



Evolução da Contaminação Produzida Pelo Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu nos Recursos Hídricos da Cidade de Fortaleza (2001 a 2016) e Considerações Sobre Estabilidade Geotécnica

José Antonio Beltrão SABADIA¹, Cynthia Romariz DUARTE¹, Tomaz Alexandre SILVA NETO², Camila Praxedes Braga TEIXEIRA²

Resumo: O Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu encontra-se localizado na região centro-sul de Fortaleza, encaixado na margem esquerda do rio Cocó, cuja bacia hidrográfica recobre mais de 64% de todo o município. O aterro teve entre os anos 1996 e 2001 o seu impacto monitorado nas águas superficiais e subterrâneas do município de Fortaleza com uma ampla quantidade de parâmetros físico-químicos e biológicos, o que permitiu caracterizar o estado da contaminação produzida nos recursos hídricos do referido município de uma maneira jamais anteriormente realizada no estado do Ceará. Mesmo depois de deixar de operar, em 1998, o Aterro do Jangurussu segue produzindo chorume, produto da lixiviação, que escorre livremente por suas pendentes norte, leste e sul, diretamente para os corpos de águas superficiais existentes, como também infiltrando-se nas águas subterrâneas e surgindo como fluxo de base do rio Cocó, uma vez que a carga hidráulica mais elevada no corpo do aterro imprime ao rio um regime efluente na sua margem esquerda. Os metais são quimicamente altamente reativos e bioacumuláveis (pesados), ou seja, os organismos não são capazes de eliminá-los e seu repasse para a cadeia alimentar ocorre com facilidade. Os seres vivos necessitam de pequenas quantidades de alguns desses metais para a realização e processamento de muitas das funções vitais no organismo. Foram também monitoradas um total de 19 pendentes, para fins da avaliação da estabilidade da massa de resíduos do aterro, nos setores norte, sul, leste e oeste, com o auxílio de clinômetro e de diversas fotografias perpendiculares (ortogonais) ao corte lateral das linhas de maior inclinação, igualmente para efeito de comparação do que se havia realizado nos trabalhos anteriores. **Palavras-Chave:** Contaminação hídrica, Aterro de resíduos sólidos, Instabilidade geotécnica.

Abstract: *The Landfill Solid Urban and Industrial Waste of Jangurussu is located in the south central region of Fortaleza city, docked on the left margin of the Cocó River, whose basin covers more than 64% of the whole council. The landfill had between 1996 and 2001, their impact monitored in surface and groundwater water in the city of Fortaleza with a large amount of physical, chemical and biological parameters which allowed to*

¹ Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará - UFC

² Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará - UFC

Autor para correspondência: José Antonio Beltrão Sabadia

Campus Universitário do Pici - Bloco 912 - Fortaleza/CE

CEP 91501-970. E-mail: sabadia@ufc.br

Recebido em 22 de Dezembro de 2017 / Aceito em 04 de Abril de 2018.

characterize the state of the contamination produced in the water resources of the municipality of way never previously performed in the state of Ceará. Even after ceasing operations in 1998, the Landfill Jangurussu still producing leaching, which runs freely by its northern slopes, east and south, directly to bodies existing surface water, as well as infiltrating into groundwater and emerging as a base stream of Cocó river, since the higher hydraulic load on the dump body prints the river effluent scheme in its left. Metals, notably heavy metals are chemically highly reactive and bioaccumulative, i.e., organisms are not able to eliminate them and their transfer into the food chain occurs easily. Living organisms require small amounts of some of these metals for processing and performing many vital functions in the body. Were also monitored a total of 19 pending, for the purpose of assessment of mass stability of landfill waste in the northern sectors, south, east and west, with the aid of inclinometer and several perpendicular photographs (orthogonal) to the lateral cutting lines the steepest also for comparison than had been done in previous work.

Keywords: *water contamination, solid waste landfill, geotechnical instability.*

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são unidades obrigatórias de estudo na discussão envolvendo o planejamento urbano, na medida em que os muitos resíduos e efluentes gerados pelas aglomerações urbanas interferem na vida de todos os usuários da bacia (MARICATO, 2001; VON SPERLING, 2005).

A área da bacia hidrográfica do rio Cocó que compõem a maior parte do município de Fortaleza sofre forte degradação devido à ação antrópica, resultante do crescimento desordenado e “desenvolvimento urbano”. O processo de urbanização da cidade de Fortaleza juntamente com a falta de planejamento e gestão adequada e concomitante dos recursos naturais contribuíram de maneira efetiva para o surgimento dos problemas ambientais enfrentados atualmente. A qualidade da água da bacia do rio Cocó encontra-se notavelmente comprometida provocando sérios problemas sociais, marcadamente de saúde pública e econômicos.

O Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu está localizado na porção centro-sul da cidade

de Fortaleza, encaixado na margem esquerda do rio Cocó, cuja bacia hidrográfica recobre mais de 64% de todo o município (Figura 1), como já anteriormente dito.

A bacia hidrográfica do rio Cocó encontrasse dividida em 6 sub-bacias. A área de estudo está localizada na Bacia B2 que tem como recursos hídricos macrodrenantes o rio Cocó, o rio Coaçu e algumas lagoas importantes, pequenos açudes, estações de tratamento de esgotos e canais. O aterro encontra-se inserido na planície fluvial do rio Cocó que drena as litologias pré-cambrianas a sul da cidade de Fortaleza (o rio nasce na vertente oriental da serra da Aratanha, município de Pacatuba), passando a percorrer posteriormente os sedimentos pliopeistocênicos da formação Barreiras e, alcançando sua foz entre os importantes manguezais, paleodunas e dunas e, finalmente areias das praias do Clube do Caça e Pesca e Sabiaguaba (Oceano Atlântico). A precipitação média anual é da ordem de 1.400mm, com notável densidade de chuvas entre os meses de janeiro a julho e, a temperatura média anual encontra-se pouco acima



Figura 1: Localização do aterro do Jangurussu na porção centro-sul da cidade de Fortaleza (contornado em vermelho) com o rio Cocó à direita (em verde), mostrando a densa urbanização em torno do seu curso e a localização dos nove pontos de coleta. Fonte: Google Earth, 2014. Norte indicado no extremo direito da imagem. (9): ponto de coleta do lixiviado.

dos 26°C, tendo por base as séries históricas da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2015).

O aterro de resíduos sólidos urbanos do Jangurussu foi projetado para uma vida útil de dez anos, mas acabou funcionando por mais de 20 anos. Durante seu tempo de funcionamento, era o único local existente para atender oficialmente toda a demanda de disposição final de resíduos para a cidade de Fortaleza, recebendo uma média diária de 3.300 toneladas de lixo, que era assimilada por uma área de aproximadamente 30 hectares.

Mais de uma década após sua desativação, o antigo aterro que se estende na região do Jangurussu continua a contaminar o lençol freático, contaminar e poluir continuamente o rio Cocó, e provocar doenças nas

populações residentes no seu entorno, cuja qualidade de vida é seriamente prejudicada. A contaminação do lençol freático e das águas superficiais acontece devido as precipitações que alcançam facilmente a massa dos resíduos e que lixiviam todo seu corpo, que chega a atingir mais de 35 metros de espessura. Parte dessa água escoou ou acumula-se na superfície e outra grande parte se infiltra e migra para o subsolo, elevando a carga hidráulica (lençol freático) na massa de resíduos. Este líquido lixiviado constitui o chorume, que apresenta cor escura e turva, odor desagradável e elevada carga contaminante.

O lixiviado apresenta altas concentrações de matéria orgânica e quantidades consideráveis de matéria inorgânica. Grande parte dos poluentes inorgânicos, como os metais pesados, é tóxica e provocam alterações no

metabolismo quando em altas concentrações por apresentarem características bioacumulativas.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi o de avaliar a evolução multitemporal dos impactos relacionados aos metais, incluindo metais pesados, nos recursos hídricos da cidade de Fortaleza (águas superficiais e subterrâneas) analisando sua qualidade de acordo com a legislação vigente (limites para consumo humano e para a classe de enquadramento das águas do referido rio), além do comprometimento promovido nas atividades desenvolvidas em seu entorno. Adicionalmente foram realizadas medidas das pendentes a norte, sul, leste e oeste do aterro, com vista a uma avaliação prévia da estabilidade geotécnica comparada aos dados de anos anteriores.

Para tanto, os objetivos específicos foram:

- Cobertura analítica em relação a metais pesados nos recursos hídricos superficiais, subterrâneos e do lixiviado; A cobertura analítica compreendeu análises para Na⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, S²⁻, Fe, P, Al, B, Ba, Cr, Ni, Mn, Cu, Co, Cd, Zn, Pb, Sb, Ag, Mo, As, Se e Hg, além das medidas de campo de pH, Temperatura, CE (condutividade elétrica).
- Avaliação dos processos de atenuação ou de incremento da contaminação/poluição desde o trabalho inicial, Sabadia, 2001, até os dias atuais;
- Avaliação dos impactos antrópicos gerados nesse ecossistema e contexto urbanos; tanto do ponto de vista da contaminação/poluição imposta pelo aterro, quanto em relação aos riscos de instabilidade geotécnica;
- Propor medidas de conservação, contenção e de estabilidade geotécnica e, se cabíveis e possíveis de recuperação e

de controle da contaminação/poluição a serem adotadas; e,

- Repassar aos governos estadual e municipal os resultados obtidos, permitindo assim que a população possa se tornar consciente dos riscos a que se encontra submetidos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A seleção dos pontos de amostragem foi realizada contemplando os principais setores hídricos integrantes da região sul da sub-bacia B2 (Superficiais e subterrâneos). Desse modo, foram escolhidos nove pontos de amostragem todos próximos a região do referido aterro, sendo quatro pontos no rio Cocó, um ponto em um riacho afluente do rio Cocó, ao norte do aterro, três pontos contemplando amostras de águas de poços tipo amazonas e um ponto de surgência de lixiviado/chorume (Tabela 1).

Previamente foram realizadas as consultas bibliográficas, os levantamentos cartográficos, aerofotográfico e de imagens de satélites; o cadastro e georreferenciamento com GPS dos pontos de águas superficiais e subterrâneas e da única surgência de chorume existente a fim de compor a malha de amostragem; tudo como previsto no projeto original de pesquisa.

Como já comentado, a cobertura analítica compreendeu análises para Na⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, S²⁻, Fe, P, Al, B, Ba, Cr, Ni, Mn, Cu, Co, Cd, Zn, Pb, Sb, Ag, Mo, As, Se e Hg, além das medidas de campo de pH, Temperatura, CE (condutividade elétrica). Foram escolhidos pontos de amostragem tanto a montante quanto a jusante do aterro do Jangurussu, cuja escolha teve por base a coincidência com a localização dos locais anteriormente utilizados no trabalho de Sabadia, 2001, justamente para possibilitar uma

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem na área da sub-bacia B2.

Ponto	X	Y	Localização	Tipo
1	551174	9573341	Ponte do Anel Viário	Rio Cocó
2	552369	9576754	Ponte da Avenida Perimetral	Rio Cocó
3	553143	9577256	Ponte da Avenida Castelo de Castro	Rio Cocó
4	553879	9578715	Ponte da Avenida Paulino Rocha	Rio Cocó
5	552240	9577307	Administração do Aterro	Poço Amazonas
6	552824	9577808	Rua Amâncio Pereira, s/n	Riacho Afluente
7	552900	9577936	Rua Amâncio Pereira, 1061	Poço Amazonas
8	552917	9577560	Rua Topázio, 215	Poço Amazonas
9	552770	9577110	Surgência leste	Lixiviado

comparação da evolução temporal da qualidade destas águas. Oito (8) dos locais amostrados foram exatamente os mesmos referenciados no citado trabalho de tese, entretanto, principalmente dada a robusta e densa urbanização acontecida ao longo destes muitos anos (2001 a 2015), notavelmente ao norte do aterro, todos os piezômetros (poços de monitoramento com filtro curto em relação a sua profundidade de instalação para a captação das águas subterrâneas), foram destruídos; um total de oito (8) pontos. No sentido de suprir esta divergência foi possível localizar um poço do tipo amazonas (cacimba), com profundidade média de captação de água subterrânea idêntica a dos piezômetros destruídos, em um ponto central comum em distância aos antigos piezômetros utilizados; cacimba situada na rua Topázio nº 215 (casa do Senhor Deuzinho), sendo esta a melhor e única solução encontrada para as futuras comparações evolutivas mais refinadas dos processos de contaminação/poluição multitemporal pretendidas.

As coletas de amostras de água foram iniciadas no mês de junho de 2014. Todas as coletas foram realizadas no período da manhã, nos horários compreendidos entre 5 e 9 horas, em função de se poder cumprir/obedecer o holding time (tempo de garantia) entre a coleta e a análise laboratorial, todas realizadas em laboratório de referência em São Paulo, capital (apesar de se saber que os metais são bem resistentes, quando devidamente preservados e acondicionados). Para acondicionar as amostras, foram utilizados frascos de vidro em cor âmbar, com 500ml, utilizando como conservante ácido nítrico no sentido de evitar a precipitação dos metais. Os frascos foram completamente cheios, com o devido cuidado de não se deixar transbordar, para se evitar perder o conservante e não se causar qualquer dano possível. As amostras foram devidamente rotuladas, identificadas, resfriadas com bolsas térmicas apropriadas e acondicionadas em coolers (geladeiras de plástico), tendo-se o cuidado de sempre introduzir o “branco”

para controle de temperatura durante o tempo de transporte até o laboratório. As análises foram realizadas de acordo com os Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; Métodos de Referências do US-EPA (United States Environmental Protection Agency). Foram verificados in loco parâmetros como temperatura, pH e condutividade elétrica das águas amostradas para parametrização, apoio laboratorial, conhecimento e registro (dados básicos).

Com o auxílio de clinômetro e de diversas fotografias perpendiculares (ortogonais) ao corte lateral das linhas de maior inclinação, igualmente para efeito de comparação do que se havia já realizado nos trabalhos anteriores, foram também monitoradas um total de 19 pendentes, para fins da avaliação da estabilidade da massa de resíduos do aterro, nos setores norte, sul, leste e oeste do aterro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para fins de comparação foram geradas e serão apresentadas a seguir cinco (5) tabelas que representam a qualidade das águas do entorno do Aterro do Jangurussu entre dezembro de 1997 a novembro de 1998 (SABADIA, 2001) e, no período de junho de 2014 a maio de 2015, de maneira a se poder avaliar de forma evolutiva o contraste entre estes dois períodos. Para tanto se utilizou os símbolos seta verde (↓) para atenuação dos valores e seta vermelha (↑) incremento dos valores. A notação <LD indica que o valor está abaixo do limite de detecção. Todos representam valores médios. Os resultados obtidos vêm nas tabelas a seguir:

4.1 Lixiviados

A tabela 2 apresenta a análise comparativa entre os parâmetros monitorados para os lixiviados no trabalho de Sabadia, 2001 e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015).

Tabela 2. Análise comparativa entre os parâmetros monitorados para os lixiviados no trabalho de Sabadia (2001) e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015). Todos representam valores médios. Seta verde (↓) atenuação e seta vermelha (↑) incremento. <LD (limite de detecção). Ponto 9 surgências de lixiviados.

Parâmetro	Surgência a Leste do Aterro (dez/97 e nov/98)	Surgência a Leste do Aterro (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
pH (campo)	7,74	8,12	↑
Temperatura (°C)	27,5	35,33	↑
CE (μS/cm)	28.000	9.680	↓
Cl ⁻ (ppm)	4.654	2.667	↓
HCO ₃ ⁻ (ppm)	8.437	3.767	↓
CO ₃ ⁼ (ppm)	965	536	↓
NO ₃ ⁻ (ppm)	99	66	↓
NO ₂ ⁻ (ppm)	8,2	3,8	↓
NH ₄ ⁺ (ppm)	2.359	1.435	↓
COT (ppm)	2.998	1.260	↓

Tabela 2: continuação...

Parâmetro	Surgência a Leste do Aterro (dez/97 e nov/98)	Surgência a Leste do Aterro (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
Na ⁺ (ppm)	2.108	1.330	↓
Mg ⁺⁺ (ppm)	123	176,5	↑
K ⁺ (ppm)	2.378	1.169	↓
Ca ⁺⁺ (ppm)	64,1	89,5	↑
S ⁼ (ppm)	48	66,15	↑
Fe (ppm)	16,5	2,09	↓
P (ppm)	8,2	6,61	↓
Al (ppm)	2,1	0,76	↓
B (ppm)	1,88	2,63	↑
Ba (ppm)	0,97	0,145	↓
Cr (ppm)	0,91	0,072	↓
Ni (ppm)	0,33	0,162	↓
Mn (ppm)	0,17	0,102	↓
Cu (ppm)	0,13	2,79	↑
Co (ppm)	0,1	0,06	↓
Cd (ppm)	< LD	< LD	< LD
Zn (ppm)	0,33	0,104	↓
Pb (ppm)	0,1	0,03	↓
Sb (ppm)	< LD	0,04	↑
Ag (ppm)	< LD	< LD	< LD
Mo (ppm)	< LD	29,8	↑
As (ppm)	< LD	13,7	↑
Se (ppm)	< LD	11,9	↑
Hg (ppm)	< LD	< LD	< LD

4.2 Águas Subterrâneas (Ponto 5 a Montante do Aterro e Pontos 7 e 8 a Jusante)

As tabelas 3, 4 e 5 apresentam a análise comparativa entre os parâmetros monitorados no trabalho de Sabadia, 2001 e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015).

Os dados atuais foram comparados à média dos valores dos oito (8) piezômetros monitorados no trabalho de Sabadia (2001). Estes piezômetros

foram construídos na profundidade correspondente a profundidade deste poço (os piezômetros originais foram todos destruídos).

Tabela 3. Análise comparativa entre os parâmetros monitorados no trabalho de Sabadia (2001) e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015). Todos os valores são médios. Seta verde (↓) atenuação e seta vermelha (↑) incremento. <LD (limite de detecção). Ponto 5 é relativo as águas dos poços amazonas da administração do aterro do Jangurussu à oeste do aterro (Montante).

Parâmetro	Poço Amazonas Administração (dez/97 e nov/98)	Poço Amazonas Administração (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
pH (campo)	6,3	6,1	↓
Temperatura (°C)	29,75	28,83	↓
CE (μS/cm)	821	1.027	↑
Cl ⁻ (ppm)	90,2	97,3	↑
HCO ₃ ⁻ (ppm)	50,4	110	↑
CO ₃ ⁻ (ppm)	41,2	< LD	↓
NO ₃ ⁻ (ppm)	40,1	1,48	↓
NO ₂ ⁻ (ppm)	0,15	< LD	↓
NH ₄ ⁺ (ppm)	0,5	< LD	↓
COT (ppm)	3,77	4,5	↑
Na ⁺ (ppm)	56,8	87,6	↑
Mg ⁺⁺ (ppm)	19,6	27,67	↑
K ⁺ (ppm)	9,5	16,63	↑
Ca ⁺⁺ (ppm)	13,75	42,15	↑
S ⁻ (ppm)	12,43	12,46	↑
Fe (ppm)	0,105	<LD	↓
P (ppm)	<LD	0,07	↑
Al (ppm)	0,09	<LD	↓
B (ppm)	0,055	<LD	↓
Ba (ppm)	0,101	0,25	↓
Cr (ppm)	0,007	<LD	↓
Ni (ppm)	<LD	<LD	<LD
Mn (ppm)	0,038	0,13	↑
Cu (ppm)	<LD	<LD	<LD
Co (ppm)	<LD	<LD	<LD
Cd (ppm)	<LD	<LD	<LD
Zn (ppm)	<LD	0,053	↑
Pb (ppm)	<LD	<LD	<LD
Sb (ppm)	<LD	<LD	<LD
Ag (ppm)	<LD	<LD	<LD
Mo (ppm)	<LD	<LD	<LD
As (ppm)	<LD	<LD	<LD
Se (ppm)	<LD	<LD	<LD
Hg (ppm)	<LD	<LD	<LD

Tabela 4. Análise comparativa entre os parâmetros monitorados no trabalho de Sabadia, 2001 e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015). Todos os valores são médios. Seta verde (↓) atenuação e seta vermelha (↑) incremento. <LD (limite de detecção). Ponto 7 é relativo as águas do poço Amazonas da Dona Mazé ao norte do aterro (Jusante).

Parâmetro	Poço Amazonas Dona Mazé (dez/97 e nov/98)	Poço Amazonas Dona Mazé (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
pH (campo)	5,82	6,18	↑
Temperatura (°C)	29	28,87	↓
CE (μS/cm)	1.010	1.177	↑
Cl ⁻ (ppm)	213,8	218	↑
HCO ₃ ⁻ (ppm)	47,2	41	↓
CO ₃ ⁼ (ppm)	7,1	< LD	↓
NO ₃ ⁻ (ppm)	< LD	0,69	↑
NO ₂ ⁻ (ppm)	< LD	< LD	<LD
NH ₄ ⁺ (ppm)	0,2	< LD	↓
COT (ppm)	3,23	4,5	↑
Na ⁺ (ppm)	112,5	120,17	↑
Mg ⁺⁺ (ppm)	9,6	19,77	↑
K ⁺ (ppm)	4	34,24	↑
Ca ⁺⁺ (ppm)	22,3	38,9	↑
S ⁼ (ppm)	0,71	17,5	↑
Fe (ppm)	0,15	<LD	↓
P (ppm)	0,15	0,02	↓
Al (ppm)	< LD	<LD	<LD
B (ppm)	0,481	<LD	↓
Ba (ppm)	0,007	0,35	↑
Cr (ppm)	< LD	<LD	<LD
Ni (ppm)	0,277	<LD	↓
Mn (ppm)	< LD	0,18	↑
Cu (ppm)	< LD	<LD	<LD
Co (ppm)	< LD	<LD	<LD
Cd (ppm)	0,01	<LD	↓
Zn (ppm)	< LD	<LD	<LD
Pb (ppm)	< LD	<LD	<LD
Sb (ppm)	< LD	<LD	<LD
Ag (ppm)	< LD	<LD	<LD
Mo (ppm)	< LD	<LD	<LD
As (ppm)	< LD	<LD	<LD
Se (ppm)	< LD	<LD	<LD
Hg (ppm)	5,82	<LD	↓

Tabela 5. Análise comparativa entre os parâmetros monitorados no trabalho de Sabadia, 2001 e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015). Todos os valores são médios. Seta verde (↓) atenuação e seta vermelha (↑) incremento. <LD (limite de detecção). Ponto 8 é relativo as águas do poço amazonas do senhor Deuzinho, ao norte do aterro (Jusante).

Parâmetro	Média dos Piezômetros a Norte do Aterro (dez/97 e nov/98)	Poço Amazonas Senhor Deuzinho (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
pH (campo)	7,77	5,1	↓
Temperatura (°C)	31,5	28,9	↓
CE (μS/cm)	35.200	1.249	↓
Cl ⁻ (ppm)	14.070	180	↓
HCO ₃ ⁻ (ppm)	645,5	9,45	↓
CO ₃ ⁼ (ppm)	202,7	< LD	↓
NO ₃ ⁻ (ppm)	103,83	28,1	↓
NO ₂ ⁻ (ppm)	8,78	0,051	↓
NH ₄ ⁺ (ppm)	166	2,54	↓
COT (ppm)	210,9	9,4	↓
Na ⁺ (ppm)	6.334,3	113,83	↓
Mg ⁺⁺ (ppm)	938,1	25,6	↓
K ⁺ (ppm)	216	52,03	↓
Ca ⁺⁺ (ppm)	367,7	25,25	↓
S ⁼ (ppm)	110,2	34	↓
Fe (ppm)	0,8	<LD	↓
P (ppm)	18,9	0,03	↓
Al (ppm)	0,97	0,84	↓
B (ppm)	71,55	<LD	↓
Ba (ppm)	0,031	0,08	↑
Cr (ppm)	0,168	<LD	↓
Ni (ppm)	11,58	<LD	↓
Mn (ppm)	0,018	0,125	↑
Cu (ppm)	0,175	<LD	↓
Co (ppm)	0,03	0,008	↓
Cd (ppm)	1,27	<LD	↓
Zn (ppm)	0,29	0,054	↓
Pb (ppm)	0,5	<LD	↓
Sb (ppm)	< LD	<LD	<LD
Ag (ppm)	0,08	<LD	↓
Mo (ppm)	< LD	<LD	<LD
As (ppm)	< LD	<LD	<LD
Se (ppm)	< LD	<LD	<LD
Hg (ppm)	7,77	<LD	↓

4.3 Águas Superficiais a Montante do Aterro de RSU do Jangurussu (Pontos 1 e 2) e a Jusante (Pontos 3 e 4)

As tabelas 6 a 10 apresentam as análises comparativas entre os parâmetros monitorados no trabalho de

Sabadia (2001) e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015) para as águas superficiais que ocorrem a montante e a jusante do Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu.

Tabela 6. Análise comparativa entre os parâmetros monitorados no trabalho de Sabadia, 2001 e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015). Todos os valores são médios. Seta verde (↓) atenuação e seta vermelha (↑) incremento. <LD (limite de detecção). Valores referentes ao ponto 1; ponte do Anel Viário com o rio Cocó (Montante do aterro).

Parâmetro	Ponto 1 a Montante (dez/97 e nov/98)	Ponto 1 a Montante (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
pH (campo)	7,16	7,36	↑
Temperatura (°C)	30	28,43	↓
CE (µS/cm)	1.135	915	↓
Cl ⁻ (ppm)	284	197	↓
HCO ₃ ⁻ (ppm)	116,8	140	↓
CO ₃ ⁼ (ppm)	< LD	< LD	< LD
NO ₃ ⁻ (ppm)	2,8	0,38	↓
NO ₂ ⁻ (ppm)	< LD	< LD	< LD
NH ₄ ⁺ (ppm)	0,3	9,05	↑
COT (ppm)	10,2	16,2	↑
Na ⁺ (ppm)	140,4	92,13	↓
Mg ⁺⁺ (ppm)	32,3	23,9	↓
K ⁺ (ppm)	3	14,87	↑
Ca ⁺⁺ (ppm)	22,1	24,3	↑
S ⁼ (ppm)	3	3,73	↑
Fe (ppm)	0,34	1,46	↑
P (ppm)	< LD	0,94	↑
Al (ppm)	< LD	5,53	↑
B (ppm)	0,09	< LD	↓
Ba (ppm)	0,13	0,195	↑
Cr (ppm)	< LD	< LD	< LD
Ni (ppm)	< LD	< LD	< LD
Mn (ppm)	0,61	0,98	↑
Cu (ppm)	< LD	< LD	< LD
Co (ppm)	< LD	< LD	< LD
Cd (ppm)	0,046	< LD	↓
Zn (ppm)	< LD	< LD	< LD
Pb (ppm)	0,9	< LD	↓
Sb (ppm)	< LD	< LD	< LD
Ag (ppm)	< LD	< LD	< LD
Mo (ppm)	< LD	< LD	< LD
As (ppm)	< LD	< LD	< LD
Se (ppm)	< LD	< LD	< LD
Hg (ppm)	< LD	< LD	< LD

Tabela 7. Análise comparativa entre os parâmetros monitorados no trabalho de Sabadia, 2001 e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015). Todos os valores são médios. Seta verde (↓) atenuação e seta vermelha (↑) incremento. <LD (limite de detecção). Valores relacionados ao ponto 2; encontro entre a ponte da Avenida Perimetral (Castelo Branco; à montante) e o rio Cocó.

Parâmetro	Ponto 2 a Montante (dez/97 e nov/98)	Ponto 2 a Montante (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
pH (campo)	7,54	7,21	↓
Temperatura (°C)	27,8	28,17	↑
CE (μS/cm)	1.497	1.045	↓
Cl (ppm)	324,6	205	↓
HCO ₃ ⁻ (ppm)	244,5	171	↓
CO ₃ ⁼ (ppm)	< LD	< LD	< LD
NO ₃ ⁻ (ppm)	3,5	0,37	↑
NO ₂ ⁻ (ppm)	1,8	< LD	↓
NH ₄ ⁺ (ppm)	23	9,5	↑
COT (ppm)	10,3	16,2	↑
Na ⁺ (ppm)	187	101,4	↓
Mg ⁺⁺ (ppm)	32	24,83	↓
K ⁺ (ppm)	20	17,2	↓
Ca ⁺⁺ (ppm)	26,1	27	↑
S ⁼ (ppm)	5,3	5,63	↑
Fe (ppm)	0,97	0,89	↓
P (ppm)	3,88	1,07	↓
Al (ppm)	0,1	0,51	↓
B (ppm)	0,3	< LD	↓
Ba (ppm)	0,15	0,19	↑
Cr (ppm)	< LD	< LD	< LD
Ni (ppm)	< LD	< LD	< LD
Mn (ppm)	0,809	0,68	↓
Cu (ppm)	0,02	< LD	↓
Co (ppm)	< LD	< LD	< LD
Cd (ppm)	0,088	< LD	↓
Zn (ppm)	0,05	< LD	↓
Pb (ppm)	2,8	< LD	↓
Sb (ppm)	< LD	< LD	< LD
Ag (ppm)	< LD	< LD	< LD
Mo (ppm)	< LD	< LD	< LD
As (ppm)	< LD	< LD	< LD
Se (ppm)	< LD	< LD	< LD
Hg (ppm)	< LD	< LD	< LD

Tabela 8. Análise comparativa entre os parâmetros monitorados no trabalho de Sabadia, 2001 e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015). Todos os valores são médios. Seta verde (↓) atenuação e seta vermelha (↑) incremento. <LD (limite de detecção). Valores referentes ao encontro da ponte da Avenida Pompílio Gomes com o rio Cocó (Ponto 3) à jusante do aterro.

Parâmetro	Ponto 3 a Jusante (dez/97 e nov/98)	Ponto 3 a Jusante (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
pH (campo)	7,56	7,15	↓
Temperatura (°C)	28,5	28,57	↑
CE (μS/cm)	1.438	1.069	↓
Cl ⁻ (ppm)	323,4	223	↓
HCO ₃ ⁻ (ppm)	226,8	163	↓
CO ₃ ⁼ (ppm)	12,4	< LD	↓
NO ₃ ⁻ (ppm)	11,1	< LD	↓
NO ₂ ⁻ (ppm)	55,7	< LD	↓
NH ₄ ⁺ (ppm)	22,3	9,6	↓
COT (ppm)	29	16,8	↓
Na ⁺ (ppm)	178,2	104,7	↓
Mg ⁺⁺ (ppm)	30,6	24,54	↓
K ⁺ (ppm)	19	17,53	↓
Ca ⁺⁺ (ppm)	26,3	28,2	↑
S ⁼ (ppm)	5,2	6,13	↑
Fe (ppm)	1,232	0,98	↓
P (ppm)	2,9	1,09	↓
Al (ppm)	0,6	0,53	↓
B (ppm)	0,25	<LD	↓
Ba (ppm)	0,2	0,184	↓
Cr (ppm)	< LD	<LD	< LD
Ni (ppm)	< LD	0,052	↑
Mn (ppm)	0,739	0,68	↓
Cu (ppm)	0,02	<LD	↓
Co (ppm)	< LD	<LD	< LD
Cd (ppm)	0,087	<LD	↓
Zn (ppm)	0,04	0,06	↑
Pb (ppm)	2,2	<LD	↓
Sb (ppm)	< LD	<LD	< LD
Ag (ppm)	< LD	<LD	< LD
Mo (ppm)	< LD	<LD	< LD
As (ppm)	< LD	<LD	< LD
Se (ppm)	< LD	<LD	< LD
Hg (ppm)	< LD	<LD	< LD

Tabela 9. Análise comparativa entre os parâmetros monitorados no trabalho de Sabadia, 2001 e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015). Todos os valores são médios. Seta verde (↓) atenuação e seta vermelha (↑) incremento. <LD (limite de detecção). Os presentes parâmetros correspondem às águas do rio Cocó à jusante do aterro (ponte da Avenida Paulino Rocha; Ponto 4).

Parâmetro	Ponto 4 a Jusante (dez/97 e nov/98)	Ponto 4 a Jusante (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
pH (campo)	8,13	7,11	↓
Temperatura (°C)	31	28,67	↓
CE (μS/cm)	1.350	1.098	↓
Cl ⁻ (ppm)	295,4	205	↓
HCO ₃ ⁻ (ppm)	215	153	↓
CO ₃ ⁼ (ppm)	< LD	< LD	< LD
NO ₃ ⁻ (ppm)	40,4	0,45	↓
NO ₂ ⁻ (ppm)	< LD	< LD	< LD
NH ₄ ⁺ (ppm)	22,5	10,9	↓
COT (ppm)	8	17,2	↑
Na ⁺ (ppm)	172,6	105,56	↓
Mg ⁺⁺ (ppm)	29,6	24,26	↓
K ⁺ (ppm)	21	19,06	↓
Ca ⁺⁺ (ppm)	26,8	30,2	↑
S ⁼ (ppm)	6,6	7,95	↑
Fe (ppm)	0,837	0,66	↓
P (ppm)	3,1	1,17	↓
Al (ppm)	0,38	0,31	↓
B (ppm)	0,08	< LD	↓
Ba (ppm)	0,16	0,2	↑
Cr (ppm)	< LD	< LD	< LD
Ni (ppm)	< LD	< LD	< LD
Mn (ppm)	0,41	0,66	↑
Cu (ppm)	< LD	< LD	< LD
Co (ppm)	< LD	< LD	< LD
Cd (ppm)	< LD	< LD	< LD
Zn (ppm)	< LD	< LD	< LD
Pb (ppm)	< LD	< LD	< LD
Sb (ppm)	< LD	< LD	< LD
Ag (ppm)	< LD	< LD	< LD
Mo (ppm)	< LD	< LD	< LD
As (ppm)	< LD	0,01	↑
Se (ppm)	< LD	< LD	< LD
Hg (ppm)	< LD	< LD	< LD

Tabela 10. Análise comparativa entre os parâmetros monitorados no trabalho de Sabadia, 2001 e os mais recentes (julho de 2014, maio e novembro de 2015). Todos os valores são médios. Seta verde (↓) atenuação e seta vermelha (↑) incremento. <LD (limite de detecção). Valores referentes ao riacho efluente do rio Cocó ao norte do aterro (Jusante; Ponto 6).

Parâmetro	Ponto 6 a Jusante (dez/97 e nov/98)	Ponto 6 a Jusante (jul/14, maio e nov/15)	Análise Comparativa (atenuação ou incremento)
pH (campo)	7,4	7,13	↓
Temperatura (°C)	28	29,27	↑
CE (μS/cm)	911	1.103	↑
Cl ⁻ (ppm)	175,6	188	↑
HCO ₃ ⁻ (ppm)	170,6	179	↑
CO ₃ ⁼ (ppm)	< LD	< LD	< LD
NO ₃ ⁻ (ppm)	32,8	1,14	↓
NO ₂ ⁻ (ppm)	< LD	0,56	↑
NH ₄ ⁺ (ppm)	26,7	12,6	↓
COT (ppm)	12,7	14,1	↑
Na ⁺ (ppm)	97,5	270,8	↑
Mg ⁺⁺ (ppm)	19	27,3	↑
K ⁺ (ppm)	11	24,9	↑
Ca ⁺⁺ (ppm)	21,2	40,15	↑
S ⁼ (ppm)	1,7	15,5	↑
Fe (ppm)	3,6	0,57	↓
P (ppm)	0,7	1,85	↑
Al (ppm)	3,9	0,202	↓
B (ppm)	< LD	< LD	< LD
Ba (ppm)	0,51	0,27	↓
Cr (ppm)	< LD	< LD	< LD
Ni (ppm)	< LD	< LD	< LD
Mn (ppm)	0,248	0,15	↓
Cu (ppm)	< LD	< LD	< LD
Co (ppm)	< LD	< LD	< LD
Cd (ppm)	< LD	< LD	< LD
Zn (ppm)	< LD	< LD	< LD
Pb (ppm)	0,05	< LD	↓
Sb (ppm)	< LD	< LD	< LD
Ag (ppm)	< LD	< LD	< LD
Mo (ppm)	< LD	< LD	< LD
As (ppm)	< LD	< LD	< LD
Se (ppm)	< LD	< LD	< LD
Hg (ppm)	< LD	< LD	< LD

Pelo o se pode averiguar a grande maioria dos parâmetros, 64,1% confirmaram que os processos de atenuação (que são muitos e bastante conhecidos de todos; portanto não cabe aqui lista-los e tecer comentários técnicos) foram dominantes. Ocorreu, portanto a atenuação dos valores da contaminação produzida pelo aterro do Jangurussu, ao longo do período investigado. No caso dos lixiviados os valores dos parâmetros monitorados foram atenuados em até 64,5% dos casos. O ponto de número 8 registrou uma média de 93,33% de atenuação nos valores dos parâmetros monitorados; o ponto de número 2 atingiu até 70,85% na atenuação dos valores prospectados; o ponto de número 3 apresentou valores atenuados em 80,77% dos parâmetros monitorados e o ponto de número 4 apresentou valores de atenuação em até 70% do total dos parâmetros monitorados. Os pontos 2, 3 e 4 correspondem as águas superficiais do rio Cocó sendo o ponto 2 a montante do aterro do Jangurussu e os pontos 3 e 4 a montante do aterro. Estes pontos são absolutamente correspondentes aos pontos monitorados nos trabalho de Sabadia (2001). O ponto de número 8 corresponde ao poço amazonas da casa do Senhor Deuzinho (Rua Topázio, 215) e corresponde e foi comparado com a média dos valores dos oito (8) piezômetros monitorados por Sabadia (2001). Esta correspondência se justifica uma vez que este poço se encontra em uma posição intermediária (de forma aproximada) dos piezômetros de Sabadia (2001), além de este poço estar na mesma profundidade em que foram instalados os referidos piezômetros. Portanto este ponto de número 8 corresponde e indica a contaminação que vem como fluxo de base (percolação

subterrânea do chorume/lixiviado), uma vez que se encontra posicionado justo ao norte do aterro do Jangurussu. Neste local (ponto 8) os valores de atenuação mostraram-se os mais elevados em relação as médias dos parâmetros monitorados, atingindo 93,33% do total dos parâmetros. Remarca-se este ponto uma vez que se apresenta como o de maior destaque para as águas subterrâneas locais frente a contaminação produzida pelo aterro (maior proximidade).

Fica, portanto, atestado a pronunciada atuação dos diversos processos de atenuação (que são muitos) ao longo destes anos e este fato foi notável como anteriormente demonstrado. Entretanto muitos dos valores continuam bem acima dos valores máximos apresentados para a classe 2 pelas resoluções do CONAMA de nº 20 de 18 de junho de 1986, Brasil 1986 e CONAMA de nº 397 de 03 de abril de 2008, Brasil 2008a, além da resolução do CNRH de nº 91 de 05 de novembro de 2008 (Brasil 2008b), sendo esta informação relevante e preocupante. Além de reforçarmos os constantes repasses de chorume/lixiviados para as águas subterrâneas e superficiais locais prejudicando em muito a gestão socioambiental do aterro do Jangurussu. O repasse de chorume/lixiviados para as águas subterrâneas se dá por fluxo subterrâneo e o repasse deste contaminante para as águas superficiais ocorre de duas maneiras: de forma direta escorrendo livremente pelas pendentes do aterro ao lado do rio Cocó e na forma de fluxo de base (fluxo subterrâneo) via margem esquerda do rio, onde o rio fica durante todo o ano hidrológico em caráter efluente (rio receptor). É importante então, a manutenção ininterrupta dos processos de monitoramento.

Com relação a avaliação sobre a estabilidade geotécnica da massa de resíduos, foram registradas 19 medidas das inclinações das encostas/pendentes do Aterro de RSU do Jangurussu, com o apoio de clinômetro/goniômetro e de fotografias absolutamente ortogonais à linha de maior inclinação das encostas. Esta é uma preocupação pertinente, uma vez que as chuvas na cidade de Fortaleza se concentram na conhecida “primeira quadra invernososa do ano” e, quando ocorrem, podem ser muito intensas. Como o aterro tem uma permeabilidade (porosidade interconectada) elevada e, sua cobertura representa uma simples camada fina de sedimentos, em muitos locais ausente, repleta de sulcos de drenagem abertos e, há ainda a ocorrência de gretas de tração, o peso da massa de água das precipitações concentradas e intensas pode gerar escorregamentos e desestabilização, com a migração deste material, causando acidentes gravíssimos, uma vez que o entorno do aterro é densamente urbanizado. Os lixiviados (chorume) atuam como um fluido lubrificante induzindo aos possíveis deslizamentos e mobilização da massa de resíduos. Muitas das casas têm seu quintal literalmente ao pé do aterro e outras tantas possuem os quintais sobre os resíduos do aterro, destacadamente ao norte onde há uma notável urbanização, onde o lixiviado/chorume escorre livremente e ali são cultivadas bananeiras e outras frutas, além da criação de porcos e de aves.

As pendentes foram medidas e monitoradas nos setores norte, sul, leste e oeste, onde temos hoje os seguintes resultados: Norte (28°; 35°; 36° e 38°; uma média de 34,25°); Sul (16°; 20°; 23°; 24° e 25°; média de 21,6°); Leste (28°; 30°; 33°; 35° e 24°; média de 30°); e,

Oeste (25°; 25°; 20°; 20° e 19°; média de 21,8°).

Mesmo que as pendentes tenham diminuído um pouco, quando comparadas ao trabalho de Sabadia (2001), representam ainda um perigo efetivo para a comunidade dos que ali vivem. No citado trabalho as inclinações ao norte do aterro chegavam a alcançar os 45°, beirando o precipício, situação inaceitável para o contexto, como ainda o são. Porém hoje chegam a alcançar os 38° que representa um valor muito elevado para pilhas de rejeitos de aterros de lixo urbano e industrial, principalmente em um contexto completa e densamente urbanizado. Estamos constatando escala (ângulos de declive) em nível de precipício.

5. DISCUSSÃO FINAL

A sub-bacia B2, integrante da bacia hidrográfica do rio Cocó, está localizada na zona urbana de Fortaleza. Quanto ao seu uso e ocupação destacam-se: residências, frigoríficos, padarias, supermercados, escolas, faculdades, hospitais, postos de gasolina, oficinas mecânicas, lava-jatos, entre outros, os quais ocupam a APP (área de proteção permanente), desrespeitando a legislação vigente. Ao longo do curso do rio existem diversos estabelecimentos que contribuem para a contaminação do lençol freático, como por exemplo, postos de gasolina.

A qualidade da água da sub-bacia B2 sofre influência direta do regime hidrológico. No início do período de chuvas a qualidade da água dos ecossistemas urbanos piora devido à disposição inadequada de resíduos às suas margens, que são carregados para o seu interior. As variáveis físicas, químicas e biológicas mostram que todos os corpos hídricos que compõem a

sub-bacia encontram-se em processo de poluição avançada. Diversos parâmetros excedem os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2008a) para águas enquadradas na classe 2. Isso é devido ao aporte contínuo de poluentes, através das entradas pontuais e difusas, colocando-os em constante processo de degradação, impedindo o processo de autodepuração.

É necessário que a população e órgãos da prefeitura municipal e do governo do estado entendam a grande importância desses ecossistemas urbanos, pois, além de serem zonas de amortecimento de cheias, compõem o cenário da cidade, influem no microclima. Para recuperar esses corpos hídricos, é necessário que: seja realizada a limpeza da área; haver a desocupação das APP's que se torna hoje complicado pois toda a planície de inundação do rio encontra-se ocupada; criação de corredores ecológicos; melhorar a cobertura do sistema de esgotamento sanitário seria uma medida de caráter urgente; fiscalizar e punir fontes poluidoras; criar programas de educação ambiental a fim de capacitar a população sobre temas essenciais, tais como, preservação, conservação, uso sustentável, entre outros.

Os resultados obtidos pelo monitoramento das águas ao longo desses anos servem como subsídios para um melhor planejamento e medidas mitigadoras para que possa haver um melhor aproveitamento da região devido a importância desse recurso hídrico para a cidade de Fortaleza.

Definitivamente, apesar de sabedores dos elevadíssimos custos envolvidos, o Aterro de RSU do Jangurussu deverá ser "minerado"; isto significa sua mineração (retirada), através de escavações, como em uma

mineração; daí o termo; ser literalmente "lavrado"; e, após sua abertura ter aproveitado todo seu material reciclável; que ainda deve ser muito; ter o seu material orgânico aproveitado para compostagem ou para queima para geração de energia. O aterro deve ser "explorado" até a sua base, ou seja, até o seu material geológico (formação Barreiras/Aluviões) e, após todo este trabalho, o aterro deve ser impermeabilizado com mantas de polietileno de alta densidade (mantas PEAD) e recomposto ao nível de sua cota original. A base (fundo) do aterro bem como suas laterais, o conhecido "corpo" do aterro, deverão ser recobertos (impermeabilizados) com estas mantas de polietileno para assegurar que os lixiviados (chorume) não possam (consigam) se infiltrar, assim como sua cobertura, isolando o material restante, se for o caso.

Havendo a possibilidade (viabilidade técnica) todo o material que não tiver realmente aproveitamento tecnicamente comprovado, cabível e viável deverá ser trasladado para os outros aterros metropolitanos. Com estas providências a problemática dos riscos relativos a uma possível desestabilização geotécnica da massa de resíduos estariam finalmente controlados.

Finalmente, deve o poder público de forma conjunta (prefeitura, estado e união) abrir um edital público visando a reintegração (urbanização) daquele espaço importantíssimo aos cidadãos e cidadãs da quinta capital brasileira em população; a cidade de Fortaleza, principalmente para os que ali conviveram com os longos anos de existência desta pretensa unidade de controle de resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL (1986). Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de nº 20 de 18 de junho de 1986. Classifica as águas em doces, salobras e salinas e estabelece os limites indicadores específicos (parâmetros limites), de modo a assegurar os usos preponderantes das águas. Publicado no Diário Oficial da União de 30 de julho de 1986.
- BRASIL (2008a). Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de nº 397 de 03 de abril de 2008. Altera o inciso II do § 40 e a Tabela X do § 50 do art. 34 da Resolução CONAMA nº 357/05 e acrescenta os § 60 e 70. Alterada pela Resolução 410/09. Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 68-69.
- BRASIL (2008b). Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) de nº 91 de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Publicada no DOU nº 66, de 06 de fevereiro de 2009.
- FUNCEME (2015). Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Séries históricas de precipitação me Fortaleza, Ceará. Em: <http://www.funceme.br/index.php/areas>. Acessado em 18dez2015.
- MARICATO, E. Brasil, Cidades: Alternativas para a Crise Urbana. Petrópolis, Rio de Janeiro. Editora Vozes. 204 p., 2001.
- SABADIA. Impacto del Vertedero de Jangurussu en los Recursos Hídricos de la Ciudad de Fortaleza (Estado de Ceará, Brasil). Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Facultad de Geología. Barcelona, 2001. 317 p. (Memoria de tesis doctoral). Universidad de Barcelona.
- VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. Edição. 452p. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.