

III-080 - DETECÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS PELA ATIVIDADE DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PAÇO DO LUMIAR – MA

Nathalia Cunha Almeida Pinheiro⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade CEUMA. Mestre em Sustentabilidade de Ecossistemas pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Professora da Universidade CEUMA.

Flávia Rebelo Mochel⁽²⁾

Bióloga pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Zoologia pelo Museu Nacional (UFRJ). Doutora em Geociências (Geoquímica) pela Universidade Federal Fluminense. Pós doutorado em Recuperação de Manguezais em *Wageningen University* (Holanda). Professora associada da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), responsável pelo Laboratório de Manguezais (LAMA) e fundadora/coordenadora do Centro de Recuperação de Manguezais (CERMANGUE) na UFMA.

Endereço⁽¹⁾: Rua 67, quadra 107, casa 07, Conjunto Maiobão – Paço do Lumiar - MA - CEP: 65130-000 - Brasil - Tel: (98) 98819-4249 - e-mail: prof.nathaliapinheiro@gmail.com

RESUMO

A disposição final de resíduos sólidos é considerada uma fonte potencial de contaminação e, portanto, tem merecido destaque em função dos problemas ambientais e socioeconômicos que pode gerar. O município de Paço do Lumiar, Estado do Maranhão, utiliza um lixão como forma de disposição de resíduos sólidos urbanos, mesmo após ter cessado o prazo para o fim dos lixões no Brasil conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº 12.305 de 2010. Em virtude disso, este estudo teve como objetivo detectar as áreas contaminadas pela atividade de disposição de resíduos sólidos em Paço do Lumiar com base na metodologia do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas do projeto CETESB/GTZ (1999), utilizando os compartimentos ambientais solo e água superficial como objetos de análise. Assim, verificou-se que o lixão tem contribuído para a contaminação do solo com metais pesados no local de disposição e a 200 m à jusante, fato que pode contribuir numa contaminação em potencial da água subterrânea, pois a geologia local e o solo arenoso são facilitadores no processo de transporte de contaminantes. Já a análise da água superficial revelou que a disposição de resíduos sólidos pode estar contribuindo menos que outras fontes de contaminação, destacando-se neste contexto os efluentes gerados pelas comunidades que ocupam a bacia. Portanto, é necessário que a Política Nacional de Resíduos Sólidos seja colocada em prática para que este processo de contaminação seja minimizado, pois a contaminação desta região compromete alguns usos da terra, como residencial e agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos, Disposição final, Contaminação, Lixão de Paço do Lumiar.

INTRODUÇÃO

As práticas de desenvolvimento adotadas associado ao consumismo exagerado tem causado um aumento cada vez mais crescente na produção de resíduos sólidos, o que tem gerado passivo ambiental em decorrência da falta de gestão e da sua utilização e disposição incorreta, comprometendo a sua sustentabilidade. Em decorrência dos problemas que os resíduos sólidos representam no mundo, no final do século XX e início do XXI este assunto passou a ser debatido pela sociedade (RIBEIRO; MORELLI, 2009).

A falta ou a limitação de planejamento urbano integrado é uma das causas principais de danos ambientais e que representam custos sociais intensos. Dentre os problemas tipicamente de origem urbana, a disposição de resíduos sólidos de forma inadequada tem provocado a contaminação de mananciais superficiais e subterrâneos importantes para a sociedade, ampliando problemas e gerando gastos de recursos, fato que torna a sua gestão e o seu manejo grandes desafios para o poder público municipal (GUERRA; CUNHA, 2005).

No local de disposição de resíduos sólidos, o balanço hídrico ocorre com a entrada de água por meio da precipitação e de processos de decomposição de resíduos sólidos. Já as perdas de água ocorrem através da evaporação, evapotranspiração, difusão lateral na cobertura do aterro e a produção de lixiviados, sendo que

este último fenômeno é um dos maiores problemas gerados por esta atividade, pois os lixiviados (chorume) possuem características física, química e biológica que podem comprometer a qualidade ambiental (LISK, 1991).

As atividades de disposição de resíduos devem ser consideradas como fontes potenciais de contaminação (IBGE, 1984), mesmo aquelas em que tenham sido implantadas medidas que possam proporcionar uma maior segurança à unidade. A ocorrência de contaminação de solos e águas subterrâneas tem sido atribuída a muitos depósitos de resíduos sólidos existentes no mundo, inclusive naqueles considerados seguros (CETESB/GTZ, 1999).

Os danos ambientais e o surgimento de problemas socioeconômicos em virtude da disposição inadequada de resíduos sólidos ainda são muito comuns no Brasil. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008) promovida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) revelou que mais de 70% dos municípios brasileiros faziam disposição dos seus resíduos sólidos em lixões e aterros controlados até o ano de 2008, sendo as regiões Nordeste e Norte as que mais possuem lixões em seu território. Na Região Nordeste, os Estados do Piauí, Maranhão e Alagoas são os que mais destinam seus resíduos para os chamados lixões (IBGE, 2010).

O município de Paço do Lumiar, localizado na Região Metropolitana da Grande São Luís (MA), dispõe seus resíduos sólidos em vazadouro a céu aberto na zona rural da cidade desde o ano de 2005 (SNIS, 2006). Isto tem gerado, além de problemas ambientais, a insatisfação da população que necessita dos recursos naturais para movimentar a economia local, pois grande parte dos moradores das comunidades do entorno trabalham com agricultura e pesca.

Em função disso, a necessidade de problematizar e analisar os impactos ambientais gerados pelo processo de urbanização mal planejado e que em Paço do Lumiar se manifesta de forma mais agressiva no meio rural do município, se faz interessante. Por isso, este trabalho objetivou detectar áreas contaminadas em decorrência da atividade de disposição final de resíduos sólidos no município de Paço do Lumiar, Maranhão.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Município de Paço do Lumiar está localizado no Golfão Maranhense, na porção norte da Ilha do Maranhão, a 2°30'S e 44°7'O (FEITOSA; TROVÃO, 2006). A sua área territorial corresponde a 122,828 km², com população de 105.121 habitantes, sendo que 75% destes vivem no meio urbano (IBGE CIDADES, 2010).

O local de disposição de resíduos sólidos de Paço do Lumiar, está localizado na zona rural deste município a 2°29'6,14"S e 44°6'48,91"O (PAÇO DO LUMIAR, 2006), na bacia do Rio Paciência, já próximo ao estuário do Rio Paciência. No seu entorno há duas comunidades, Pindoba e Iguaiá, que se destacam pela atividade de agricultura e pesca. No raio de 2 km do entorno do lixão de Paço do Lumiar há oito unidades de paisagem distintas, destacando-se as áreas urbanizadas, corpos d'água estuarino, mangue, mata ciliar, capoeira de terra firme, áreas utilizadas na agricultura/pecuária, solo exposto. Já no raio de 1 km em relação à área do lixão há todas essas paisagens descritas acima, exceto área urbanizada.

Em relação ao aspecto topográfico da região, o lixão fica em cota mais elevada em comparação aos corpos hídricos locais. Pelas cotas altimétricas das curvas de nível, induz-se que o lixão pode contribuir na contaminação dos compartimentos ambientais ao norte, incluindo o igarapé do Tiririca (Figura 1).

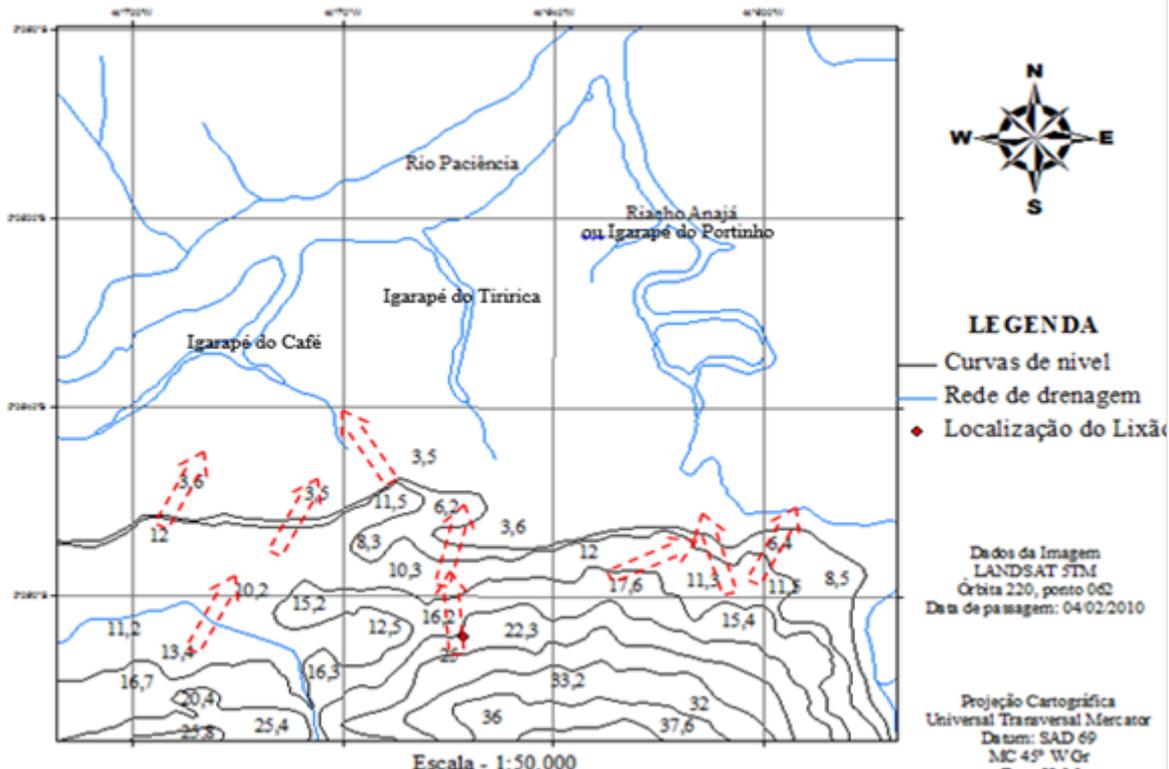


Figura 1: Demonstrativo evidenciando o escoamento da água com base em curvas de nível.

A metodologia de avaliação ambiental descrita pelo Manual de Áreas Contaminadas do Projeto CETESB/GTZ (1999) foi utilizada para identificar áreas contaminadas pela atividade de disposição final de resíduos sólidos no município de Paço do Lumiar. Portanto, seguiram-se as etapas de maneira sistemática denominadas de Definição da Região de Interesse, Identificação de Áreas Potencialmente Contaminadas (APs), Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória conforme a CETESB/GTZ (1999). Todas as fases descritas foram fundamentais para serem definidos os pontos de coleta de água e de solo, base para a etapa de Investigação Confirmatória da contaminação.

Os pontos de solo amostrados obedeceram ao eixo sentido sul-norte em virtude da topografia local do terreno apresentar um decréscimo de cota nesta perspectiva. Assim, para amostragem do solo, foram escolhidos seis pontos, sendo um deles na lateral da própria célula utilizada para disposição de resíduos sólidos e que foi denominado de ponto P03. A partir deste ponto escolheram-se os outros, ficando dois deles a 200 m ao norte (P04) e ao sul (P02) do P03, outros dois a 500 m ao norte (P05) e ao sul (P01) do P03 e, por fim, um ponto controle (P06) localizado a 3 km de distância do lixão, que não contém influência direta do lixão (Tabela 1). O ponto P04 dá indícios que já foi utilizado anteriormente como célula de disposição final de resíduos.

Tabela 1 – Pontos de amostragem do solo incluindo suas descrições e as coordenadas.

Pontos	Descrição	Coordenadas
P01	500m ao sul do lixão	2°29'19,6" S; 44°6'55" O
P02	200m ao sul do lixão	2°29'8,8" S; 44°6'46,1" O
P03	Célula de disposição	2°29'2,4" S; 44°6'49,1" O
P04	200m ao norte do lixão	2°28'59,1" S; 44°6'48,1" O
P05	500m ao norte do lixão	2°28'51,6" S; 44°6'50" O
P06	Controle	2°29'40" S; 44°8'14,6" O

Para análise de solo foram feitas amostragens simples e superficiais (0-30 cm) levando-se em consideração o critério indicado pelo ISSO/DIS 10381-1 apud CETESB/GTZ (1999). O procedimento de coleta de amostras foi realizado de acordo com Byrnes (1994) apud CETESB/GTZ (1999), USEPA (1989, 1991) e Sabbag (2013). Os parâmetros físicos e químicos avaliados para o solo foram permeabilidade, densidade, umidade,

granulometria, teor de matéria orgânica, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, saturação de bases, H+Al, capacidade de troca catiônica, boro, cobre, ferro, manganês, zinco, mercúrio, chumbo, níquel, cádmio. A técnica utilizada para os micronutrientes foi a DTPA em pH 7,3 e para os macronutrientes foi determinação de fósforo, cálcio, potássio, magnésio extraídos com resina trocadora de íons (VAN RAIJ et al., 2001).

A amostragem de água foi feita nos igarapés afluentes do Rio Paciência, sendo alguns pontos à montante e outros à jusante do lixão, objetivando compreender as possíveis cargas contaminantes provenientes das comunidades do entorno e do lixão. Para tanto, foram escolhidos quatro pontos, sendo o primeiro (P01) localizado no Igarapé do Portinho, visando entender a contribuição de contaminantes provindos das comunidades locais; outro ponto no Igarapé do Café (P02), que fica antes do lixão e sem contribuintes detectados de contaminação direta; o terceiro no Igarapé do Tiririca (P03), que está localizado a nordeste do lixão, para compreender a contribuição do mesmo para a contaminação deste corpo hídrico; e o último (P04) localizado no Igarapé do Portinho que recebe efluentes diretamente das comunidades do entorno (Tabela 2).

Tabela 2: Pontos de água amostrados contendo sua descrição e coordenadas.

Pontos	Descrição	Coordenadas
P01	Igarapé do Porto da Pindoba – recebe contribuição das comunidades de Pindoba e Mocajituba	2°29'10,3"S ; 44°7'48,8"O
P02	Igarapé do Café – sem contribuições aparentes do lixão e comunidades do entorno	2°28'34,1"S; 44°7'10,3"O
P03	Igarapé do Tiririca – recebe contribuição do lixão	2°28'26,08"S; 44°6'50,15"O
P04	Igarapé do Portinho – recebe contribuição da comunidade de Pindoba e Iguafba	2°28'20,6"S; 44°6'30,1"O

Foram realizadas duas coletas de água em cada ponto, sendo um compreendendo o período de estiagem e outro no período chuvoso. Os métodos e materiais de coletas de água para análise física e química foram baseados em CEMIG (2009), APHA (2005) e Silva et al. (2005). Já para análise de oxigênio dissolvido em laboratório, foi feita de acordo com Winkler (1888) modificado por Pomeray e Kirschman (1945) apud Brandão (2011). Já para análise bacteriológica foram utilizados frascos previamente esterilizados. Os parâmetros temperatura e oxigênio dissolvido foram medidos in situ diretamente no corpo d'água por meio de Oxímetro de marca Hanna e modelo HI 9146.

Já os parâmetros microbiológicos, físicos e químicos avaliados para água foram coliformes termotolerantes, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais em suspensão, turbidez, cor, salinidade, fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrito, nitrogênio nitrato, boro, zinco, níquel, manganês, magnésio, potássio, ferro, cobre, cádmio, cálcio, alumínio, chumbo, molibdênio, mercúrio, cromo, cobalto (APHA, 2005; PARANHOS, 1996; BAUMGARTEN; ROCHA; NIENCHESKI, 1996; VAN RAIJ et al., 2001).

Utilizou-se o programa estatístico chamado Statistical Discovery (JMP), versão 3.2.3 (SAS, 1995) e Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (PAST) versão 2.15 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001) de forma que os dados quantitativos e os qualitativos passíveis de análise estatística fossem trabalhados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área estudada existem algumas atividades, além da disposição de resíduos sólidos já considerada como Atividade Potencialmente Contaminadora (APC), que podem constituir-se também como APCs, tais como agricultura devido uso de fertilizantes e agrotóxicos nas lavouras, fábrica de ração feita a partir de osso de gado através dos rejeitos gerados, o depósito de lixo feito nos quintais das casas em decorrência da falta do serviço de coleta de resíduos sólidos na região, a falta de esgotamento sanitário induzindo o uso de fossas e latrinas na área, o lançamento das águas servidas cinzas nas ruas, entre outras atividades.

PRIMEIRA ETAPA: RESULTADO DA ANÁLISE DO SOLO

O solo da área em estudo é arenoso com textura grossa, exceto no ponto P06 que se trata de um solo franco arenoso com textura moderadamente grossa, porém, todos são bastante semelhantes. Como se tratam de solos arenosos, a sua porosidade é alta e não possuem grande capacidade de retenção de água e de cátions (Tabela 3).

Tabela 3: Resultados das análises físicas do solo contendo informações sobre a composição granulométrica, proporção silte/argila, textura, densidade, porosidade e capacidade do solo em reter água.

Pont o	Composição granulométrica - %				Silte / Argila	Textura	Densidade – g/cm ³		Porosi dade - %	H2O - %		Útil
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			Aparente	Real		1/3 ATM	15 ATM	
P01	19	71	2	8	0,25	Areia	1,23	2,64	53	18	8	10
P02	24	66	2	8	0,25	Areia	1,33	2,77	52	18	8	10
P03	18	73	2	7	0,29	Areia	1,41	2,62	46	17	8	9
P04	25	63	2	10	0,20	Areia franca	1,32	2,61	49	18	10	8
P05	18	77	1	4	0,25	Areia	1,36	2,73	50	16	7	9
P06	14	63	5	18	0,28	Franco arenoso	1,39	2,65	47	22	10	12

*Areia grossa: 2-0,2 mm; areia fina: 0,2-0,05; Silte: 0,05-0,002; Argila: <0,002

Em relação a análises químicas do solo, nos pontos P03 e P04 os parâmetros fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, saturação por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases trocáveis (SB) e matéria orgânica foram mais elevados em comparação com os outros pontos (Tabela 4).

Tabela 4: Resultados das análises químicas do solo, incluindo os macronutrientes.

Parâmetros	Período de estiagem (25/10)					
	P01	P02	P03	P04	P05	P06
MO (g/dm ³)	8	6	10	21	8	6
pH (CaCl ₂)	4,6	4,5	6	6,4	3,6	4,4
P (mg/dm ³)	2	2	59	25	5	2
K (mg/dm ³)	19,55	19,55	86,02	246,33	19,55	19,55
Ca (mg/dm ³)	140	120	700	1260	0	100
Mg (mg/dm ³)	48,624	24,312	48,625	85,092	12,156	36,468
Na (mg/dm ³)	18,392	18,392	91,96	259,787	20,691	22,99
SB (mmolc/dm ³)	12,3	9,3	45,1	87,6	2,3	9,5
Al (mg/dm ³)	0	0	0	0	35,96	35,96
H (mg/dm ³)	16,128	17,136	14,112	13,104	22,176	23,184
CTC (mmolc/dm ³)	28,3	26,3	59,1	100,6	28,3	35,5
Na/CTC (%)	2,9	3,1	6,7	11,2	3,1	2,7
Al/Al+SB (%)	0	0	0	0	63,2	27
V (%)	43,4	35,4	76,3	87,1	8,2	26,7

*SB: soma de bases trocáveis

*V: saturação por bases

Já os pontos que mais se assimilaram ao controle (P06) foram os pontos P02 e P01, pois ambos estão localizados ao sul do lixão e, portanto, por estarem em cota topográfica mais elevada sofrem menor influência. Já o ponto P05 diferencia-se de todos os pontos mesmo estando a 500 m ao norte do lixão (em cota mais baixa), pois não possui resíduos dispostos neste local e está próximo a área com vegetação, não recebendo influência de contaminação direta na superfície do solo (Figura 2).

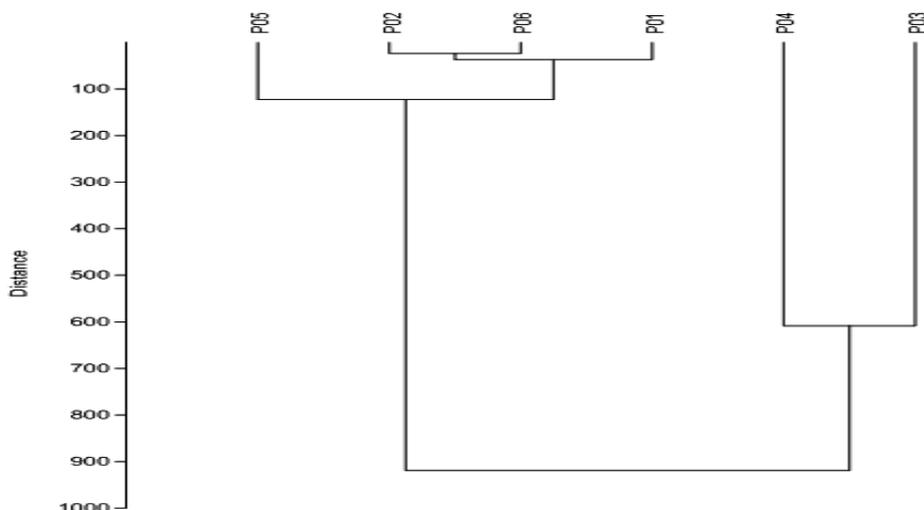


Figura 2: Similaridade dos pontos de solo amostrados em relação a análises químicas, incluindo os macronutrientes.

A análise química dos micronutrientes do solo revelou que os pontos P03 e P04 obtiveram níveis altos de contaminação, evidenciando a contribuição do lixão como propagador de contaminantes ambientais. O mercúrio foi detectado em todos os pontos, inclusive no controle, acima do valor máximo permitido (VMP) pela Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009), comprometendo na região o uso agrícola e residencial. Enfim, o mercúrio teve valores em todos os pontos muito semelhantes, não havendo evidências de sua origem ser exclusiva do lixão (Tabela 5).

Tabela 5: Resultados das análises químicas dos micronutrientes do solo.

Parâmetros - mg/dm ³	Período de estiagem (25/10)						Limite de detecção	VMP (mg/dm ³), Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009.			
	P01	P02	P03	P04	P05	P06		Prevenção	Agrícola (I)	Residencial (I)	Industrial (I)
Zn	ND	ND	295,04	1201,87	0,883	ND	0,0002	300	450	1000	2000
Cu	ND	0,572	113,9	52,23	ND	ND	0,0003	60	200	400	600
Fe	1115,04	599,403	1349,59	1384,86	182,43	430,01	0,0001	-	-	-	-
Mn	5,494	ND	28,25	29,04	ND	3,92	0,00003	-	-	-	-
B	0,328	0,299	2,177	0,818	0,28	0,66	0,0001	-	-	-	-
Pb	8,599	ND	69,57	239,1	10,3	21,4	0,0008	72	180	300	900
Cd	ND	ND	ND	4,44	ND	ND	0,00005	1,3	2	8	20
Ni	ND	ND	ND	1,663	ND	ND	---	30	70	100	130
Hg	43,63	44,53	45,43	41,22	40,6	39,3	0,0008	0,5	12	36	70
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,00015	75	150	300	400

* ND: Não detectado.

* Valores em negrito estão acima do Valor Máximo Permitido (VMP) de acordo com a Resolução CONAMA nº 420, de 2009.

SEGUNDA ETAPA: RESULTADOS DA ANÁLISE DA ÁGUA

A temperatura da água no período de estiagem teve média de 30,3 °C, com desvio padrão de 1,01 °C; já no período chuvoso a média foi 29,25 °C, com desvio padrão de 0,5 °C. A salinidade medida na primeira coleta foi de 1,14 ‰ no P01, de 2,67‰ no P02, 2,81‰ no P03 e 2,84‰ no P04, aumentando em direção à foz do rio (Tabela 6).

Tabela 6: Parâmetros físicos dos quatro pontos de amostragem de água

Parâmetros	Período de estiagem (22/01)				Período chuvoso (20/03)				VMP; CONAMA 357/2005; Classe 1
	P01	P02	P03	P04	P01	P02	P03	P04	
pH	6,63	7,22	7,52	7,16	6,81	7,15	7,61	7,13	6,5 a 8,5
O ₂ (mg/L)	5,588	6,036	6,698	7,005	5,853	6,003	5,576	6,654	Não inferior a 5 mg/L
Sólidos totais em suspensão (mg/L)	6,8	9,3	10,45	10,26	57	25	38	28	---
Turbidez (FTU)	12	12	13	14	95	22	20	11	---
Cor (Pt Co cor)	37	31	27	29	44	25	17	11	---

De acordo com a salinidade e com os usos do trecho em estudo (igarapés) fez-se a classificação, de acordo a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, deste corpo hídrico em água salobra e pertencente à classe 1. Portanto, todos os valores de referência para dos parâmetros analisados foram baseados nessa classificação (BRASIL, 2005).

Parâmetros orgânicos como nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrito e nitrogênio nitrato apresentaram Valores Máximo Permitido (VMP) pela norma, indicando que há um lançamento de carga orgânica constante nesses ambientes; já os resultados para amônia revelaram que no período chuvoso o lançamento de carga orgânica foi mais intenso. Entre os inorgânicos, incluindo os metais pesados, o boro, o chumbo, o mercúrio estavam presentes em todos os pontos amostrados acima do VMP (Tabela 7).

Tabela 7: Parâmetros químicos orgânicos e inorgânicos dos quatro pontos de amostragem de água.

Parâmetros (mg/L)	Período de estiagem (22/01)				Período chuvoso (20/03)				Limite de deteccção	VMP (mg/L); CONA MA 357/2005 , classe 1
	P01	P02	P03	P04	P01	P02	P03	P04		
Fósforo total	0,375	0,21	0,2	0,25	0,83	0,21	0,175	0,135	0,0015	---
Nitrogênio Total	0,85	0,5	0,6	0,4	6,95	1,45	1	0,9	---	---
Amônia	0,175	0,52	0,185	0,235	1,4	0,7	0,6	0,4	---	0,40
Nitrito	0,091	0,032	0,021	0,022	0,07	0,014	0,009	0,005	---	0,07
Nitrato	0,8	0,65	0,55	0,50	1,4	0,7	0,6	0,4	---	0,40
Boro	2,08	2,56	2,75	2,68	1,28	2,42	2,61	2,74	0,0001	0,5
Zinco	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0002	0,09
Níquel	ND	ND	ND	ND	0,021	ND	ND	ND	---	0,025
Manganês	ND	ND	ND	ND	0,02	ND	ND	ND	0,00003	0,1
Magnésio	60,45	58,64	58,69	57,55	40,12	37,38	37,60	36,84	0,00001	---
Potássio	156,5	181,5	187,9	180,5	55,03	103,2	109,8	115,1	0,0003	---
Ferro	ND	ND	ND	ND	0,05	ND	ND	ND	0,0001	0,3
Cobre	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0003	0,005
Cádmio	ND	ND	ND	ND	0,002	ND	ND	ND	0,00005	0,005
Cálcio	65,65	64,74	64,59	65,22	18,59	18,70	18,78	18,80	0,00001	---
Alumínio	ND	ND	ND	ND	0,13	0,06	ND	ND	0,0001	0,1
Chumbo	1,45	2,17	1,86	1,79	---	---	---	---	0,0008	0,01
Molibdênio	0,03	0,07	0,10	0,04	---	---	---	---	0,0005	---
Mercúrio	0,03	0,01	0,006	ND	---	---	---	---	0,0008	0,0002
Cromo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,00015	0,05
Cobalto	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	---

* ND: Não detectado.

* Valores em negrito estão acima do VMP de acordo com a Resolução CONAMA Nº 357, de 2005.

Em todos os pontos de amostragem de água foi detectada a presença de *Escherichia coli*. Os pontos com maior representatividade em relação ao número mais provável por 100 mL de coliformes termotolerantes foram o P01 e o P04, pontos que estão mais próximos às comunidades (Tabela 8).

Tabela 8: Pontos de água amostrados contendo o NMP/100 mL e *Escherichia coli*.

Pontos	Período de estiagem (22/01)		Período chuvoso (20/03)	
	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	<i>Escherichia coli</i>	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	<i>Escherichia coli</i>
P01	2400	Presença	2400	Presença
P02	23	Presença	460	Presença
P03	150	Presença	1100	Presença
P04	2400	Presença	1100	Presença

* Valores em negrito estão acima do VMP de acordo com a Resolução CONAMA nº 274, de 2000 ou Resolução CONAMA nº 357, de 2005.

Há uma variação em relação ao desvio padrão do período de estiagem e chuvoso que pode ser explicado pelo fato de no período de estiagem os pontos P01 e P04 terem tido valores muito maiores que os outros dois em decorrência de receberem esgoto de comunidades próximas; já no período chuvoso a quantidade de coliformes termotolerantes aumenta em virtude da lavagem do solo transportando para estes ambientes mais contaminantes, fator que contribuiu para diminuir o desvio padrão no período chuvoso. Pela semelhança entre os pontos, a Análise de Cluster agrupou os pontos P03 e P04 e os pontos P02 e P03, sendo P02 menor receptor de contaminação e o último é o que tem maior probabilidade de ser influenciado pela presença do lixão (Figura 3).

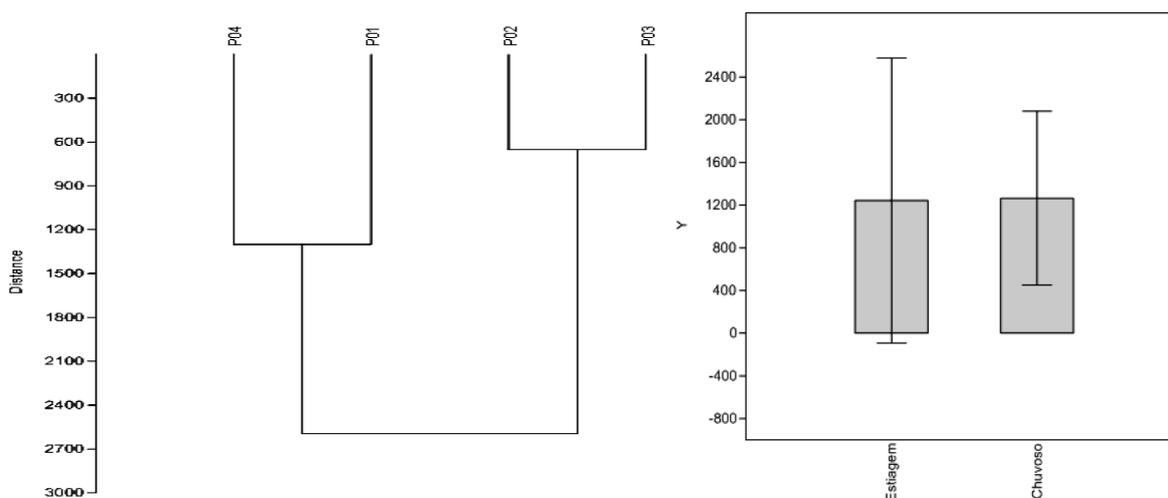


Figura 3: Análise de Cluster e gráfico de barras contendo informações sobre similaridade entre os pontos e o desvio padrão dos resultados de análise de coliformes termotolerantes.

TERCEIRA ETAPA: CLASSIFICAÇÃO FINAL

De acordo com a Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 que dispõe sobre os critérios de qualidade do solo, o P04 apresentou valores acima do VMP para os parâmetros zinco, chumbo, cádmio e mercúrio comprometendo os usos da agricultura e residencial. Em P03, além do mercúrio, o cobre está acima do valor permitido para prevenção. Somente em relação ao parâmetro do mercúrio foram encontrados níveis que comprometem os usos agrícolas e residenciais em todos os pontos avaliados, inclusive o ponto controle (Tabela 9).

Tabela 9: Informação sobre áreas contaminadas (solo) por influência ou não do lixão relacionando ponto com os parâmetros detectados acima do VMP.

Pontos	Parâmetros acima do VMP (influência do lixão)	Parâmetros acima do VMP (sem influência do lixão)
P01	-	Hg
P02	-	Hg
P03	Hg e Cu	Hg
P04	Hg, Pb, Cd e Zn	Hg
P05	-	Hg
P06	-	Hg

Assim, as áreas classificadas como suspeitas de contaminação em relação ao solo com influência direta do lixão de Paço do Lumiar foram confirmadas para os pontos P03 e P04.

Já em relação à água, os resultados dos parâmetros inorgânicos foram pouco representativos para confirmar que o lixão seja um grande contribuinte para a contaminação dos corpos hídricos da região. O que se pode confirmar é que a contaminação ao longo da bacia reflete significativamente na qualidade da água da região. Assim, confirma-se a contaminação de todos os pontos analisados, mas não se pode dizer que o lixão seja o maior contribuinte para tal (Tabela 10).

Tabela 10: Informações contendo os parâmetros acima do VMP em cada ponto de amostragem de água nos períodos de estiagem e chuvoso.

Pontos	Parâmetros acima do VMP (estiagem)	Parâmetros acima do VMP (chuvoso)
P01	Nitrito, nitrato, boro, chumbo, mercúrio	Amônia, nitrato, boro, alumínio
P02	Amônia, nitrato, boro, chumbo, mercúrio	Amônia, nitrato, boro
P03	Nitrato, boro, chumbo, mercúrio	Amônia, nitrato, boro
P04	Nitrato, boro, chumbo, mercúrio	Boro

Mesmo não entrando como parâmetro classificador, o número mais provável de coliformes termotolerantes por 100 ml não pode ser desconsiderado em função dos altos valores assumidos, principalmente em pontos com influência direta das comunidades.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A textura média a grossa dos solos arenosos da área de estudo são classificados pela EMBRAPA (2006) como excessivamente a fortemente drenados. Já a relação silte/argila, de acordo com a EMBRAPA (2006), quando apresenta valor menor que 0,7 para solos de textura média, os seus valores admitem que se trate de solo com baixo teor de silte e, portanto, com alto grau de intemperismo, fato que pode ser admitido pelos solos dos seis pontos analisados. Em relação à capacidade do solo de reter água e que é disponível para as plantas (útil) e está relacionado com a capacidade de campo (Cc) – 1/3 atm – e o ponto de murchamento (Pm) – 15 atm é considerada baixa (EMBRAPA, 2006).

Se a permeabilidade do solo for elevada, caso verificado no solo onde está localizado o lixão de Paço do Lumiar, há alta possibilidade de ocorrer movimento de massas de poluentes descendentes para a água subterrânea (LISK, 1991). Portanto, essas características do solo verificadas neste estudo são facilitadoras para a contaminação do subsolo, águas subterrâneas e águas superficiais da região.

Em análise do chorume realizado no Reino Unido foi verificado que o sódio foi encontrado em 15 aterros na faixa entre 43-2500 mg/L, já o magnésio de 12-480 mg/L, o potássio entre 20-650 mg/L, o cálcio de 165-1150 mg/L (ROBINSON et al., 1982 apud LISK, 1991). Isso se tornou evidente no lixão de Paço do Lumiar em relação aos pontos P03 e, principalmente, ao P04, pois todos estes parâmetros analisados por Robinson et al. (1982) apud Lisk (1991) foram mais evidentes nestes pontos em virtude da disposição de resíduos nestes locais.

A saturação por bases é maior em P03 e P04, significando que há maiores quantidades de cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} adsorvidos nos coloides que Al^{3+} e H^{+} . Isso está diretamente ligado ao pH, em que elevar a saturação de

bases (V%) aumenta o pH em função da adsorção do H⁺ do solo e diminui a saturação por Al³⁺. Solos com V% maior que 50% são considerados férteis ou eutróficos e geralmente são ricos em nutrientes, incluindo o cálcio (Ca). A soma de bases trocáveis (SB) refere-se à soma de cálcio, magnésio, potássio e se necessário sódio, todos na sua forma de cátion trocável no solo (LOPES; GUILHERME, 2004).

A diferença desses parâmetros identificados em P03 e P04 em relação aos demais pontos, deve-se ao fato da presença de resíduos sólidos contendo material orgânico, aumentando a CTC, a SB, a V% e o pH, tornando este solo mais fértil do ponto de vista da agricultura por possuírem uma maior carga de nutrientes (Na, P, Ca, K, Mg).

Seguindo os parâmetros da EMBRAPA (2006), o solo com as características do P05 é extremamente ácido, já os pontos P01, P02 e P06 são fortemente ácidos e os pontos P03 e P04 são moderadamente ácidos. Os latossolos, tipo de solo da área em estudo, possuem características que variam de fortemente a bem drenados, fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos (EMBRAPA, 2006). Porém, essas características se alteram em P03 e em P04 em função de conterem resíduos. O caráter alcalino segundo Oliveira e Jucá (2004) do chorume dos resíduos é outro fator que contribui para o aumento do pH nos locais com influência de contaminação por lixo.

No lixiviado de 15 aterros sanitários do Reino Unido foram detectadas concentrações de cromo entre <0,05-0,14 mg/L, de manganês entre 0,32-26,5 mg/L, de ferro entre 0,09-380 mg/L, níquel entre <0,05-0,16, cobre entre <0,01-0,15, zinco entre <0,05-0,95, cádmio entre <0,005-0,01 e chumbo entre <0,05-0,22. (ROBINSON et al., 1982 apud LISK, 1991). Todos estes metais, com exceção do cromo, foram detectados no solo do lixão de Paço do Lumiar nos pontos com disposição de resíduos sólidos, porém em níveis mais elevados em comparação com os valores verificados nos aterros do Reino Unido em virtude do acúmulo desses metais e da sua recalitrância no ambiente.

A presença de zinco no ponto P04 compromete o uso agrícola e residencial nesta localidade. Já o cobre foi um micronutriente encontrado apenas nos pontos P02, P03 e P04, porém já deve-se ter uma atenção especial desse parâmetro, pois em P03 apresenta níveis de acima do VMP de prevenção. Já o ferro está presente em todos os pontos, porém os valores dos pontos P03 e P04 são muito elevados em comparação com os outros pontos. Em análise do chorume percolado no aterro da Muribeca em Recife (PE), realizada por Oliveira e Jucá (2004), revelou que os elementos mais concentrados neste percolado eram o ferro e o alumínio e atribuíram este fato à corrosão e/ou à biodeterioração de materiais metálicos confinados no aterro (OLIVEIRA; JUCÁ, 2004).

O chumbo obteve valores significativos nos pontos P03 e P04, sendo que neste último, tem seu uso residencial comprometido e o primeiro (P03) está com valor quase chegando ao limite estabelecido para prevenção. Já o cádmio foi detectado apenas no ponto P04 e em função disso compromete o uso residencial deste ponto.

Comparando-se dados de diversas áreas de disposição de resíduos sólidos (lixão de Apodi (RN), lixão desativado de Lages (SC), lixão de Visconde do Rio Branco (MG) e de aterros do Estado do Rio Grande do Norte) contidos no trabalho de Pinto-filho et al (2012) com os detectados no município de Paço do Lumiar, verificou-se que os níveis de zinco, ferro, cobre, cádmio e chumbo estão bastante elevados, chegando alguns destes superar os valores encontrados por Pinto-filho et al (2012) (Tabela 11).

Tabela 11: Níveis de metais pesados encontrados no lixão de Paço do Lumiar em comparação com outros locais de disposição de resíduos sólidos

Metais pesados	Lixão Paço do Lumiar (P03)	Lixão Paço do Lumiar (P04)	Lixão do Apodi – RN	Lixão de Lages (desativado) – SC	Lixão de Visconde do Rio Branco – MG	Aterros do Rio Grande do Norte
Cd (mg/dm ³)	ND	4,44	0,36	0,2	1,62	6,43
Cr (mg/dm ³)	ND	ND	43,5	13,1	107,19	95,24
Cu (mg/dm ³)	113,9	52,23	57,6	-	65,07	-
Fe (mg/dm ³)	1349,59	1384,86	34,56	-	34,43	-
Mn (mg/dm ³)	28,25	29,04	128,4	-	281,43	-
Ni (mg/dm ³)	ND	1,663	8,9	7,2	43,6	48,42
Pb (mg/dm ³)	69,57	239,1	139,0	8,9	28,62	106,23
Zn (mg/dm ³)	295,04	1201,87	256,9	-	0,78	-

Fonte: Dados do lixão de Paço do Lumiar (PINHEIRO, 2014); outros dados (PINTO-FILHO et al., 2012)

É importante destacar que no lixão de Santa Catarina, mesmo desativado, ainda verifica-se a presença de contaminantes como cádmio, cromo, níquel, chumbo em virtude de sua recalcitrância no ambiente. Oliveira e Jucá (2004) destacam que a presença de metais pesados pode ser um indicativo que o local de disposição de resíduos sólidos esteja recebendo materiais industrializados, aumentando a recalcitrância do percolado. Já no aterro do Rio Grande do Norte, mesmo tendo uma infraestrutura mais adequada, há contaminação alta com cádmio, cromo, níquel e chumbo, enfatizando o fato de que a disposição de resíduos sólidos é fonte de contaminantes em potencial para o ambiente.

Em trabalho realizado por MARQUES (2011) em três áreas de disposição, sendo um aterro sanitário, um controlado e um lixão já desativado, detectou-se a presença de contaminantes no solo como cobre acima do valor de prevenção, níquel e cromo acima dos valores de intervenção principalmente em camadas mais profundas (20-40 cm), sendo esses valores mais elevados à jusante do que no próprio local de disposição. Isso pode ser explicado em decorrência dos metais pesados terem a capacidade de recalcitrância e, portanto, são cumulativos no ambiente. (MARQUES, 2011). O mesmo fato observado por Marques (2011) foi evidente neste estudo, que em alguns casos o ponto P04 apresentou valores de metais mais elevados que em P03.

Oliveira e Jucá (2004) destacam que em maiores profundidades do solo abaixo de áreas de disposição de resíduos sólidos são encontrados nos percolados níveis elevados de metais pesados e que a partir de uma determinada profundidade esta concentrações de metais tornava-se quase constante (OLIVEIRA; JUCÁ, 2004). Esta assertiva torna-se um fator preocupante, pois os níveis de metais pesados encontrados no lixão de Paço do Lumiar, e que já comprometem a qualidade ambiental, podem ser muito maiores em maior profundidade, sendo uma fonte potencial de contaminação, podendo comprometer a qualidade das águas subterrâneas da região.

Em estudo realizado por Marques (2011) em corpos hídricos superficiais que recebem influência da área de disposição de resíduos sólidos no período de estiagem foi identificado valores de alguns parâmetros acima do VMP, mas no período chuvoso esses níveis se intensificavam. Neste mesmo trabalho, foram detectados em corpos hídricos superficiais próximos a áreas de disposição de resíduos sólidos, incluindo um aterro sanitário, níveis elevados de DBO5, cor, turbidez, amônia. Já fora da área de influência das áreas de disposição analisados por Marques (2011) foram detectados também altos níveis de fósforo, ferro, alumínio, mercúrio, zinco e manganês. Isto evidencia que podem as água superficiais carregam consigo outras informações contidas de fontes de contaminação diversas.

O mercúrio encontrado no solo e água superficial pode ter outras origens que não a do lixão. Micaroni, Bueno e Jardim (2000) destacam que a origem antrópica do mercúrio pode estar associada a indústrias que queimam combustíveis fósseis, incineradores de lixo, polpa de papel, tintas, pesticidas, fungicidas, lâmpadas de vapor de mercúrio, baterias e outras fontes. Porém destaca-se na área de estudo a atividade intensa da agricultura que poderia ser uma hipótese de fonte de contaminação por mercúrio em função dos pesticidas utilizados.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O local em que é feita a disposição de resíduos sólidos em Paço do Lumiar foge dos critérios para tal atividade, pois há na região ecossistemas de grande valor ambiental e econômico, e, além disso, há uma vulnerabilidade gerada pelo solo e geologia local que tornam este compartimento facilitadores do processo de transporte de contaminantes para as águas subterrâneas e superficiais. Os solos arenosos geralmente possuem baixo teor de matéria orgânica, possui um alto potencial de lixiviação de poluentes, baixa capacidade de armazenamento de nutrientes e, por isso, não são adequados para construção de aterros.

Em virtude disso, a região tem sido contaminada fato comprovado pela análise de solo, em que os pontos com influência direta do lixão foram classificados como áreas contaminadas em virtude da presença de metais pesados acima do VMP pela Resolução CONAMA n° 420 de 2009 e que prejudicam diversos usos do solo, incluindo o uso residencial e agrícola. Além disso, a presença de mercúrio em áreas fora da área de influência direta do lixão acima do VMP pela lei pode ser uma evidência de que outros usos da bacia podem estar contribuindo para tal contaminação e, portanto, devem ser investigados.

No entanto, verificaram-se através da análise de água que os usos da bacia do rio Paciência são fatores que determinam a contaminação dos corpos hídricos superficiais da região e que o lixão pode ser apenas mais uma das atividades que podem contribuir para tal fato. Um dos maiores contribuintes na contaminação dos recursos hídricos superficiais é o efluente gerado pelas comunidades do entorno. Assim, detectaram-se substâncias orgânicas e inorgânicas, com destaque para os metais pesados, e coliformes termotolerantes, incluindo a espécie *Escherichia coli*, em vários pontos amostrados.

Importante destacar que os valores elevados de vários parâmetros, tanto no solo quanto na água, comprometem usos de forma salubre desses ambientes, pois oferecem risco iminente para a saúde da população que ali vive e que tira seu sustento e alimento daquela região. Destaca-se nesse contexto que a agricultura e a pesca são atividades que alavancam a economia local e que podem estar sendo comprometidas com a contaminação da região pelos diversos usos da terra na bacia estudada.

Porém, há a necessidade de estudos posteriores e mais detalhados que possam avaliar os riscos inerentes aos compartimentos ambientais da região, incluindo o estudo da contaminação de águas subterrâneas que se tratam de áreas potencialmente contaminadas. E o monitoramento da área deve ser feito de forma contínua, mesmo que o lixão seja desativado futuramente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed. Washington: APHA, 2005.
2. BAUMGARTEN, M.G.Z.; ROCHA, J.M. de B.; NIENCHESKI, L.F.H. *Manual de análises em oceanografia química*. Rio Grande: Editora da FURG, 1996.
3. BRANDÃO, C.J. et al. (Org.). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Carlos Jesus et al. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
4. BRASIL. *Lei Federal n° 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. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm. Acesso em: 02/15/2016.
5. BRASIL. *Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005*. 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. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 14/05/2016.
6. BRASIL. *Resolução CONAMA 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. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 14/05/2016.
 7. CETESB/GTZ. *Manual de Gerenciamento de áreas Contaminadas*. São Paulo: Cooperação Técnica Brasil-Alemanha CETESB/GTZ, 1999.
 8. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. *Manual de procedimentos de coleta e Metodologia de análise de água*. Belo Horizonte: Cemig, 2009.
 9. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Sistema Brasileiro de classificação de solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.
 10. FEITOSA, A. C.; TROVÃO, J. R. *Atlas escolar do Maranhão: espaço geo-histórico e cultural*. João Pessoa: Grafiset, 2006.
 11. GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da. *Impactos ambientais urbanos no Brasil*. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
 12. HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T; RYAN, P.D. *Paleontological Statistics software package for education and data analysis (PAST) versão 2.15. Paleontological Eletronica*, 2001.
 13. IBGE Cidades. *Dados do Município de São Luís - Censo 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br/cidadesat/. Acesso em: 10/10/2012.
 14. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Atlas Nacional do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.
 15. _____. *Pesquisa nacional de saneamento básico 2008*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoedevida/pnsb/pnsb.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2016.
 16. LISK, D. J. *Environmental effects of landfills. The Science of the Total Environment, Amsterdam*, v. 100, p. 415-468, 1991.
 17. LACERDA, L. D. *Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro. Química Nova*, v. 20, n. 2, p. 196-199, 1997.
 18. LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. *Interpretação da Análise do Solo - Conceitos e aplicações. São Paulo: Atual*, 2004. 51p. Boletim Técnico n. 2.
 19. MICARONI, R. C. C. M.; BUENO, M. I. M. S.; JARDIM, W. F. *Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. Química Nova*, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 487-495, 2000.
 20. MARQUES, R.F. de P.V. *Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais*. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras UFLA, Lavras, 2011.
 21. OLIVEIRA, F.J.S; JUCÁ, J.F.T. *Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 211-217, 2004.
 22. PAÇO DO LUMIAR. *Plano diretor de Paço do Lumiar*. Paço do Lumiar: Prefeitura Municipal de Paço do Lumiar, 2006.
 23. PARANHOS, R. *Alguns métodos para análise da água*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1996.
 24. PINTO-FILHO, J. L. de O; et al. *Monitoramento dos teores totais e disponíveis de metais pesados no lixão do município de Apodi-RN. Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, Mossoró, v. 7, n. 1, p. 141-147, 2012.
 25. RIBEIRO, D.V.; MORELLI, M.R. *Resíduos sólidos: problema ou oportunidade?* Rio de Janeiro: Interciência, 2009.
 26. SABBAG, S.K. *Orientações técnicas para coleta, acondicionamento e transporte de amostras de solo*. Brasília: Ministério da Saúde, 2013.
 27. SAS INSTITUTE INC. *JMP Statistics and Graphics Guide, Version 3.2.6. Computer software and manual*. North Carolina, 1995.
 28. SILVA, N. et al. *Manual de métodos de análise microbiológica da água*. São Paulo: Livraria Varela, 2005.
 29. SNIS. *Série Histórica 6: perfil do órgão gestor municipal e perfil das unidade de processamento*, 2006. Brasília: SNIS, 2006 Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=29>. Acesso em: 15/12/2012.
 30. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *Soil sampling quality assurance user's guide – EPA 600/8-89/046. Las Vegas: Environmental Monitoring Systems Laboratory*, 1989.

31. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *Description and Sampling of Contaminated Soils – A field pocket guide – EPA 625/12-91/002*. Cincinnati: Center for Environmental Research Information, 1991.
32. VAN RAIJ, B. et al. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto agrônômico, 2001.