

## Qualidade das Águas Subterrâneas em Aquífero Sedimentar do Tipo Livre em Área Fertirrigada com Efluente de Suinocultura em São Gabriel do Oeste, MS

*Groundwater Quality in Free-type Sedimentary Aquifer in Fertirrigated Area with Swine Wastewater in São Gabriel do Oeste, MS*

Denise Aguenta Uechi , Sandra Garcia Gabas , Giancarlo Lastoria 

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Geografia, Laboratório de Águas Subterrâneas e Áreas Contaminadas, Campo Grande, MS, Brasil

E-mails: [denise\\_uechi@hotmail.com](mailto:denise_uechi@hotmail.com); [sandra.gabas@ufms.br](mailto:sandra.gabas@ufms.br); [g.lastoria@ufms.br](mailto:g.lastoria@ufms.br)

**Autor Correspondente:** Denise Aguenta Uechi; [denise\\_uechi@hotmail.com](mailto:denise_uechi@hotmail.com)

### Resumo

Uma das aplicações do efluente suíno tratado é como biofertilizante em culturas vegetais, com melhoria da fertilidade do solo a um baixo custo. Entretanto, na saída do biodigestor o efluente pode apresentar metais pesados, geralmente incorporados na ração animal. Estes metais são elementos potencialmente tóxicos à saúde humana em elevadas concentrações, podem acumular no solo e lixiviar para as águas subterrâneas. Neste trabalho foram analisadas as concentrações de arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), selênio (Se) e zinco (Zn), além dos parâmetros hidroquímicos básicos na água do Aquífero Cenozoico, localizado no Assentamento Campanário, em São Gabriel do Oeste, no Mato Grosso do Sul, em área submetida a esta tecnologia. A presença no local de argilosilicatos, oxihidróxidos e matéria orgânica favoreceram a menor mobilidade de alguns metais; entretanto, o efluente suíno potencializou a mobilidade no solo do As, Fe e Mn alcançando a água do aquífero sedimentar do tipo livre.

**Palavras-chave:** Metais pesados; Aquífero livre; Contaminação

### Abstract

One of the applications of treated swine wastewater is as biofertilizer in plant crops, with soil fertility improvement at a low cost. However, at the exit of the biodigester the wastewater may present heavy metals, usually incorporated in the animal feed. These metals are potentially toxic elements to human health in high concentrations, can accumulate in soil and leach into groundwater. In this research, we analyzed the concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd), lead (Pb), copper (Cu), chromium (Cr), iron (Fe), manganese (Mn), selenium (Se) and zinc (Zn), in addition to the basic hydrochemical parameters in the water of the Cenozoic Aquifer, located in the Campanário Settlement, in São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul, in an area subjected to this technology. The presence on the site of clay silicates, oxyhydroxides and organic matter favored the lower mobility of some metals; however, the swine wastewater enhanced the soil mobility of As, Fe and Mn reaching free-type sedimentary aquifer water.

**Keywords:** Heavy metals; Freatic aquifer; Contamination

## 1 Introdução

O aumento da demanda no setor alimentício tem ocasionado a expansão de vários setores na esfera agropecuária a fim de atender as necessidades do mercado. A suinocultura é uma dessas atividades e vem crescendo em Mato Grosso do Sul, sendo São Gabriel do Oeste (SGO) o maior polo estadual, com incremento da produção de 119,6% entre 2007 e 2017, contabilizando 232.500 cabeças em 2017, o que representa 16,2 % da produção no Estado para o mesmo período (Brasil 2019).

Entretanto, é um empreendimento enquadrado como “atividade potencialmente causadora de degradação ambiental” pela Lei nº 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA (Brasil 1981), em decorrência do elevado potencial poluente do efluente gerado em razão da alta carga orgânica e de nutrientes que podem causar grandes impactos na biota local caso não haja o manejo, o tratamento e a disposição adequados (Cardoso, Oyamada & Silva 2015; Kunz, Higarashi & Oliveira 2005).

O município é pioneiro no Estado no tratamento dos dejetos suínos por meio dos biodigestores (Souza 2013), onde as alternativas produtivas dadas aos dejetos suínos, como a fertirrigação e a produção de biogás, tendem a melhorar a renda dos produtores locais (Cardoso, Oyamada & Silva 2015; Schultz 2007) e preservar o meio ambiente. Existem granjas autossuficientes em energia elétrica, gerada pela queima do biogás.

A destinação dos efluentes suínos tratados como fertilizante dos solos é a prática empregada no Assentamento Campanário, um dos locais em que se desenvolve a atividade em SGO e a área definida para os estudos desta pesquisa. Esta prática visa suprir as demandas nutricionais das culturas, mas em quantidades elevadas podem acumular nos horizontes superficiais do terreno em frações que ocasionem a degradação química do solo, podendo também aportar nutrientes e metais pesados para as águas subterrâneas (Caovilla et al. 2010; Cavanagh, Gasser & Labrecque 2011; Kamimura et al. 2015) pelo fluxo descendente dos elementos solubilizados propiciado pela prática da irrigação e precipitações pluviométricas.

O destaque aos metais pesados se deve ao fato deles serem elementos não biodegradáveis e de difícil remediação quando presentes em aquíferos (Bailey 1999) e, em elevadas concentrações, podem trazer sérios danos à saúde dos seres vivos, podendo até ocasionar a morte.

SGO tem a água subterrânea como principal fonte de abastecimento e está localizado sobre uma área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG) (Gastmans & Kiang 2005). Parte do Aquífero Cenozoico que se encontra sobreposto ao Guarani e abastece a área de estudo apresenta vulnerabilidade média à poluição (Miranda et al. 2015),

tornando-o mais suscetível a possíveis contaminações decorrentes do uso da fertirrigação com efluente suíno em sua área de afloramento.

Tendo em vista que muitos estudos sobre os efeitos da aplicação de efluentes suínos na agricultura recaem sobre o solo e a produtividade (Caovilla et al. 2010; Crispim et al. 2010) e somente alguns relatam riscos de lixiviação para os aquíferos (Cavanagh, Gasser & Labrecque 2011), este estudo teve como objetivo a análise da concentração de metais pesados nas águas subterrâneas de áreas fertirrigadas com efluente da suinocultura visando verificar a influência deste no potencial de contaminação de aquíferos livres.

A detecção de As, Se e Pb nas águas subterrâneas na região do Assentamento Campanário por Ferraro (2014) e a detecção de Cd, Cu, Cr, Mn, Fe e Zn em rações fornecidas aos suínos e em alguns suplementos e fármacos ministrados (Almeida et al. 2010; Diesel, Miranda & Perdomo 2002; Perdomo, Oliveira & Kunz 2003; Robles-Huaynate et al. 2014; Schultz 2007), influenciaram na seleção destes metais como parâmetros na análise do potencial de contaminação.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

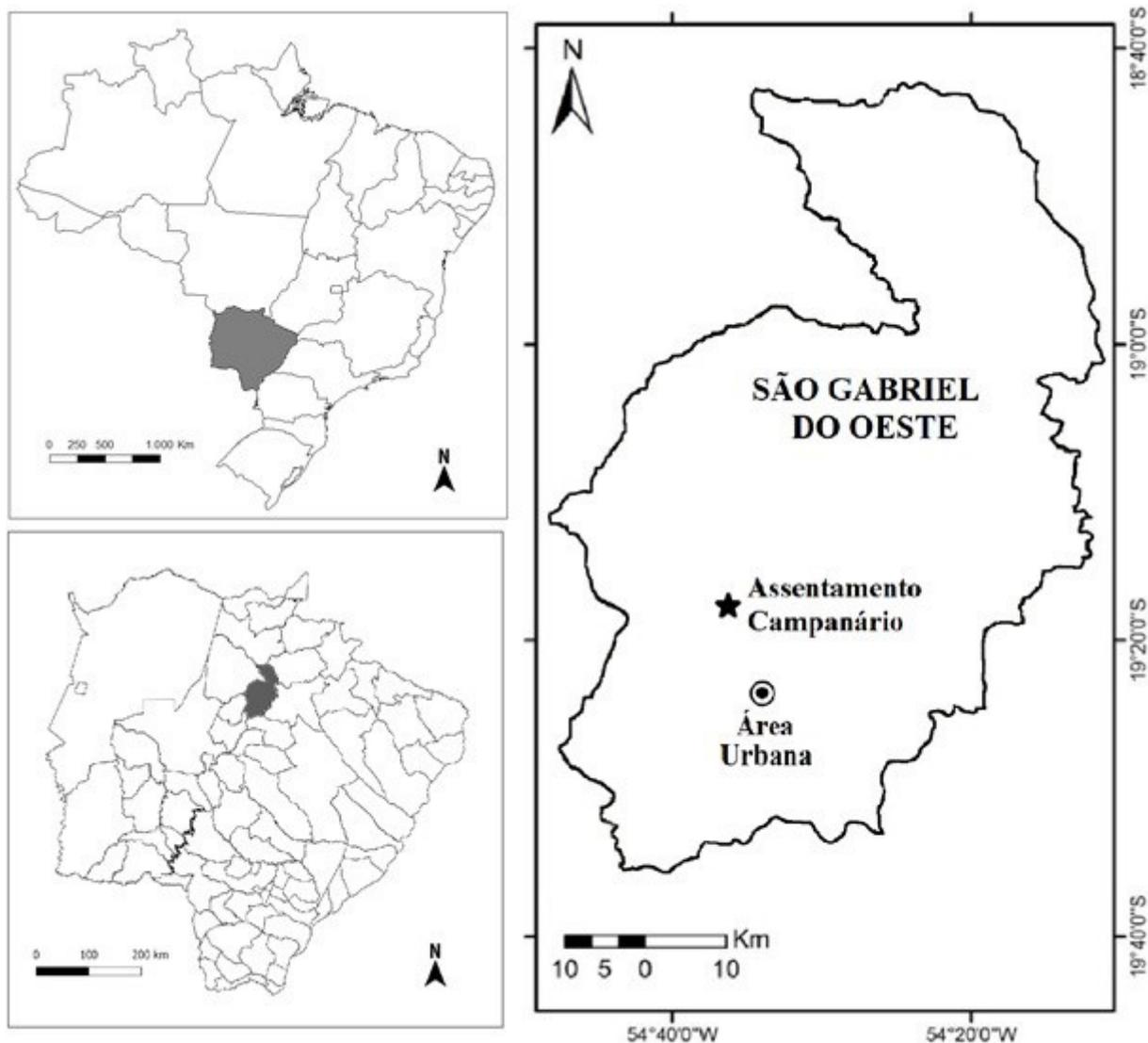
A área de estudo abrange dois lotes do Assentamento Campanário, onde é praticada a atividade suinocultora. Se encontra a 650 metros de altitude (Google 2019) e está localizado na área rural do Município de São Gabriel do Oeste, distante 16 km da sede municipal, no Estado de Mato Grosso do Sul (Figura 1).

O assentamento está sobre região de chapadão, com relevo plano a suave ondulado, em uma área onde predominam os solos Latossolo Vermelho Escuro Distrófico com níveis de pH ligeiramente ácido (Crispim et al. 2010; Leite 2005) e sustentados por níveis conglomeráticos da Cobertura Detrito Laterítica (Souza et al. 2014).

O assentamento está localizado na sub-bacia do Rio Coxim; é totalmente abastecido por águas subterrâneas do Aquífero Cenozoico, cujo fluxo se desloca em direção à área urbana do município (Souza et al. 2014).

A região é potencialmente agrícola, com atividade suinocultora intensiva confinada, e possui alta tecnologia como auxílio agropecuário em todas as fases produtivas do início ao fim e assistência da cooperativa agrícola (Leite 2005).

A área de estudo possui três granjas que abrigam em média 1000 suínos cada e o efluente gerado da atividade suinocultora passa por dois sistemas de tratamentos antes de ser disponibilizado para fertirrigação dos campos, um biodigestor anaeróbio e duas lagoas de armazenamento.



**Figura 1** Localização do Assentamento Campanário no Município de São Gabriel do Oeste, em Mato Grosso do Sul. Fonte: Adaptado de Souza (2013).

Os efluentes tratados geralmente são aplicados nos pastos e nas áreas de cultivo, em média 3,3 l/m<sup>2</sup> duas vezes ao ano, no período de entressafra, ficando armazenado nas lagoas por cerca de 6 a 7 meses.

## 2.2 Coleta de Amostras e Análise Química

Foram realizadas duas campanhas sazonais, sendo uma no período chuvoso (23/05/18) e a outra no período de seca (19/09/18), sendo cada uma com coleta de água

proveniente de quatro poços de monitoramento e dois poços de abastecimento na área de estudo (Figura 2).

A localização dos poços amostrados (Tabela 1) foi georreferenciada por meio de aparelho de GPS (*Global Position System*) e antes de iniciar cada coleta foi feita a medição do nível estático dos poços de monitoramento (Tabela 1). Os poços de abastecimento possuem um sistema de captação por bombeamento com ausência de orifício que possibilite a medição do nível da água.



**Figura 2** Localização dos poços de monitoramento e poços de abastecimento dentro dos dois loteamentos do Assentamento Campanário. Fonte: Adaptado de Google (2019).

**Tabela 1** Localização e nível estático dos poços de monitoramento e de abastecimento no Assentamento Campanário.

Poço	Coordenadas (UTM)		Data de coleta	Nível estático (m)
	X	Y		
PM1	751839,0	7865102,2	23/05/18	6,54
			19/09/18	7,82
PM2	751953,4	7865162,8	23/05/18	5,56
			19/09/18	7,08
PM3	751892,5	7865317,9	23/05/18	4,34
			19/09/18	6,16
PM4	752530,6	7865410,6	23/05/18	0,64
			19/09/18	0,59
PA1	751665,9	7865189,8	23/05/18	-
			19/09/18	-
PA2	752255,2	7865206,9	23/05/18	-
			19/09/18	-

Todas as amostragens seguiram as recomendações estabelecidas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB 6410 de 1988 atualizada em 1999 (São Paulo 1999). Foram coletadas uma amostra de 250 ml para análise hidroquímica e uma de 100 ml para

análise de metais em cada poço. As amostras dos poços de monitoramento foram retiradas por meio de coletores do tipo *bailer* de PVC com capacidade de 1 l, individualizados para cada poço e previamente higienizados com água destilada, após purga de pelo menos 4 l de água antes da

coleta para a remoção da água que fica estagnada e que pode não ser representativa na determinação da qualidade da água do Aquífero; e diretamente pela boca dos poços de abastecimento, após purga de pelo menos 10 l antes da coleta.

As amostras foram pré-filtradas *in situ* utilizando membrana de acetato de celulose 45µm, recomendada para análise de metais dissolvidos, e aparelho de sistema de filtração a vácuo com bomba manual, sendo posteriormente armazenadas em frascos de polietileno novos previamente identificados e higienizados com água destilada, e conservadas em caixas térmicas com gelo no campo até seu acondicionamento em refrigerador no mesmo dia, evitando assim alterações nas propriedades físico-químicas, para posterior envio ao Laboratório de Estudo de Bacias (LEBAC) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), da Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Rio Claro – São Paulo (SP). As amostras para análise de metais foram preservadas com ácido nítrico concentrado para rebaixamento do pH para 2,0 e preservação dos metais solúveis presentes.

Durante a coleta em cada poço antes mesmo do processo de pré-filtragem das amostras foram realizadas *in situ*, medidas do pH utilizando sonda multiparâmetro portátil Aquaread AP-800 e condutividade elétrica com condutivímetro portátil Instrutherm CD-850, a fim de garantir os valores reais desses dados, pois estes variam sensivelmente a qualquer variação térmica e com o decorrer do tempo.

Foi realizada a análise hidroquímica utilizando os seguintes parâmetros analíticos: a determinação de cloreto (Cl), sulfato ( $\text{SO}_4$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3$ ) por meio de cromatografia iônica segundo metodologia estabelecida pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 1993, 1997); a alcalinidade (bicarbonato –  $\text{HCO}_3$  e carbonato –  $\text{CO}_3$ ) por meio de titulação; e também a determinação dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb, Se, Zn, cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K) e magnésio (Mg) por meio de Espectrometria de Emissão Atômica com fonte de Plasma de Argônio Induzido Indutivo – ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry*), ambas segundo metodologia estabelecida no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* pela *American Public Health Association* – APHA (2005).

## 2.3 Tratamento de Dados

Os resultados abaixo do limite de quantificação da amostra (LQA) foram considerados iguais aos valores do LQA para compor a série de dados. Essa adequação para realizar o tratamento dos dados é espelhada no mesmo

método utilizado pela CETESB na elaboração dos seus relatórios trienais de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo (São Paulo 2016).

## 2.4 Análise de Conformidade

Os resultados dos parâmetros analisados das águas amostradas foram comparados aos valores máximos permitidos (VMPs) de potabilidade e organolépticos para consumo humano presentes nas legislações brasileiras pertinentes: Anexo XX da Portaria de Consolidação Ministério da Saúde nº 05/17 (Brasil 2017) e na Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 396/08 (Brasil 2008).

Com os resultados das concentrações de As, Cr, Fe e Pb também foi realizado o enquadramento das águas do Aquífero Cenozoico, para cada poço de abastecimento, conforme a Resolução CONAMA nº 396/2008 (Brasil 2008). Como não existem estudos que tenham estabelecidos valores de referência de qualidade (VRQs) ou de *background* para as águas do Aquífero Cenozoico estudado foram adotados os VMPs de potabilidade para consumo humano estabelecido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação Ministério da Saúde nº 05/17 como VRQ (Brasil 2017).

## 2.5 Caracterização e Classificação Hidroquímica

A partir dos resultados da análise hidroquímica das águas dos poços da área experimental foram realizadas a caracterização básica e a classificação das águas subterrâneas por meio da elaboração do Diagrama de Piper, diagrama trilinear que classifica as águas (Fetter 2001), utilizando o software livre Qualigraf (Möbus 2009).

## 3 Resultados e Discussões

### 3.1 Conformidade dos Poços do Aquífero Cenozoico no Assentamento Campanário

Os resultados das concentrações de As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb, Se e Zn (Tabela 2) foram comparadas aos parâmetros de qualidade, segundo legislação vigente no país (Brasil 2008; 2017).

Por não atuar no metabolismo humano, os metais As, Cd e Pb são altamente tóxicos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry – ATSDR 2012a; Holland et al. 2005; Von Sperling 2005). Considerando que o limite de potabilidade para consumo humano do As é de 0,010 mg/l (Brasil 2008; 2017), o PM1 na campanha 23/05/18 e o PM3

nas duas campanhas apresentaram valores acima do VMP. Como o metal não foi detectado nos demais poços dentro do LQA (0,010 mg/l), é possível afirmar que estejam dentro dos padrões de potabilidade da legislação brasileira. O Cd não foi determinado dentro do LQA (0,005 mg/l) e o Pb foi detectado nos poços PM1 e no PM3 na primeira campanha e no PM2 nas duas campanhas. Ambos estão abaixo do VMP de potabilidade para consumo humano conforme legislações pertinentes, 0,005 e 0,010 mg/l (Brasil 2008; 2017), respectivamente.

O Cu, Cr, Fe, Mn, Se e Zn são elementos essenciais aos organismos vivos em pequenas quantidades, caso contrário, pode acarretar danos à saúde (ATSDR 2003; ATSDR 2012a; ATSDR 2012b; Goldman & Schafer 2014; Rodrigues, Silva & Guerra 2012; São Paulo 2012). Todos os poços nas duas campanhas realizadas se encontram dentro dos limites de potabilidade estabelecidos para estes metais nas legislações correlatas para consumo humano, 2,000, 0,050, 0,300, 0,100, 0,010 e 5,000 mg/l (Brasil 2008; 2017), respectivamente, com exceção do manganês no poço PM3, que apresentou uma média de 0,775 mg/l.

Ressalta-se os que limites máximos do Cr estabelecidos pelas legislações conforme uso preponderante são basicamente em função da sua forma hexavalente, altamente tóxico e cancerígeno (Brasil 2008). O Fe, o Mn e o Zn têm o padrão de potabilidade definido com base em aspectos organolépticos, ou seja, gera repulsa do seu uso

devido a estímulos como odor e sabor, mas não causam riscos à saúde humana, sendo que o primeiro também tende a apresentar coloração avermelhada (Brasil 2008; 2017).

Metais como Mn, Fe, Cr, Se, Cu e Zn estão presentes nos suplementos de ração dos suínos, sendo os dois últimos adicionados geralmente para reduzir a quantidade de fezes eliminadas pelos animais, principalmente na fase de terminação. O Cu, Fe, Mn, Cr e Se também tem a função de aumentar as taxas de conversão alimentar de suínos em terminação e melhorar a qualidade da carne suína e o Zn de neutralizar qualquer toxicidade que pode ser causada pelas altas concentrações de Cu nos suplementos (Almeida et al. 2010; Costa 2007; Diesel, Miranda & Perdomo 2002; Mello 2010; Perdomo, Oliveria & Kunz 2003; Robles-Huaynate et al. 2014; Schultz 2007). O Cr, As, Pb e Cd podem ser encontrados no efluente suíno por também estarem presentes como elementos acessórios em minerais utilizados na fabricação de algumas rações comerciais (Mattias et al. 2010).

Considerando que apenas os poços de abastecimento PA1 e PA2 tem utilização efetiva no Assentamento e seus usos preponderantes são para a dessedentação de animais e para o consumo humano, verificou-se que estes estão dentro dos padrões permitidos de potabilidade, não sofrendo alterações em sua qualidade em relação aos parâmetros físico-químicos que exijam tratamento para o consumo humano, enquadrando-os na Classe 1.

**Tabela 2** Concentração de metais analisados nos poços no Assentamento Campanário.

Poço	Data de coleta	Concentração (mg/l)								
		As	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Pb	Se	Zn
	LQA	0,010	0,005	0,004	0,003	0,005	0,001	0,005	0,008	0,005
	VMP	0,010	0,005	2,000	0,050	0,300	0,100	0,010	0,010	5,000
PM1	23/05/18	0,014	<0,005	<0,004	<0,003	0,009	0,038	0,005	<0,008	0,006
	19/09/18	<0,010	<0,005	<0,004	<0,003	0,027	0,035	<0,005	<0,008	0,005
PM2	23/05/18	<0,010	<0,005	<0,004	<0,003	<0,005	0,003	0,010	<0,008	0,008
	19/09/18	<0,010	<0,005	<0,004	<0,003	0,007	0,003	0,007	<0,008	<0,005
PM3	23/05/18	0,015	<0,005	0,006	<0,003	0,065	0,860	0,005	<0,008	<0,005
	19/09/18	0,019	<0,005	<0,004	<0,003	0,140	0,690	<0,005	<0,008	<0,005
PM4	23/05/18	<0,010	<0,005	<0,004	<0,003	0,011	0,001	<0,005	<0,008	<0,005
	19/09/18	<0,010	<0,005	<0,004	<0,003	0,018	0,001	<0,005	<0,008	0,005
PA1	23/05/18	<0,010	<0,005	<0,004	<0,003	0,017	0,003	<0,005	<0,008	0,007
	19/09/18	<0,010	<0,005	<0,004	<0,003	0,014	0,001	<0,005	<0,008	0,006
PA2	23/05/18	<0,010	<0,005	<0,004	<0,003	0,036	0,001	<0,005	<0,008	<0,005
	19/09/18	<0,010	<0,005	<0,004	<0,003	0,012	<0,001	<0,005	<0,008	<0,005

**LQA** – Limite de quantificação da amostra.

**VMP** – Valor máximo permitido de potabilidade para consumo humano.

### 3.2 Caracterização do Aquífero Cenozoico no Assentamento Campanário

A caracterização do Aquífero Cenozoico no Assentamento Campanário foi realizada pela média aritmética dos resultados dos principais parâmetros da análise hidroquímica dos seis poços analisados, conforme apresentado na Tabela 3.

O pH apresentou-se levemente ácido, na faixa de 5,00 - 5,97 para todos os poços, com exceção do PM3, localizado a jusante do sistema de tratamento de efluentes suínos.

A condutividade elétrica, em geral, foi extremamente baixa, mantendo-se entre 2,50 a 7,60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para todos os poços, com exceção do PM3, que mostrou elevada discrepância dos demais, com uma média 5.740,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . De acordo com a classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade proposta por Ayers and Westcot (1991), o poço PM3 se encontra dentro da classe de salinidade severa ( $> 3.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), enquanto que os demais se encontram dentro da classe de baixa salinidade ( $< 700 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Com o pH dentro da faixa 4,40 e 9,30, os valores da alcalinidade total foram caracterizados pela predominância de bicarbonatos (Brasil 2006). Não foi possível determinar a alcalinidade do PM3 com a metodologia utilizada pelo LEBAC, provavelmente devido à elevada salinização das águas comprovada pela medição da condutividade elétrica e pelo alto teor de nitrato – média de 40,7 mg/l e 4 vezes acima do VMP pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação Ministério da Saúde n° 05/17 (Brasil 2017).

Os parâmetros Cl,  $\text{SO}_4$ , Na, K, Ca, Mg e  $\text{NO}_3$  estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação e para águas naturais (Brasil 2008; 2017) com exceção do poço PM3, que apresentou alterações expressivas em relação aos demais poços, corroborando os elevados valores da condutividade elétrica verificados no mesmo. Além disso, também foram verificadas concentrações mais elevadas de As, Fe e Mn no PM3 em relação aos demais analisados (Tabela 2).

A anomalia verificada no poço PM3, localizado imediatamente a jusante das lagoas de armazenamento de efluente do biodigestor, é justificada pelo uso de lonas plásticas de polietileno em vez de geomembranas de PEAD ou PVC, que são, geralmente, recomendadas para impermeabilizações de lagoas de biodigestão e de armazenamento, bem como pela ausência de manutenção da impermeabilização das lagoas desde que os sistemas de tratamento foram desenvolvidos no Assentamento há cerca de quinze anos. Adicionalmente, deve-se considerar a presença de extravasamento de efluente suíno da segunda lagoa, agravada pelo período de chuvas, visualizado durante duas visitas ao Assentamento em 08/06 e 16/11/17. Parte desse vazamento se acumulou a jusante das lagoas e formou uma “terceira lagoa de efluente”, localizada a menos de cinco metros a montante do poço PM3. Por meio do *Google Earth* foi possível visualizar a presença e a distribuição em área do vazamento e da “terceira lagoa”, delimitada em vermelho na Figura 3, em imagem de satélite tirada em 14/07/17. Essa situação foi controlada por meio da aplicação do efluente acumulado nas áreas de cultivo e nas pastagens, não tendo sido mais observado em visitas posteriores.

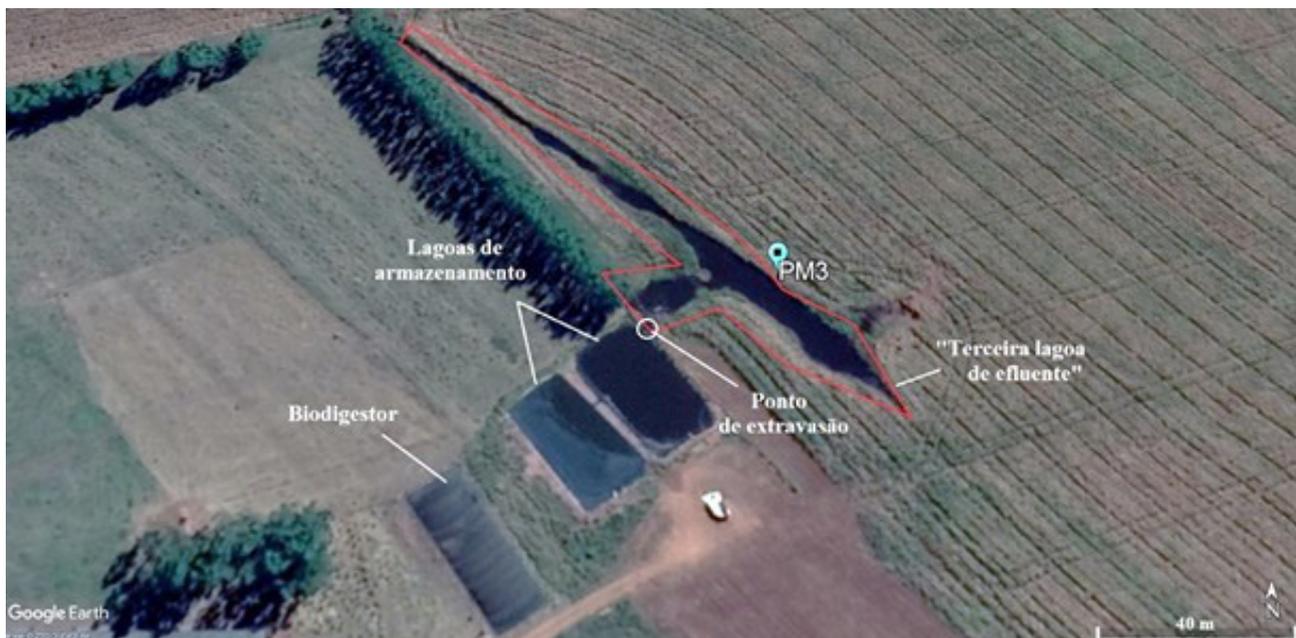
**Tabela 3** Média aritmética dos principais parâmetros hidroquímicos analisados na caracterização das águas do Aquífero Cenozoico no Assentamento Campanário.

Poço	pH	Condut. elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Concentração (mg/l)								
			$\text{HCO}_3$	$\text{CO}_3$	Cl	$\text{SO}_4$	Na	K	Ca	Mg	$\text{NO}_3$
LQA	-	-	-	-	0,010	0,020	0,100	0,100	0,003	0,002	0,040
VMP	-	-	-	-	250,0	250,0	200,0	-	-	-	10,00
PM1	5,61	7,20	4,740	2,332	0,110	0,053	0,390	0,100	0,895	0,140	0,220
PM2	5,50	6,35	2,260	1,112	0,230	0,056	0,680	0,150	0,545	0,049	0,965
PM3	6,89	5740,0	ND	ND	714,5	23,20	248,50	1363,0	8,875	4,290	40,70
PM4	5,47	4,80	3,120	1,535	0,174	0,023	0,845	0,175	0,330	0,088	0,355
PA1	5,03	3,70	1,225	0,603	0,042	0,020	0,290	0,100	0,097	0,052	0,054
PA2	5,24	4,55	1,865	0,918	0,020	0,020	1,500	0,100	0,086	0,030	0,560

ND – Não determinado.

LQA – Limite de quantificação da amostra.

VMP – Valor máximo permitido de potabilidade para consumo humano.



**Figura 3** “Terceira lagoa de efluente” formada após a extravasamento da segunda lagoa de armazenamento. Fonte: Adaptado de Google (2019).

Essa situação excepcional e totalmente imprevista durante a pesquisa auxiliou na constatação da mobilidade dos metais As, Fe e Mn e de outros elementos como Cl,  $\text{SO}_4$ , Na, K, Ca, Mg e  $\text{NO}_3$  no solo e a tendência de lixiviação destes para as águas subterrâneas influenciada pela infiltração do efluente em grandes proporções confirmada pela elevada condutividade elétrica das águas do poço PM3. É importante destacar que o nível estático do aquífero estudado, no PM3, apresentou valores entre 4,34 e 6,16 metros, durante o período de observação.

Comparando os resultados excepcionais do poço PM3 em relação aos demais analisados, observa-se que, em geral, o solo da área de estudo, típico de ambientes tropicais, tendeu a imobilizar os metais pesados devido a predominância natural de óxidos, principalmente de Fe e alumínio (Al), a grande quantidade de caulinita em sua composição mineralógica, por serem ácidos (Fontes & Weed 1996; Martins et al. 2011) e por apresentarem matéria orgânica nos horizontes mais superficiais (Alloway 2013). Além disso, o ambiente levemente ácido nas águas subterrâneas também favoreceu a imobilidade dos metais no meio (McBride 1994). Entretanto, a aplicação de efluente suíno, que é um fertilizante fosfatado, tendeu a tornar o ambiente redutor e liberou parte dos metais As, Fe e Mn e também os Cl,  $\text{SO}_4$ , Na, K, Ca, Mg e  $\text{NO}_3$  adsorvidos nas

partículas do solo, possibilitando que fossem lixiviados para as águas subterrâneas (Welch et al. 2000), conforme visualizado no poço PM3.

Com base no Diagrama de Piper apresentado na Figura 4, tem-se que em geral 83,3% das águas dos poços analisados na área de estudo se caracterizam por águas bicarbonatadas sódicas, contrapondo-se a fácies hidroquímica determinada por Souza et al. (2014) para o mesmo Aquífero analisado em SGO, bicarbonatadas cálcicas. Os estudos de Ferraro (2014) determinaram maiores concentrações de sódio do que cálcio nas águas subterrâneas do Aquífero Cenozoico no Assentamento Campanário e o pH médio de 5,77 se enquadra na faixa em que predominam bicarbonatos, segundo Brasil (2006), o que corrobora a classificação obtida neste estudo. Ressalta-se que o PM3 não foi incluso na elaboração do Diagrama devido à ausência dos teores de carbonato e bicarbonato.

## 4 Conclusão

Em geral, as concentrações dos metais nas águas subterrâneas, no período analisado, não sofreram alterações e mantiveram-se dentro dos limites de potabilidade estabelecidos na legislação, com exceção do arsênio nos poços PM1 e PM3 e do manganês no PM3.

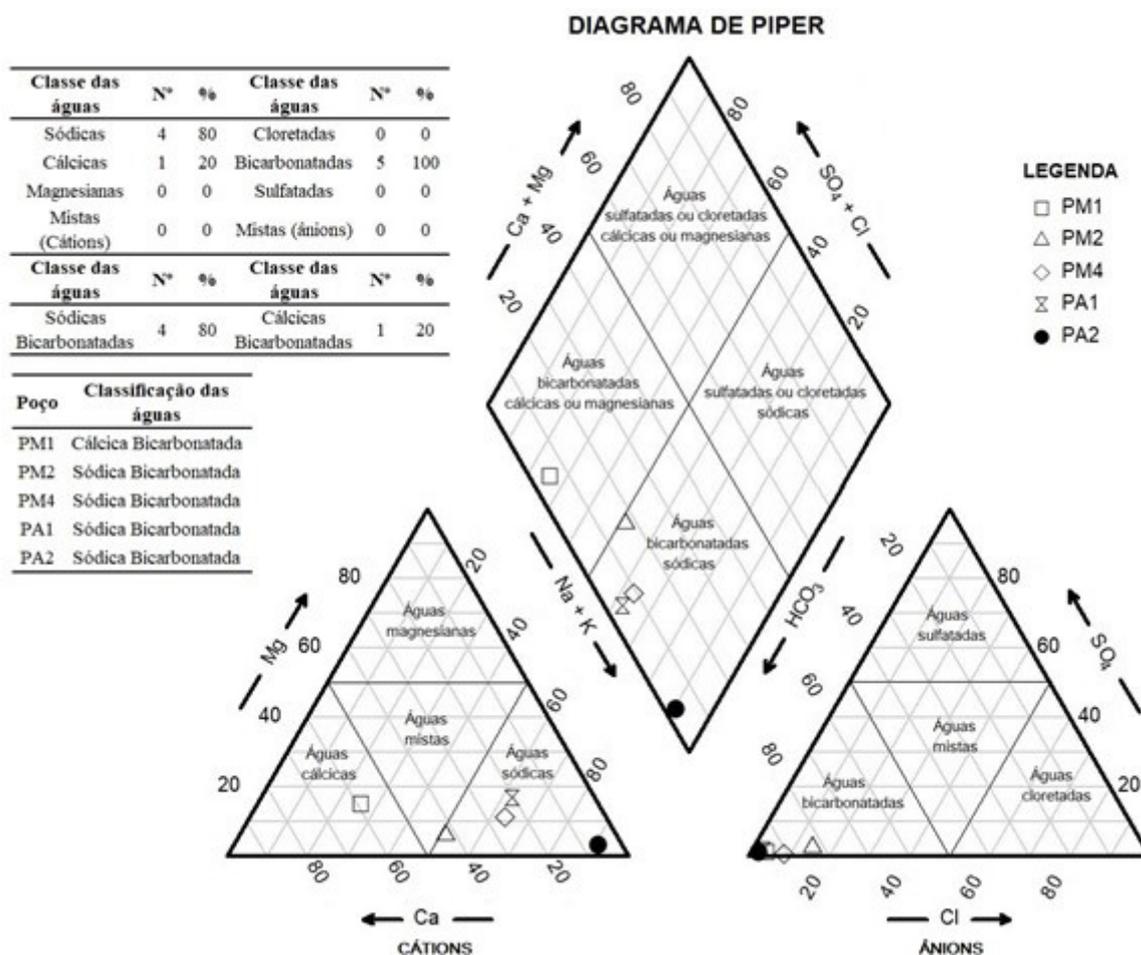


Figura 4 Diagrama de Piper dos poços do Assentamento Campanário.

A excepcionalidade do PM3 decorreu da contaminação por efluente suíno devido a sua infiltração durante o período da pesquisa e lixiviação de matéria orgânica e saturação dos nutrientes nas águas subterrâneas naquele ponto, e ao de extravasamento da lagoa de estabilização de efluentes imediatamente à montante. O mesmo poço também apresentou divergência em relação a norma de potabilidade em relação aos parâmetros hidroquímicos básicos das águas.

O efluente suíno potencializou a mobilidade no solo dos metais As, Fe e Mn e dos parâmetros hidroquímicos básicos analisados, Cl, SO<sub>4</sub>, Na, K, Ca, Mg e NO<sub>3</sub>, confirmando seu potencial poluidor ao meio ambiente quando aplicado de forma contínua e sem acompanhamento nutricional de sua composição e do solo, podendo causar a saturação de alguns nutrientes e de metais pesados no terreno, que, porventura, não são assimilados pelas plantas, tendo como destino a lixiviação destes elementos para as águas subterrâneas.

É importante que seja realizado um monitoramento da qualidade das águas do Aquífero da região, não só em relação aos metais aqui estudados, mas de todos os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos necessários, tendo em vista que foi detectada uma fonte de contaminação pontual do aquífero a jusante dos sistemas de tratamento à fim de definir ações para controlar a sua expansão e para gerenciar outros possíveis focos de contaminação, ressaltando que as águas subterrâneas são a principal fonte de fornecimento de água potável do Município de São Gabriel do Oeste.

## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundect-MS (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul) pelo apoio financeiro ao projeto e à CAPES pela bolsa de doutorado da primeira autora.

## 6 Referências

- Alloway, B.J. 2013, *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*, 3th edn, Springer, New York.
- Almeida, V.D., Berenchein, B., Costa, L.B., Tse, M.L.P., Braz, D.B. & Miyada, V.S. 2010, 'Ractopamina, cromometionina e suas combinações como aditivos modificadores do metabolismo de suínos em crescimento e terminação', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 39, no. 9, pp. 1969-77, DOI:10.1590/S1516-35982010000900015.
- APHA - American Public Health Association. 2005, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21th edn, APHA, Washington.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2003, *Toxicological Profile for Selenium*, Department of Health and Human Services, Public Health Services, Atlanta.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2012a, *Toxicological Profile for Chromium*, Department of Health and Human Services, Public Health Services, Atlanta.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2012b, *Toxicological Profile for Manganese*, Atlanta, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services, Atlanta.
- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. 1991, *A qualidade da água na agricultura*, UFPB, Campina Grande.
- Bailey, S.E., Olin, T.J., Bricka, R.M. & Adrian, D.D. 1999, 'A review of potentially lowcost sorbents for heavy metals', *Water Research*, vol. 33, no. 11, pp. 2469-79, DOI:10.1016/S0043-1354(98)00475-8.
- Brasil 1981, *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*, Brasília.
- Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 2008, *Resolução nº 396, de 07 de abril de 2008: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*, Brasília.
- Brasil, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2019, *Agricultura, pecuária e outros*, visto 12 Maio 2019, <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>>.
- Brasil, Ministério da Saúde 2006, *Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*, Ministério da Saúde, Brasília.
- Brasil, Ministério da Saúde 2017, *Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017: Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde*, Ministério da Saúde, Brasília.
- Caovilla, F.A., Sampaio, S.C., Smanhotto, A., Nóbrega, L.H.P., Queiroz, M.M.F. de & Gomes, B.M. 2010, 'Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura', *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, no. 7, pp. 692-7, DOI:10.1590/S1415-43662010000700002.
- Cardoso, B.F., Oyamada, G.C. & Silva, C.M. da 2015, 'Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil', *Desenvolvimento em Questão*, vol. 13, no. 32, pp. 127-45.
- Cavanagh, A., Gasser, M.O. & Labrecque, M. 2011, 'Pig slurry as fertilizer on willow plantation', *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 10, pp. 4165-73, DOI:10.1016/j.biombioe.2011.06.037.
- Costa, C.C. da. 2007, 'Avaliação de sistema anaeróbio (RAC-UASB) no tratamento de água residuária de suinocultura e aplicação via fertirrigação, em feijão-vagem cultivado em ambiente protegido', Tese de Doutorado, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.
- Crispim, S.M.A., Fernandes, F.A., Fernandes, A.H.B.M., Soares, M.T.S., Lisita, F.O., Domingos Branco, O. & Franco, E. 2010, *Aplicação de dejetos suínos na produção de Tifton 85 em assentamento rural, São Gabriel do Oeste, MS*, Embrapa Pantanal, Corumbá, visto 09 Março 2019, <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/880083/1/COT84.pdf>>.
- Diesel, R., Miranda, R.C. & Perdomo, C.C. 2002, *Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos*, Embrapa Suínos e Aves e Extensão, Concórdia.
- Ferraro, A.A. 2014, 'Origem de Metais Pesados em Aquífero Livre De São Gabriel do Oeste', Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- Fetter, C.W. 2001, *Applied Hydrogeology*, 4th edn, Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- Fontes, M.P.F. & Weed, S.B. 1996, 'Phosphate adsorption by clays from Brazilian oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy', *Geoderma*, vol. 72, no. 1-2, pp. 37-51, DOI:10.1016/0016-7061(96)00010-9.
- Gastmans, D. & Kiang, C.H. 2005, 'Avaliação da hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de Mato Grosso do Sul', *Águas Subterrâneas*, vol. 19, no. 1, pp. 35-48, DOI:10.14295/ras.v19i1.1350.
- Goldman, L. & Schafer, A.I. 2014, *Goldman Cecil Medicina Volume I*, 24th edn, Elsevier Brasil, Rio de Janeiro.
- Google 2019, *Imagens*, visto 09 Março 2019, <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>.
- Holland, H.D., Lollar, B.S. & Turekian, K.K. (eds). 2005, *Environmental geochemistry Volume 9*, Elsevier.
- Kamimura, C.T., Oliveira, R., Quintanilha, S.C., Lima, E.S., Ferreira, R.M. & Nery, V.L.H. 2015, 'Possibilidades de reuso de efluentes gerados na suinocultura visando à economia de água e fertilizantes químicos', *Atas de Saúde Ambiental (ASA)*, vol. 3, no. 2, pp. 74-9.
- Kunz, A., Higarashi, M.M. & Oliveira, P.A. 2005, 'Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil', *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, vol. 22, no. 3, pp. 651-65.
- Leite, A.C. 2005, 'A dinâmica econômica e o desenvolvimento social no Assentamento Campanário em São Gabriel do Oeste no Estado de Mato Grosso do Sul', Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- Martins, C.A. da M., Nogueira, N.O., Ribeiro, P.H., Rigo, M.M. & Candido, A.O. 2011, 'A dinâmica de metais-traço no solo', *Revista Brasileira de Agrociência*, vol. 17, no. 3, pp. 383-91.
- Mattias, J.L., Ceretta, C.A., Nesi, C.N., Giroto, E., Trentin, E.E., Lourenzi, C.R. & Vieira, R.B. 2010, 'Copper, zinc and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry', *Revista Brasileira de Ciência*

- do Solo, vol. 34, no. 4, pp. 1445-54, DOI:10.1590/S0100-0683201000040004.
- McBride, M.B. 1994, *Environmental Chemistry of Soils*, Oxford University Press, New York.
- Mello, G. de. 2010, 'Fontes orgânicas de microminerais nas rações de leitões desmamados', Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de São Paulo.
- Miranda, C. de S., Mioto, C.L., Lastoria, G., Gabas, S.G. & Paranhos Filho, A.C. 2015, 'Uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na Modelagem da Vulnerabilidade de Aquífero Livre: Comparação Entre os Métodos GOD E EKV na Bacia do Rio Coxim, São Gabriel do Oeste, MS, Brasil', *Geociências*, vol. 34, no. 2, pp. 312-22.
- Möbus, G. 2009, *Qualigraf*, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Ceará, visto 09 Março 2019, <<http://www3.funceme.br/qualigraf/>>.
- Perdomo, C.C., Oliveira, P.A.V de. & Kunz, A. 2003. *Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico*, Embrapa Suínos e Aves, Concórdia.
- Robles-Huaynate, R.A., Thomaz, M.C., Santana, Á.E., Masson, G.C.I.H., Amorim, A.B., Silva, S.Z., Ruiz, U.S., Watanabe, P.H. & Budiño, F.E L. 2014, 'Probiótico em dietas de suínos sobre os parâmetros sanguíneos e digestibilidade de rações', *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 35, no. 3, pp. 1627-35, DOI:10.5433/1679-0359.2014v35n3p1627.
- Rodrigues, M.A., Silva, P.P. & Guerra, W. 2012, 'Cobre', *Química Nova na Escola*, vol. 34, no. 3, pp. 161-2.
- São Paulo, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 1999, *Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas: Norma CETESB 6410 de 1988*, CETESB, São Paulo.
- São Paulo, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2016, *Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2013-2015*, CETESB, São Paulo.
- São Paulo, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental 2012, *Ficha de Informação Toxicológica - Zinco*, CETESB, São Paulo.
- Schultz, G. 2007, *Boas práticas ambientais na suinocultura*, SEBRAE/RS, Porto Alegre.
- Souza, A.A. 2013, 'O Aquífero Cenozoico em São Gabriel do Oeste, MS', Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- Souza, A.A., Lastoria, G., Gabas, S.G. & Machado, C.D. 2014, 'Avaliação da água subterrânea nos Aquíferos Cenozoico e Guarani em São Gabriel do Oeste-MS: subsídios à gestão integrada', *Ciência e Natura*, vol. 36, no. 2, pp. 169-79, DOI:10.5902/2179460X13174.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency 1993, *Method 300.0: Determination of inorganic anions by ion chromatography*, Revision 21, Cincinnati.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency 1997, *Method 300.1: Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography*, Revision 1.0, Cincinnati.
- Von Sperling, M. 2005, *Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*, vol. 1, 3rd edn, Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte.
- Welch, A.H., Westjohn, D.B., Helsel, D.R. & Wanty, R.B. 2000, 'Arsenic in Ground Water of the United States: Occurrence and geochemistry', *Groundwater*, vol. 38, no. 4, pp. 589-604, DOI:10.1111/j.1745-6584.2000.tb00251.x.

### Contribuições dos Autores

**Denise Agueua Uechi:** conceituação; análise formal; metodologia; validação; rascunho original; redação – revisão e edição; validação. **Sandra Garcia Gabas:** aquisição de financiamento; conceituação; metodologia; redação – revisão e edição; validação; supervisão. **Giancarlo Lastoria:** revisão; supervisão.

### Conflito de interesse

Os autores declaram não haver nenhum potencial conflito de interesses.

### Declaração de disponibilidade de dados

Todos os dados incluídos neste estudo estão disponíveis mediante solicitação.

### Como citar:

Uechi, D.A., Gabas, S.G. & Lastoria, G. 2022, 'Qualidade das Águas Subterrâneas em Aquífero Sedimentar do Tipo Livre em Área Fertirrigada com Efluente de Suinocultura em São Gabriel do Oeste, MS', *Anuário do Instituto de Geociências*, 45:45460. [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_2022\\_45\\_45460](https://doi.org/10.11137/1982-3908_2022_45_45460)

### Financiamento

Fundect-MS (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul) pelo apoio financeiro ao projeto CAPES pela bolsa de doutorado da primeira autora.

### Editora chefe

Dra. Claudine Dereczynski

### Editor Associado

Dr. Gerson Cardoso da Silva Jr.