	4,46	15,2	0,076	10,84	0,06
P4	3,449	0,064	0,065	0,507	0,012	4,57	16,02	0,078	11,09	0,08
P5	3,879	0,096	0,122	0,672	0,015	4,7	16,57	0,095	11,69	<0,0029
P6	0,616	0,003	0,002	0,045	<0,0019	11,18	35,35	0,484	14,88	0,03
P7	0,713	0,004	0,002	0,05	<0,0019	11,09	33,05	0,489	14,7	0,05
P8	0,604	0,003	0,002	0,039	<0,0019	11,33	34,49	0,503	15,02	0,06
P9	0,753	0,003	0,002	0,05	<0,0019	11,21	35,42	0,475	14,95	<0,0029
P10	0,784	0,003	0,002	0,039	<0,0019	11,03	34,97	0,5	14,75	0,04
P11	1,808	0,008	0,024	0,934	<0,0019	11,16	35,47	1,435	15,01	0,08
P12	5,153	0,007	0,01	0,755	<0,0019	12,07	41,18	0,5	20,65	0,19
P13	4,44	0,006	0,013	0,161	<0,0019	12,19	42,63	0,425	21,39	0,12
P14	3,498	0,007	0,033	0,034	<0,0019	12,23	41,82	0,351	21,55	0,13
P15	3,265	0,004	0,003	0,027	<0,0019	12,38	41,74	0,349	21,73	0,12
VMP*	0,3	2	5	0,2	0,01	150	200	0,1	200	0,02

* “<” Valores de referência inferior ao limite inferior de detecção do aparelho analítico utilizado; VMP Valor máximo permitido na lei.

Os valores relativos aos teores de metais presentes nas amostras (Quadro 2), evidenciam a contaminação hidrogeoquímica do aquífero avaliado. A variabilidade na concentração dos metais está relacionada ao somatório de fatores físicos, bióticos e antrópicos, sendo estes, resultantes principalmente da forma de uso e ocupação das terras, passando a ser incorporada na forma dissolvida ou precipitada diretamente em corpos hídricos aflorantes como as lagoas.

Ainda sobre os resultados quadro 2, os níveis de Fe e Mn estão consideravelmente acima dos limites de potabilidade na maioria das amostras

aferidas, diagnostico que podem levar as seguintes interpretações. No Brasil é comum a ocorrência de manganês associado a mineralizações de ferro e sílica (SiO_2), bem como, minerais cujo sistema cristalino é formado por Fe-Mn-O (Almeida, 2010). Uma rocha fonte com estas características, quando sujeita a processos geoquímicos e/ou de intemperismo, pode gerar acúmulo de elementos com esta mineralogia na água confinada em contato com a rocha. Na baixada campista como um todo é marcante a presença de rochas e conglomerados do período Terciário, mais especificamente do Grupo Barreiras, marcante no

município (Morais et al., 2006). Na área em estudo tal grupo apresenta-se na forma intemperizada, contendo argilas ferromanganesíferas. Sendo assim, as características hidrogeológicas respondem pelos teores destes metais na água oriundos da dissolução destes metais das rochas que compõem este sistema aquífero.

A inserção do Fe como indicador de alterações hidroquímicas levou em consideração as constatações de pesquisas anteriores como Barreto et al. (2000) e Fernandes (2012), que indicaram a presença de águas ferruginosas em diversos aquíferos confinados da região, sendo uma característica natural possível de ocorrer em aquíferos livres. Sendo assim, pelo fato da água subterrânea da região que circunda a área da pesquisa apresentar naturalmente consideráveis concentrações de ferro, o uso deste elemento como indicativo de ação antrópica ficou comprometido. De toda forma, não é recomendado a ingestão de águas com estes teores de Fe e Mn, mesmo que de origem natural. Essa situação destaca como mesmo em condições naturais o uso de recursos hidrogeológicos podem ser comprometidos.

Para os metais pesados cabe destacar a ocorrência de Pb acima do padrão de potabilidade em amostras na parte sul da área avaliada (Quadro 1 e 2, Figura 3A). A ocorrência deste metal nas amostras está provavelmente relacionada a ação antrópica, visto que, neste contexto, não foi levantada nenhuma característica natural potencialmente geradora de Pb na região. Ressalta-se que próximo ao poço 4, ponto de maior

concentração Pb aferido, existem indústrias que trabalham com processos químicos em suas atividades, podendo ser uma das possíveis fontes poluidoras.

Os elevados teores de P - mais de 86% das amostras fora dos padrões de potabilidade, bem como os altos níveis de N, chamam a atenção (quadro 1, figura 3B), o que sugere um processo de eutrofização, provavelmente oriundo de esgoto doméstico, visto que por muito tempo se usou fossas sanitárias como destinação para o esgoto em algumas localizações na cidade.

Em níveis elevados, estes elementos, quando na forma de óxidos, estão intimamente relacionados a intensa proliferação e atividade de bactérias decompositoras de matéria orgânica. Indiretamente, a proliferação destas bactérias reduz a quantidade de oxigênio dissolvido na água, fato constatado nos baixos níveis de oxigênio dissolvido nas amostras como um todo. Nos poços próximos do cemitério os valores são ainda mais reduzidos, sinalizando a influência das atividades desta atividade como fator de contaminação. Outros vetores muito comuns deste tipo de contaminação, em áreas urbanas, são os vazamentos de esgotos e a existência de fossas rudimentares e a criação de animais, como por exemplo: porcos, gado e galinhas, ainda comuns em áreas urbanas e próximas a estas. Para os elementos Zn, Na, Ca, Mg e Cu as concentrações foram todas abaixo dos valores permitidos por lei (Quadro 2).

Figura 3: A– Concentração de Pb nos poços da área de estudo. B – Mapa de espacialização da concentração de P na área de estudo.

O pH (Figura 4A) apresentou valores dentro de intervalos aceitáveis pela legislação. Sendo que as áreas de pH mais ácido coincide com as áreas de maiores teores de sólidos dissolvidos. Os valores de sólidos totais dissolvidos (Figura 4B) encontram-se dentro dos valores permitidos por lei e podem ser considerados valores baixos. Estes valores resultam provavelmente da própria dinâmica hidrogeológica deste aquífero, do tipo freático poroso, o qual é constituído de rochas e solos com alto teor de areias quartzosas, na qual o processo de lixiviação é e foi intenso, resultando em pacotes sedimentares com taxas de solubilização e mineralização de sedimentos na água, menos intensos que em regiões de aquíferos em rochas e pacotes sedimentares predominante

silto-argilosos. Além deste fato, por ser um aquífero raso e poroso, a contribuição da água da chuva é mais expressiva, fato que tende a diminuir a presença de sólidos totais dissolvidos. De todo modo, apesar da baixa quantidade de sólidos dissolvidos, estes são constituídos de partículas biológicas e metálicas que implicam em degradação de sua qualidade, quando se trata de potabilidade, visto a toxicidade como Pb e a presença de baixa quantidade de oxigenação e atividade biológica (Figura 5B) de *Escherichia coli*, podem indicar presença de cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.* Portanto, o consumo desta água sem tratamento deve ser evitado, visto o alto risco de gerar efeitos nocivos à saúde.

Figura 4: A – Mapa de espacialização pH, B– Mapa de espacialização dos sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas.

A água apresentou baixa oxigenação em todos os poços averiguados. Destaque para os poços (1, 2, 3 e 4) nos quais os baixos valores de oxigênio dissolvido aliado a existência de coliformes termotolerantes num contexto de ambiente nitrogenado sugerem intensa atividade bacteriológica. Os poços (6, 7, 8, 9 e 10) apresentaram valores anômalos na contagem de *E. Coli* (*coliformes fecais*), de 66 a 830 NMP/100 mL em uma área residencial (quadro 2). Infere-se que as condições sanitárias pretéritas, aliado ao uso de

poços rasos, possivelmente esteja relacionado a esta anomalia nos valores. O bairro tem um histórico relacionado ao uso de fossas rudimentares, fato que, em parte, justifica os valores obtidos. Quando não se respeita a distância mínima de instalação entre o poço e a fossa para o abastecimento, comumente ocorre contaminação das águas (Funasa, 2006), fato agravado pelo sistema de construção destes poços que permite a lixiviação do esgoto para o lençol freático.

Figura 5: A – Mapa de espacialização do Oxigênio Dissolvido nos poços da área de estudo; B - concentração de coliformes totais presentes nos poços avaliados.

Sobre a superfície potenciométrica da água subterrânea na região (Figura 6), foi identificado direção linear média indo de centro sudoeste para centro nordeste. Neste sentido as contaminações observadas por Pb ou por P tendem a se dispersar para região leste do município, todavia a contaminação por coliformes tende a se dispersar por toda a área avaliada, e de forma geral provavelmente por boa parte da área urbana, quando se trata do lençol freático. Segundo a figura 5, estes fluxos hidrogeológicos têm como nível de base local a região de afloramento em corpos d'água próximos, que, tendem de tal modo, concentrar estes contaminantes presentes, mas águas subterrâneas.

Devemos destacar que de acordo com as figuras 3,4,5 e 6, os contaminantes e os fluxos subterrâneos vão de centro sudoeste para centro nordeste, de tal modo, contaminantes como necrochorume oriundos do cemitério, devem fluir principalmente para a região oeste da área estudada, em direção a uma área menos populosa, mas que tende a ser ocupada com a expansão da área urbana do município. Neste sentido, a área urbana cresceu de 2336,56 em 1985, para 7.678,22 ha em 2019 (MapBiomias, 2021), ou seja, a área praticamente triplicou em 35 anos e, caso mantenha esta taxa de crescimento, necessitará incorporar novas áreas, que provavelmente estarão sobre aquíferos contaminados, além disto a população passou de 348 mil em 1980 para 511 mil habitantes em 2020 (PMCG, 2018; IBGE 2021). Neste

contexto, a presença de coliformes e metais nocivos, combinados ao fato que o lençol de água é raso, pode resultar no aumento de contaminações por metais e na maior incidência de vermes e parasitas na população local.

Ao analisar os resultados logrados, acredita-se ser pertinente apresentar algumas discussões em relação ao uso e ocupação das terras urbanas, na escala do tempo atual, trazendo questões importantes a serem consideradas em futuras ocupações por empreendimentos imobiliários e/ou expansão urbana.

Sendo assim, sobre a alocação de cemitérios em áreas urbanas, caso estes sejam construídos nos moldes tradicionais, dispostos horizontalmente e sem infraestrutura para a captação de necrochorume, continuarão sendo motivo de preocupação por parte dos órgãos ambientais no futuro próximo, assim como os “lixões”. Considerando o crescimento populacional e a necessidade crescente deste tipo de serviço, devem ser selecionadas áreas topograficamente mais adequadas para alocação de cemitérios, evitando assim, possíveis contaminações dos recursos hídricos seja por escoamento superficial ou por percolação. Discussões sobre gestão das águas superficiais e subterrâneas como as apresentadas por Maia et al. (2020) e Conicelli (2021) devem ser fomentadas e jogados a luz, os possíveis problemas a serem enfrentados pelas futuras gerações.

Figura 6: Mapa Potenciométrico e da direção linear média das águas subterrâneas na região estudada.

Neste contexto, em relação aos recursos hídricos, o Estado do Rio de Janeiro vem sofrendo constantemente com problemas relacionados ao abastecimento de água, como na crise hídrica de 2015 quando o estado disputou na justiça o direito de captação das águas do Paraíba do Sul com Estado de São Paulo (G1, 2014), isto decorre do fato que este é o principal e maior rio que corre pelo estado. Isto coloca maior pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos e expõe a população a maiores riscos de contaminação, via águas subterrâneas, visto que os recursos hídricos

superficiais não têm sido suficientes para abastecer de forma satisfatória e constante o Estado do Rio de Janeiro, devido sua má distribuição pelo território, além da poluição e degradação da qualidade e quantidade de suas águas por despejo de contaminantes e não preservação das matas e áreas de preservação permanente e reserva legal, como demonstra o baixa cobertura vegetal nativa no município que é de apenas cerca de 11% do território em 2019 (MapBiomass, 2021).

Assim, é urgente a aplicação das leis de ordenamento territorial, como Código Florestal,

Lei 12.651/2012 (referenciar), que trata das áreas de preservação permanente, que possuem como função a estabilidade geológica e a produção de águas, outro fator interessante seria aplicar o pagamento por serviços ambientais estabelecido na Lei Federal 14.119/2021 de forma a ajudar a recompor a vegetação natural. Uma situação primária, porém, não resolvida, seria coletar e tratar 100% dos esgotos e efluentes domésticos e industriais, porém ainda não foi completamente aplicado, além disto deveriam ser criados e ampliados os comitês de bacias hidrográficas para melhor gerir estes recursos.

Destarte, apesar de existirem instrumentos legais e técnicos disponíveis, conforme citado neste texto, eles não são implementados na prática, havendo uma tendência histórica de enfraquecimento regulatório ambiental, favorecendo setores produtivos tradicionais, politizando decisões técnicas, gerando prejuízos elevados a médio e longo prazo para a saúde pública. Conjuntura tal, que expõe ainda mais a população a riscos ambientais, dos mais variados tipos, em específicos a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos. Sugestão de eliminação dos lixões, aterros controlados e aterros sanitários, pela reuso, reciclagem etc. Na Suíça, por exemplo, não há disposição de lixo em lixões e aterros, sendo 100% reciclados. Os resíduos são considerados recursos.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que as águas subterrâneas do aquífero livre da região analisada na cidade de Campos dos Goytacazes, encontram-se contaminadas por coliformes e metais pesados, estando acima dos limites legalmente permitidos. Sendo assim, de acordo com os parâmetros levantados, as mesmas devem ser consideradas como águas de classe 4, segundo a Norma 357/2005 do CONAMA, e não devem ser utilizadas para abastecimento público e dessedentação humana ou animal.

Outra característica diagnosticada, é que a área apresenta contaminantes poligênicos, não sendo o necrochorume a única fonte de contaminação. A alta concentração de *Fe* e *Mg* nas amostras, indicaram contaminação por meio natural, favorecidas pelas características geológicas regionais. Ademais, foi observado que a área possui dinâmica hidrogeológica complexa em ambiente de planície, demandando mais estudos para avaliar a interação das águas subterrâneas, rios e lagoas. Destaca-se que apesar da área analisada ser relativamente pequena, o estudo tem importância significativa no sentido de permitir a replicação da metodologia utilizada em

qualquer recorte espacial, fomentando, assim, o avanço dos estudos relacionados aos recursos hídricos e qualidade da água.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo suporte financeiro e a Universidade Federal Fluminense (UFF) pelo amparo institucional.

Referências

- Alhamed, M.; Wohnlich, S. 2014. Environmental impact of the abandoned coal mines on the surface water and the groundwater quality in the south of Bochum, Germany. *Environmental Earth Sciences*, 72, 3251-3267.
- Almeida, A. B. 2010. Caracterização Químico-mineralógica de Minérios de Manganês. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Almeida, A. M.; Macêdo, J. A. B. 2005. Parâmetros Físico-Químicos De Caracterização Da Contaminação Do Lençol Freático Por Necrochorume. Seminário de Gestão Ambiental: um convite a interdisciplinaridade. Anais...Juiz de Fora - MG: Instituto Viana Júnior.
- Appelo, C. A. J.; Postma, D. 2004. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2º ed. London: CRC Press.
- Ayer, B. E. J.; Mincato, L. R.; Lämmle, L.; Silva, M. P. F. L.; Garofalo, T. F. D.; Servidoni, E. L.; Spalevic, V.; Pereira, Y. S. 2020. Hydrosedimentological dynamics in the Guarani Aquifer System, Ribeirão Preto, State of São Paulo, Brazil. *Agriculture and Forestry*, 66 (1): 215-232.
- Barreto, A. B. C.; Monsore, A. L. M.; Leal, A. S.; Pimentel, J. 2000. Hidrogeologia do estado do Rio de Janeiro. Brasília: Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em 01/06/2021.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2003. Resolução n. 335 de 3 de abril de 2003. Brasília: CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Brasília: CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2006. Resolução

- n. 368 de 28 de março de 2006. Brasília: CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=488>.
- BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre o Novo Código florestal e da outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102. Seção 1, p.1. Disponível em: <<http://www.in.gov.br>>. Acesso em 10 março de 2021.
- BRASIL. Lei n. 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CLVII, n. 9. Seção 1, p.7. Disponível em: <<http://www.in.gov.br>>. Acesso em 11 abril de 2021.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do Saneamento Básico e dá outras providências. 2020. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CLVI, n. 135. Seção 1, p.1. Disponível em: <<http://www.in.gov.br>>. Acesso em 05 abril de 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 001 de 23 jan. 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em: 20 fevereiro de 2021.
- Chaves, H. S.; Morais, D. G.; Dantas Filho, H. A.; Dantas, K. G F.; Beirão, A. T. M.; Silva, K. P.; Silva, J. N.; Silva, V. F. A.; Silva, P. A.; Carvalho, F. I. M. 2020. Aplicação estatística multivariada para a avaliação físico-química na qualidade da água subterrânea na cidade de Parauapebas (Sudeste do Estado do Pará). *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 11, 261-272.
- CIDAC – Centro de Informações e Dados de Campos. 2010. População Residente por Situação do Domicílio, Sexo, Grupo de Idade, Bairro e Distrito – CENSO 2010. Disponível em: http://cidac.campos.rj.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/Tabela_7_Pop.pdf
- Clément, F.; Ruiz, J.; Rodríguez, M.; Blais, D.; Campeau, S. 2017. Landscape diversity and forest edge density regulate stream water quality in agricultural catchments. *Ecological Indicators*, 72, 627-639.
- Cogger, C. 1988. Onsite Septic Systems: the risk Of Groundwater Contamination. *Journal of Environmental Health*, 51, 12–16.
- Dawson, D. J.; Sartory, D. P. 2000. Microbiological safety of water. *British Medical Bulletin*, 56, 74–83.
- Edberg, S. C.; Allen, M. J.; Smith, D. B. 1991. Defined substrate technology method for rapid and specific simultaneous enumeration of total coliforms and Escherichia-Coli from water - Collaborative Study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 74, 526–529.
- Empinotti, V. L.; Tadeu, N. D.; Fragkou, M. C. F.; Sinisgalli, P. A. A. 2021. Desafios de governança da água: conceito de territórios hidrossociais e arranjos institucionais. *Híbridos do conhecimento*, 35, 177-192.
- Esteves, F. A. 2003. *Fundamentos de Limnologia*. 2º ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência.
- Feitosa F. A. C. 2008. *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. 3º ed. Rio de Janeiro, CPRM - LABHID, 812p.
- Feitosa, J.; Campos, T.; Bandeira, J. 2020. Gestão ambiental de cemitérios: uma revisão da literatura e sugestão de pesquisa. *Acta Ambiental Catarinense*, 17, 162 – 175, 2020.
- Formiga, A. C. De S.; Figueiredo, C. F. V. De; Oliveira, F. F. D. De; Sousa, G. De M.; Oliveira, S. R. De; Santana, F. C. C.; Oliveira, P. A. T. De; Medeiros, R. L. B. de. 2020. Variation space/temporal of the underground water quality of the Municipality Juazeiro do Norte – Ceará. *Research, Society and Development*, 9, e 385996905.
- Garofalo, D. F. T. 2017. Influência da estrutura espacial dos geossistemas na regionalização dos parâmetros de qualidade da água: um estudo de caso na Alta Bacia do Piracicaba-Jaguari, sudeste do Brasil. 247f. Tese (Doutorado em Geografia), Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. 247f.
- Gomes, M. C. R. Anjos, J. A. S. A.; Daltro, R. R. 2020. Multivariate statistical analysis applied to the evaluation of groundwater quality in the central-southern portion of the state of Bahia – Brazil. *Rev. Ambient. Água*, 15, e2408.
- Korkanç, S. Y.; Kayikçi, S.; Korkanç, M. 2017. Evaluation of spatial and temporal water quality in the Akkaya dam watershed (Niğde, Turkey) and management implications. *Journal of African Earth Sciences*, 129, 481-491.
- Maia, P. H. P.; Rodrigues, Z. R. 2020. Estratégias para Gestão das Águas Subterrâneas do Aquífero Rucuia na Região Oeste da Bahia. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3, 1503-1508, jul./set.
- Marques, A. R.; Toniolo, M. A.; Lahsen, M.; Pulice, S.; Branco, E. A.; Alves, D. S. 2020. Governança da água no vale do Paraíba paulista: rede de atores e sistemas socioecológicos. *Revista Ambiente e Sociedade*, v.23, Dossiê Especial, 1 – 24.
- Mauro, C. A.; Moreira, V. B. 2020. Impactos ambientais na bacia hidrográfica do córrego

- Mogi, Uberlândia/MG, Brasil. In: Cláudio Antonio Di Mauro, Alan Silveira, Tatiana Silva Souza. (Org.). Enfoques: recursos hídricos e bacias hidrográficas. 1ed.Tupã: ANAP, 1, 121-138.
- Medeiros, L. T. G. De; Farto, C. D.; 2021. Athayde Júnior, G. B. Evaluation of groundwater quality in the Bancários region in João Pessoa - PB. Research, Society and Development, 10, e43510615892.
- Pirilo Conicelli, B.; Hirata, R. 2017. Novos paradigmas na gestão das águas subterrâneas. Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterranea/s/article/view/28712>. Acesso em: 14 set. 2021.
- Rêgo, A. T. A.; Souza, T. S. S.; Gomes, N. O.; Peixoto, F. S. 2021. Potencial de contaminação hídrica por necrochorume na cidade de Mossoró-RN. Brazilian Geographical Journal, 12, 94-108, jan./jun.
- Sattari, M. T.; Joudi, A. R.; Kusiak, A. 2016. Estimation of Water Quality Parameters with Data-Driven Model. American Water Works Association, 108, 232-239, 2016.
- Tundisi, J. G.; Tundisi, T. M. 2016. Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: case studies from Brazil. Ecohydrology & Hydrobiology, 16, 83-91.
- Fernandes, P. A. M. 2012. Avaliação dos recursos hídricos superficiais, subterrâneos e reuso das águas pluviais do município de Quissamã com finalidade de gestão integrada para uso sustentável. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- Fetter, C. W. 1994. Applied hydrogeology. McMillan College Publ. Co. New York, 680p.
- Funasa, F. N. D. S. 2006. Manual de saneamento. Editora Brasília, v. 1, p. 408, 2006.
- G1, Globo. 2014. Captação de água abre disputa entre governos do Rio e São Paulo, Online. Disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2014/03/captacao-de-agua-abre-disputa-entre-governos-do-rio-e-sao-paulo.html>, Data de acesso 07/06/2021.
- Gomes, M. A. S. 2015. A produção e a valorização desigual do espaço urbano em Campos Dos Goytacazes-RJ: uma análise das ações do estado e dos promotores/incorporadores imobiliários. Geografares, 28-41.
- Hutchinson, M. F. 1989. A New Procedure for Gridding Elevation and Streamline Data with Automatic Removal of Spurious Pits. Journal of Hydrology 106(3-4):211-232.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>. Acessado em 20/03/2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativa população, 2021. \On line, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/campos-dos-goytacazes.html>, Data de acesso 07/06/2021.
- Kusaka, Y.; Tsuji, H.; Fujimoto, Y.; Ishida, K.; Fukui, Y.; Mamuro, T.; Matsunami, T.; Mizohata, A.; Hirai, S. 1982. Multielement analysis of groundwater samples by neutron activation with comparison between direct and evaporation methods. Journal of Radioanalytical Chemistry, 71, 7-18.
- Mapbiomas. 2019. Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. Link para download: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR Data de acesso: março de 2020.
- Matos, B. A. 2001. Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. 172p.
- Morais, R. M. O.; Mello, C. L.; Costa, F. O.; Santos, P. F. 2006. Fácies Sedimentares e Ambientes Depositionais Associados aos Depósitos da Formação Barreiras no Estado do Rio de Janeiro. Revista do Instituto de Geociências, 6, 19-30.
- Pacheco, A. 1986. Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. Revista do Sistema de Planejamento e Administração Metropolitana - SPAM, 17, 25-31.
- PMCG, Prefeitura Municipal de Campos do Goytacazes. Perfil municipal 2018. PMCG, 2018. 262p. Acesso em: 07/06/2021, Disponível em: <https://www.campos.rj.gov.br/newdocs/1542233062PERFILCAMPOS2018.pdf>
- Silva, M. 2000. Cemitérios: Fonte Potencial de Contaminação dos Aquíferos Livres. Revista Saneamento Ambiental, 71.
- Soares, J. B.; Maia, A. C. F. 1999. Água: microbiologia e tratamento. Fortaleza: UFC.
- Souza, M. S. 2004. Caracterização do Intervalo Hídrico Ótimo de Três Solos da Região Norte Fluminense. Tese de doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- Spellman, F. 2003. Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations. London: Lewis Publishers.