

Desafios na gestão das águas subterrâneas no município de Sete Lagoas – MG

Challenges in the management of groundwater in the municipality of Sete Lagoas - MG

Desafíos en la gestión de las aguas subterráneas en el municipio de Sete Lagoas - MG

Recebido: 06/03/2023 | Revisado: 19/03/2023 | Aceitado: 20/03/2023 | Publicado: 24/03/2023

Cíntia da Conceição Moura Diniz

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1639-614X>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: d2022102744@unifei.edu.br

Eduardo Nogueira Gomes Rios

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4868-4651>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: d2022102806@unifei.edu.br

Elias Nascimento de Aquino Iasbik

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1090-249X>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: d2022102790@unifei.edu.br

Érica Patrícia Villalaz Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2253-7730>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: d2022102806@unifei.edu.br

Roberto Cezar de Almeida Monte-Mor

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3158-6967>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: rmontemor@unifei.edu.br

Resumo

O município de Sete Lagoas, no Estado de Minas Gerais, enfrenta diversos desafios para gestão dos recursos hídricos, principalmente em função do avanço da urbanização sobre uma estrutura geológica complexa e instável. Grande parte do município é caracterizada por rochas carbonáticas, fortemente susceptíveis aos processos de dissolução em meio aquoso. A geologia local, somada a certas atividades antrópicas configuram um cenário crítico em diversos aspectos, dentre os quais se destacam a perda da qualidade das águas, formação de cavidades e instabilidade de extensas áreas, com grande risco de subsidência. A configuração geológica e hidrogeológica do município induziu a instituição de procedimento padronizado especial pelo órgão gestor das águas estaduais em Minas Gerais para disciplinar os processos de outorga do direito de uso das águas subterrâneas no município de Sete Lagoas. Os fatores de contaminação de solos e águas superficiais aumentam o risco de comprometimento da qualidade das águas subterrâneas, dadas as condições de conexão hídrica com níveis freáticos a partir de fraturas, falhas, sumidouros e outros condutos. Constitui-se objeto deste artigo a análise sobre os desafios para gestão das águas no município, considerando a necessidade de garantir acesso a esse recurso natural em quantidade de qualidade para os usos atuais e futuros, e o risco de colapsos do solo em áreas urbanas em decorrência da geologia local somada a ações antrópicas.

Palavras-chave: Abastecimento de água; Aquífero cárstico; Potabilidade; Poços tubulares.

Abstract

The municipality of Sete Lagoas, in the State of Minas Gerais, faces several challenges for the management of water resources, mainly due to the advance of urbanization on a complex and unstable geological structure. Much of the municipality is characterized by carbonate rocks, highly susceptible to dissolution processes in aqueous media. The local geology, added to certain anthropic activities, configure a critical scenario in several aspects, among which the loss of water quality, formation of cavities and instability of extensive areas, with a high risk of subsidence, stand out. The geological and hydrogeological configuration of the municipality induced the institution of a special standardized procedure by the managing body of state waters in Minas Gerais to discipline the processes for granting the right to use groundwater in the municipality of Sete Lagoas. Soil and surface water contamination factors increase the risk of compromising the quality of groundwater, given the conditions of water connection with groundwater levels from fractures, faults, sinks and other conduits. The object of this article is the analysis of the challenges for water management in the municipality, considering the need to guarantee access to this natural resource in quantity and quality for current and future uses, and the risk of soil collapses in urban areas in due to local geology added to anthropic actions.

Keywords: Water supply; Karst aquifer; Potability; Tubular wells.

Resumen

El municipio de Sete Lagoas, en el Estado de Minas Gerais, enfrenta varios desafíos para la gestión de los recursos hídricos, principalmente debido al avance de la urbanización sobre una estructura geológica compleja e inestable. Gran parte del municipio se caracteriza por rocas carbonatadas, altamente susceptibles a procesos de disolución en medios acuosos. La geología local, sumada a ciertas actividades antrópicas, configuran un escenario crítico en varios aspectos, entre los que se destacan la pérdida de la calidad del agua, la formación de cavidades y la inestabilidad de extensas áreas, con alto riesgo de hundimiento. La configuración geológica e hidrogeológica del municipio indujo a la institución de un procedimiento especial estandarizado por parte del órgano gestor de las aguas del estado de Minas Gerais para disciplinar los procesos de concesión del derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas en el municipio de Sete Lagoas. Los factores de contaminación de suelos y aguas superficiales aumentan el riesgo de comprometer la calidad de las aguas subterráneas, dadas las condiciones de conexión del agua con los niveles freáticos a partir de fracturas, fallas, sumideros y otros conductos. El objeto de este artículo es el análisis de los desafíos para la gestión del agua en el municipio, considerando la necesidad de garantizar el acceso a este recurso natural en cantidad y calidad para los usos actuales y futuros, y el riesgo de colapso del suelo en las zonas urbanas por la geología local sumada a las acciones antrópicas.

Palabras clave: Abastecimiento de agua; Acuífero kárstico; Potabilidad; Pozos tubulares.

1. Introdução

A Política Nacional do Recursos Hídricos estabelece diretrizes para a gestão integrada da água, apesar dos diversos desafios, as entidades que compõe o Singreh (Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos) têm demonstrado empenho para promover uma gestão conjunta. A gestão das águas superficiais e subterráneas tem exigido um novo cenário de governança. De acordo com ANA (2022), o conceito de ciclo hidrossocial da água tem se fortalecido à medida que se compreende que as ações humanas têm alterado a dinâmica natural do ciclo hidrológico.

Segundo Carneiro et al. (2018) não se pode relacionar a gestão da água apenas com o arcabouço que envolve as estruturas de distribuição e uso da água. É preciso envolver e aplicar questões de desenvolvimento social e político. À medida que ocorre a expansão urbana e o aumento da renda per capita, eleva-se a pressão sobre os mananciais superficiais e subterráneos.

Diversos problemas enfrentados na gestão dos recursos hídricos no município de Sete Lagoas, no estado de Minas Gerais, giram em torno dos tipos de rochas encontradas na região. A ocorrência de rochas carbonáticas, em especial os calcários e dolomitos, gera uma série de problemas na qualidade das águas e também questões de instabilidades estruturais, riscos geológicos, episódios de subsidência e até mesmo tremores impulsionados por movimentações de grandes blocos a partir de falhas geológicas.

Ao longo do ciclo hidrológico, a água percola no solo e na rocha e ganha características químicas, que variam conforme as condições geológicas por onde a água flui no meio subterrâneo. Quanto mais profunda a água está confinada, maior é o tempo de interação entre rocha-água e toda essa trajetória confere às águas subterráneas uma excelente qualidade. Contudo, em alguns casos, a dissolução de certos minerais pode gerar alguns problemas naturais na água (ANA, 2022).

Os Aquíferos cársticos são, naturalmente, sensíveis à contaminação, devido a sua pouca profundidade, a alta velocidade do fluxo de água, a sua conexão direta com a superfície e a sua recarga através de formas de absorção abertas. Segundo a Associação Brasileira de Águas Subterráneas, as águas subterráneas, por estarem confinadas, podem ser contaminadas de forma silenciosa através das atividades realizadas no entorno por produtos potencialmente poluidores dispostos diretamente no solo ou em valas ou cavas ou poços (ABAS, 2022).

A contaminação antrópica ocorre principalmente quando efluentes industriais e residenciais atingem a superfície do solo, passam a se infiltrar lentamente pelo meio poroso, indo se encontrar com as águas do nível freático, que é o primeiro e mais vulnerável aquífero. O solo contaminado, por permitir uma lenta lixiviação de contaminantes para as águas subterráneas, passa a constituir uma fonte de contaminação, armazenando fase residual de produto em seus poros. A água subterrânea contaminada, que migra por gravidade pelo aquífero, forma a pluma de fase dissolvida.

Todas as fases da contaminação do meio ambiente subterrâneo estão susceptíveis à aplicação de técnicas especiais para

avaliação e remediação, pois o comportamento dos contaminantes depende tanto das propriedades físicas e químicas do aquífero quanto das interações de suas propriedades com o meio.

Os recursos hídricos subterrâneos são considerados bens de domínio do Estado (Brasil, 1988), sendo o acesso realizado nos afloramentos naturais ou provocados por intervenções nas camadas de solo e rochas, e sua exploração ocorre mediante captações e rebaixamento de nível para desenvolvimento de atividades minerárias e obras civis (IGAM, 2020).

As intervenções nas águas subterrâneas, ressalvados os usos considerados insignificantes a critério do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais - CERH, dependem de autorização e/ou outorga do ente gestor, ao qual compete também fiscalizá-los no complexo de ações gerenciais previstas na legislação estadual (Minas Gerais, 2000).

O uso regular das águas subterrâneas, mediante cadastro ou outorga, viabiliza que o Instituto Mineiro de Gestão das Águas monitore a capacidade do aquífero, podendo determinar adoção de medidas de recuperação de danos eventualmente causados (Minas Gerais, 2000). Nesse sentido, os usos e intervenções irregulares ou em desacordo com os atos autorizativos sujeitam os infratores às penalidades previstas na Lei Estadual 7.772/1980, que incluem multas e suspensão.

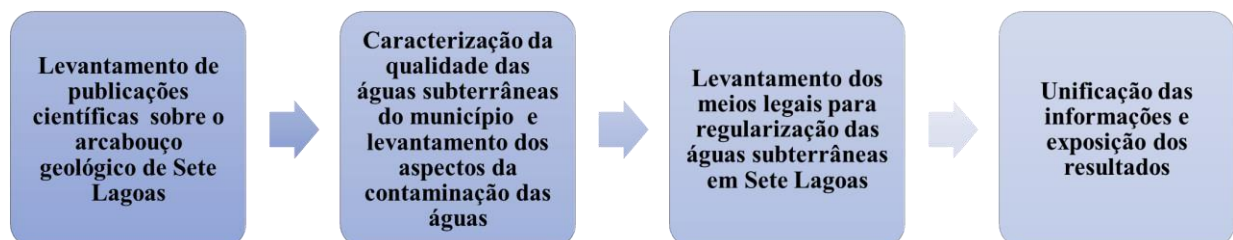
Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo a realização de um levantamento bibliográfico sobre os recursos hídricos subterrâneos do município de Sete Lagoas, no estado de Minas Gerais, apresentando os principais desafios e problemas enfrentados na gestão das águas subterrâneas.

2. Metodologia

Para este estudo foram realizadas pesquisas com abordagem teórica e qualitativa, visando a identificação dos principais fatores considerados para uma gestão efetiva das águas no município de Sete Lagoas. Considerou-se tanto as condições naturais, como os domínios geológicos e hidrogeológicos locais, como a atuação antrópica no uso da água e seus impactos sobre os recursos hídricos.

Realizou-se levantamento bibliográfico a partir de publicações científicas nas bases de dados *Periódicos da Capes*, *SciELO* e *Google acadêmico*, utilizando termos chaves como “águas subterrâneas em Sete Lagoas”, “hidrogeologia”, “captação subterrâneas em Sete Lagoas” e “abastecimento de água em Sete Lagoas”. Este estudo também abordou os dados disponibilizados pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Sete lagoas e relatórios disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), a Figura 1 apresenta o processo realizado neste estudo para a busca de dados.

Figura 1 - Processo metodológico.



Fonte: Autores (2022).

3. Área de Estudo

Localizado a 70 km a noroeste de Belo Horizonte, o município de Sete Lagoas possui uma área de 537.639 km² e uma

população aproximada de 241.835 habitantes (IBGE, 2020). O principal aquífero do município é Cárstico (Pessoa, 1996), o abastecimento de água é majoritariamente suprido por captações de águas subterrâneas a partir de poços privados e públicos. O abastecimento público conta com diversos poços alocados estrategicamente sobre os domínios hidrogeológicos, administrados pelo Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto (SAAE). As taxas de bombeamento atingem os valores mais elevados, superiores a 100 m³/dia nas áreas urbanas, cuja densidade populacional justifica o aumento da demanda (Galvão et al., 2017).

A região está localizada no Cráton do São Francisco, onde se depositam sedimentos carbonáticos argilosos e arenosos do Grupo Bambuí (Tuller et al., 2010). Na área de estudo, o Grupo Bambuí é representado pelas formações, da base para o topo, Sete Lagoas (rochas carbonáticas), Serra de Santa Helena (arcósios, ardósias, filitos, margas e siltitos) e Lagoa do Jacaré (calcários). O embasamento é representado por rochas do Complexo Belo Horizonte, que caracterizam aquíferos fraturados, também chamados de fissurados (Tuller et al., 2010).

O aquífero Sete Lagoas possui aproximadamente 75 m de espessura dentro da área urbana, é composto por calcários da Formação Sete Lagoas, que se divide nos membros Pedro Leopoldo (na base) e Lagoa Santa (no topo). O aquífero supracitado apresenta porosidade primária e permeabilidade baixas, porosidade secundária preenchida pelo mineral calcita e porosidade terciária elevada, a partir da qual a maioria das águas subterrâneas do aquífero migram (Galvão et al., 2015 & Galvão et al., 2017).

O SAAE é o responsável pelo abastecimento público no município de Sete Lagoas. Fundada em 1965 a Autarquia Municipal atua com receita própria, proveniente do recebimento das tarifas para manutenção do sistema de água e esgoto. Atualmente, o abastecimento de água no município é misto, o sistema de abastecimento distribui água proveniente de mananciais subterrâneos e superficiais (SAAE, 2022). Segundo o Sisagua (2022), o município de Sete Lagoas possui 1 (uma) captação superficial e 124 (cento e vinte quatro) captações subterrâneas cadastradas como mananciais, destinados ao tratamento para abastecimento público.

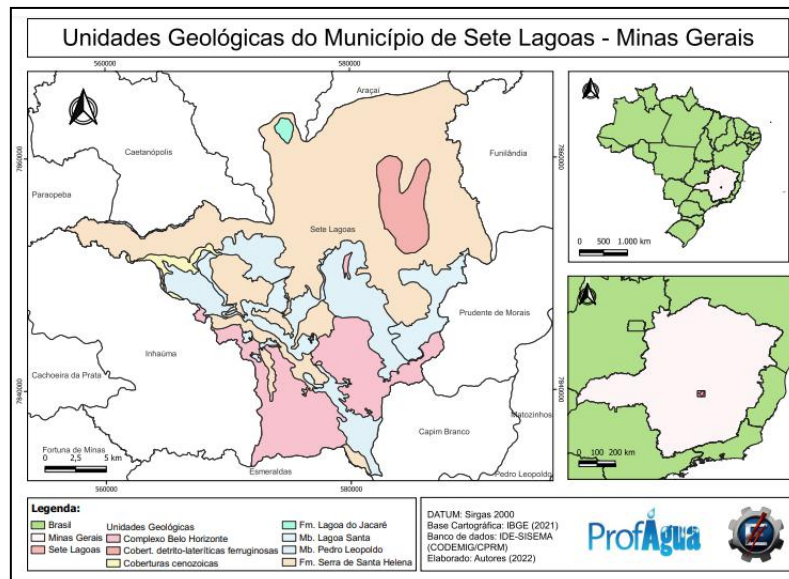
No município e Sete Lagoas 96,49% das residências possuem canalização interna com abastecimento de água em pelo menos um cômodo da casa. A taxa de coleta de esgoto é de 100% das residências urbanas, contudo, o tratamento é realizado em apenas 24,51% do esgoto coletado (Infosanbas, 2020). O tratamento de água dos poços é realizado através da desinfecção. A captação de origem superficial é realizada no Rio das Velhas e o tratamento é realizado na estação de tratamento de água rio das Velhas, localizada no município de Funilândia (SAAE, 2018).

3.1 Hidrogeologia

O mapa geológico (Figura 2) e o perfil geológico esquemático (Figura 3) evidenciam que a área urbana de Sete Lagoas se localiza principalmente sobre os calcários da Formação Sete Lagoas, sotoposto a coberturas sedimentares cenozoicas, e eventualmente coberto por litologias da Formação Serra de Santa Helena. As discontinuidades, tais como fraturas, falhas e condutos, favorecem a circulação de águas subterrâneas, que aumentam de tamanho com a percolação de água e consequente dissolução das rochas, favorecendo a chamada porosidade terciária e o potencial de armazenamento.

O aquífero cárstico é considerado confinado, em função das superfícies potenciométricas se encontrarem acima dos dois planos de estratificação cárstica. Pode-se afirmar que o plano de estratificação mais próximo à superfície se encontra na zona não saturada. Esta configuração pode ser atribuída à compartimentação hidrogeológica, somada aos grandes volumes de água explotados diariamente a partir dos poços tubulares profundos e também por poços manuais mais rasos. Quando a recarga do aquífero ocorre diretamente no próprio sistema cárstico, ela é chamada de autogênica, enquanto a recarga proveniente de regiões não cársticas é chamada de alogênica.

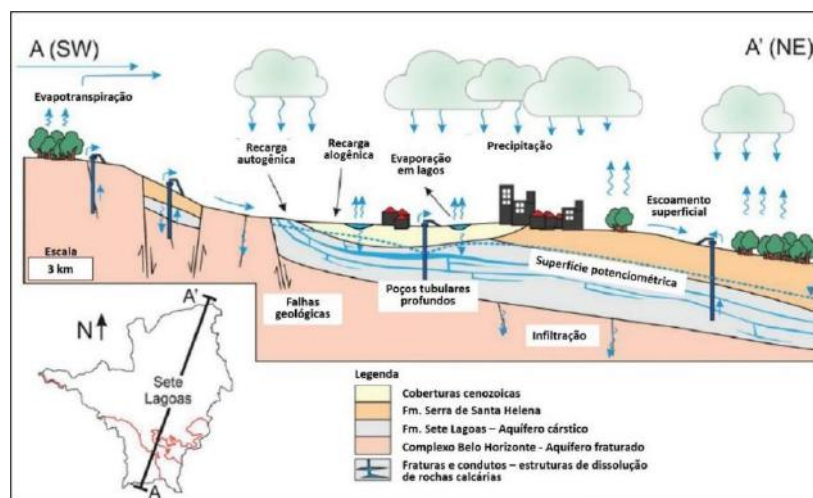
Figura 2 - Mapa das unidades geológicas do município de Sete Lagoas e sua localização.



Fonte: Autores (2022).

Diante do arcabouço geológico, hidrogeológico e estrutural apresentado, pode-se afirmar que a grande maioria dos poços perfurados no município recebem águas que percolaram rochas carbonáticas, caracterizadas pela presença de carbonato de cálcio (CaCO_3), conferindo às águas teor de dureza elevado. Do ponto de vista da potabilidade, a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 maio de 2021, que dispõe sobre os padrões de potabilidade na água de abastecimento, estabelece o valor máximo permitido de 300 mg/L de dureza total. O município de Sete Lagoas está localizado, territorialmente, na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, segundo IGAM (2017), ao passo que as águas subterrâneas da bacia do rio Velhas são 75% do tipo bicarbonatadas cálcicas, 14% bicarbonatadas mistas e 10% bicarbonatadas sódicas.

Figura 3 - Perfil hidrogeológico esquemático da cidade de Sete Lagoas exibindo a circulação de águas subterrâneas na área urbana central.



Fonte: Modificado de Galvão et al. (2017).

No ano de 2013 foi realizado o estudo Hidrogeológico do município de Sete Lagoas, no qual teve como objetivo conhecer a real disponibilidade hídrica, os riscos de contaminação e as suscetibilidades natural de abatimento dos terrenos. A partir do estudo, realizaram-se análises químicas na água subterrânea do município, no intuito de conhecer o balanço iônico e as

condições físico-químicas. Conforme apresentado na Tabela 1, a água do município tem predominância de íons bicarbonatos e dureza total média 107,82 mg/L.

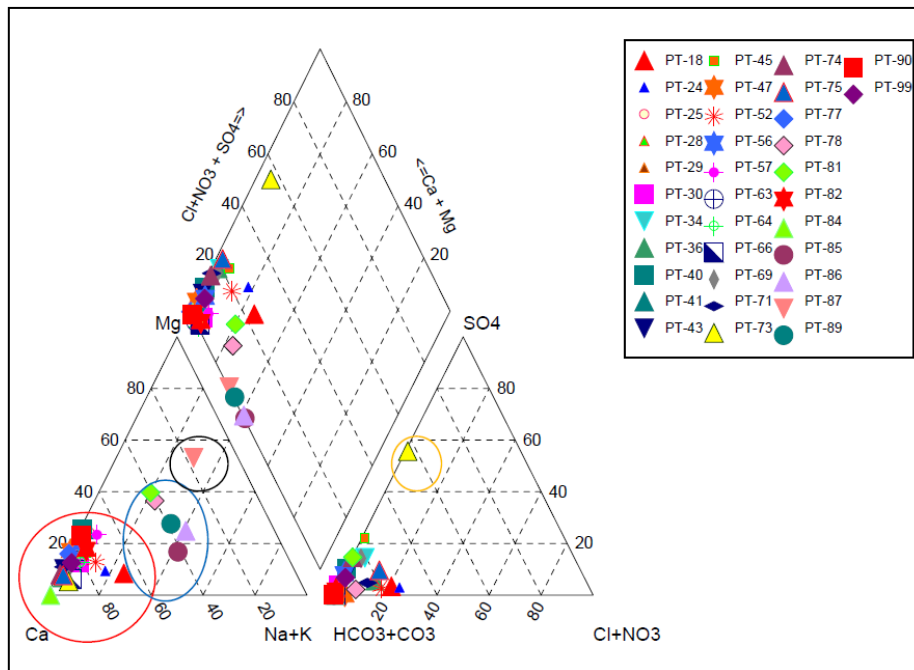
Tabela 1- Estatísticas dos parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas do município de Sete Lagoas – MG.

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância	Contagem
pH	6,08	8,10	7,02	6,92	0,48	0,23	53
Condutividade Elétrica (µS/cm)	27,90	590,00	329,51	317,00	130,55	16721,35	53
Temperatura (°C)	21,14	29,61	24,00	23,97	1,19	1,39	53
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,00	11,00	2,52	2,36	1,72	2,91	52
ORP (mV)	73,90	337,40	132,01	123,80	52,12	2716,90	53
Nitritos - NO ₂ ⁻¹ (mg/L)	< 0,002	1,85	0,06	< 0,002	0,29	0,08	55
Nitratos - NO ₃ ⁻¹ (mg/L)	< 0,1	40,28	4,98	1,41	8,29	67,47	56
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	< 0,01	1,77	0,07	< 0,01	0,28	0,08	56
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	< 0,4	3,41	0,11	< 0,4	0,54	0,28	56
Nitrogênio Kjeldhal (mg/L)	< 0,1	3,41	0,11	< 0,1	0,54	0,29	56
Fluretos - F ⁻¹ (mg/L)	< 0,004	0,21	0,05	0,05	0,05	0,00	56
Cloretos - Cl ⁻¹ (mg/L)	< 0,04	19,25	3,22	< 0,04	5,49	29,63	56
Sulfatos - SO ₄ ⁻² (mg/L)	< 0,03	29,00	3,36	2,49	4,63	21,02	56
Fosfatos -PO ₄ ⁻³ (mg/L)	< 0,05	0,72	0,06	< 0,05	0,15	0,02	55
Sílica (mg/L)	< 0,01	53,70	14,48	10,61	13,34	174,88	56
Cálcio (mg/L)	2,35	131,52	40,47	38,57	23,01	520,22	56
Ferro Total (mg/L)	< 0,01	3,85	0,19	0,07	0,54	0,29	56
Magnésio (mg/L)	< 0,25	23,97	4,01	3,38	3,57	12,53	56
Potássio (mg/L)	< 0,1	3,04	0,63	0,39	0,61	0,37	56
Sódio (mg/L)	< 0,25	24,23	4,59	2,79	5,18	26,38	56
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	< 10	390,00	177,68	178,00	82,34	6659,36	56
Sólidos Totais (mg/L)	< 10	394,00	184,03	187,00	84,18	6960,41	56
Alcalinidade Bicarbonatos (mg CaCO ₃ /L)	39,80	228,60	142,83	159,00	60,72	3160,59	7
Alcalinidade Carbonatos (mg CaCO ₃ /L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	-	7
Alcalinidade Hidróxidos (mg CaCO ₃ /L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	-	7
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	49,00	441,10	172,44	158,00	75,69	5612,38	49
Alcalinidade a Fenolftaleína (mg CaCO ₃ /L)	< 5	237,00	4,94	< 5	34,21	1145,81	48
Bicarbonatos (mg/L)	29,90	269,10	108,21	103,18	45,53	2036,13	56
Carbonatos (mg/L)	< 0,5	6,00	0,11	< 0,5	0,81	0,64	55
Hidróxidos (mg/L)	< 0,5	2,16	0,04	< 0,5	0,29	0,08	56
Dureza Total (mg/L)	3,20	245,07	107,82	112,64	46,81	2152,37	56

Fonte: Adaptado de Servmar (2013).

A partir dos resultados obtidos através das análises realizadas pelo estudo hidrogeológico, foi possível realizar a classificação geral das águas subterrâneas do município. O estudo considerou a aplicação por meio do diagrama de Piper e classificou as águas subterrâneas de Sete Lagoas como predominantemente bicarbonatadas cálcicas. No período de realização do estudo, em 2013, foram identificados 99 poços de abastecimento do SAAE, o estudo identificou cada poço com sigla PT (poço tubular) e o número de identificação do mesmo, também foi atribuído um símbolo a cada poço para classificação no diagrama de Piper, conforme indicado na Figura 4.

Figura 4 - Diagrama de Piper representando a classificação hidroquímica da água subterrânea do município de Sete Lagoas.



Fonte: Servmar (2013).

3.2 Alterações na qualidade natural das águas

As águas subterrâneas desempenham papel notório no desenvolvimento socioeconômico e na prestação de serviços ecossistêmicos. Sua importância vai além do suprimento para o abastecimento humano. Dentre suas múltiplas funções, podem destacar-se as seguintes: estabilidade geológica e qualidades das águas subterrâneas, armazenamento e regularização do ciclo hidrológico, purificação da água e manutenção de áreas úmidas (ANA, 2022).

De acordo com Hirata e Suhogusoff (2019), em geral as águas subterrâneas no Brasil apresentam excelente qualidade. Contudo, a composição mineralógica que cada região influenciará na composição química da água subterrânea. As águas subterrâneas da região norte do Brasil, por exemplo, são mais ácidas, devido à ocorrência de chuvas abundantes. Já nos aquíferos costeiros, encontram-se águas subterrâneas com predomínio de íons cloreto e sódio. O município de Sete Lagoas está sobre o aquífero Bambuí, caracterizado por áreas calcárias, o que confere às águas subterrâneas uma alta dureza e/ou teor de sólidos.

O teor de dureza da água é determinado pela concentração do carbonato de cálcio (CaCO_3) em miligramas por litro (mg/L), onde considera-se uma água branda com concentração < 50, pouco dura com concentração de 50 a 150, dura com concentração de 150 a 300 e muito dura > 300. Os problemas decorrentes da alta dureza nas águas subterrâneas, geralmente estão ligados com a ocorrência de corrosão e incrustação de tubulação e equipamentos. Contudo, em determinadas concentrações, a dureza pode conferir à água um sabor e odor desagradável (Von Sperling, 2014).

3.3 Qualidade da água e contaminação

O aquífero cárstico corresponde a um dos sistemas mais complexos para entender as características do fluxo de água subterrânea, por isso a importância de avaliação dos potenciais poluidores no entorno (Gomes et al., 2018). Diante da observância das atividades humanas que podem contribuir com a geração de cargas contaminantes em subsuperfície e em maiores profundidades, torna-se importante atentar-se ao reconhecimento das emissões de cargas poluidoras difusas e as de fontes pontuais. Desta forma, a caracterização dos locais onde há produção destas cargas é fundamental para distinguir os componentes

acidentais e incidentais, levando-se em consideração o controle da contaminação e sua prevenção. A Tabela 2 mostra, portanto, algumas atividades, e indica as que possuem maior potencial poluidor (Ribeiro, 2007).

Tabela 2 - Atividades antrópicas geradoras de carga contaminantes para o Aquífero.

ATIVIDADE	Característica da carga contaminante	
	Distribuição contaminantes	Principal
URBANA		
Saneamento "in situ "	u/r P-D	n f o
Vazamento de esgotos (a)	u P-L	o f n
Lagoas de oxidação (a)	u/r P	o f n
Aplicação de águas residuais em superfície (a)	u/r P-D	n s o f
Rios e canais de recepção (a)	u/r P-L	n o f
Lixiviado de lixões/aterros sanitários	u/r P	o s m
Tanque de combustível	u/r P-D	o
Drenos de rodovias	u/r P-D	s o
INDÚSTRIA		
Vazamento de tanque/tubos (b)	u P-D	o m
Derramamento acidental	u P-D	o m
Lagoas de efluentes	u P	o m s
Lançamento de efluentes em superfície	u P-D	o m s
Canais e rios receptores	u P-L	o m s
Lixiviado de resíduos sólidos	u/r P	o m s
Drenos de pátios	u/r P	o m
Material em suspensão e gases	u/r D	s o
AGRÍCOLA (c)		
a. Área de cultivo		
- com agroquímicos	r D	n o
- com irrigação	r D	n o s
- com lodos/resíduos	r D	n o s
- com irrigação de águas residuais	r D	n o s f
b. Beneficiamento/criação de gado e animais		
- lagoas de efluentes sem revestimento	r P	f o n
- lançamento em superfície	r P-D	n s o f
- canais e rios receptores de efluentes	r P-L	o n f
EXTRAÇÃO MINERAL		
Desmorte hidráulico	r/u P-D	s m
Descarga de água de drenagem	r/u P-D	m s
Lagoa de decantação	r/u P	m s
Lixiviado de resíduos sólidos	r/u P	s m

(a) Pode incluir componentes industriais; (b) Pode também ocorrer em áreas não industriais; (c) Intensificação apresenta aumento no risco de contaminação; u/r = Urbano/Rural; P/L/D/R = Pontual/Linear/ Difuso/Regional; n = Nutrientes; f = Patógenos fecais; o = Composto orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; s = Salinidade; m = Metais. Fonte: adaptado de Ribeiro (2007).

A composição química das rochas pelas quais as águas subterrâneas percolam afeta diretamente nas características físico-química das águas subterrâneas, de forma que o estudo destas águas permite inferir as características e condições diversas dos aquíferos em profundidade. A contaminação de alguns solos, em subsuperfície, podem atingir maiores profundidades e chegar aos aquíferos pelo processo de lixiviação, onde as águas pluviais levam contaminantes aos aquíferos através dos poros existentes nos solos e rochas. Este tipo de contaminação ocorre em locais onde há o descarte inapropriado de cargas contaminantes, comumente geradas por atividades antrópicas em grandes centros urbanos, polos industriais, áreas com predomínio de atividades agrícolas e em regiões caracterizadas por extrações minerais. Este tipo de descarte, que desconsidera as características do local receptor destas cargas poluidoras, costuma exceder a capacidade de autodepuração nos solos e em seus horizontes.

O desafio de detectar os principais agentes poluidores em determinada região requer grande conhecimento das características dos solos, das rochas que deram origem a estes solos, do clima predominante na região e também do comportamento do aquífero subjacente. Devem ser consideradas, no momento de escolha do local apropriado para a disposição das cargas poluidoras, as propriedades intrínsecas e as variáveis que podem influenciar direto ou indiretamente na contaminação das águas subterrâneas, de modo a minimizar os riscos de contaminação.

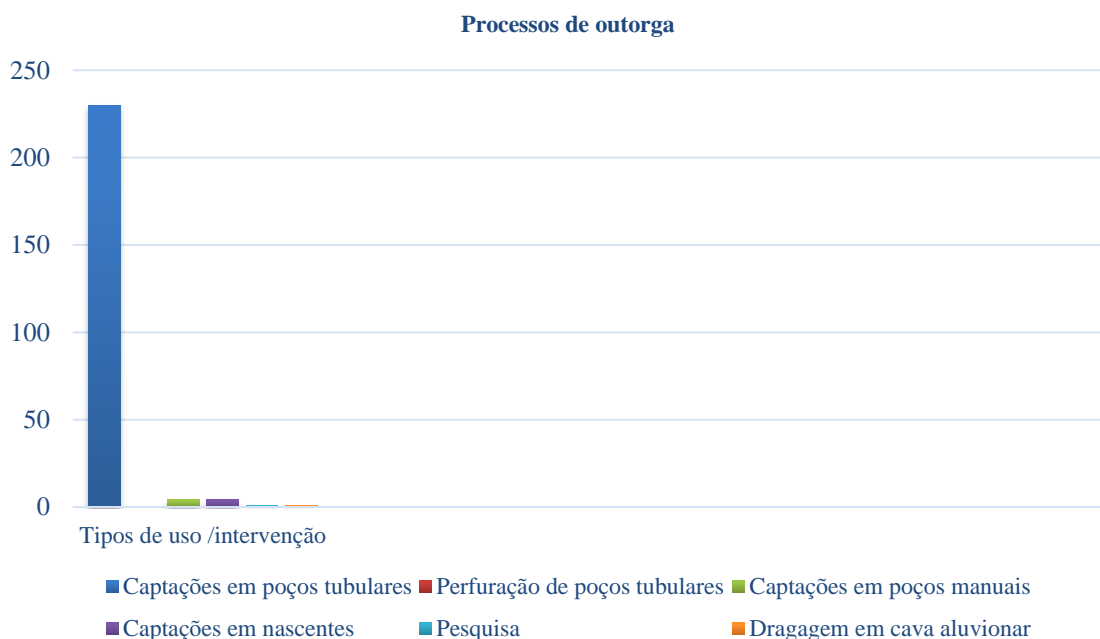
4. Resultado e Discussão

4.1 Outorgas de captação subterrâneas

Segundo dados do Sistema de Controle de Autos de Infração e Processos Administrativos (CAP), entre os anos de 2011 e 2021 foram lavrados 58 autos de infrações por captações irregulares de águas subterrâneas no município de Sete Lagoas/MG, envolvendo 53 usos sujeitos a outorga e 13 considerados insignificantes.

Noutro giro, para o período compreendido entre os anos de 2011 e 2021, o Sistema Integrado de Informação Ambiental (Siam) contém registros de 240 processos administrativos para regularização mediante outorga de intervenções em corpos d'água subterrâneas, distribuídos conforme Gráfico 1, com portarias publicadas.

Gráfico 1 - Quantitativo de processos de outorga para usos de águas subterrâneas no município de Sete Lagoas -MG, formalizados entre os anos de 2011 e 2021, com portarias emitidas.



Fonte: Sistema Integrado de Informação Ambiental. Elaborado pelos autores (2022).

A relação visível, portanto, é que um a cada cinco usos de águas subterrâneas ocorre de maneira irregular. Entretanto, não há subsídios para afirmar que a fiscalização realizada pelo estado contemple a totalidade dos usos existentes no período considerado em razão da forma silenciosa e oculta em que são realizados. Desse modo, as constatações decorrem de operações fiscalizadoras aleatórias ou vinculadas a vistorias de empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental, ou de denúncias pontuais apresentadas pelo cidadão junto ao órgão ambiental do estado. Nesse aspecto, é provável que o quantitativo de usos irregulares das águas subterrâneas em Sete Lagoas seja bastante superior àquele constatado e penalizado pela autoridade ambiental do estado de Minas Gerais.

A literatura aponta que a superexploração das águas subterrâneas se configura quando a retirada supera a reposição natural do corpo d'água, o que deve ser aferido mediante monitoramento do nível dos aquíferos (Campos & Souza, 2017). Entretanto, além do atendimento a condições gerais relacionadas ao monitoramento, o citado trabalho adverte que as captações irregulares impedem que se consigam resultados seguros sobre os impactos da exploração no nível dos aquíferos subterrâneos:

De fato, a medição dos níveis estáticos é difícil e em alguns casos inviável, uma vez que em regiões abastecidas exclusivamente por águas subterrâneas (através de poços tubulares profundos) nem sempre é possível interromper o bombeamento e na maioria dos casos não se pode assegurar que o nível estático regional foi reestabelecido. Em outros casos, mesmo quando os poços conhecidos (cadastrados e/ou outorgados pelo órgão gestor) ficam desligados pode haver bombeamento em outros poços desconhecidos ou fora do cadastro oficial ou do registro de dados, interferindo nos resultados esperados (Campos & Souza, 2017, p. 339-340).

A limitação mencionada no trecho supratranscrito ocorre no município de Sete Lagoas, onde o abastecimento público de água é atendido substancialmente por águas subterrâneas, havendo 95 poços em operação, segundo informações disponíveis no site do Serviço Autônomo de Água e Esgoto local. Para o período considerado no Gráfico 1 (2011-2021), do total de 230 outorgas para captação em poços tubulares, 27 são atribuídas ao SAAE, cujo histórico global de regularização totaliza 146 processos envolvendo esse tipo de uso junto ao órgão gestor das águas estaduais.

Em razão das peculiaridades locais do município de Sete Lagoas, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais em conjunto com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas definiram procedimento específico para análise dos processos administrativos para perfuração e captação em poços tubulares, levando em consideração as informações contidas no Relatório Final do Estudo Hidrogeológico realizado no Município de Sete Lagoas (Servmar, 2013).

O referido relatório inclui levantamento dos poços tubulares existentes no município até o ano de 2012, distribuídos em quadriculas dimensionadas em 500m x 500m, e definiu a capacidade limite para exploração das águas subterrâneas até a vazão de 2.000 m³/dia, sugerindo-se o órgão gestor das águas estaduais a adoção de medidas relacionadas a esses limites, além de outras destinadas à priorização das captações realizadas pelo SAAE para o abastecimento público (Servmar, 2013, p. 263-264).

5. Considerações Finais

O município de Sete Lagoas apresenta particularidades bem distintas de outras cidades no que se refere aos recursos hídricos subterrâneos. De modo geral, a água subterrânea apresenta boa qualidade, contudo, com o teor significativo de dureza, em resposta ao arcabouço geológico local. Levando-se em consideração a importância das águas subterrâneas, incluindo para o consumo humano e abastecimento público, há um grande desafio em sua gestão, no intuito de impedir que os contaminantes dispostos em superfície sejam lixiviados e carreados para os aquíferos. O monitoramento ambiental no âmbito das análises das águas subterrâneas deve visar a detecção de anomalias em parâmetros físico-químicos, com a possibilidade de identificar-se valores que excedem os limites máximos permitidos pela lei para cada um dos parâmetros de qualidade de água. Na prática, os custos elevados para execução deste monitoramento nem sempre são proporcionais à sua eficácia. Desta forma, avaliações preliminares das características das cargas poluidoras e dos locais pretendidos para sua deposição podem evitar a contaminação destas áreas e evitar que os contaminantes atinjam os aquíferos. Neste contexto, as práticas de prevenção se mostram mais eficazes e mais baratas do que as práticas de remediação.

A existência de estudos específicos na circunscrição territorial do município de Sete Lagoas proporcionou elementos técnicos hábeis para definição do limite da capacidade para exploração das águas subterrâneas por unidade de área convencional - quadriculas, de modo a não comprometer a sustentabilidade do abastecimento público e do atendimento geral das demandas por água naquele território.

Entretanto, a efetividade das medidas previstas no relatório depende da instalação de equipamentos de medição e monitoramento, e da regularização dos usos para fins de controle e observância do limite para evitar a superexploração. Nesse cenário, a constatação, quando ocorre, de usos irregulares ou em desacordo com os atos autorizativos e normas vigentes, indica que os níveis dos aquíferos subterrâneos de Sete Lagoas podem estar em marcha de rebaixamento, comprometendo os afloramentos naturais e os poços existentes, levando-os à extinção.

Em uma visão holística da gestão das águas no município de Sete Lagoas, observa-se que o cenário geral é extremamente complexo e exige atenção especial no que tange os recursos hídricos. Mesmo diante de suas particularidades, observa-se que tanto o município quanto o órgão gestor do Estado, estão em busca de um modelo de gestão cada vez mais efetivo para as águas do município, munidos de ferramentas e estratégias capazes de minimizar as adversidades decorrentes do arcabouço geológico, domínios hidrogeológicos e compartimentação estrutural, atentando-se sempre às influências antrópicas sobre as águas do município.

Para estudos e futuras pesquisas no âmbito da gestão hídrica do município de Sete Lagoas, apresentamos a sugestão de se discutir o Plano de Segurança da Água (PSA). É de suma importância que os gestores e responsáveis pela governança da água na cidade Sete Lagoas, identifiquem as fontes potenciais de contaminação e implementem ações corretivas que garantam água segura em quantidade e qualidade para a população.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado.

Referências

- Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS). (2022). Contaminação e remediação de águas subterrâneas. <https://www.abas.org/educacao/contaminacao-e-remediacao-de-aguas-subterraneas/>.
- Agência Nacional das águas e Saneamento Básico. (2022). As águas subterrâneas na política nacional de recursos hídricos. Brasília: 220 p.: il. *Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos*; v. 5.
- Brasil. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Diário Oficial da União, 05 out. 1988. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/-constituicaocompilado.htm.
- Brasil. (2021). Portaria GM/MS Nº 888, de 4 maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, na forma do Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html.
- Campos, J. E. G. & Souza, M. M. (2017). Alternativa para determinação de superexploração de aquíferos. *Geociências*. 36(2), 339–46. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/-view/8923/8162>. “
- Carneiro, M. C. M. O., Amaral, D. S., Santos, L. F. M., Junior, M. M. A. G., & Pinheiro, T. M. (2018). A gestão do saneamento no Brasil e sua relação com a gestão de recursos hídricos. *INOVAE*. 6, 100-116
- Galvão, P., Halihan, T., & Hirata, R. (2015). Evaluating karst geotechnical risk in the urbanized área of Sete Lagoas, Minas Gerais, Brazil. *Hydrogeology Journal*, 23(7): 1499-1513.
- Galvão, P. H., Halihan, T., & Hirata, R. (2017). Transmissivity of aquifer by capture zone method: An application in the sete lagoas Karst Aquifer, MG, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(1), 91–102.
- Gomes, R., Galvão, P., Maciel, A., & Silva, A. (2018). Comportamento do fluxo de água subterrânea e potencialidade hídrica em aquífero cárstico a partir de análise estrutural e parâmetros hidrogeológicos –Sete Lagoas (MG). *Anais do XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29416/19018>.
- Hirata, R., Suhogusosf, A. V. (2019). How much do we know about the groundwater quality and its impact on Brazilian society today? *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 31, e109.
- Infosanbas. (2020). Sete Lagoas-MG. <https://infosanbas.org.br/municipio/sete-lagoas-mg/>.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). IBGE Informações Municipais Básicas. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sete-lagoas/panorama>.
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2017). IGAM, Monitoramento das Águas Subterrâneas de Minas Gerais 2015 a 2017. <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/bitstream/123456789/3813>.
- Lei nº 7.772, de 8 de setembro de 1980. Dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente. Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 09/09/1980. <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5407>.
- Minas Gerais. (2020). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Formulários para elaboração de processos de Outorga, Tabelas de Apoios - 1 a 18 - versão de 04 mai. 2020. <http://igam.mg.gov.br/outorga/formularios>.
- Minas Gerais. (2000). Lei 13.771, de 11 de dezembro de 2000. Dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do estado e dá outras providências. <https://www.almg.gov.br/-consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=13771&comp=&ano=2000>
- Pessoa, P. (1996). Caracterização hidrogeológica da região de Sete Lagoas - MG: Potenciais e Riscos. Dissertação de Mestrado. *Department of Geosciences, University of São Paulo*. São Paulo. (Unpublished). <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-21102015-153210/pt-br.php>.
- 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. Edição 85, seção 1, p. 127. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>.
- Ribeiro, M. L., Lourencett, C., Pereira, S. Y., & Marchi, M. R. R. (2007). Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. *Quim. Nova*, 30(3), 688-694.
- Serviço Autônomo de água e Esgoto de Sete Lagoas. (2022). SAAE Captação. <http://www.saaesetelagoas.com.br/agua/captacao>.
- Serviço Autônomo de água e Esgoto de Sete Lagoas. (2018). ETA – Sistema Rio das Velhas agora é referência para formação de novos agentes de saúde do estado. <https://blogdosaae.blogspot.com/2018/07/eta-sistema-rio-das-velhas-agora-e.html>.
- Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda (2013). Relatório Final - Estudo Hidrogeológico no Município de Sete Lagoas (MG). <http://www.saaesetelagoas.com.br/agua/estudo-hidrogeologico>.
- Sisagua. (2022). Sistema de Informação da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. Controle Mensal. Amostras Fora do Padrão. http://landpageh.cgu.gov.br/dadosabertos/index.php?url=https://sage.saude.gov.br/dados/sisagua/controle_mensal_amostras_fora_padrao.zip.
- Tuller, M. P., Ribeiro, J. H., Signorelli, N., Féboli, W. L., & Pinho, J. M. M. (2010). Sete Lagoas - Abaeté Project, Minas Gerais State, Brazil. 6 geological maps, scale 1:100,000 (Geology Program of Brazil), 160 p.
- Von Sperling, M. (2014). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. (4a ed.), p. 452. Editora UFMG.