



# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## PARÂMETROS DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO A PARTIR DA ANÁLISE DO DESCARTE DE UM EFLUENTE SANITÁRIO

\* Roberta de Moura Lisbôa <sup>1</sup>  
Natielo Santana <sup>2</sup>  
Delmira Beatriz Wolff <sup>2</sup>  
Andressa de Oliveira Silveira <sup>2</sup>

## PARAMETERS OF SOIL CONTAMINATION FROM THE ANALYSIS OF THE DISPOSAL OF A SANITARY EFFLUENT

Recibido el 21 de febrero de 2020; Aceptado el 18 de septiembre de 2020

### Abstract

*The disposal of untreated sanitary effluents in the soil, has numerous environmental consequences and human health. The objective of the study was to evaluate changes in the chemical properties of a soil, with a sandy texture, under the influence of sources of discharge of a sanitary effluent. For this, samples were collected at five points near and one far from the sources of effluent releases. The contents of copper, zinc, manganese, iron, phosphorus, cation exchange capacity, pH, organic matter, sand, silt and clay in the soil were determined, as well as environmental quality indexes and correlation analysis, grouping and main components. The levels of MO, Cu, Zn, Fe, Mn, P and Na showed an increase and the soil pH decreased under the influence of the effluent (sampling points P1, P4 and P5) concerning the point without the influence (sampling point P6). In places under the influence of the effluent, especially at points between the sources and close to the drainage channel, the environmental quality indexes were affected.*

**Keywords:** sewage, pollution indexes, heavy metals, contaminants dispersion.

<sup>1</sup> Prefeitura Municipal de Jaraguá do Sul, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Rua Bernardo Dornbusch, 240, apto. 202, Baependi, Jaraguá do Sul, Santa Catarina, Brasil.

Email: [roberta.piardi@gmail.com](mailto:roberta.piardi@gmail.com)

## Resumo

O descarte de efluentes sanitários não tratados no solo, traz inúmeras consequências ambientais e a saúde humana. O objetivo do estudo foi avaliar as modificações nas propriedades químicas de um solo, com textura arenosa, sob influência de fontes de lançamento de um efluente sanitário. Para isso, foram coletadas amostras em cinco pontos próximos e um distante das fontes de lançamentos do efluente. Foram determinados os teores de cobre, zinco, manganês, ferro, fósforo, capacidade de troca de cátions, pH, matéria orgânica, areia, silte e argila no solo, bem como índices de qualidade ambiental e análise de correlação, agrupamento e componentes principais. Os teores de MO, Cu, Zn, Fe, Mn, P e Na apresentaram incremento e o pH do solo reduziu sob influência do efluente (pontos de amostragem P1, P4 e P5) em relação ao ponto sem a influência (ponto de amostragem P6). Nos locais sob influência do efluente, principalmente nos pontos entre as fontes e próximo ao canal de drenagem, os índices de qualidade ambiental foram afetados.

**Palavras chave:** esgoto, índices de poluição, metais pesados, dispersão de contaminantes.

---

## Introdução

O ambiente é exposto à contaminação por diversos agentes tóxicos (Neves *et al.*, 2018, Santos *et al.*, 2019). Atividades antropogênicas como uso de agrotóxicos e fertilizantes, indústrias em funcionamento e desativadas, vazamentos de contaminantes, disposição inadequada de resíduos sólidos, efluentes gasosos e líquidos são as principais causas de contaminação do solo e da água (Tang *et al.*, 2019). Dentre estas, o descarte de efluentes líquidos é um grave problema ambiental pois transportam elevada carga de poluentes, tais como, alto teor de nutrientes, matéria orgânica e metais pesados, microrganismos patogênicos e fármacos (Mapanda *et al.*, 2005, Becerra-Castro *et al.*, 2015).

No Brasil, apenas 60.2% das áreas urbanas apresentam coleta de efluentes, e destes somente 73.7% possui um tratamento adequado (Brasil, 2019). A ausência de sistemas de esgotamento sanitário conduz o esgoto a um destino inadequado, em sua forma bruta ou com tratamento simplificado, o que acarreta à contaminação dos compartimentos ambientais.

Em diversos locais do mundo, o despejo de efluentes sanitários no solo tem sido uma prática corriqueira (Cardoso Filho *et al.*, 2019, Rorat *et al.*, 2019, Solanki *et al.*, 2019). As consequências desses lançamentos podem trazer implicações em dois níveis: alterar as propriedades físico-químicas e microbiológicas, e por sua vez afetar a produtividade e fertilidade do solo; introduzir e contribuir para a acumulação de contaminantes químicos, tais como os metais pesados, representando sérios riscos ambientais e à saúde humana (Miranda *et al.*, 2009, Becerra-Castro *et al.*, 2015, Lisboa, 2017). Aliado a isso, em solos com textura arenosa, baixa CTC, pH e matéria orgânica, os metais apresentam maior mobilidade/disponibilidade, o que aumenta o potencial de contaminação de águas sub e superficiais (Marion, 2011).

A amplitude da contaminação provocada pelo lançamento indevido de esgotos pode variar de acordo com o tipo de solo, características do efluente e posição espacial da fonte do efluente. Diante das alterações provocadas no solo pelos efluentes, o objetivo deste estudo foi avaliar as modificações nas propriedades de um solo sob influência de fontes de lançamento de um efluente sanitário.

## Material e métodos

### Localização e descrição da área de estudo

O estudo foi realizado na cidade de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (29°43'00" S, 53°42'45" W). A área apresenta cerca de 1.700 m<sup>2</sup>, sendo utilizada para a deposição contínua de efluente sanitário. O efluente é adicionado diariamente em uma taxa de 187 ton dia<sup>-1</sup> diretamente na superfície de um Argissolo (Araújo *et al.*, 2015).

O lançamento ocorre por meio de quatro tubulações, denominadas fontes pontuais de lançamento de efluentes: FP-31, FP-31A, FP-32 e FP-50 (Figura 1). Os efluentes liberados nestas fontes possuem origem nos prédios de uma universidade, e apresentam características similares ao de esgoto doméstico. Antes de ser lançado na área, o efluente é tratado em tanque séptico seguido de filtro anaeróbico. Os pontos de lançamento do efluente estão próximos de um riacho, denominado Lagoão do Ouro, na microbacia hidrográfica do Vacacaí-mirim (Ceconi *et al.*, 2018).



**Figura 1.** Pontos de lançamento do efluente no solo (FP) e do efluente do canal de drenagem (CDE) com influência sobre o riacho Lagoão do Ouro na cidade de Santa Maria, RS. A porção delimitada representa a área que está sob influência direta dos efluentes líquidos que escoam pelo solo.

O efluente das fontes pontuais escoar por zonas de fluxo preferenciais até atingir uma área de acúmulo no solo. Logo após, ocorre a saída de esgoto da zona saturada por um canal de drenagem (CDE) até encontrar o riacho Lagoão do Ouro.

#### Amostragem e análise química e física do solo

As amostras de solo foram coletadas segundo um critério de proximidade da fonte geradora do efluente e do canal de drenagem, desta maneira, buscou-se coletar amostras visando avaliar o local onde os efluentes são despejados, infiltram e acumulam-se no solo, e na região onde forma um fluxo de descarte para o canal de drenagem (Figura 1).

Na coleta de solo, foram amostrados seis pontos na área de estudo por meio de coletas simples de amostras deformadas, na profundidade de 0-15 cm. O primeiro ponto de coleta (P1) foi retirado ao norte da fonte FP-50 (distante 112 metros), no centro da área de estudo. Esse ponto apresentou-se saturado de esgoto, com coloração preta e desprendimento de gases. O segundo ponto (P2) foi retirado próximo à fonte FP-50 (distante 114 metros). O terceiro ponto (P3) foi retirado ao leste da fonte FP-50 (distante 214 metros). O quarto ponto (P4) foi retirado logo após o lançamento de efluentes pelas fontes pontuais FP-31 (distante 239 metros), FP31A (distante 130 metros) e FP-32 (distante 254 metros). Esse ponto é assoreado e ocorre o desprendimento de gases, com vegetação em seu entorno. O quinto ponto (P5) amostrado na área localizou-se na saída do canal de drenagem (CDE) (distante 62 metros), a jusante dos pontos de lançamento. O último ponto (P6) foi retirado próximo a área de estudo, ao sul da fonte FP-50 (distante 269 metros), porém sem a influência das fontes pontuais de efluentes (Figura 1).

Foram coletados 5 kg de solo em cada ponto, e logo após a coleta as amostras seguiram para o laboratório, onde foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2mm, e posteriormente realizou-se a caracterização físico-química. Foram determinados pH (1:1 água: solo), matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CTC), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe), silte, areia e argila. A MO foi determinada por oxidação úmida utilizando dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ). A CTC a pH 7.0 (CTC 7.0) foi calculada pela soma dos cátions trocáveis  $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$  mais H+Al estimado (Tedesco *et al.*, 1995). Os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocáveis foram extraídos com a solução de cloreto de potássio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica (EEA) GBC (932 AA). Os teores de P e K disponíveis foram extraídos com a solução Mehlich 1 ( $HCl \text{ } 0.05 \text{ mol L}^{-1} + H_2SO_4 \text{ } 0.0125 \text{ mol L}^{-1}$ ), e determinados em espectrofotômetro e fotômetro de chama, respectivamente (Tedesco *et al.*, 1995).

O valor de H+Al foi estimado pelo pH de equilíbrio entre o solo, água e a solução tamponante SMP na proporção de 2:2:1, m/v/v (Índice SMP). A estimativa foi realizada com o uso da equação adotada pela CQFS RS/SC (2016). A distribuição granulométrica foi determinada pelo método da

pipeta após dispersão com hidróxido de sódio 0.1 mol L<sup>-1</sup> e agitação mecânica (Embrapa, 1997). Os teores disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos com EDTA, de acordo com Chaignon *et al.* (2009). As análises foram realizadas em um número de três repetições para cada tratamento.

### Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnoff ( $p < 0.05$ ), análise estatística descritiva e multivariada (R Core Team, 2019). Foi utilizada análise bivariada por meio da determinação da correlação de Pearson com  $p < 0.10$ . A análise de agrupamento (AA) e componentes principais (PCA) foram utilizadas para agrupar os pontos de amostragem e características químicas e físicas semelhantes.

### Índices de poluição

Foram determinados o índice de poluição (IP) por meio da Equação 1, índice de geoacumulação (IGEO) pela Equação 2, fator de enriquecimento (FE) por meio da Equação 3 e índice de poluição integrado (IPI) pela Equação 4. Devido ao seu potencial tóxico, persistente e irreversível, os teores de Cu e Zn foram utilizados para determinação do IP, IPI, IGEO e FE em cada ponto de amostragem. Utilizou-se, como concentração de referência, os valores do ponto de amostragem P6, sem influência do lançamento de efluentes, e o manganês, como metal de referência devido a sua grande disponibilidade e baixa mobilidade natural no solo (Chen *et al.*, 2015, Lisboa, 2017).

$$IP = \frac{C_i}{C_{ref}} \quad \text{Equação (1)}$$

$$IGEO = \log_2 \left( \frac{C_i}{1.5 \times C_{ref}} \right) \quad \text{Equação (2)}$$

$$FE = \frac{C_i(\text{amostra})}{C_{ref}(\text{amostra})} \times \frac{C_i(\text{local})}{C_{ref}(\text{local})} \quad \text{Equação (3)}$$

$$IPI = \overline{IP} \quad \text{Equação (4)}$$

onde

$C_i$ : concentração do metal medida (mg kg<sup>-1</sup>)

$C_{ref}$ : valor de referência (mg kg<sup>-1</sup>)

## Resultados

O lançamento do efluente modificou os atributos químicos do Argissolo (Tabela 1). Foi verificado nos pontos com a influência das fontes a redução de 16% nos valores médios de pH em relação ao ponto sem a influência das fontes do efluente.



**Tabela 1.** Atributos do solo nos seis pontos amostrados na área com (P1, P2, P3, P4 e P5) e sem (P6) a influência das fontes de lançamento de efluente no solo.

Parâmetros	P1	P2	P3	P4	P5	P6
pH H <sub>2</sub> O	4.10	4.63	4.46	5.14	4.40	5.27
MO (%)	6.67	2.09	2.04	1.95	6.05	3.37
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	6.17	2.01	2.22	7.96	4.77	2.26
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	33.03	5.03	4.13	37.62	32.61	5.28
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	360.70	466.52	498.82	326.23	340.77	208.17
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	39.93	43.50	36.95	6.10	33.43	19.23
P (mg kg <sup>-1</sup> )	47.21	18.54	21.41	30.01	95.19	7.45
K (mg kg <sup>-1</sup> )	46.20	26.40	28.60	83.60	4.40	167.2
Na (mg/L)	1320.0	110.0	0	220	3410	440
Argila (%)	28.30	22.80	21.7	4.6	30	19.50
Silte (%)	49.50	35.10	31.50	12.80	60.60	25.90
Areia (%)	22.20	42.20	46.80	82.60	9.40	54.60

Em valores médios, os teores de matéria orgânica, cobre, zinco, ferro, manganês, fósforo e sódio apresentaram incremento no solo sob influência do efluente em relação ao ponto sem a influência. Nos pontos P1 e P5 foi verificado os maiores incrementos nestes atributos em relação ao ponto 6 (sem influência), com aumento médio de 89, 142, 521, 68, 90 e 855% na MO, Cu, Zn, Fe, Mn e P respectivamente. Em P2 e P3 foi verificado os maiores teores de ferro com média de 174 mg Fe kg<sup>-1</sup> acima da média dos demais. O solo com textura mais arenosa foi observado no P4. Neste mesmo local foi verificado o maior teor de cobre disponível, com aumento de 3 vezes em relação ao P6.

A presença do efluente no solo modificou grande parte dos atributos avaliados. A redução do pH do solo devido à adição do efluente contribuiu para o aumento nos teores de Mn, com correlação forte e negativa com  $p=0.05$  (Liu *et al.*, 2003) e redução dos valores de K (correlação forte e positiva com  $p=0.06$ ) (Tabela 2). Da mesma forma, o aumento da carga orgânica provocou o aumento no teor de MO refletindo em incremento no teor de Na (correlação forte e positiva com  $p=0.05$ ) e fósforo (correlação forte e positiva com  $p=0.10$ ), que apresentaram correlação entre si ( $p=0.003$ ). O maior teor de Cu foi fortemente correlacionado ( $p=0.004$ ) ao aumento nos teores de Zn o que é justificado pela deposição do efluente no solo. Os solos com textura mais arenosa apresentaram menor teor de MO o que contribuiu para o maior teor disponível de Mn e Na.

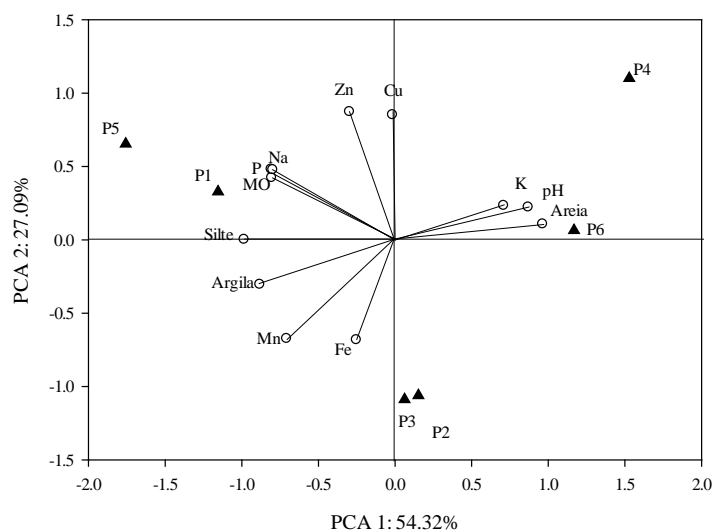
A análise de componentes principais (PCA), considerando as características químicas e físicas dos pontos de amostragem, explicou 81.41% da variação dos dados (Figura 2). A maior parte da

variação no conjunto de dados original (54.32%) foi explicada pelo primeiro componente principal (PC1). O PC1 foi associado principalmente ao silte, argila, MO, P, Na, K, pH e areia. O ponto P1 foi relacionado ao silte, MO, P e Na. Já o P6 apresentou relação com K, pH e areia. Já a segunda componente foi associada ao Zn, Fe, Mn e Cu. P1 e P5 foram alocados no mesmo quadrante dos atributos Cu, Zn, MO, P e Na. Por outro lado, P4 foi associado aos atributos K, pH e areia. Os pontos P2 e P3 não apresentam relação com os atributos avaliados.

**Tabela 2.** Matriz de correlações de Pearson entre os atributos do solo.

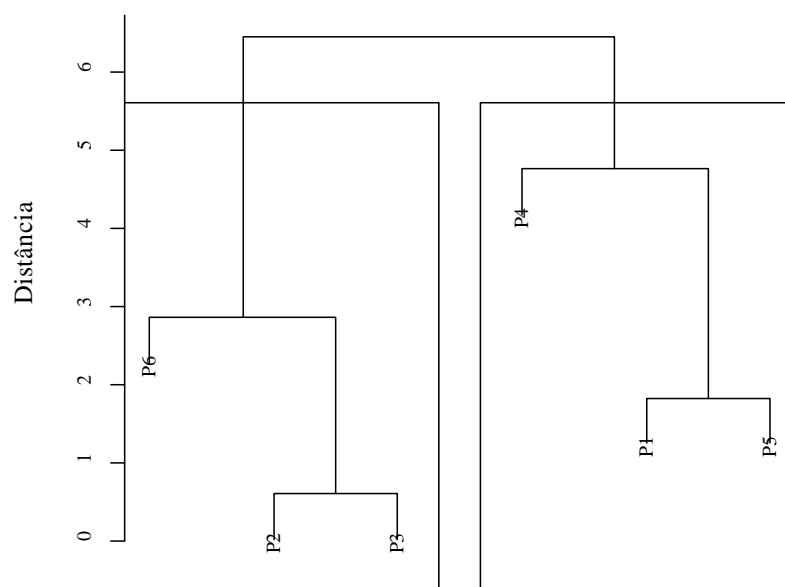
	pH	MO	Cu	Zn	Fe	Mn	P	K	Na	Argila	Silte
MO	-0.61										
Cu	-0.03	0.30									
Zn	-0.20	0.53	0.95*								
Fe	-0.57	-0.30	-0.27	-0.28							
Mn	-0.81*	0.32	-0.51	-0.34	0.64						
P	-0.54	0.72*	0.40	0.66	-0.03	0.19					
K	0.79*	-0.23	-0.06	-0.22	-0.77*	-0.64	-0.60				
Na	-0.43	0.80*	0.25	0.54	-0.24	0.18	0.95*	-0.40			
Argila	-0.75*	0.70	-0.40	-0.13	0.19	0.83*	0.50	-0.46	0.60		
Silte	-0.79*	0.83*	-0.08	0.22	0.13	0.69	0.79*	-0.60	0.83*	0.92*	
Areia	0.79*	-0.80*	0.19	-0.10	-0.15	-0.75*	-0.70	0.56	-0.76*	-0.97*	-0.99*

\*Significativo com  $p < 0.10$ .



**Figura 2.** Análise de componentes principais para os atributos avaliados no Argissolo com (P1, P2, P3, P4 e P5) e sem (P6) a influência das fontes dos efluentes

A análise de agrupamento possibilitou identificar a similaridade entre os pontos amostrados por meio da distância entre os grupos (Figura 3). Conforme análise do dendograma, as similaridades formaram dois grupos. O grupo I foi formado pelos pontos P6, que é o solo sem influência do efluente, e pelos pontos P2 e P3, nos quais ocorreu uma menor contribuição dos efluentes, e conseqüentemente, menor aporte de matéria orgânica, nutrientes e metais. Já o grupo II foi formado pelos pontos P4, P1 e P5, onde ocorre o lançamento do efluente, acúmulo no solo e deságue no canal de drenagem, respectivamente. Nestes pontos ocorreram os maiores valores de Cu, Zn e P.



**Figura 3.** Dendograma obtido pelo agrupamento dos pontos amostrados com (P1, P2, P3, P4 e P5) e sem (P6) a influência das fontes dos efluentes

Foram consideradas sete classes para os valores de IGEO: não poluído (classe 0,  $IGEO \leq 0$ ), não poluído a moderadamente poluído (classe 1,  $0 < IGEO \leq 1$ ), moderadamente poluído (classe 2,  $1 < IGEO \leq 2$ ), moderadamente poluído a poluído (classe 3,  $2 < IGEO \leq 3$ ), muito poluído (classe 4,  $3 < IGEO \leq 4$ ), muito poluído a altamente poluído (classe 5,  $4 < IGEO \leq 5$ ) e altamente poluído (classe 6,  $IGEO > 5$ ) (Muller, 1969). A situação mais crítica foi apresentada pelo Zn nos pontos P1, P4 e P5, classificados como moderadamente poluído a poluído (classe 3), conforme apresentado na Tabela 3.



**Tabela 3.** Índice de Geoacumulação (IGEO), Fator de Enriquecimento (FE), Índice de Poluição (IP) e Índice de Poluição Integrado (IPI) para Cu e Zn na área de estudo

Ponto	Cu			Zn			IPI
	IGEO	FE	IP	IGEO	FE	IP	
P1	0.86	1.31	2.73	2.06	3.01	6.26	4.49
P2	-0.76	0.39	0.89	-0.66	0.42	0.95	0.92
P3	-0.61	0.51	0.98	-0.94	0.41	0.78	0.88
P4	1.23	11.09	3.52	2.25	22.47	7.12	5.32
P5	0.49	1.21	2.11	2.04	3.55	6.18	4.14
Média	-	2.9	2.04	-	5.97	4.26	3.15

As classes do FE, segundo Lu et al (2014), são: enriquecimento mínimo ( $FE < 2$ ), enriquecimento moderado ( $2 \leq FE < 5$ ), enriquecimento significativo ( $5 \leq FE < 20$ ), enriquecimento alto ( $20 \leq FE < 40$ ) e enriquecimento extremamente alto ( $FE \geq 40$ ). O P4 apresentou os valores mais críticos de enriquecimento: significativo para o Cu (11.09) e alto para Zn (22.47).

Conforme Cai *et al.* (2013), o IP pode ser classificado como baixo ( $IP < 1$ ), médio ( $1 < IP < 3$ ) e alto ( $IP > 3$ ). Já o IPI é a média dos IP para os metais analisados, e seus valores são classificados como baixo ( $IPI < 1$ ), médio ( $1 < IPI < 2$ ) ou alto ( $IPI > 2$ ). O IP para os pontos P1 e P5 foram considerados de poluição média, enquanto o P4 apresentou valor superior a 3, sugerindo uma alta poluição. Para o Zn, o IP foi superior ao do Cu, indicando uma alta poluição por esse metal. Os valores do Índice de Poluição Integrada foram considerados de alta poluição ( $IPI > 2$ ) para os pontos P1, P4 e P5.

### Discussão

A adição do efluente no solo arenoso resultou no aumento dos teores de matéria orgânica, nutrientes e metais pesados, mas reduziu o pH do solo. A presença da elevada carga orgânica provoca a intensa atividade microbiana e como resultado ocorre a alta produção de ácidos orgânicos que contribui para a redução do pH do solo (Singh *et al.*, 2011). O teor de Cu ficou abaixo dos valores estabelecidos pela legislação gaúcha considerando solos da depressão periférica (Portaria n° 85) (Rio Grande do Sul, 2014). No entanto, o Zn apresentou valor máximo de  $37.62 \text{ mg kg}^{-1}$ , no ponto P4, acima da normativa que estabelece  $29 \text{ mg kg}^{-1}$ , porém abaixo do valor de prevenção de  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  da resolução n° 420 (Brasil, 2009). É importante destacar que os metais foram avaliados por suas formas biodisponíveis (extrator EDTA), sendo possível maiores concentrações para frações totais (método USEPA).

Além disso, os teores do solo natural são próximos a  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  o que remete no incremento do teor deste metal no solo influenciado pela adição do efluente (Mallman *et al.*, 2017). O solo com textura mais arenosa como observado em P4 aumenta a disponibilidade do cobre devido à baixa capacidade de retenção o que resulta em maior dano ao ambiente devido ao potencial contaminador das águas subsuperficiais e da disponibilidade aos organismos (Giroto *et al.*, 2014).

As altas correlações entre Zn e Cu (0.95) no solo demonstram que estes metais provêm de fontes de poluição semelhantes, de acordo com estudo executado por Hu *et al.* (2013) em uma área urbanizada na China. Além disso, houve correlação positiva entre Mn e Fe (0.50), presentes em P2 e P3, sendo ambos os metais provenientes de fonte natural em decorrência de seus níveis abundantes e, portanto, não afetados por atividades humanas.

A MO e a CTC foram superiores aos valores encontrados por Mapanda *et al.* (2005), confirmando que o esgoto lançado na área é rico em matéria orgânica e apresenta grande potencial poluidor. Os pontos localizados mais distantes das fontes (P2 e P3) já apresentam sinal de contribuição orgânica devido a redução do pH e aumento nos teores de nutrientes e matéria orgânica.

A adição do efluente aumentou a carga de fósforo e sódio, o que contribui para a poluição do local. O fósforo quando em excesso pode provocar eutrofização, sendo importante controlar a concentração deste elemento em esgotos e despejos industriais para evitar o crescimento desenfreado de algas nos corpos hídricos (Gerhardt *et al.*, 2018). O desenvolvimento de plantas de cobertura de solo é afetado pela adição de grandes concentrações de sódio via efluente pois a absorção de outros nutrientes é alterada, além de dificultar a penetração das raízes no solo (Souza *et al.*, 2016). Castro *et al.* (2016) concluíram que o uso constante de efluentes provenientes de um sistema de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização na irrigação aumenta os valores de sódio no solo e provoca redução do crescimento de plantas devido ao desequilíbrio nutricional.

Nos locais P1, P4 e P5 foram observadas as maiores cargas de contaminação no solo devido ao posicionamento espacial destes pontos, no sentido da maior cota em relação ao canal de drenagem e proximidade das fontes. Já nos pontos P2 e P3 o efeito foi reduzido devido ao maior distanciamento das fontes dos efluentes ou devido ao posicionamento horizontal do ponto (fora da zona de fluxo). Com a AA foi possível identificar a similaridade entre os pontos P1, P4, e P5 e concluir que a área não retém mais os contaminantes, visto P1 e P5 ser seção intermediária e saída de efluente, respectivamente. O lançamento contínuo por um longo período, satura o solo inviabilizando a retenção, e conseqüentemente ocorrendo a liberação e movimentação dos contaminantes.

Os resultados encontrados na PCA e a AA estão de acordo com o que foi observado nos índices de poluição, visto que ocorre o aporte de metais por ação antropogênica, e conseqüentemente a acumulação principalmente do Zn na entrada da área por meio do descarte de esgoto. Cai *et al.* (2013) encontraram valores de IP para Cu de 2.2 e 4.2 para Zn em solos provenientes de rodovias. Apesar dos valores de IP serem semelhantes aos do presente estudo ( $P1_{Cu}$ :2.73;  $P4_{Cu}$ :3.52;  $P5_{Cu}$ : 2.11), o IP do Zn foi aproximadamente 70% superior aos dos autores ( $P1_{Zn}$ : 6.26;  $P4_{Zn}$ : 7.12;  $P5_{Zn}$ : 6.18). De acordo com Zhang e Liu (2002), os valores de FE entre 0.05 e 1.5 indicam que o metal é proveniente da rocha mãe ou processos naturais, enquanto os valores de FE superiores a 1.5 sugerem que as fontes são mais propensas a serem antropogênicas. Em termos médios, o FE do Cu (2.90) foi 25% superior ao valor encontrado por Liu *et al.* (2005) (FE = 2.3), enquanto o FE do Zn (5.97) foi superior em quase 200% ao valor estimado pelo mesmo autor (FE = 2.0), em uma área irrigada por esgoto na China.

O solo influenciado pelo lançamento dos efluentes apresentou-se alterado quimicamente. A contaminação devido ao lançamento do efluente é maior naqueles pontos localizados próximos das fontes ou do canal de drenagem. Mesmo os pontos localizados em cotas mais altas em relação às fontes dos efluentes ou em locais mais distantes, como em P2 e P3, apresentam incremento de matéria orgânica, redução do pH ou aumento dos teores de alguns metais pesados, o que demonstra que em longo prazo pode ocorrer a poluição destes locais.

### Conclusão

O descarte do efluente no solo, mesmo que parcialmente tratado, reduz o pH e aumenta os teores de matéria orgânica, fósforo, sódio e de alguns metais pesados. Os locais P1, P4 e P5, localizados próximos das fontes de lançamento de efluentes ou do canal de drenagem apresentam maiores teores de matéria orgânica, cobre, zinco, fósforo e sódio em comparação aos locais mais distantes das fontes ou do ponto sem a influência dos efluentes. Os pontos mais distantes das fontes, como P2 e P3, não apresentam teores elevados de metais pesados, porém os atributos matéria orgânica e pH demonstram que a contaminação já ocorre nestes locais, porém em menor amplitude.

### Referências bibliográficas

- Araújo, R. K., Wolff, D. B., Cruz, J. C., Baggiotto, C., Friedrich, M. (2015). Soil and groundwater contaminations by sanitary effluent in permanent preservation area with macrophytes and grasses. *Science & Engineering Journal*, **24**(1), 115-123.
- Becerra-Castro, C., Lopes, A. R., Moreira, I. V., Silva, E. F., Manaia, C. M., Nunes, O. C. (2015). Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*, **75**, 117-135.

- Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA (2009) *Resolução n° 420 - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas*. Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília – DF, de 30 de dezembro de 2009.
- Brasil, Ministério do Desenvolvimento Regional (2019) Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017, SNS/MDR, Brasília, 226 pp.
- Cai, Q. Y., Mo, C. H., Li, H. Q., Lu, H., Zeng, Q. Y., Li, Y. W., Wu, X. L. (2013). Heavy metal contamination of urban soils and dusts in Guangzhou, South China. *Environmental Monitoring and Assessment*, **185**, 1095–1106.
- Cardoso Filho, M. S., Santos, R. S. S., Moreira, Í. T. A., De Oliveira, A. G. (2019). Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas da cidade de Candeias (BA): um enfoque para as condições sanitárias. *Conjuntura & Planejamento*, **194**, 109-121.
- Castro, A. A. S., Damásio, A. O. C., Menezes, F. S., Souza, J. A., Santana, F. S., Mendonça, D., F, G. G. (2016). Análise do impacto do uso de efluentes nas características do solo da cultura do Feijão-Caupi BRS Novaera (*Vigna unguiculata* L. walp). *Agroforestalis News*, **1**(1), 41-47.
- Cecon, D. E., Poletto, I., Salvador, S. M., Piccilli, D. G. A. (2018). Composição florística e potencial de regeneração da mata ciliar remanescente de um tributário do Vacacaí-Mirim, Santa Maria – RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, **28**(4), 1546-1558, out-dez.
- Chaignon, V., Quesnoit, M., Hinsinger, P. (2009). Copper availability and bioavailability are controlled by rhizosphere pH in rape grown in an acidic Cu-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, **157**(12), 3363-3369.
- Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., Wang, J. (2015). Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Science of the Total Environment*, **512–513**, 143–153.
- CQFS-RS/SC, Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2016) Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Porto Alegre, 376pp.
- Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) Manual de métodos de análise de solo, 2a ed., EMBRAPA, Rio de Janeiro, 212 pp.
- Rio Grande do Sul, Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul, FEPAM (2014) *Portaria n° 85 - Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul*. Publicação Diário Oficial do Estado, Porto Alegre – RS, de 5 de setembro de 2014.
- Gerhardt, R. Reisdorfer, G., Cardoso, M. G. (2018). Remoção de nitrogênio e fósforo de efluente industrial através da precipitação de estruvita. *Tecnológica*, **22**(1), 35-40, jan./jun.
- Giroto, E., Ceretta, C. A., Brunetto, G., Miotto, A., Tiecher, T. L., De Conti, L., Lourenzi, C. R., Lorensini, F., Gubiani, P. I., Silva, L. S., Nicoloso, F. T. (2014). Copper availability assessment of Cu contaminated vineyard soils using black oat cultivation and chemical extractants. *Environmental monitoring and assessment*, **186**(12), 9051-9063.
- Hu, Y., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, E. Y., Cheng, H. (2013). Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*, **20**, 6150–6159.
- Lisbôa, R. M. (2017) *Avaliação toxicológica de solo contaminado com efluente sanitário*, Tese de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, 93 pp.
- Liu, C., Lin, K., Kuo, Y. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Science of The Total Environment*, **313**(1-3), 77-89, set.

- Liu, W., Zhao, J., Ouyang, Z., Soderlund, L., Liu, G. (2005). Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International*, **31**(6), 805-812.
- Lu, X.W., Zhang, X.L., Li, L.Y., Chen, H. (2014). Assessment of metals pollution and health risk in dust from nursery schools in Xi'an, China. *Environmental Research*, **128**, 27–34.
- Mallmann, F. J. K., Miotto, A., Santana, N. A., Jacques, R. J. S. (2017) Importância, riscos e fontes de contaminação por metais pesados nos solos do Sul do Brasil, In Tiecher, T. (Eds.), *Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: impacto das atividades agropecuárias na contaminação do solo e da água*, URI, Frederico Westphalen, 18-34.
- Mapanda, F., Mangwayanaa, E. N., Nyamangaraa, J., Gillera, K. E. (2005). The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **107**, 151–165.
- Miranda, A. R., França, R. G., Bruzamarcello, F., Medeiros, P. F. R. (2009). Caracterização do lodo gerado em estação de tratamento de esgoto ETE Chapecó/SC: resultados preliminares. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, **2**(2), 12-18.
- Marion, F. A. (2011). Águas subterrâneas, atividades potencialmente contaminantes e o aporte do geoprocessamento na definição de conflitos. *Geoambiente On-line*, **17**, jul-dez,
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, **2**, 108–118.
- Neves, A. C., Silva, N. D. O. C., Mol, M. P. G. (2018). Modelo para verificação da amostragem de efluentes líquidos em Minas Gerais, Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, **11**(2), 121-137.
- R Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Acesso em: 29 dez. 2019, Austria, Disponível em: <https://www.r-project.org>
- Rorat, A., Courtois, P., Vandenbulcke, F., Lemiere, S. (2019). Sanitary and environmental aspects of sewage sludge management. In Prasad M. N. V., Favas P. J. C., Vithanage M., Mohan S. V. (Eds.), *Industrial and Municipal Sludge*, Butterworth-Heinemann, Oxônia, 155-180.
- Santos, N. B., De Moura, C., Rocha-Lima, A. B. C., Araujo Lobo, D. J., Saldiva, P. H. N., Bizeto, L. (2019). Utilização de *Tradescantia pallida purpurea* como bioindicadora de agentes tóxicos na água. *Unisantia BioScience*, **8**(3), 326-336.
- Singh, R. P., Singh, P., Ibrahim, M. H., Hashim, R (2011). Land Application of Sewage Sludge: Physicochemical and Microbial Response. In Whitacre, D. M. (Eds.) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Springer, New York, v. 214, 41-60.
- Solanki, P., Dotaniya, M. L., Khanna, N., Udayakumar, S., Dotaniya, C. K., Meena, Narayan M., S. S., Srivastava, R. K. (2019), Phycoremediation of industrial effluents contaminated soils. In Singh, J. S. (Eds.), *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier, Kidlington, 245-258.
- Souza, P. S.A., Rigo, M. M., Cerqueira, A. A., Marques, M. R. C., Perez, D.V., Couto, R. S. P. (2016). Efeito da aplicação de lixiviado de resíduos sólidos urbanos na acumulação de micronutrientes pelo girassol e de sódio no solo. *Revista Científica Fundação Osorio*, **1**(1), 85-95.
- Tang, J., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Gao, J., Luo, L., Yang, Y., Peng, Q., Huang, H., Chen, A. (2019). Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: A review on heavy metal pollution. *Journal of environmental management*, **242**, 121-130.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C., Bohnen, H., Volkweiss, S.J. (1995) *Análise de solo, plantas e outros materiais*, 2a ed., UFRGS, Porto Alegre, 174 pp.
- Zhang, J., Liu, C.L. (2002). Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China-weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **54**, 1051–1070.