

Impactos da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e água nos municípios de Macapá e Santana – Amapá

Impacts of urban solid waste disposal on soil and water in Macapá and Santana municipalities - Amapá

Impacto de la disposición de residuos sólidos urbanos en el suelo y el agua en los municipios de Macapá y Santana - Amapá

Recebido: 18/03/2022 | Revisado: 27/03/2022 | Aceito: 03/04/2022 | Publicado: 09/04/2022

Marcelo de Jesus Veiga Carim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8576-7002>
Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Brasil
E-mail: veigacarim@hotmail.com

Admilson Moreira Torres

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7743-6927>
Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Brasil
E-mail: admilson.m.torres@gmail.com

Luiz Roberto Takyiama

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3109-1369>
Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Brasil
E-mail: luidstakiyama@gmail.com

Orleno Marques da Silva Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1173-1429>
Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Brasil
E-mail: orleno@ppe.ufrj.br

Maurício Oliveira de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4950-263X>
Tribunal de Contas do Estado do Amapá, Brasil
E-mail: engmauriciosouza@bol.com.br

Flavio Augusto Franca Souto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5891-6802>
Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Brasil
E-mail: fafsouto@yahoo.com.br

Maxwell Moreira Baia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8000-5634>
Faculdade Anhanguera de Macapá, Brasil
E-mail: maxwmoreirabaia.mmb@gmail.com

Jorgeana Barros Barata

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3534-1764>
Faculdade de Macapá, Brasil
E-mail: jotradutora@hotmail.com

Artur Jorge Braga de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0276-9361>
Universidade do Estado do Amapá, Brasil
E-mail: mr.arturj@gmail.com

Paulo Roberto de Souza Correa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4828-9299>
Faculdade de Macapá, Brasil
E-mail: souzacorrea14@gmail.com

Resumo

A disposição final inadequada dos resíduos sólidos é um problema comum na maioria das cidades brasileiras, reflete a precariedade do sistema de saneamento básico, em especial dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, gerando grandes impactos socioeconômicos e ambientais no país. A região norte do Brasil apresenta os piores dados de cobertura de saneamento básico e disposição correta de resíduos sólidos com grandes possibilidades de contaminação dos ambientes por conta dessa problemática. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos das águas superficiais e subterrâneas do aterro sanitário do município de Macapá e do antigo lixão do município de Santana, localizados no Estado do Amapá, para aferir se atendem aos padrões estabelecidos nas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 274/2000. Avaliou-se ainda os níveis e a distribuição de onze metais pesados no solo dessas áreas. As amostras de solo e água foram coletadas em outubro de 2020 e, posteriormente, realizadas as análises desses parâmetros em laboratório. Os resultados obedeceram aos valores determinados pela

Resolução CONAMA 420/2009, mostrando que a maioria dos parâmetros estavam dentro da normalidade com exceção de alguns pontos que apresentaram alta DBO, cor e turbidez. O trabalho representou um instrumento básico para subsidiar tomada de decisão dos gestores municipais quanto a intervenções/melhorias nessas áreas de disposição final de resíduos sólidos, objetivando minimizar os impactos desses depósitos na qualidade da água e do solo e, conseqüentemente, apresentar padrões em conformidade com a legislação ambiental sobre o tema.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Disposição; Contaminação; Meio ambiente.

Abstract

The inadequate final disposal of solid waste is a common problem in most Brazilian cities, reflecting the precariousness of the basic sanitation system, especially urban cleaning services and solid waste management, generating great socioeconomic and environmental impacts in the country. The northern region of Brazil has the worst data on basic sanitation coverage and correct disposal of solid waste with great possibilities of contamination of environments due to this problem. Thus, the objective of the present work was to evaluate the physical-chemical and bacteriological parameters of surface and groundwater from the sanitary landfill in the municipality of Macapá and the old dump in the municipality of Santana, located in the State of Amapá, to check if they meet the standards established in CONAMA Resolutions No. 357/2005 and No. 274/2000. The levels and distribution of eleven heavy metals in the soil of these areas were also evaluated. Soil and water samples were collected in October 2020 and, later, analyzes of these parameters were carried out in the laboratory. The results obeyed the values determined by CONAMA Resolution 420/2009, showing that most parameters were within the normal range, except for some points that showed high BOD, color and turbidity. The work represented a basic instrument to support decision-making by municipal managers regarding interventions/improvements in these areas of final disposal of solid waste, aiming to minimize the impacts of these deposits on water and soil quality and, consequently, to present standards in accordance with environmental legislation on the subject.

Keywords: Solid waste; Disposition; Contamination; Environment.

Resumen

La disposición final inadecuada de los residuos sólidos es un problema común en la mayoría de las ciudades brasileñas, reflejando la precariedad del sistema de saneamiento básico, especialmente de los servicios de limpieza urbana y gestión de residuos sólidos, generando grandes impactos socioeconómicos y ambientales en el país. La región norte de Brasil tiene los peores datos de cobertura de saneamiento básico y correcta disposición de residuos sólidos con grandes posibilidades de contaminación de los ambientes por este problema. Así, el objetivo del presente trabajo fue evaluar los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de las aguas superficiales y subterráneas del relleno sanitario del municipio de Macapá y del antiguo botadero del municipio de Santana, ubicado en el Estado de Amapá, para comprobar si cumplen con los estándares establecidos en las Resoluciones CONAMA N° 357/2005 y N° 274/2000. También se evaluaron los niveles y distribución de once metales pesados en el suelo de estas áreas. Se recogieron muestras de suelo y agua en octubre de 2020 y, posteriormente, se realizaron los análisis de estos parámetros en laboratorio. Los resultados obedecieron a los valores determinados por la Resolución CONAMA 420/2009, mostrando que la mayoría de los parámetros se encontraban dentro del rango normal, excepto algunos puntos que presentaban DBO alta, color y turbidez. El trabajo representó un instrumento básico para apoyar la toma de decisiones de los gestores municipales sobre intervenciones/mejoras en estas áreas de disposición final de residuos sólidos, con el objetivo de minimizar los impactos de estos depósitos en la calidad del agua y del suelo y, en consecuencia, presentar estándares de conformidad con la legislación ambiental en la materia.

Palabras clave: Resíduos sólidos; Disposición; Contaminación; Medio ambiente.

1. Introdução

A produção e a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) representam grandes desafios atualmente em todo o mundo, com importantes implicações na saúde humana, preservação ambiental, sustentabilidade e economia circular (Alfaia, et al., 2017; Hussein & Mona, 2018; Vaverková, 2019).

Essas implicações estão associadas ao crescimento populacional, a mudança nos padrões de consumo e a rápida urbanização contribuem significativamente para os volumes crescentes de resíduos domésticos e industriais em ambientes urbanos, gerando muitos riscos ambientais e de saúde pública (Shamshiry, et al., 2011).

Estes riscos estão relacionados à forma de disposição e a contaminação de solos e águas subsuperficiais. Em muitos casos, a contaminação está associada ao despejo e a queima de resíduos à céu aberto, práticas comuns implementadas principalmente em países de baixa renda (Ferronato & Torreta, 2019).

No Brasil, a situação no que diz respeito à gestão de RSU ainda é deficiente em muitos aspectos (Leme, et al., 2014; Souza, et al., 2014). Em 2010 o País produziu 66,7 milhões de toneladas, e já em 2019 esse número saltou para 79,1 milhões,

uma diferença de 12,4 milhões de toneladas, sendo considerado um dos países que mais gera resíduos sólidos (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais [ABRELPE], 2020).

Ainda segundo este estudo, o brasileiro produz em média 379,2 kg de lixo por ano o que corresponde a mais de 1 kg por dia. Apesar da instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, a reciclagem atinge apenas 2,1% do total de resíduos coletados. Esse percentual é o mesmo há pelo menos 3 anos (Sistema Nacional de informações sobre saneamento [SNIS], 2020).

O estado do Amapá conta com 861.773 habitantes distribuídos em 16 municípios. Destes, somente Macapá (capital), com 512.902 habitantes possui aterro sanitário cuja ativação se deu em 2013, atendendo uma demanda média de 600 toneladas diárias de resíduos sólidos. A cidade de Santana (segunda maior do estado), com 123.92 habitantes, partilha com Macapá a mesma instalação para destinação dos resíduos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2020).

Com o crescimento populacional significativo desses municípios, e da quantidade de resíduos gerados anualmente, torna-se necessário a elaboração e implementação de políticas públicas direcionadas a disposição final ambientalmente adequada de RSU, conforme preconiza a PNRS.

Essa necessidade se acentua diante da fragilidade da gestão pública na elaboração e implementação de ações de saneamento básico, assim como o monitoramento da qualidade ambiental desses serviços nos municípios do estado.

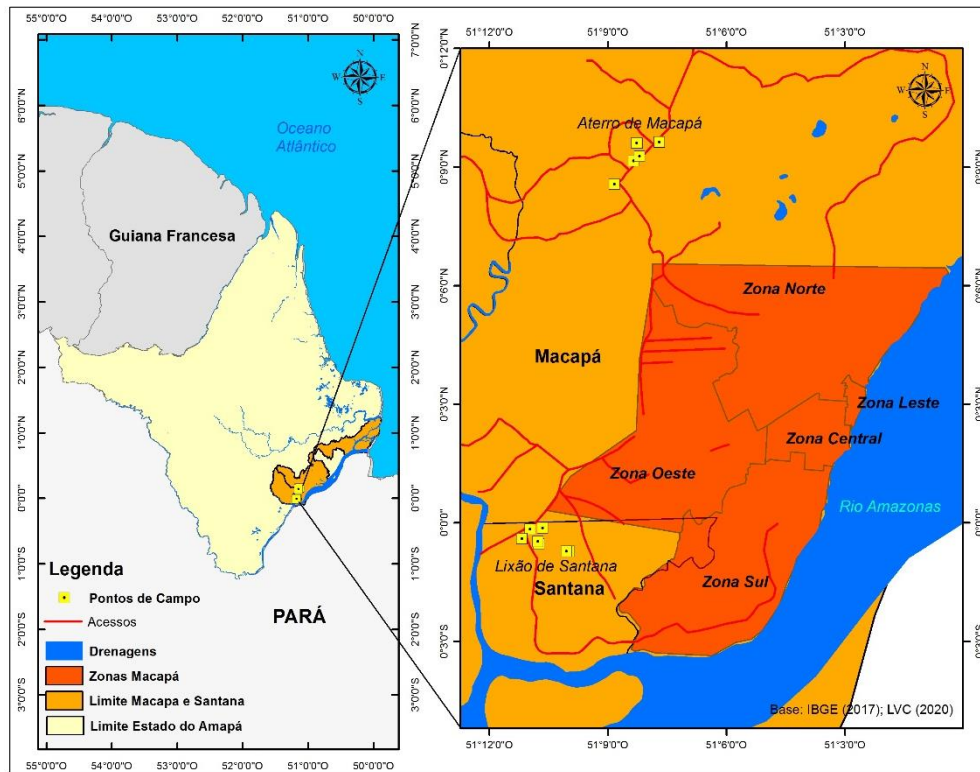
Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos das águas subterrâneas e superficiais dispostas sob as normas da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Avaliou-se também os níveis e a distribuição de onze metais pesados em solos superficiais nas áreas dos depósitos de resíduos sólidos urbanos de Macapá e Santana.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo e coleta de amostras

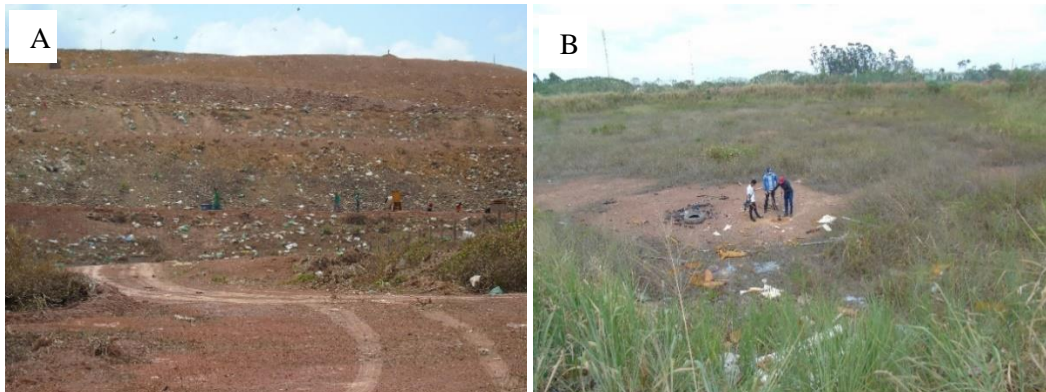
O estudo engloba as áreas do antigo lixão do município de Santana e do aterro sanitário do município de Macapá, onde foram coletadas as amostras de água e solo. O acesso a esses locais ocorre pela Rod. Duca Serra e BR-210 para o antigo lixão e o aterro sanitário, respectivamente (Figura 1 e 2 A e B).

Figura 1. Localização da área e pontos visitados no lixão de Santana e aterro sanitário de Macapá.



Fonte: Autores (2021).

Figura 2. A) Vista do Aterro sanitário de Macapá e, B) Vista da Lixeira a céu aberto de Santana.



Fonte: Autores (2021).

As coletas de água foram realizadas em outubro de 2020, período de estiagem na região. As amostras de águas subterrâneas (SUB) e superficiais (SUP) foram coletadas conforme metodologia da American Public Health Association [APHA] (2003), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Os dezoito parâmetros determinados foram os seguintes: Temperatura, Condutividade Elétrica, Cor, Nitrogênio Nitrato (NO_3^-), Nitrogênio Nitrito (NO_2^-), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Alcalinidade (CaCO_3), Dureza Total (CaCO_3), Ferro Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Turbidez, Cloretos, Sulfato Total, Sódio, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Coliformes Totais, Coliformes Fecais e *E. Coli*.

Selecionou-se nove poços rasos que utilizam os aquíferos livres para explorar água para abastecimento humano. Adicionalmente, amostrou-se quatro pontos de águas superficiais (área de ressaca¹, lagos e igarapés), como mostrado através da visualização das Figuras 3 A, B e C. A localização e características gerais dos pontos constam na Tabela 1.

Figura 3. Coleta de água. (A) Próximo ao lixão de Santana. (B) Poço próximo a central de triagem no aterro sanitário de Macapá. (C) Lago nos fundos do aterro sanitário.



Fonte: Autores (2021).

Tabela 1. Localização e características gerais dos pontos da coleta de amostras de água em Santana e Macapá.

SANTANA					
Data da coleta: 9/10/2020					
Código amostra	Latitude	Longitude	Hora	Local de coleta	Observação
STN 1 SUB	00°00'10.20"S	51°10'58.14"W	09:46	Usina de asfalto	Poço tubular
STN 2 SUB	00°00'08.07"S	51°10'39.29"W	10:02	Propriedade do Sr. Sebastião Torres	Poço amazonas
STN 3 SUB	00°00'32.28"S	51°10'44.97"W	11:43	Propriedade da Sra. Cristiane Soares	Poço amazonas
STN 4 SUB	00° 00'25.48"S	51°11'01.12"W	11:20	Depósito da Monte	Poço tubular
STN 5 SUP 1	00°00'43.42"S	51°09'58.85"W	11:30	Ressaca propriedade do Sr. Antônio de Jesus Gomes Costa	Água superficial
STN 5 SUP 2	00°00'43.37"S	51°10'02.98"W	12:40	Ressaca Propriedade do Sr. Antônio de Jesus Gomes Costa	Água superficial
STN 6 SUB	00°00'28.93"S	51°10'46.66"W	13:10	Propriedade da Sr. Maria de Nazaré	Poço amazonas
MACAPÁ					
Data da coleta: 9/10/2020					
MAC 1 SUB	00°09'08.6"N	51°08'21.10"W	15:35	Aterro Sanitário	Poço tubular
MAC 2 SUB	00°09'16.25"N	51°08'11.61"W	15:24	Aterro Sanitário	Poço tubular
MAC 3 SUP 1	00°09'35.55"N	51°08'15.49"W	15:30	Aterro Sanitário	Lago
MAC 3 SUP 2	00°09'35.96"N	51°08'16.25"W	15:40	Aterro Sanitário	Lago
MAC 4 SUB	00°09'37.37"N	51°07'41.86"W	16:00	Km-17 Plantio de hortaliças	Poço tubular
MAC 5 SUB	00°08'33.30"N	51°08'49.85"W	16:20	Ilha Redonda, propriedade da Sra. Ana Lucia Pereira	Poço amazonas

Fonte: Autores (2021).

¹ No Amapá, zonas úmidas são localmente denominadas como "áreas de ressaca". Trata-se, em geral de áreas inundadas periodicamente pelas cheias do rio Amazonas e seus afluentes

Figura 4. Coleta de solos; A) Aterro Sanitário de Macapá; B) Lixão de Santana.



Fonte: Autores (2021).

As coletas de solos foram realizadas no aterro sanitário de Macapá e no antigo lixão de Santana. Nessas áreas foram selecionados treze pontos (Tabela 2, Figuras 4 A e B), em locais com as seguintes características: com presença de resíduos sólidos aterrados/confinados (antropizadas); no entorno dessas áreas de depósitos de resíduos entorno, com mínima ou nenhuma ação antrópica; e área de drenagem com sedimentos lamosos (igarapé/lago ou ressaca).

Utilizou-se como referência para interpretação dos dados a Lei nº 9.433/1997 (Lei das Águas), as resoluções nº 357/2005, nº 396/2008 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 91/2008, nº 92/2008 e nº 107/ 2010, e como suporte metodológico os estudos de (Pereira et al., 2018).

Tabela 2. Localização e características gerais dos pontos da coleta de solo em Macapá e Santana.

Sigla da Amostra	Latitude	Longitude	Hora	Observação
Aterro sanitário de Macapá				
MAC1	0°9' 8,690" N	51°8' 21,138" O	08:19	Solo na região do entorno
MAC2	0°9' 16,056" N	51°8' 11,281" O	08:40	Solo na região do entorno
MAC3	0°9' 36,068" N	51°8' 16,296" O	10:12	Sedimento de igarapé/lago
MAC4	0°9' 32,335" N	51°8' 15,792" O	10:20	Solo na região do entorno
MAC5	0°9' 27,112" N	51°8' 10,759" O	10:12	Solo no lixo
MAC6	0°9' 25,614" N	51°8' 15,068" O	09:16	Solo no lixo
MAC7	0°9' 21,622" N	51°8' 6,810" O	08:56	Solo na região do entorno
Antigo lixão de Santana				
STN1	0°0' 16,225" S	51°10' 54,383" O	11:59	Solo no lixo
STN2	0°0' 8,186" S	51°10' 39,212" O	11:02	Solo na região do entorno
STN3B	0°0' 28,937" S	51°10' 46,661" O	12:56	Solo em poço amazônico (2 m de profundidade)
STN4	0°0' 36,155" S	51°10' 49,026" O	12:38	Solo no lixo
STN5	0°0' 43,427" S	51°9' 58,853" O	11:22	Sedimento de área alagada: ressaca
STN6	0°0' 35,082" S	51°10' 51,384" O	12:25	Solo no lixo

Fonte: Autores (2021).

Para cada local de amostragem foram coletadas amostras individuais de aproximadamente 500 g de solo, coletadas com auxílio de trado de aço inox, na camada de 0 a 20 cm de profundidade. As amostras foram acondicionadas em potes plásticos devidamente identificados.

No laboratório, todas as amostras, excetuando-se as de sedimentos lamosos, foram destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm de abertura de malha. Assim, separou-se a fração retida na peneira de 2,0 mm (calhaus e cascalhos) e a fração <2 mm (silte + argila) em potes plásticos.

2.2 Análise físico-química e microbiológica

As análises de caracterização física e química seguiram o Manual de Métodos de Análises de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [Embrapa] (1997) e foram realizadas no Laboratório Keller Ambiental. Com os resultados analíticos obtidos, foram estimados os valores para a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC pH 7,0), CTC efetiva (CTCe) e saturação por bases (V).

As análises dos metais pesados também foram realizadas no Laboratório Keller Ambiental. O método USEPA 3050B, da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos [USEPA] (1996), foi utilizado para digestão ácida das amostras de solos e sedimentos. A quantificação de metais totais e dissolvidos foi determinada por espectrometria de emissão de plasma, método de plasma indutivamente acoplado (ICP).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 3, são apresentados os resultados obtidos das análises físico-químicas e microbiológicas das águas subterrâneas (SUB) e superficiais (SUP) coletadas na área do lixão de Santana e aterro sanitário de Macapá.

Os valores encontrados para alcalinidade mostraram uma variação de 0,001 (mgCaCO₃/L) até 0,025 (mgCaCO₃/L). Não há referência na legislação para este parâmetro em relação a indicador de poluição, mas esses valores podem ser associados a presença de pequenas quantidades de carbonatos e bicarbonatos.

Do parâmetro de turbidez, seis amostras apresentaram valores em desacordo com a legislação ambiental; nos seguintes pontos: STN 6 SUB - 179 UNT; STN 5 SUP 1- 491 UNT (Figura 4); MAC 3 SUP 1-17,3 UNT; MAC 3 SUP 2 - 28 UNT; MAC 5 SUB - 5,8 UNT (Figura 5).

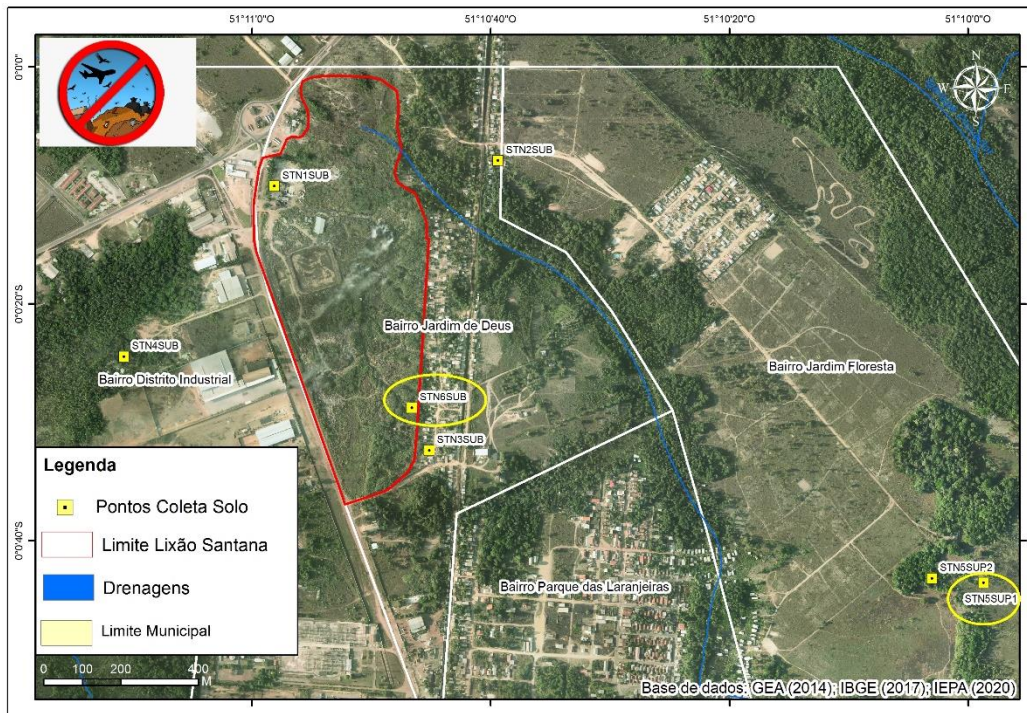
Em Santana, os maiores valores foram observados nos pontos STN 5 SUP 1 (491 UNT) e STN 6 SUB (179 UNT), os pontos estão destacados na Figura 4. Esses pontos foram coletados, respectivamente, em água superficial e em poço Amazonas.

Tabela 3. Resultados obtidos das análises físico-químicas.

Amostras Parâmetros	STN1 SUB	STN2 SUB	STN3 SUB	STN4 SUB	STN 5 SUP 1	STN 5 SUP 2	STN6 SUB	MAC1 SUB	MAC2 SUB	MAC3 SUP1	MAC3 SUP 2	MAC 4 SUB	MAC 5 SUB	Valor de Referência CONAMA 396/2008	Unidade
Alcalinidade	0,001	0,005	0,003	0,002	0,003	0,001	0,025	0,008	0,009	0,003	0,014	0,004	0,001	-	mgCaCO ₃ /l
Ferro Total	0,044	0,042	0,048	0,039	0,3	0,022	0,39	0,004	0,006	0,024	0,039	0,001	0,051	0,3	mg/l
Nitrito	0,014	0,009	0,126	0,003	0,375	0,012	0,058	0,008	0,064	0,024	0,034	0,013	0,012	10	mg/l
Nitrato	0,019	0,045	0,693	0,039	0,408	0,026	0,067	0,007	0,01	0,043	0,032	0,042	0,031	1	mg/l
Cloreto	8	10	54	30	14	10	62	20	24	34	16	22	14	250	mg/l
Cor Aparente	0	0	10	0	>500	50	500	0	0	110	180	0	90	15	UC
Dureza Total	0	8	96	12	52	0	242	18	580	0	38	0	0	500	mgCaCO ₃ /l
DBO	40	38	51	55	67	61	68	54	60	57	50	43	49	-	mgO ₂ /l
DQO	98	94	99	103	208	102	119	105	115	112	110	101	96	-	mgO ₂ /l
STD	0,039	0,085	0,09	0,023	0,187	0,091	0,064	0,067	0,082	0,117	0,103	0,12	0,107	1000	mg/l
Turbidez	18	0,28	0,24	0,24	491	0,49	179	0,74	0,63	17,3	28	0,58	5,8	5	UNT
Condutividade	15,17	11,01	392,7	20	33,9	8,7	592	21,9	17,21	31,6	22,6	13,89	18,9	-	µS/cm
Coliformes Totais	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	33,9	<3,0	Presente	Ausente	Ausente	>1100	460	Ausente	Presente	Ausente	NMP/100 ml
Coliformes Termotolerantes	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	460	<3,0	Presente	Ausente	Ausente	1000	75	Ausente	Presente	Ausente	NMP/100 ml
E.coli	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	75	<3,0	Presente	Ausente	Ausente	120	6,2	Ausente	Ausente	Ausente	NMP/100 ml
Sulfato Total	ND	ND	ND	ND	103,9	ND	8,06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2	mg/l
Sódio	10,31	11,87	37,9	9,3	11,9	27,48	25,46	12,33	12,56	11,32	12,01	11,45	8,29	0,005	mg/l
Temperatura	34,5	30	30,5	32	31	28	30	29,5	30	28,5	28,5	30,5	30,3	-	°C

Fonte: Autores.

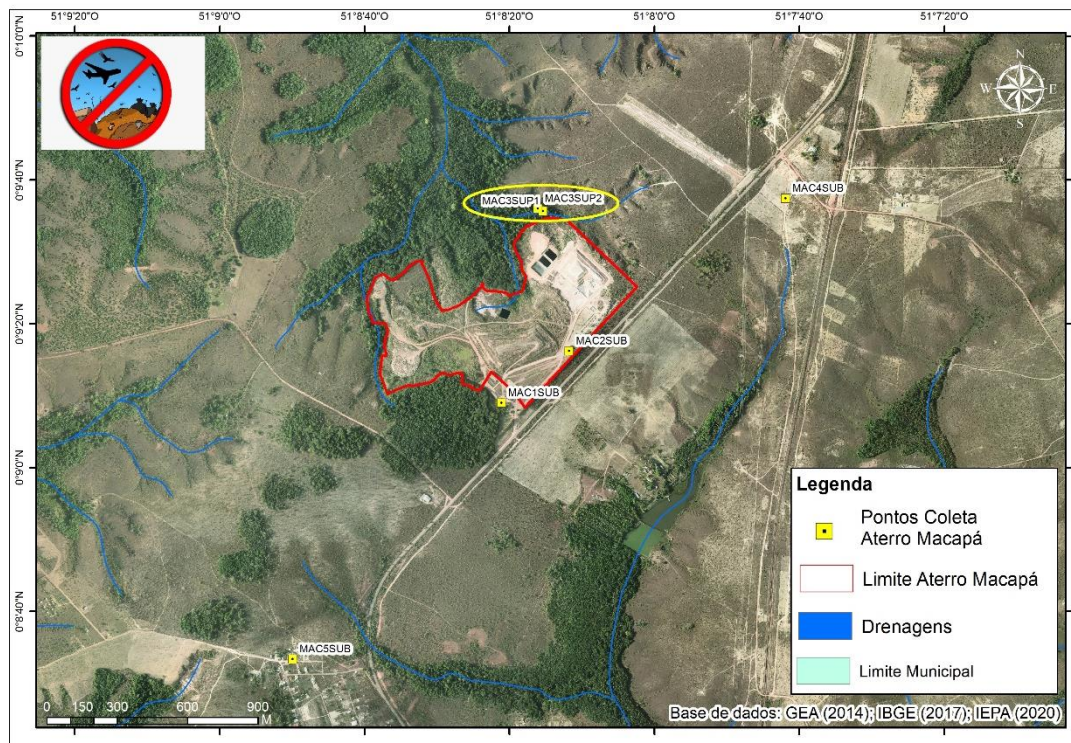
Figura 4. Distribuição dos pontos no Aterro de Santana e proximidade com os corpos d'água, destaque para os pontos com maiores valores de turbidez.



Fonte: Autores (2021).

Em Macapá, pelo menos dois pontos, MAC 3 SUP e MAC 3 SUP 2, estão localizados nas proximidades aterro sanitário cuja presença de corpos d'água pode ser observada na Figura 5.

Figura 5. Distribuição dos pontos no aterro sanitário de Macapá e proximidade com os corpos d'água, destaque para os pontos com maiores valores de turbidez.



Fonte: Autores (2021).

Os cloretos podem existir naturalmente em águas superficiais e subterrâneas, devido serem um excelente solvente podendo agregar muitas substâncias dissolvidas (BRASIL, 2011). Na Tabela 4, pode-se observar que os valores variam de 8 mg/L a 54 mg/L, sendo que esses valores não ultrapassaram os limites máximos permitidos da Resolução CONAMA 396/2008, que é de 250 mg/L.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) presentes na água não podem exceder 1000 mg/L, segundo a legislação vigente (BRASIL, 2011). Sólidos na água podem causar alterações no sabor se estiver acima do permitido. Todos os resultados encontram-se dentro do padrão, ou seja, abaixo valor máximo permitido.

A Condutividade Elétrica é a medida de facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica e está ligada diretamente aos sais dissolvidos sob a forma de íons. As principais fontes antropogênicas são: as descargas industriais de sais, o consumo de sal em residências e no comércio, excreções de sais pelo homem e por animais. O valor máximo permitido para esse parâmetro não está referido na Resolução CONAMA nº 396/2008, entretanto, a referida resolução indica a necessidade de medição desse parâmetro de qualidade. Observa-se que duas amostras destoaram em relação às outras, que são: STN 3 SUB - 392,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e STN 6 - 179 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que pode ser decorrente da disposição inadequadas de resíduos contendo sal ou excrementos humanos.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é a medida da quantidade de oxigênio necessária para consumir a matéria orgânica contida na água, mediante processos biológicos aeróbicos. Já a demanda química de oxigênio (DQO) é a medida do oxigênio consumido durante os processos químicos. A Resolução CONAMA nº 396/2008 não faz referência sobre esses padrões. Feitosa (2008) cita que para águas subterrâneas o valor de DBO deve ser inferior a 5 mgO_2/L e para DQO entre 1 e 5 mgO_2/L . Os valores de DBO variaram entre 38 e 68 mgO_2/L , já os de DQO entre 94 a 208 mgO_2/L . Os resultados apresentados na Tabela 4 mostraram as variações bastante acima dos valores indicados na referência.

O ferro geralmente está associado ao manganês e confere à água um sabor amargo adstringente e coloração amarelada e turva. As características e tipos de solos influenciam nos valores desses parâmetros.

Os minerais ferromagnesianos são componentes dos diversos litotipos, ou de solos lateríticos (Feitosa, 2008). De acordo com Santos (2004), os sedimentos costeiros Cenozóicos encontrados na área de estudo, apresentam-se subdivididos nos períodos terciário e quaternário. Os terciários em áreas de Cerrado são constituídos por sedimentos areno-argilosos, semi-incosolidados, de coloração amarelo avermelhada contendo lentes e níveis centimétricas de micro conglomerados e conglomerados.

Já os quaternários formados por sedimentos argilosos e argilo-arenosos de coloração cinza, contendo restos orgânicos vegetais, localmente ocorrem camadas arenosas sub-superficialmente. Associam-se as áreas denominadas localmente de “ressacas” e correspondem a depósitos de antigas rias afogadas.

Essas formações apresentam teores de ferro elevados naturalmente e que podem influenciar na composição deste parâmetro nas águas superficiais e subterrâneas locais. Apesar disso, os valores entre 0,22 mg/L e 0,3 mg/L nas amostras de água do local, revelaram-se compatíveis com a legislação vigente.

Segundo Feitosa (2008), o nitrato ocorre em geral em pequenas concentrações, representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Teores acima de 5 mg/L, podem ser indicativos de contaminação de água subterrânea por atividades antrópicas. O intervalo encontrado nas análises de amostras de água, na Tabela 4, mostrou estarem dentro do padrão de referência.

A amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato, mas a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas (Alaburda & Nishihara, 1998). Os valores de nitritos demonstrados na Tabela 4, não apresentaram alterações significativas para este parâmetro nos locais amostrados.

O sódio é um dos metais alcalinos mais abundantes das águas subterrâneas. Ele ocorre, principalmente, sobre a forma de cloretos tendo como minerais fontes feldspatos, plagioclásio, feldspatoides (nefelina e sodalita), anfíbolios e piroxênios. A concentração de sódio nas águas subterrâneas varia entre 1 a 100 mg/L (Feitosa, 2008). Os valores obtidos foram entre 8,29 mg/L a 37,9 mg/L nas amostras e não excederam o padrão natural das águas.

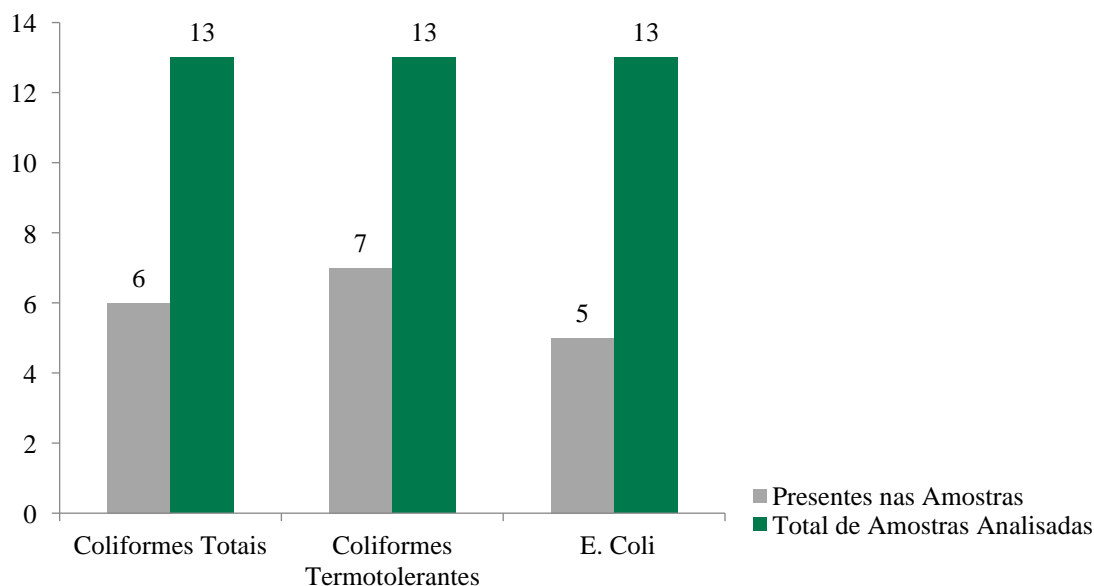
Os sulfatos são moderadamente a muito solúveis. Em água doce, o sulfato de cálcio (CaSO_4) satura a uma concentração de 1.500mg/L e pode chegar até 7.200 mg/L em águas salinas. Os valores para este parâmetro não foram detectados (ND) na maioria das amostras. Em apenas duas amostras detectou-se sulfatos: STN 5 SUP1 - 103,9 mg/L; STN 6 SUB - 8,06 mg/L.

A cor é o resultado das substâncias dissolvidas ou em suspensão na água, provenientes principalmente, da lixiviação da matéria orgânica. As águas subterrâneas locais mostraram uma variação entre 0 a 500 UC. As que mostraram valores acima de 15 UC não estão de acordo com a legislação (Tabela 3).

A temperatura é um parâmetro importante, porque acelera as reações químicas e reduz a solubilidade dos gases, bem como acentua os sabores e odores das águas naturais. Na Tabela 3, observa-se uma variação de 28 °C até 34,5 °C, temperaturas consideradas normais para a região.

A presença de coliformes na água não representa, por si só, um perigo a saúde, mas indica a possível presença de outros organismos causadores de problemas a saúde. Os principais indicadores de contaminação fecal são as concentrações de coliformes totais, termotolerantes *E. Coli*, expressa em número de organismos por 100 mL de água. Nas amostras analisadas obtiveram-se os seguintes resultados: para coliformes totais 6 apresentaram positivos; para coliformes termotolerantes 7 foram positivos e para *E. coli* 5 deram positivas, como mostram os resultados colocados no Gráfico 1 (Figura 6).

Figura 6. Resultados síntese da presença de coliformes nas amostras coletadas.



Fonte: Autores (2021).

Os solos do Amapá são ácidos e de baixa fertilidade, e uma das classes de maior representatividade são: Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo (Melém, et al., 2008). Os resultados da caracterização dos atributos físicos e químicos das 13 amostras de solo e sedimentos estão apresentados na Tabela 4.

Quanto aos atributos físicos, o teor de areia nos solos arenosos variou de 448 a 603 g/Kg, o teor de silte variou de 176 a 313 g/Kg e a argila variou de 84 a 376 g/Kg. Portanto, as amostras apresentam textura média franco arenosa a franco argiloarenosa.

Observa-se que, em geral, os solos são fortemente ácidos (pH abaixo de 5). Essas condições favorecem a solubilização e mobilização de metais pesados na solução do solo e, por extensão, as perdas desses elementos por lixiviação (Paye, et al., 2010).

Verifica-se que, em geral, os teores de matéria orgânica nos solos deste estudo são baixos (<1,5%). Por outro lado, os sedimentos lamosos de ressaca apresentam valores de matéria orgânica altos.

Nos solos estudados, o alumínio é praticamente nulo. Apresentam teores médios de cálcio e teores baixos de magnésio e potássio. A capacidade de troca catiônica (T) desses solos apresentou valores baixos, entre 4,4-8,5 cmolc/dm. Portanto, esses valores são compatíveis com regiões tropicais com solos arenosos, com alto grau de intemperismo, compostos predominantemente por grãos de quartzo, pouca quantidade de cátions e conseqüentemente baixa CTC total.

A saturação por base (V%) tende a ser menor que 50%, significando que há elevada acidez e baixa quantidade de nutrientes (cálcio, magnésio, potássio e fósforo).

Não existe VRQ para metais pesados em solos, estabelecidos para as condições do estado do Amapá. Os resultados aqui obtidos, com as extrações das amostras de solo do aterro sanitário de Macapá e do antigo lixão de Santana, foram analisados conforme suas concentrações, comparando-se os resultados com os valores de referência do Grupo Barreiras (Fadigas, 2010). Foram também comparados com valores orientadores para solos no Estado de São Paulo (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB, 2016) estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011. Os chamados “valores orientadores” são aplicados pela CETESB na prevenção da poluição de solos bem como no controle de áreas contaminadas são Valor de Referência de Qualidade e o Valor de Prevenção (Tabela 4).

Segundo a CETESB (2022), o VRQ para os solos indica o limite de qualidade para um solo considerado limpo, a ser utilizado em ações de prevenção da poluição do solo, das águas subterrâneas e no controle de áreas contaminadas, permitindo o seu gerenciamento. Já o VP é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Entretanto, deve-se ressaltar que o uso desses valores pode levar a avaliações inadequadas, já que existem diferenças nas condições técnicas e variáveis ambientais de cada região do país.

Analisando as concentrações dos metais estudados observa-se que todos encontram-se abaixo dos valores de prevenção, abaixo dos valores de referência de qualidade estabelecidos pela CETESB e também abaixo dos valores de referência do Grupo Barreiras mostrados na Tabela 4.

Comparando as áreas de resíduos sólidos urbanos, nota-se que no aterro sanitário de Macapá a concentração de Fe é quase o dobro (1,9 vezes) maior do que aquela encontrada em Santana (Tabela 6).

Na Figura 7 é apresentada a comparação das concentrações dos principais pesados (exceto o ferro). Depois do ferro, os teores dos metais pesados encontrados nos solos do Aterro Sanitário de Macapá seguiram a seguinte ordem decrescente: o Cr (0,949 mg/Kg) > Mn (0,150 mg/Kg) > Zn (0,149 mg/Kg) > Co (0,025 mg/Kg) > Cu (0,025 mg/Kg) > Pb (0,013 mg/Kg). Já no antigo lixão de Santana a sequência decrescente muda: Cr (0,569 mg/Kg) > Cu (0,168 mg/Kg) > Mn (0,167 mg/Kg) > Zn (0,088 mg/Kg) > Co (0,025 mg/Kg) > Pb (0,009 mg/Kg).

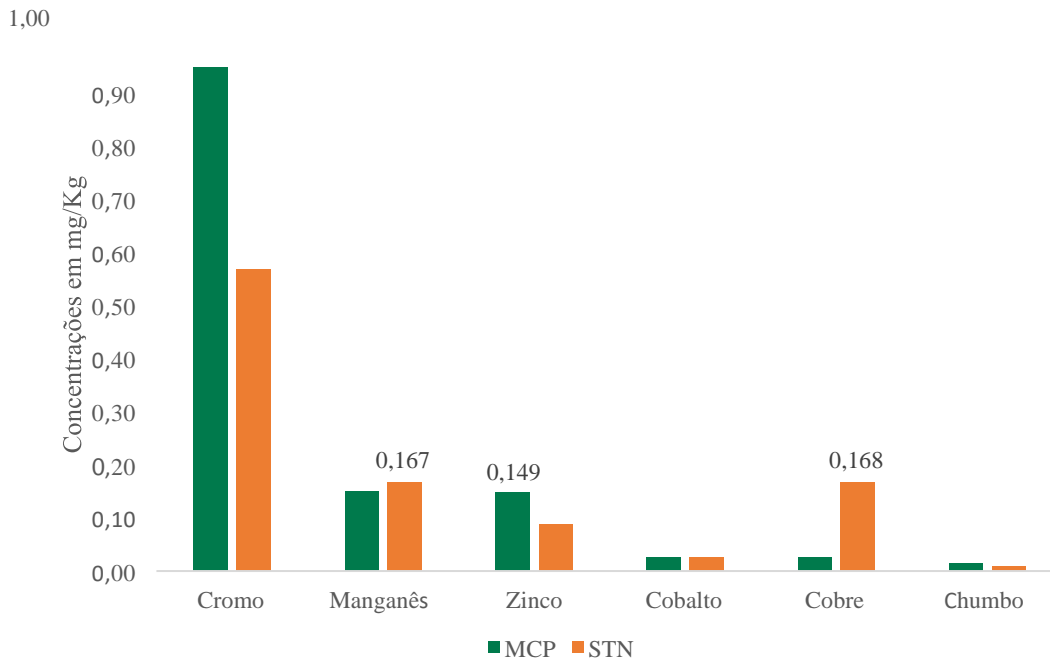
Os elementos Fe, Mn e Cr apresentaram as concentrações mais elevadas nos solos superficiais das duas áreas de resíduos sólidos (Tabela 4). Isso se deve provavelmente as características naturais do solo da região de estudo.

Tabela 4. Concentração de metais pesados em solos: Valores orientadores do Grupo Barreiras (Fadigas, 2010), valores de referência e de prevenção na Resolução CONAMA nº 420/2009 e valores das áreas em estudo.

Parâmetros (Metais em mg/Kg)	Grupo Barreiras (Fadigas, 2010)	Valor de Referência (CONAMA 2009; CETESB, 2016)	Valor de Prevenção (CONAMA, 2009; CETESP, 2016)	Área de entorno	Área de resíduos sólidos urbanos		
				MCP	STN	MCP	STN
Arsênio Total	0,3	3,5	15	0,005	0,026	0,007	0,005
Cádmio		<0,5	1,3	0,001	0,001	0,001	0,001
Chumbo		17	72	0,007	0,019	0,013	0,009
Cobalto	1,7	13	25	0,025	0,025	0,025	0,025
Cobre	1,1	35	60	0,025	0,025	0,025	0,168
Cromo	26,8	40	75	0,211	0,987	0,949	0,569
Ferro	10100	-	-	16,2	71,1	66,2	34,967
Manganês	49	-	-	0,033	0,2	0,15	0,167
Mercurio Total		0,05	0,5	0,001	0,001	0,001	0,001
Níquel	6,6	13	30	0,002	0,008	0,003	0,003
Zinco	7,7	60	86	0,037	0,362	0,149	0,088

Fonte: Autores (2021).

Figura 7. Comparação dos resultados das concentrações dos principais metais pesados nas áreas de resíduos sólidos urbanos de Macapá (MCP) e Santana (STN).



Fonte: Autores (2021).

Relativamente às concentrações de Cr, obtidas nas amostras de solo superficial, os locais do Aterro Sanitário de Macapá e do antigo lixão de Santana apresentam concentrações variável. O ponto MAC-7 do aterro sanitário de Macapá e o ponto STN-2 do antigo lixão de Santana apresentam as concentrações mais elevadas, com concentrações de Cr de 0,8804 mg/Kg e 0,9867 mg/Kg respectivamente. O solo em subsuperfície no ponto STN-3B, a 2 m de profundidade em um poço amazonas, apresenta a concentração mais elevada (1,8930 mg/Kg) de Cr.

Os valores de cobre levemente maiores do que a concentração de Mn, no antigo lixão de Santana (área de resíduos sólidos), indica que provavelmente o solo dessa área recebeu mais lixo contendo em sua composição elementos de cobre.

Note que o elemento Zn apresentou, nas áreas de resíduos sólidos, as maiores concentrações em Macapá. Os solos e sedimentos superficiais do Aterro de Macapá apresentam concentrações variáveis de Zn entre 0,025 mg/kg e 0,170 mg/kg, enquanto os solos e sedimentos do antigo lixão apresentam concentrações que variam entre 0,025 mg/kg e 0,3617 mg/kg. Portanto, não há uma uniformização das concentrações de Zn. Este metal pode estar sendo originado pelo descarte inadequado de pilhas e baterias nos dois depósitos de lixo.

Em relação as concentrações de Co, todas as amostras de solo e sedimento apresentam concentrações de 0,025mg/kg. A maior parte dos locais do aterro sanitário de Macapá e antigo lixão de Santana apresenta concentrações de Cu inferiores a 0,025 mg/Kg. Somente os pontos STN-4 (solo superficial) e STN3B (solo a profundidade de 2m) apresentam concentrações mais elevadas deste metal (0,4532 mg/Kg e 0,1212 mg/Kg). Portanto, os solos apresentam concentração de Cu muito menor ao Valor de Prevenção.

Os locais do aterro sanitário e do antigo lixão apresentam concentrações variável de Pb, entre 0,005 mg/Kg a 0,0349mg/Kg. Os solos superficiais nos pontos MAC-1 e MAC-2 apresentam as menores concentrações de Pb, enquanto no ponto STN-5 (sedimento rico em matéria orgânica) apresenta a concentração máxima de 0,0349 mg/Kg. Portanto, é na área de ressaca (STN-5) que se encontra as maiores concentrações de Pb nos solos superficiais.

Relativamente às concentrações de Arsênio, obtidas nas amostras de solo superficial (0 a 20 cm de profundidade), os locais do aterro de Macapá e do antigo lixão de Santana apresentam valores inferiores a 0,005 mg/Kg. Apenas os pontos MAC-7 e STN-2 apresentam uma concentração de As de 0,017 mg/Kg e 0,026 mg/Kg.

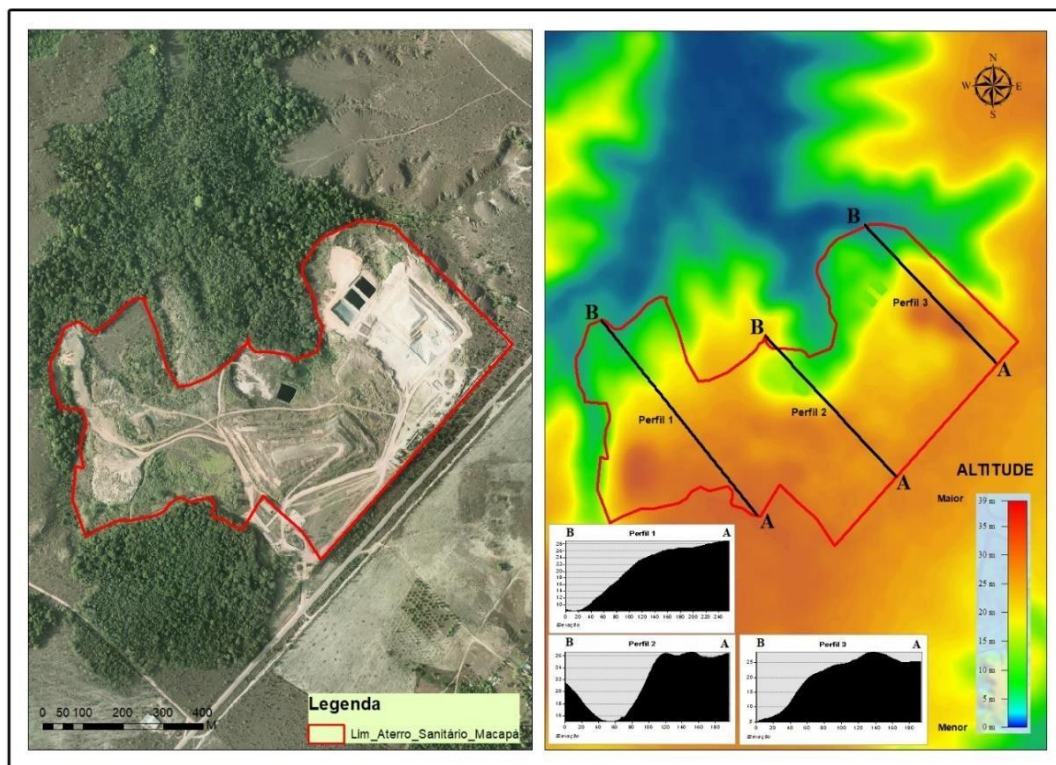
Os solos do aterro sanitário apresentam uma concentração média de Ni de 0,0030 mg/kg, e os solos do antigo lixão uma concentração média de Ni de 0,0073 mg/kg. Os sedimentos lamosos superficiais do igarapé/lago (MAC-3) apresentam uma concentração de Ni de 0,0057 mg/kg, e os sedimentos lamosos superficiais da área de ressaca (STN-5) registram uma concentração de Ni de 0,0202 mg/kg.

Os resultados das concentrações de Cd obtidos em todas as amostras de solo e sedimentos superficiais são extremamente similares, com uma concentração média de 0,001 mg/Kg. Em relação as concentrações de Hg, todas as amostras de solo e sedimento apresentam concentrações de 0,001mg/kg.

Com análise de dados do Modelo Digital de Terreno (MDT), mostra-se a topografia da área do aterro de Macapá (Figura 8), as áreas mais baixas estão mais vulneráveis aos impactos gerados pela percolação dos líquidos lixiviados (chorume), várias propriedades do solo podem interferir no processo de infiltração, entre as quais se destacam a densidade do solo e a distribuição do tamanho dos poros (Chen & Wagenet, 1992). Desta forma, as condições físicas do solo, funcionam de maneira distinta para contenção de poluentes no aterro sanitário.

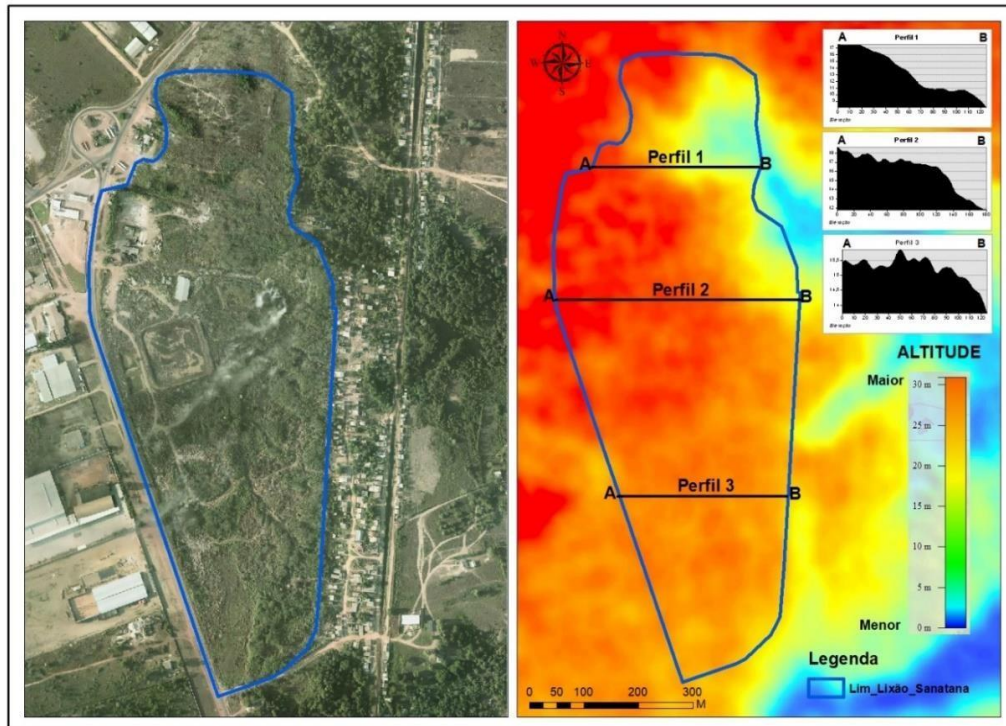
Analisando as condições apresentadas, podemos inferir, que o local de amostragem funciona como um agente facilitador para contaminação nos aterros sanitário e lixões a céu aberto através de líquidos percolados (chorume). Em Santana (Figura 9), por se uma área de um antigo lixão a situação é mais grave.

Figura 8. Topografia do Aterro Sanitário de Macapá.



Fonte: Autores (2021).

Figura 9. Topografia do antigo lixão de Santana.



Fonte: Autores (2021).

Uma outra problemática que ocorre tanto no aterro de Macapá quanto no antigo lixão de Santana é a distâncias de ambos a um importante curso de água do estado que é o Rio Matapi. O aterro de Macapá fica a 3,4 quilômetros do Rio Matapi com a presença de vários tributários que desaguam no referido rio nas proximidades do aterro. Em Santana a distância é de 2,2 quilômetros evidenciando uma possível contaminação do rio, mais ainda no período chuvoso quando há possibilidade de mistura das águas da chuva com os líquidos percolados do antigo lixão desaguando no rio Matapi.

Os altos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio encontrados podem indicar possível contaminação por matéria orgânica cuja presença de nutrientes aumentam esses parâmetros por conta da necessidade de oxigênio para degradação biológica e química da matéria orgânica.

4. Conclusão

Os resultados das análises de águas, do antigo lixão de Santana e aterro sanitário de Macapá indicam que, de forma geral, os teores analisados se encontram em concentrações baixas, porém, em alguns pontos valores extremos foram identificados, inclusive acima do valores máximos permissíveis estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011 (atual Portaria de Consolidação Nº 5 MS de 03/10/2017), assim como, os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 se devem exclusivamente a fatores antrópicos. Porém é necessário um monitoramento constante para se observar as variações destes parâmetros, principalmente na área do lixão em Santana, que não existe controle.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença tanto de coliformes totais e termotolerantes, quanto de E. Coli, o que corresponde à contaminação das águas subterrâneas por fossas sépticas, devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria são pouco profundos e construídos com técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária. A ocorrência desses parâmetros

biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população ribeirinha, que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Quanto a alteração dos parâmetros como cor, turbidez e oxigênio dissolvido é importante análises mais detalhadas e sazonais para se detectar quais as possíveis fontes antrópicas da alteração desses parâmetros. Os valores de Oxigênio Dissolvido podem estar relacionados a presença de matéria orgânica proveniente dos aterros e lixões. É necessário o monitoramento regular das áreas estudadas.

Comparando-se as concentrações dos metais com a Resolução CONAMA 420/2009, verificou-se que os valores de metais pesados encontrados nos solos (latossolos) estão bem abaixo dos valores de referência para o Grupo Barreiras (Fadigas, 2010) e o valor de prevenção para solos (CONAMA, 2009).

As análises das amostras de solo mostraram para o Aterro Sanitário de Macapá níveis de Cr >Mn >Zn >Co >Cu >Pb, enquanto que para o do antigo lixão de Santana níveis de Cr >Cu >Mn >Zn >Co >Pb. Essa análise prévia dos metais pesados indica origem natural do ferro, manganês e cromo, e sugere que os depósitos de resíduos sólidos podem estar contribuindo para a ocorrência na camada superficial do solo de zinco e cobre. Estes dois metais podem estar sendo originados pelo descarte inadequado de pilhas e baterias nos dois depósitos de lixo.

Como de responsabilidade dos entes municipais, a Prefeitura de Macapá deve fiscalizar se a empresa concessionária do aterro está cumprindo as cláusulas contratuais referente ao controle ambiental da área, especificamente, o monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, tratamentos de chorume e contenção/verificação de vazamentos nas células de aterramentos de resíduos.

É importante destacar que se faz necessário realizar novos estudos que analisem esses parâmetros de maneira sazonal, e também que as coletas de água sejam realizadas não apenas nos tributários próximos ao aterro e o lixão, mas em outros pontos até o deságue dos cursos d'água no rio Matapí, afim de aferir uma possível contaminação do rio, e consequentemente nas comunidades que dependem deste, para tirar o sustento.

Referências

- Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. (1996). *Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils*. Revision 2.
- Alaburda, J., & Nishihara, L. (1998). Presença de Compostos de Nitrogênio em águas de Poços. *Revista Saúde Pública*, 160-165.
- Alfaia, R. G. S. M., Costa, A. M., & Campos, J.C. (2017). Resíduos sólidos urbanos no Brasil: uma revisão. *Gestão de Resíduos & Pesquisa*, 35(12), 1195-1209.
- American Public Health Association (2003). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association 20^a Edition, Washington D.C., 3118p.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2020). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020*. 17(17), 1-52. <https://abrelpe.org.br/panorama/>
- Brasil. CONAMA. Resolução no357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, publicada no DOU no53, de 18 de abril de 2005, pag.58-63.
- Chen, C., Wagenet, R. (1992). Simulations of water and chemicals in macropore soils Part 1. Representation of the equivalent macropore influence and its affect on soilwater flow. *Journal of Hydrology*, 130(4), 105-126.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2016). *Decisão de Diretoria Nº 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016*. Dispõe sobre a aprovação dos “Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no estado de São Paulo – 2016” e dá outras providências. Diário Oficial, São Paulo, Seção I, 126(219), 5-56p.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2022). *Valores orientadores para solo e água subterrânea*. <http://cetesb.sp.gov.br/solo/valores-orientadores-para-solo-e-agua-subterranea/>
- Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2009). *Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009*. 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. Brasília, DF. <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acs.pdf>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1997). *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo*. (2a ed.), Embrapa-Cnpq, 212 p.

- Fadigas, F. S., Sobrinho, N. M. B. do A., Anjos, L. H. C., & Mazur, N. (2010). Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern region. *Scientia Agricola*, 67(1), 53-59.
- Feitosa, F. A. C. (2008). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. In Feitosa F. A. C. (3a ed.), Cprm:Labhid.
- Ferronato, N & Torreta, V. (2019). Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1060. doi.org/10.3390/ijerph16061060
- Hussein, I. A. S., & Mona, S.M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1275-1290. doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). *Censo demográfico 2020*. Rio de Janeiro, 2020. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ap/macapa.html>.
- Leme, M. M. V., Rocha, M. H., & Lora, E. E. S. (2014). Análise tecnoeconômica e avaliação de impacto ambiental da recuperação energética de Resíduos Sólidos Municipais (RSU) no Brasil. *Recursos, Conservação e Reciclagem*, 87, 8-20.
- Melém, N. J., Jr. Fonseca, I. C. de B., Brito, O. R., Decaêns, T., Carneiro, M. M., Matos, M. F. A., Guedes, M. C., Queiroz, J. A. L., & Barroso, K. O. (2008). Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. *Semina. Ciências Agrárias*, 29, 499-506.
- Paye, H. S., Mello, J. W. V., Abrahao, W. A. P., Fernandes, E. I., Dias, L. C. P., F. Castro, M. L. O., Melo, S. B., & Franca, M. M. (2010). Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 2041-2051.
- Pereira A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. UFSM. 6.2) Estrela, C. (2018). Metodologia Científica: Ciência, Ensino, Pesquisa. Editora Artes Médicas.
- Santos, V. F. (2004). Diagnóstico Socioambiental Participativo do Setor Costeiro do Estado do Amapá. Macapá-AP: MMA/GEA/IEPA.
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2020). *Ministério do Desenvolvimento Regional*. <http://www.snis.gov.br/>.
- Souza, S. N. M., Horttanainen, M., & Antonelli, J. (2014). Potencial técnico de produção de eletricidade a partir de resíduos sólidos urbanos descartados nas maiores cidades do Brasil: Gás de aterro sanitário, biogás e tratamento térmico. *Gestão de Resíduos e Pesquisa*, 32, 1015-1023.
- Shamshiry, E., Nadi, B., Bin Mokhtar, M., Komoo, I., Saadiah Hashim, H., & Yahaya, N. (2011). Integrated models for solid waste management in tourism regions: Langkawi Island, Malaysia. *Journal of environmental and public health*, 2011. doi.org/10.1155/2011/709549.
- Vaverková, M. D. (2019). Landfill Impacts on the Environment—Review. *Geosciences*, 9(10), 431. doi.org/10.3390/geosciences9100431.