

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

MIRELE MARTINS ANDRADE

Monitoramento da qualidade de água subterrânea na área do lixão
desativado de São Carlos, SP

São Carlos, SP

2015

MIRELE MARTINS ANDRADE

Monitoramento da qualidade de água subterrânea na área do lixão
desativado de São Carlos, SP

Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental da
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo

São Carlos, SP

2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

A553m Andrade, Mirele Martins
 Monitoramento da qualidade de água subterrânea na
 área do lixão desativado de São Carlos, SP / Mirele
 Martins Andrade; orientador Valdir Schalch. São Carlos,
 2015.

 Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
 Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
 São Paulo, 2015.

 1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Piezômetros. 3.
 Contaminação. 4. Sistema Aquífero Guarani. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Mirele Martins Andrade**

Data da Defesa: 26/10/2015

Comissão Julgadora:

Resultado:

Valdir Schalch (Orientador(a))

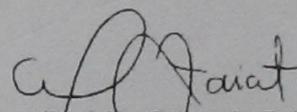
APROVADA

Marco Aurelio Soares de Castro

APROVADA

Carolina Ibelli Bianco

Aprovada



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Aos meus pais, responsáveis por tudo que me tornei e a quem dedico e sempre dedicarei todas as vitórias alcançadas durante toda minha vida; à minha irmã, por todo apoio e carinho durante esses 24 anos, e ao meu namorado, pelo companheirismo e auxílio em todos os momentos.

RESUMO

ANDRADE, M. M. **Monitoramento da qualidade de água subterrânea na área do lixão desativado de São Carlos, SP.** 2015. 67p. Monografia (Trabalho de Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015.

O Brasil, assim como a maioria dos países subdesenvolvidos, ainda lida com as consequências da gestão inadequada de seus resíduos. Nesse contexto, lixões e aterros controlados passaram a ser alvos de fiscalização e pesquisa, por representarem áreas potenciais de contaminação aos recursos hídricos. Quando instalados em locais onde os solos são vulneráveis à infiltração do lixiviado, estes depósitos podem levar a alterações das características físico-químicas e biológicas de mananciais superficiais e subterrâneos. O lixão Santa Madalena, localizado no município de São Carlos (SP), apresenta características de vulnerabilidade, uma vez que foi instalado sobre uma área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG), importante reserva de água para a América Latina. Nesse sentido, o presente estudo visou monitorar, durante 12 meses, a qualidade da água subterrânea na área deste lixão desativado, através da análise das principais características físico-químicas da água coletada através de piezômetros pré-existentes no local, situados à montante, jusante e dentro da área de influência do lixão. A comparação entre os resultados obtidos por outros autores e pelo presente trabalho indica que houve diminuição da qualidade da água do local, de acordo com os parâmetros avaliados. Comparando com os valores especificados para consumo humano (Portaria MS nº 2914) e valores orientadores para água subterrânea (CETESB, 2014), os resultados obtidos em alguns parâmetros (alumínio, cádmio, chumbo, cobalto, cromo, ferro, manganês, níquel, nitrato e nitrogênio amoniacal) indicaram riscos potenciais para a saúde humana, não sendo esta água adequada para consumo.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, piezômetros, contaminação, Sistema Aquífero Guarani

ABSTRACT

ANDRADE, M. M. **Groundwater quality monitoring in disabled dumpsite of São Carlos, SP.** 2015. 67p. Monografia (Trabalho de Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015.

As most part of underdeveloped nations, Brazil is still dealing with consequences of an inappropriate solid waste management. In this context, dumpsites and landfills are objects of supervision and researchs, as they represent a potential area of water resources contamination. When located in places where soils are vulnerable to leachete infiltration, these deposits can lead to changes in physico-chemical and biological characteristics of surface and underground water sources. The disabled dump (Santa Madalena, situated in São Carlos, SP) has characteristics of vulnerability, since it was installed over a recharge area of Guarani Aquifer System (GAS), a substantial Latin America water reserve. In this sense, the present study aimed to monitor during 12 months the main physico-chemical characteristics of water samples by pre-existing piezometers placed in sites upstream, downstream and inside the influence area of the dumpsite. The comparison of the results obtained by other authors and the present work indicates a decrease of water quality in the place, according to evaluated parameters. Comparing with specified values to human consumption (Portaria MS nº 2914) and guiding values to underground water (CETESB, 2014), the obtained results of some parameters (aluminum, cadmium, lead, cobalt, chromium, iron, manganese, nickel, nitrate and ammoniacal nitrogen) indicated potential risks to human health, which causes this water inappropriate for human consumption.

Keywords: urban solid waste, piezometers, contamination, Guarani Aquifer System

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1. Resíduos sólidos.....	9
3.2. Água subterrânea.....	11
3.3. Aquífero Guarani.....	14
3.4. Monitoramento ambiental.....	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
4.1. Área de estudo.....	17
4.2. Coleta das amostras de água subterrânea.....	19
4.3. Análises de qualidade da água subterrânea.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1. Metais não analisados em abril.....	37
5.2. Análise de coliforme.....	37
5.3. Visualização gráfica da variação de pH, cloretos, condutividade e alcalinidade...	38
5.4. Comparações.....	41
6. CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
APÊNDICES.....	56

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência dos hábitos de consumo adotados por parte da população mundial, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é cada vez mais intensa. A quantidade e a qualidade dos RSU gerados em uma cidade dependem de diversos fatores dentre eles estilo e padrão de vida, hábitos alimentares, atividades industriais e comerciais, tradição cultural e clima (SINGH et al., 2007). O aumento da geração e da heterogeneidade dos resíduos sólidos é, atualmente, um dos mais graves problemas ambientais de origem antrópica (CAPELINI, 2007).

A disposição final dos RSU é um problema enfrentado, principalmente, pelos países subdesenvolvidos, como é o caso do Brasil (PIZARRO, 2009; HARTEK, 2003). Lixões e aterros controlados são métodos inadequados para a disposição final de resíduos, embora amplamente utilizados no país. Os RSU podem contaminar ar, solo e águas, devido à possível presença de materiais perigosos e matéria orgânica (BIDONE & POVINELLI, 1999). Casos de contaminação ambiental decorrentes de disposição de resíduos sólidos em locais inapropriados já foram diagnosticados no Brasil, destacando-se a contaminação de águas subterrâneas.

A poluição e contaminação das águas subterrâneas - recurso de grande valor econômico e com papel importante no abastecimento público e privado em todo o mundo - é um grave problema para a sociedade. Até os anos 70 acreditava-se na capacidade de solos e subsolos reterem contaminantes antes que os mesmos pudessem chegar ao lençol freático. Entretanto, de acordo com Fetter (1999), os contaminantes podem, de fato, alcançar as águas subterrâneas e alterar sua qualidade.

O estado de São Paulo é rico em reservas de água doce. Segundo Borghetti et al. (2004), o estado paulista é constituído de duas províncias hidrogeológicas: a bacia do Paraná e a bacia do Maciço Oriental do Sudeste. Inserido na bacia do Paraná está o Sistema Aquífero Guarani (SAG), sobre o qual está inserida grande área do município de São Carlos (SP), incluindo a área do antigo lixão desativado da cidade de São Carlos (lixão Santa Madalena), área de estudo do presente projeto. Como a cidade retira águas deste manancial para mais da metade de seu abastecimento (GONÇALVES et al., 1992 apud PMSC, 2011, p.35), qualquer contaminação no aquífero pode afetar grande parte da população. O monitoramento ambiental da área constitui-se, portanto, um importante instrumento de gestão, visto que por meio dele é possível propor ações para mitigação de impactos negativos e auxiliar em tomadas de decisão que visam à saúde pública.

2. OBJETIVOS

Objetivo Principal

Monitorar a qualidade da água subterrânea em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani na região do lixão desativado de São Carlos.

Objetivos específicos

- i) Dar continuidade a projetos anteriormente realizados no antigo depósito de resíduos sólidos urbanos do município;
- ii) Comparar e discutir os resultados deste projeto com os resultados prévios para verificar influência de um depósito de resíduos sólidos urbanos sobre a qualidade de água subterrânea ao longo dos anos após a desativação do lixão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Resíduos sólidos

Resíduo sólido é qualquer bem material, substância ou objeto, cujo descarte – resultante de atividades humanas de inúmeras origens – ocorre nos estados sólido ou semissólido (ABNT, 2004; BRASIL, 2010).

Os resíduos sólidos podem ser classificados em duas classes segundo ABNT (2004): classe I (resíduos perigosos) e classe II (resíduos não perigosos); essa última subdivide-se em II A (não inertes) e II B (inertes). Os resíduos perigosos são aqueles que apresentam periculosidade, isto é, podem apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente quando gerenciado de maneira inadequada. Os resíduos não perigosos não inertes são aqueles que podem ter algumas propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os inertes, por sua vez, são aqueles resíduos cujos constituintes não se solubilizam a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água (excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor), quando amostrados segundo a ABNT NBR 10007 ou ABNT NBR 10006. (ABNT, 2004).

Também é possível classificá-los quanto à origem em resíduos sólidos urbanos (constituídos de resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana), resíduos de serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transportes e resíduos de mineração (BRASIL, 2010).

De acordo com Capelini (2007), o aumento da geração de resíduos sólidos é um grave problema enfrentado pela sociedade. Observando os últimos dados estatísticos nacionais, verifica-se que em oito anos houve aumento de 31.134 ton/dia na geração de resíduos sólidos entre uma pesquisa – 228.413 ton/dia (IBGE, 2000) – e outra – 259.547 ton/dia (IBGE, 2008). Associado à grande quantidade gerada estão questões referentes a métodos e locais inapropriados para a destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Assim como inúmeros países que passam por intenso processo de industrialização, o Brasil enfrenta sérios problemas referentes à disposição de resíduos sólidos (PIZARRO, 2009; HARTER, 2003). Segundo Johannessen e Boyer (1999), a falta de qualificação de muitos operadores e a limitada legislação existente em muitos países subdesenvolvidos são fatores que

contribuem para a inadequada gestão dos resíduos sólidos. Assim, não se trata de um problema de origem essencialmente econômica, mas também social.

Os lixões e aterros controlados constituem a forma mais frequente de disposição final dos RSU no Brasil. Segundo IBGE (2008), a disposição final dos resíduos em lixões, no nosso país, ocorre em 50,8% dos municípios, sendo que 22,5% optam por aterros controlados e o restante, 27,7% dos municípios, dispõe seus resíduos em aterros sanitários. Em outras palavras, das 259.547 toneladas de resíduos sólidos gerados diariamente no país, 64,6% são dispostos em aterros sanitários, 17,6% em lixões, 15,7% em aterros controlados, 1,2% são reciclados, 0,6% sofrem o processo de compostagem, 0,03% são incinerados, 0,02% são dispostos em vazadouros em áreas alagadas ou alagáveis e 0,2 % recebem outros destinos (IBGE 2008). Assim, fica evidente a grande quantidade de resíduos dispostos em locais inapropriados.

Devido à ausência de sistemas de controle ambiental, os lixões e os aterros controlados não são adequados para a disposição final de resíduos. De acordo com Otero D'Almeida & Vilhena (2000), os lixões são inadequados por receberem inúmeros tipos de resíduos sem nenhuma inspeção e os aterros controlados, por sua vez, pelo fato de geralmente serem antigos lixões cobertos com terra. Lixões e aterros controlados não evitam a migração do lixiviado por não possuírem medidas de minimização do impacto ambiental como impermeabilização de bases e taludes, drenagem de águas pluviais, drenos ou tratamentos de lixiviado, entre outros (LOPES, 2007) e dessa maneira são prejudiciais ao meio ambiente.

No Brasil, já foram diagnosticados casos de contaminação ambiental decorrentes de locais inapropriados para depósitos de resíduos sólidos. De acordo com Bidone e Povinelli (1999), os resíduos sólidos podem contaminar o ar, o solo e as águas, caso apresentem materiais perigosos em sua constituição. Como as escolhas destes locais de disposição são frequentemente feitas visando baixo custo econômico de implantação (ELIS, 1998 apud VELOZO, 2006, p.6), ficando a questão ambiental em segundo plano, a disposição dos resíduos sólidos é uma fonte comum de contaminação.

Apesar da atual situação brasileira ser desfavorável ao meio ambiente, há perspectivas de melhora. Sancionada em agosto de 2010 e regulamentada em dezembro do mesmo ano através do Decreto Federal nº 7.404, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS – (Lei nº 12.305) prevê, dentre outros, redução, reutilização e tratamento adequado dos resíduos, aumento da reciclagem, disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos com erradicação dos lixões, e intensificação de ações que visam à educação ambiental. Com a correta aplicação da PNRS, a possibilidade de aumento de qualidade das águas subterrâneas são grandes já que, dentre outros, a destinação dos resíduos será efetuada da maneira correta, em aterros sanitários,

com a impermeabilização dos solos e dispositivos de contenção e coleta de percolados (BRASIL, 2010).

Percolado, lixiviado e chorume são muitas vezes utilizados como sinônimos, entretanto há diferença entre os três. O termo chorume caracteriza o líquido que é produzido pela decomposição de substâncias presentes nos resíduos sólidos (ABNT, 1992). Já o percolado é o líquido que passou através de um meio poroso e que carrega o chorume, é formado pelas águas de chuva que caem sobre lixões ou aterros e infiltram pelo solo através dos resíduos sólidos (ABNT, 1992; SCHALCH, 1984). Por sua vez, o lixiviado é a mistura do chorume com as águas de chuva, superficiais ou subterrâneas (BIDONE E POVINELLI, 1999). Sendo assim, é o percolado que carrega os contaminantes e causa contaminação subterrânea.

Os resíduos sólidos têm potenciais tóxicos variantes. A toxicidade do percolado é atribuída, principalmente, à idade da massa de resíduos, às características físico-químicas, à presença de microrganismos, ao teor de metais e à lixiviação (BELTRÃO, 2006 apud PMSC, 2011, p.25). Quando jovem, a massa de resíduos é composta basicamente por substâncias com baixa massa molar, na forma principalmente de ácidos graxos voláteis, com alta fração biodegradável sendo possível a degradação por tratamento biológico (TATSI et al., 2003). Já na fase madura, a sua fração biodegradável é reduzida e a massa contém alta concentração de nitrogênio amoniacal, que inibe a proliferação de microrganismos e assim inviabiliza o tratamento biológico (TATSI et al., 2003; ZOUBOULIS et al., 2004).

3.2. Água subterrânea

A água subterrânea é um recurso de grande valor econômico e com papel importante no abastecimento público e privado em todo o mundo. Pode ser entendida como toda a água que ocupa vazios em formações rochosas ou em regolitos, com armazenamento e movimento controlados pelas forças gravitacionais e pelas características dos materiais constituintes do meio (KARMANN, 2000). Dentre seus inúmeros usos destacam-se abastecimento público, usos agrícola, industrial, comercial, além de ser fonte de recarga de cursos de água superficiais (HIRATA, 2000), usos essenciais para a vida da população.

Ao atingir o solo a água pode seguir dois caminhos – a infiltração e o escoamento superficial. Segundo Karmann (2000), a infiltração é o mais importante processo de recarga da água subterrânea. O escoamento superficial ocorre quando a capacidade de absorção de água

pela superfície é superada, gerando excesso de água; este excesso, pela ação da gravidade, é deslocado para zonas mais baixas. Já na infiltração a água, também pela força gravitacional, tende a preencher os vazios no subsolo e segue em profundidade, abastecendo assim o corpo de água subterrânea.

A água subterrânea é encontrada em aquíferos. Karmann (2000) define aquíferos como unidades porosas e permeáveis, com constituição rochosa ou de sedimentos, que armazenam e transmitem significativos volumes de água subterrânea que podem ser explorados pela sociedade. Um aquífero não é, entretanto, constituído somente de água. Existem, no aquífero, duas zonas principais – zona não-saturada e zona saturada, separadas pela superfície freática. Enquanto a zona não-saturada (zona vadosa) tem seus poros preenchidos por água e por ar, a zona saturada (zona freática) tem todos os seus vazios preenchidos apenas por água. A quantidade de água que ocupa os vazios de um aquífero é variante. A capacidade de armazenamento de água em um aquífero depende de fatores como o material constituinte. Bons aquíferos são constituídos de materiais com condutividade hidráulica média a alta, como sedimentos inconsolidados, rochas sedimentares e rochas vulcânicas, plutônicas e metamórficas com alto grau de fraturamento. Além da quantidade disponível de água, é necessário levar em conta a possibilidade de uso da mesma, que varia de acordo com a profundidade.

Os aquíferos podem ser classificados em livres, suspensos e confinados. Aquíferos livres são aqueles cujo topo é demarcado pelo nível freático; normalmente ocorrem em profundidades de alguns metros a poucas dezenas de metros da superfície. Os aquíferos suspensos são também aquíferos livres, entretanto encontram-se acima do nível freático; a acumulação de água ocorre sobre unidades pouco permeáveis. Já os aquíferos confinados localizam-se entre duas unidades pouco permeáveis; sua profundidade é elevada e pode variar entre várias dezenas a milhares de metros (KARMANN, 2000). A classificação leva em conta, portanto, fatores como nível do freático, profundidade e permeabilidade da região em que o aquífero está localizado.

A qualidade das águas subterrâneas compreende suas características físicas, químicas e biológicas. Para a água ser classificada como de boa qualidade ela deve possuir algumas características, que dependem da região e de seu uso (LOPES, 2007). Dentre os parâmetros físicos da água estão turbidez, cor, sabor e odor e, caso os últimos sejam inexistentes na água, isto é, caso a água seja incolor, insípida e inodora, a preocupação é dada às suas características químicas e biológicas (HARTER, 2003). Mesmo em condições naturais, devido às inter-relações dos componentes ambientais, a qualidade da água pode ser alterada (LOPES, 2007).

A água pode ser classificada de acordo com qualidade requerida para seu uso preponderante. Para a água doce existem cinco classes, de acordo com CONAMA (2005): especial, 1, 2, 3 e 4. Já no que se refere à recurso hídrico subterrâneo, a resolução CONAMA 396 de 03.04.2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes para o enquadramento, apresentando no artigo 3º a seguinte classificação para águas subterrâneas:

I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso. (CONAMA, 2008, p. 310)

Apesar de não serem potáveis em sua totalidade, as águas subterrâneas são geralmente encontradas dentro dos padrões de potabilidade – que levam em conta as características físicas, químicas, biológicas e radioativas das águas – para as populações humana e animal (ÁLVARES, 2000; HIRATA, 2000). Portanto as infiltrações de contaminantes ou os lançamentos de efluentes não devem exceder os padrões de potabilidade humana para a água nem as qualidades naturais do corpo receptor (CONAMA, 2005).

A contaminação das águas é resultado da alteração de sua composição química natural. Naturalmente as águas subterrâneas contêm íons, grande parte inorgânicos, dissolvidos (sólidos dissolvidos). Na maioria dos casos os íons ocorrem em baixas concentrações, que não afetam a saúde humana e muitos deles são considerados essenciais para o metabolismo humano. A matéria microbiana também é um constituinte natural das águas subterrâneas. Entretanto, algumas atividades humanas como disposição de materiais químicos e orgânicos na superfície da terra e disposição direta de resíduos nas águas subterrâneas, como os fluidos provenientes

de resíduos sólidos, podem alterar a composição natural da água e causar contaminação da mesma (HARTER, 2003).

Os contaminantes podem ser divididos em duas classes, de acordo com o tipo de migração que sofrem. Os pertencentes à classe LNAPL possuem densidades menores que a da água. Ao atingirem as águas subterrâneas ocorre a migração horizontal de tais contaminantes, ocasionando a dispersão horizontal da pluma. Já os DNAPL possuem densidades maiores que a da água. Quando em contato com as águas subterrâneas, eles migram verticalmente, em direção ao fundo do aquífero e causam dispersão vertical e horizontal da pluma (PMSC, 2011).

A contaminação das águas subterrâneas é de difícil constatação. Diferente da contaminação das águas superficiais, que é visível e fácil de identificar através da mudança de cor da água, odor, presença de espuma e morte de organismos aquáticos; a contaminação de aquíferos não é visível e é identificada, na maioria das vezes, apenas quando causam efeitos na saúde pública (REBOUÇAS, 1992 apud LOPES, 2007, p.28).

Segundo Lopes (2007), a poluição de água subterrânea pelo lixiviado é um dos inúmeros problemas causados pelo incorreto despejo dos resíduos sólidos urbanos, o que afeta ou pode afetar futuramente o abastecimento de água potável para a população (FUSCONI & GODINHO, 1999; BENGTSSON et al., 1994).

As águas subterrâneas têm grande importância para a população, entretanto as políticas consistentes que visam à gestão sustentável da mesma são escassas. Muitos são os casos de contaminação da água por lixões ou aterros sanitários, como a contaminação no aquífero Alter do Chão em Manaus – AM, provocada por um depósito de lixo (ROCHA e HORBE, 2006); contaminação do lençol freático do lixão do município de São Pedro da Aldeia – RJ (LIMA, 2003); contaminação das águas na área do lixão de Cuiabá – MT (SHIRAIWA et al, 2002) e contaminação do lençol freático na área do aterro sanitário municipal de Botucatu – SP (OLIVEIRA, 2004). A quantidade de casos de contaminação das águas subterrâneas, causadas pelo homem, é pouco conhecida quando comparado à história de ocupação territorial (HIRATA & FERREIRA, 2001).

3.3. Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um dos maiores reservatórios de água doce do mundo, com 1.196.500 km² de extensão (EMBRAPA, 2009), que abrange os territórios da

Argentina, do Brasil, do Paraguai e do Uruguai. A quantidade estimada de água do aquífero é de 46.000 km³ (ARAÚJO et al., 1995) e, devido ao grande contingente de água, programas de gestão ambiental e planejamento são necessários, visando evitar contaminação e sobrexploração das bacias hidrográficas.

O SAG tem grande importância em muitos municípios do estado paulista. Dentre os oito estados brasileiros que abrigam os 840.800 km² (70%) da extensão do aquífero Guarani (EMBRAPA, 2009) – Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná, Goiás, Minas Gerais, Santa Catarina e Mato Grosso – São Paulo possui 155.800 km² de sua área (RIBEIRO, 2008). O município de São Carlos, segundo CETESB (1997) apud VELOZO (2006, p.44), tem 72% de sua área inserida no Aquífero Guarani, incluindo a área do lixão. Como a cidade retira águas deste manancial para mais da metade de seu abastecimento (GONÇALVES et al., 1992 apud PMSC, 2011, p.35) (o restante provém dos cursos superficiais ribeirão do Feijão, córrego Santa Maria do Leme e córrego São José) qualquer contaminação no aquífero afeta grande parte da população.

3.4. Monitoramento ambiental

Entende-se por monitoramento ambiental o processo de coleta de dados, estudos e acompanhamento das variáveis ambientais em uma área, visando a identificação e avaliação (qualitativa ou quantitativa), num determinado momento, no meio natural, e as possíveis alterações nele presentes (RAMOS; LUCHIARI JUNIOR, 2009). O monitoramento auxilia na definição de políticas ambientais e subsidia medidas de conservação, controle, planejamento, preservação e recuperação da área em estudo, além de fornecer informações sobre o estado atual do local (RAMOS; LUCHIARI JUNIOR, 2009).

O monitoramento ambiental de águas subterrâneas é definido pela International Organization for Standardization (ISO) como “um processo programado de amostragem, medições e armazenamento de dados sobre várias características da água” (UNEP/WHO, 1996 apud DIAS et al., 2008.) A qualidade da água e suas características (físico-químicas e microbiológicas) precisam ser conhecidas e, por se tratar de um processo lento, as alterações de quantidade e qualidade da água só podem ser bem identificadas através de monitoramento de longo tempo e bem elaborado (Tuinhof et al., 2004 apud DIAS et al., 2008).

O monitoramento da água subterrânea serve como base para o gerenciamento do recurso hídrico, sendo importante para auxílio em tomadas de decisões visando, dentre outros, manutenção, melhoria e remediação do recurso em questão (UNEP/WHO, 1996; SWRCB, 2003;

DIAS et al, 2008). As etapas gerais de um estudo de monitoramento de recursos hídricos incluem:

- Definição dos objetivos do estudo;
- Projeto de rede (pontos, duração e frequência de amostragem e parâmetros a serem determinados);
- Operação do monitoramento (coleta, análise, interpretação, controle de qualidade);
- Avaliação dos resultados frente aos objetivos para validação do monitoramento.

No Brasil, a importância do monitoramento da água está disposta na Política Nacional de Recursos Hídricos, que objetiva, dentre outros, “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (BRASIL, 1997, Art. 2º, Cap. II, Tit. I). De acordo com a Resolução nº 15 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2001), na implementação dos instrumentos da PNRH medidas que assegurem a promoção da gestão integrada das águas deverão ser adotadas.

O enquadramento dos corpos d’água em classes de usos preponderantes é uma das ferramentas que podem favorecer a gestão quanti e qualitativa do recurso (SETTI et al.,2001).

Em um monitoramento de águas subterrâneas, as amostragens devem ser realizadas em um conjunto de poços estrategicamente distribuídos próximos à área de disposição dos resíduos. Os poços classificam-se em poços de jusante – situados a jusante da área de disposição dos resíduos, em relação ao fluxo preferencial da água subterrânea – e poços de montante - localizados a montante da área em relação ao fluxo preferencial da água subterrânea. Nos poços de montante obtém-se a qualidade das águas locais sem interferência dos resíduos dispostos, já nos de jusante pode ser observado, em conjunto com a água, pluma de contaminação advinda da área de disposição (DIAS et al., 2008).

Um poço de montante bem posicionado é, geralmente, suficiente, desde que a possibilidade de exposição ao fluxo de poluentes seja nula. Por sua vez, é recomendado que existam no mínimo três poços de jusante no sistema de monitoramento (CETESB, 1988).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O lixão desativado de São Carlos (lixão Santa Madalena) e os poços de monitoramento existentes encontram-se na fazenda Santa Madalena (Figura 1), no município de São Carlos (SP). O acesso a tal local é feito pela antiga estrada de terra que liga a cidade em questão à Analândia, a cerca de 2 km da rodovia Washington Luiz, km 221. Nesta área havia, na década de 1970, uma voçoroca de grandes dimensões que, de 1980 a 1996, foi usada como depósito de resíduos sólidos domiciliares, de serviços de saúde e industriais, sem nenhum tipo de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública (LOPES, 2003).

Este antigo depósito de lixo encontra-se em área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, do qual provém 50% do abastecimento de água do município (PMSC, 2011), e dele surge uma nascente que alimenta o córrego São José, o qual faz parte da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, uma das principais fontes de abastecimento de água de São Carlos.

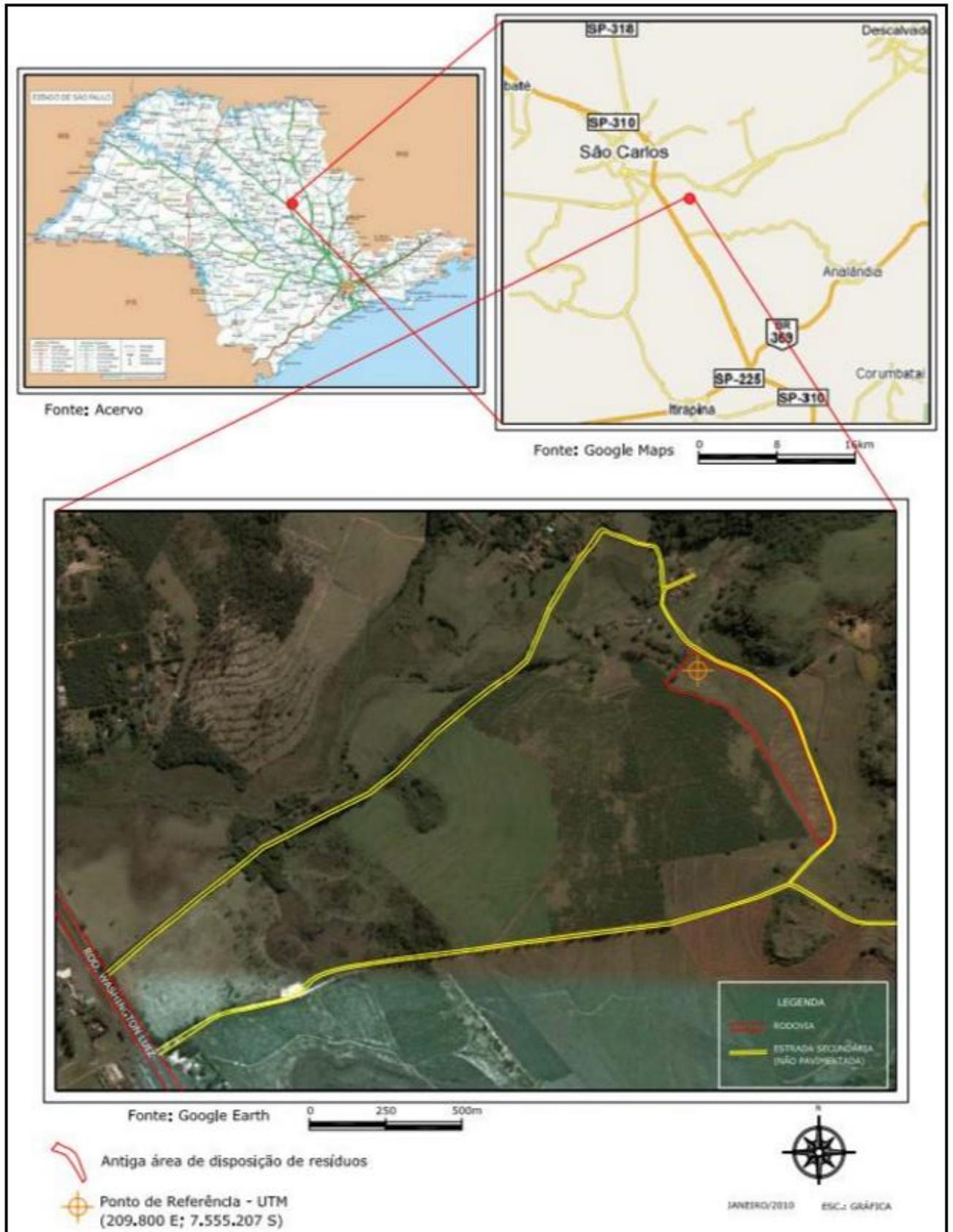


Figura 1 – Localização da área de estudo (Adaptado de PMSC, 2011)

Muitas pesquisas já utilizaram este lixão como área de estudo. Schalch (1992) verificou a presença de alta concentração de metais pesados em aterros experimentais construídos nesta área. Gonçalves et al. (1992) instalaram piezômetros a montante, no meio e a jusante do lixão e comprovaram que o lixão está sobre um solo de alta permeabilidade. Matsuzaki (1998) constatou que o deslocamento da pluma de contaminação do lixão é em direção ao córrego São José. Fusconi e Godinho (1999) demonstraram que o chorume desse depósito altera o comportamento de alguns microrganismos presentes nas águas subterrâneas. Lopes (2007) obteve valores de parâmetros físico-químicos da água de poços de monitoramento acima do permitido. E por fim, os dados mais recentes de qualidade da água subterrânea dessa área foram obtidos pela Prefeitura Municipal de São Carlos (2011), os quais indicaram concentrações de metais pesados acima dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas para o estado de São Paulo (CETESB, 2005) e também acima dos valores máximos permitidos pela antiga Portaria MS nº 518, de 25/03/2004.

4.2. Coleta das amostras de água subterrânea

O monitoramento da água subterrânea foi realizado num período de 12 meses. As amostragens foram realizadas trimestralmente (dezembro, fevereiro, abril e julho), de acordo com os procedimentos recomendados pela Norma 6410 (CETESB, 1988), atualizada em 1999, pela 15495-1 (ABNT, 2007a) e pela NBR 15492 (ABNT, 2007b). Uma vez que as amostras não foram coletadas com auxílio de bomba, as amostragens foram feitas diretamente no poço através de bailer, assim como recomenda CETESB (1987). Para evitar a coleta de água estagnada, realizou-se a purga referente a três volumes de água do interior de cada poço, a fim de assegurar amostras representativas de água (CETESB, 2007d).

Por meio de revisão bibliográfica em outras pesquisas que utilizaram o lixão desativado de São Carlos como área de estudo, fez-se a listagem de todos os parâmetros de qualidade da água analisados por alguns pesquisadores na área de estudo, a fim de servirem para comparação dos resultados obtidos nesse trabalho. Após a escolha efetiva dos piezômetros a serem monitorados, compilou-se a listagem dos parâmetros obtidos em cada piezômetro nas Tabelas 1, 2 e 3 (APÊNDICE A).

Em setembro/2012, os piezômetros existentes no local de estudo foram amostrados e escolhidos. A escolha levou em conta a norma 6410 (CETESB, 1988), que indica a necessidade

do monitoramento de um poço a montante e três poços à jusante. Para amostragem mais significativa, optou-se inicialmente por analisar, além dos estabelecidos pela norma, dois poços dentro da área de influência do antigo lixão de São Carlos e não apenas um, mas dois poços à montante.

Na Tabela 4 (APÊNDICE B), encontram-se todos os piezômetros amostrados em 14 de setembro de 2012, respectivos níveis d'água na data e a referência em que se encontram em relação ao corpo do antigo lixão.

Em outubro/2012, uma campanha de amostragem foi realizada (Figura 2).



Figura 2 – Amostragem em outubro/2012

As coletas foram feitas nos poços PM-01, PM-02, PM-03, PM-29, e PM-25. Decidiu-se coletar amostras dos poços PM-01 e PM-02 uma vez que se constatou que seriam muito representativos já que se encontravam numa área de montante mais distante da área de influência do lixão desativado; os poços PM-01 e PM-02, entretanto, estavam secos. O piezômetro PM-25 foi amostrado uma vez que é um poço de jusante de mais fácil acesso que os demais. Não houve coleta nos demais poços escolhidos anteriormente (PM-10, PM-17, PM-19, PM-23) pois o tempo disponível do automóvel da USP (4 horas) foi insuficiente para coletar água em todos os piezômetros, já que se trata de coleta demorada e extensa área de estudo com os poços - principalmente os de jusante - muito distantes uns dos outros. O difícil acesso aos pontos de amostragem foi um fator prejudicial à coleta, uma vez que o acesso de carro aos piezômetros não foi sempre possível e havia necessidade de carregar muitos equipamentos para a coleta (devido ao terreno arenoso e irregular, o carro não conseguia chegar muito próximo a todos os pontos de amostragem). Além disso, os três poços de jusante encontram-se na fazenda

vizinha à fazenda Santa Madalena (área de estudo), sendo o acesso a essa área possível somente através da ultrapassagem de cercas, além da existência de matagal de altura elevada no local.

Na Tabela 5 (APÊNDICE B), estão listados os piezômetros amostrados em outubro/2012.

Decidiu-se então que nova coleta seria feita com amostragem de menor quantidade de poços e com maior duração. Como a amostragem foi incompleta, optou-se por descartar as amostras coletadas em outubro/2012. Assim, houve nova escolha dos piezômetros a serem amostrados e optou-se por monitorar apenas um piezômetro a montante, três a jusante e um dentro da área de influência do lixão (Figura 3) (Tabela 6). Para melhor acompanhamento, a representação dos poços será feita por letras subscritas indicando a sua referência em relação ao corpo do antigo lixão.

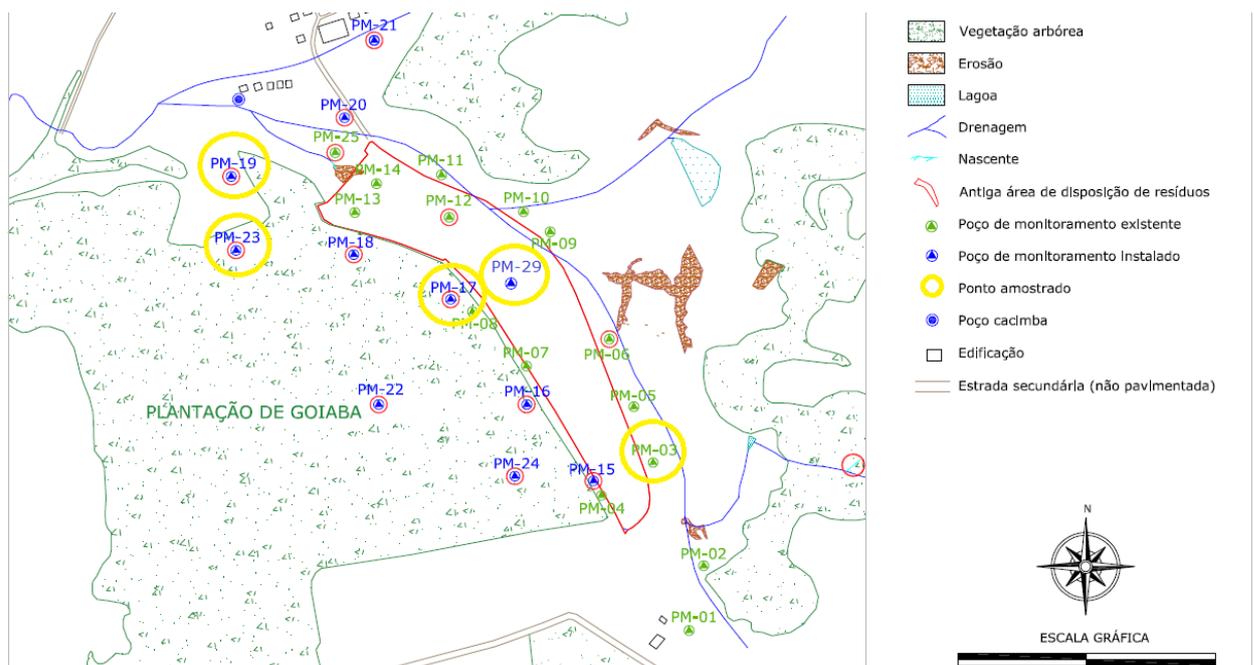


Figura 3 – Poços existentes na área de estudo e poços escolhidos para a coleta

Tabela 6 – Piezômetros escolhidos para as análises efetivas

Piezômetros escolhidos para as amostragens de dezembro, fevereiro, abril e julho	Referência em relação ao corpo do lixão
PM _M -03	Montante
PM _D -29	Dentro
PM _J -17	Jusante
PM _J -19	Jusante

A utilização de automóveis da USP tem grande procura, tanto por alunos de graduação quanto por alunos de pós-graduação. Assim, novas datas para a coleta foram marcadas mas, mesmo com tentativa de agendamento prévio, a reserva dos automóveis não foi possível em muitas ocasiões. Também, houve um período intenso de chuvas em São Carlos, o que impossibilitou a coleta em muitas datas previstas.

A primeira coleta efetiva foi realizada em 06 de dezembro de 2012 (Figuras 4 e 5) (Tabela 7 – APÊNDICE B).



Figura 4 – Medição de nível d'água em dezembro/2012



Figura 5 – Coletas em dezembro/2012

A segunda, terceira e quarta campanhas de amostragem efetivas foram realizadas nos dias 25 de fevereiro (Tabela 8 – APÊNDICE B), 19 de abril (Figura 6) (Tabela 9 – APÊNDICE B) e 01 de julho (Figura 7) (Tabela 10 – APÊNDICE B), respectivamente, sendo que as duas últimas coletas foram realizadas com automóvel adquirido pelo laboratório, o que possibilitou flexibilidade tanto na escolha quanto na mudança, quando necessária, das datas.



Figura 6 – poço de monitoramento em abril/2013



Figura 7 – coleta em julho/2013

4.3. Análises de qualidade da água subterrânea

As amostras foram submetidas a análises de parâmetros físico-químicos no Laboratório de Saneamento da EESC/USP, respeitando-se o tempo e modo de conservação das mesmas. Os parâmetros analisados foram alcalinidade, cloreto, coliforme, condutividade, DBO, DQO, fosfato, metais (alumínio, bário, cádmio, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, estrôncio, ferro, magnésio, manganês, níquel, potássio, prata, sódio e zinco), nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, pH e sulfato.

A seguir estão descritas as metodologias utilizadas nas análises.

4.3.1. Alcalinidade

Em um béquer de 100 mL é adicionado 50 mL de amostra. Com o agitador magnético ligado, o eletrodo de vidro do pHmetro é introduzido no béquer. Mede-se o pH da amostra e a titulação com ácido sulfúrico é iniciada. O ácido sulfúrico utilizado tem molaridade de 0,032 M. Utiliza-se o seguinte cálculo:

$$\frac{30}{M \cdot 1000} = V_1 \rightarrow V_1 = 0,94 \text{ mL}$$

$$\frac{150}{M \cdot 1000} = V_2 \rightarrow V_2 = 4,69 \text{ mL}$$

Assim, o pH da amostra deve atingir o valor de 4,9 utilizando volume de ácido até V_1 . Caso o volume de ácido utilizado esteja entre V_1 e V_2 , então o pH da amostra deve atingir o valor de 4,6. Em último caso, se o volume de ácido sulfúrico utilizado na titulação ultrapassar o valor V_2 , então o pH da amostra deve chegar a 4,3.

Se o pH da amostra for inferior a 4,9, então a titulação não precisa ser feita uma vez que a alcalinidade da amostra será menor que o limite de detecção.

O eletrodo é retirado da amostra, lavado com água destilada, seco e então inicia-se a medição da próxima amostra. Anota-se o volume de ácido sulfúrico gasto em cada amostra e, assim, os cálculos são realizados:

$$\text{Alcalinidade} = \frac{V_t * M * 1000}{V_a}$$

Onde:

V_t = volume (mL) de ácido gasto na titulação

V_a = volume da amostra (mL)

M = molaridade do ácido empregado

4.3.2. Cloreto

Em uma proveta de 25 mL adiciona-se o mesmo volume de amostra. Adiciona-se também, em outra proveta de mesmo volume, 25 mL de água destilada para a medição do branco. Os reagentes “Mercuric Thiocyanate Solution” e “Ferric Ion Solution” são adicionados nos volumes de 2 mL e 1 mL respectivamente, na amostra e no branco. Agita-se bem a nova solução. No aparelho DR – Hach o programa de leitura de cloretos é ajustado e faz-se a leitura, primeiro do branco e posteriormente da amostra. O procedimento é realizado com todas as amostras.



Figura 8 – Análise de cloreto (julho/2013)

4.3.3. Coliforme

Num tubo plástico 97 mL de amostra é adicionado. A amostra é adicionada no meio de cultura específico e homogeneizada. A solução é então distribuída sobre cartela Colilert e colocada na seladora. Durante 24 horas a cartela fica acondicionada numa estufa para posteriormente a leitura ser feita, pela cor, através de tabela. A presença de coliforme é indicada pela mudança de cor da solução, onde o coliforme total é indicado pela cor amarelada e o coliforme fecal pela cor azulada, vista somente sob luz ultravioleta.



Figura 9 – Análise de coliforme (fevereiro/2013)

4.3.4. *Condutividade*

Um volume de aproximadamente 100 mL de amostra é adicionado em um béquer. Com o condutivímetro já calibrado, seu eletrodo é inserido na amostra até o aparelho apontar um valor estável de condutividade. O eletrodo é retirado da amostra, lavado com água destilada, seco e então inicia-se a medição da próxima amostra.

4.3.5. *Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)*

Com base nos resultados de DQO obtidos, a partir de uma tabela de carbono orgânico dissolvido (COD), verifica-se quais serão as quantidades necessárias de cada amostra para a medição da DBO. As quantidades são então colocadas em frascos winklers, que são posteriormente completados com água de diluição. Além disso, um frasco winkler é preenchido com água de diluição para a leitura do branco. As amostras são encubadas durante cinco dias a uma temperatura de 20°C e então a leitura da DBO é realizada no oxímetro.

4.3.6. *Demanda química de oxigênio (DQO)*

Em um tubo de ensaio pequeno adiciona-se 2 mL de amostra, 1,5 mL de dicromato de potássio e 3 mL de ácido sulfúrico. O procedimento é realizado com todas as amostras. Os tubos são então tampados e agitados cuidadosamente. Para a medição do branco são necessários dois tubos de ensaio com 2 mL de água destilada cada. Em seguida, as amostras são colocadas no digestor à temperatura de 150°C. Passados 120 minutos, as amostras são retiradas e, após esfriarem, a leitura é feita no aparelho DR – Hach, primeiro dos brancos e depois das amostras.

4.3.7. *Fosfato*

Em um tubo de ensaio é adicionado 30 mL de amostra com 3 mL de persulfato de potássio. O procedimento é realizado com todas as amostras, Para a medição do branco é adicionado num tubo de ensaio 30 mL de água destilada e 3 mL de persulfato de potássio. A ponta dos tubos é coberta com papel alumínio e eles são então acondicionados dentro da autoclave a 120°C por uma hora. Após desligar o aparelho e aguardar 15 minutos para os tubos esfriarem, 3 mL de indicador misto é adicionado em cada um. Após agitação e no mínimo mais 15 minutos de espera a leitura pode ser realizada, num intervalo de tempo máximo de até duas horas após a adição do indicador misto.

4.3.8. *Metais*

Em um erlenmeyer de 125 mL é colocado 50 mL de amostra e 6 mL de solução de ácido nítrico. A vidraria é colocada sobre chapa de aquecimento, localizada no interior da capela, até que o volume reduza para um valor entre 10 e 20 mL. O erlenmeyer é então retirado, 10 mL de solução de ácido nítrico é adicionada novamente e o frasco é disposto novamente sobre a chapa de aquecimento, ali ficando até que o volume reduza para um valor entre 10 e 20 mL. Retira-se a vidraria e adiciona-se então 5 mL de solução de ácido clorídrico e 7,5 mL de água destilada. Após 5 minutos a amostra é colocada em uma proveta de 50 mL com tampa e seu volume é completado com água destilada. A amostra é colocada em tubos de ensaio e depois de no mínimo doze horas de espera – tempo necessário para ocorrer a sedimentação – a leitura da absorbância é feita. O procedimento é realizado com todas as amostras. Para a leitura do branco o mesmo procedimento é feito, substituindo a amostra pela água destilada.



Figura 10 – Digestão de metais (dezembro/2012)

4.3.9. Nitrato

O primeiro passo para a leitura do nitrato é a floculação das amostras. Uma proveta com tampa é preenchida com 100 mL de amostra e 3 mL de suspensão de hidróxido de alumínio. Após agitação e 15 minutos de espera inicia-se a filtração, realizada primeiro com membrana de 2.1 μm e em seguida com membrana de 0,45 μm .

Em outra proveta de menor volume são adicionados 25 mL de amostra e 0,5 mL de solução de ácido clorídrico. O procedimento é realizado com todas as amostras. Para a medição do branco é utilizado 25 ml de água destilada e 0,5 mL de solução de ácido clorídrico. A leitura da absorbância é feita no espectrofotômetro e o cálculo a seguir é realizado:

$$\text{Nitrato} = (4,0761 * \text{Absorbância}) - 0,0889$$



Figura 11 – Análise de nitrato (abril/2013)

4.3.10. Nitrito

O primeiro passo para a leitura do nitrito é a floculação das amostras. Uma proveta com tampa é preenchida com 100 mL de amostra e 3 mL de suspensão de hidróxido de alumínio. Após agitação e 15 minutos de espera inicia-se a filtração, realizada primeiro com membrana de 2.1 μ m e em seguida com membrana de 0,45 μ m.

Em outra proveta de menor volume são adicionados 50 mL de amostra e 0,5 mL do reagente sulfamilamida. Após 5 minutos 0,5 mL do reagente n-naftil é adicionado. Passados 10 minutos a leitura da concentração é feita no espectrofotômetro. Para a medição do branco é utilizado 50 mL de água destilada e os dois reagentes anteriormente citados. O procedimento é realizado com todas as amostras.



Figura 12 – Análise de nitrato (fevereiro/2013)

4.3.11. Nitrogênio amoniacal (NH_3)

Em provetas de 100 mL, 10 mL de amostra é adicionada e o volume é completado com água destilada. A solução é transferida para um tubo de ensaio e 2 mL de hidróxido de sódio e 3 gotas de fenolftaleína são adicionados.

Em um erlenmeyer 100 mL de solução de ácido bórico para nitrogênio e 6 gotas do indicador misto para NTK/ NH_3 são adicionados.

Erlenmeyer e tubo de ensaio são então colocados no aparelho destilador e após 6 minutos o conteúdo presente no tubo de ensaio é titulado com ácido sulfúrico.

O procedimento é realizado com todas as amostras. Para a medição do branco o mesmo procedimento é realizado, substituindo a amostra por água destilada.

O cálculo a seguir é realizado:

$$NH_3 = \frac{1400 * M * Vt}{Va} - Vb$$

Onde:

M = molaridade do ácido empregado

V_t = volume (mL) de ácido gasto na titulação da amostra

V_a = volume da amostra (mL)

V_b = volume (mL) de ácido gasto na titulação do branco



Figura 13 – Análise de nitrogênio amoniacal (abril/2013)

4.3.12. Nitrogênio total (NTK)

Em um tubo de ensaio é adicionado 25 mL de amostra, 25 mL de ácido sulfúrico e 10g de catalisador NTK. O procedimento é realizado com todas as amostras. Os tubos de ensaio são então colocados no aparelho digestor que opera durante vinte minutos na potência 10 e durante duas horas na potência 9. Após o esfriamento dos tubos a nova solução é destilada com hidróxido de sódio. Para a medição do branco o mesmo procedimento é realizado, substituindo a amostra por água destilada. É realizada titulação com ácido sulfúrico.

O cálculo a seguir é realizado:

$$NTK = Vb - \frac{1400 * M * Vt}{Va}$$

Onde:

M = molaridade do ácido empregado

V_t = volume (mL) de ácido gasto na titulação da amostra

V_a = volume da amostra (mL)

V_b = volume (mL) de ácido gasto na titulação do branco

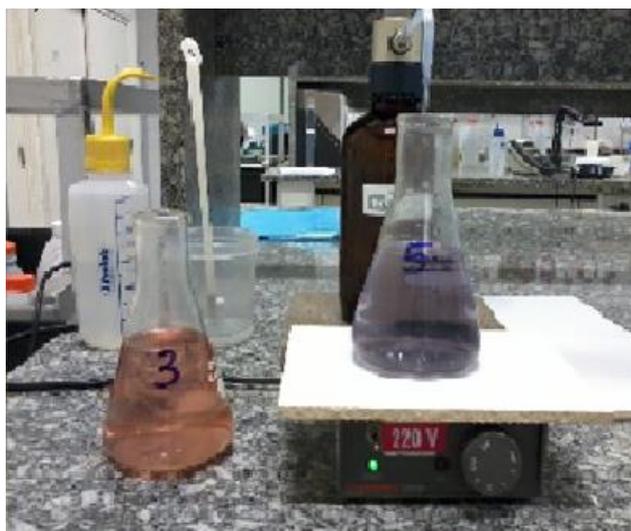


Figura 14 – Análise de nitrogênio total (dezembro/2012)

4.3.13. *pH*

Um volume de aproximadamente 50 mL de amostra é adicionado em um béquer de 100 mL. Com o pHmetro já calibrado, seu eletrodo de vidro é inserido na amostra até o aparelho apontar um valor estável de pH. O eletrodo é retirado da amostra, lavado com água destilada, seco e então inicia-se a medição da próxima amostra.

4.3.14. Sulfato

Em uma proveta com tampa é adicionado 25 mL de amostra e um sachê de reagente Sulfaver – Sulfate Reagent. Sem homogeneizar a amostra, a leitura é feita no aparelho DR – Hach, sendo a leitura do branco feita com a própria amostra sem reagente. O procedimento é realizado com todas as amostras.



Figura 15 – Análise de sulfato (dezembro/2012)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as análises foram efetuadas respeitando o tempo de conservação das amostras.

Os resultados encontrados para cada parâmetro, em cada campanha de amostragem, encontram-se no APÊNDICE C.

5.1. Metais não analisados em abril

Na terceira amostragem a análise de metais não foi realizada. Por ser uma análise demorada, exigindo um período contínuo de 12 horas no laboratório, a disponibilidade para realizar a digestão não coincidiu com a do técnico responsável pela leitura, que entrou em período de férias. No retorno das férias, as amostras já não apresentavam condições adequadas para realização de análises uma vez que estavam muito degradadas. Decidiu-se então não realizar a análise e conclui-se que a não realização da análise em abril/2013 não interferiu na interpretação dos resultados do presente relatório já que a variação de metais, nas três outras análises, foi pequena.

5.2. Análise de coliforme

Na segunda amostragem foi efetuada a quantificação da bactéria *Escherichia coli*. Como pode ser visto na Tabela 15, houve presença da bactéria apenas na amostra do poço situado à montante do lixão desativado (PM_M-03), indicando a presença de coliformes fecais. Em todas as outras amostras houve ausência da bactéria. Optou-se por não realizar análises de *E. coli* na terceira e quarta amostragens tanto pela ausência nas amostras nos poços de jusante e dentro da área do lixão, quanto pelo elevado custo econômico da realização da análise em questão. Segundo CONAMA (1986) não deve haver presença de coliformes fecais em água utilizada para consumo humano. A presença de coliformes fecais à montante do antigo lixão pode ser devido à criação de búfalos na área em questão, já que eles podem transmitir a bactéria (CDC, 2010).

Tabela 15 – Quantificação de *Escherichia coli* em fevereiro/2013

Poço	Quantidade de <i>E. coli</i> /100 MI
PM-03	19
PM-29	Ausente
PM-17	Ausente
PM-19	Ausente
PM-23	Ausente

5.3. Visualização gráfica da variação de pH, cloretos, condutividade e alcalinidade

Para melhor visualização de alguns resultados as Figuras 16, 17, 18 e 19 abaixo foram plotados, indicando a variação de alguns parâmetros analisados das amostras de dezembro/2012, fevereiro/2013, abril/2013 e julho/2013.

A partir da Figura 16 é possível observar que nos piezômetros PM_M-03, PM_J-19, PM_J-23 e PM_D-29 a variação dos valores de pH nas diferentes datas de amostragem foi pequena. A exceção ocorreu no mês de dezembro no piezômetro PM_J-17, com valor de pH significativamente mais baixo.

Os maiores valores de pH foram obtidos no piezômetro PM_D-29, situado dentro da área de influência do antigo lixão. Como a discrepância foi significativa em comparação aos demais piezômetros, é possível concluir que o material orgânico presente na área afetou os valores do parâmetro analisado. Segundo Al-Muzaini et al (1995), mesmo após a recepção de resíduos o lixiviado é produzido por cerca de 50 anos, sendo que a ação de microrganismos metanogênicos passa a ser quase exclusiva. Nas fases metanogênicas do lixiviado, a atividade de microrganismos ocorre numa faixa de pH que varia entre 5,0 e 9,0 (Silva, 2009).

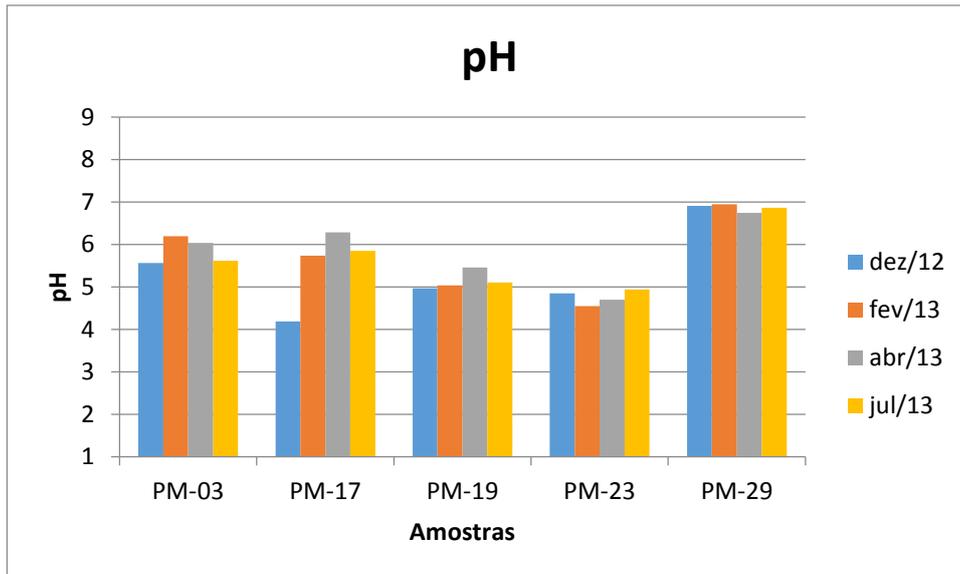


Figura 16 – Valor de pH nas amostras

Já a o parâmetro cloreto, como pode ser visto na Figura 17, apresentou concentrações significativas nas amostras de dezembro e fevereiro do piezômetro PM_J-17 e em todas as amostras do piezômetro PM_D-29. Além disso ocorreu variações significativas entre as amostras de ambos os poços, sendo que no piezômetro PM_J-17 o pico de cloreto ocorreu nos meses de dezembro e fevereiro e no piezômetro PM_J-19 ocorreu nos meses de fevereiro e julho. Como o poço PM_D-29 e o poço PM_J-17 encontram-se respectivamente dentro e à jusante da área de influência do antigo lixão, conclui-se que a alta concentração de cloreto em ambos é decorrente da influência da matéria orgânica na porção de água subterrânea que atinge ambos os poços.

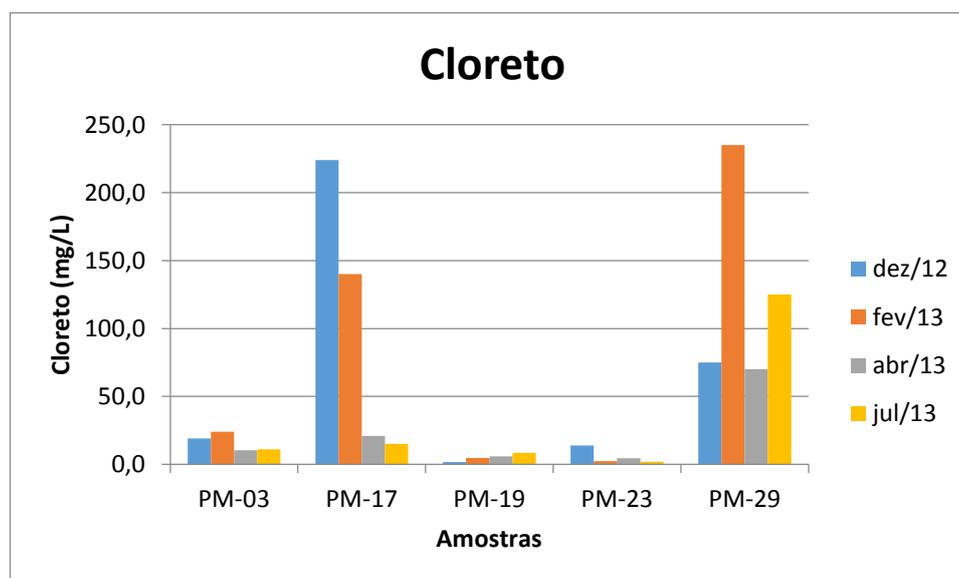


Figura 17– Concentração de cloreto nas amostras

Por sua vez, a variação de condutividade (Figura 18) não foi significativa nas amostras dos piezômetros PM_M-03, PM_J-17, PM_J-19 e PM_J-23. Houve, entretanto, grande variação nas diferentes amostragens em PM_D-29, além de ser o piezômetro que apresenta os maiores valores, em todas as amostragens, do parâmetro em questão.

O ânion cloreto é um dos íons que mais influenciam na condutividade (APHA, 1998), o que pode ser observado quando é feita a comparação entre os valores de condutividade das amostras do piezômetro PM_D-29 com os valores de cloreto no mesmo piezômetro. Ademais, a amostragem com maior valor de condutividade do piezômetro em questão é a mesma amostragem que apresenta maior concentração de cloreto (fevereiro/2013).

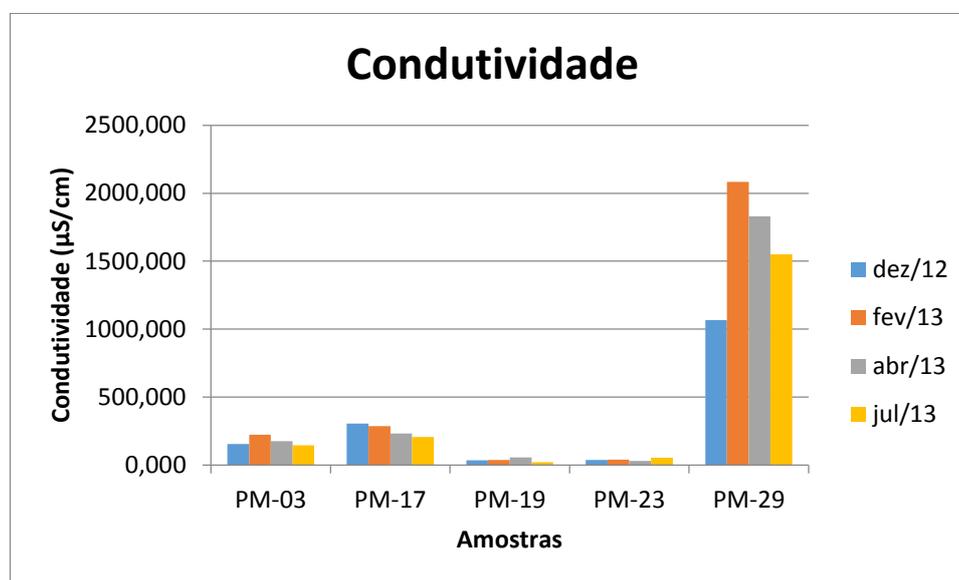


Figura 18 – Valor de condutividade nas amostras

Por fim, concentrações elevadas de alcalinidade foram observadas apenas nas amostras de PM_D-29, havendo também variação entre as diferentes amostragens, como indica a Figura 19. A amostragem realizada no mês de fevereiro apresentou maior concentração do parâmetro, podendo essa concentração ter sido ocasionada por causa do período de chuvas.

Os ânions mais comuns causadores de alcalinidade são cálcio e magnésio. De fato, pela análise da Tabela 14 (APÊNDICE C) é possível observar as elevadas concentrações dos dois metais em todas as amostragens realizadas no piezômetro PM_D-29. Ademais, a elevada alcalinidade provém da decomposição da matéria orgânica, sendo portanto consequência da antiga deposição de lixo na área.

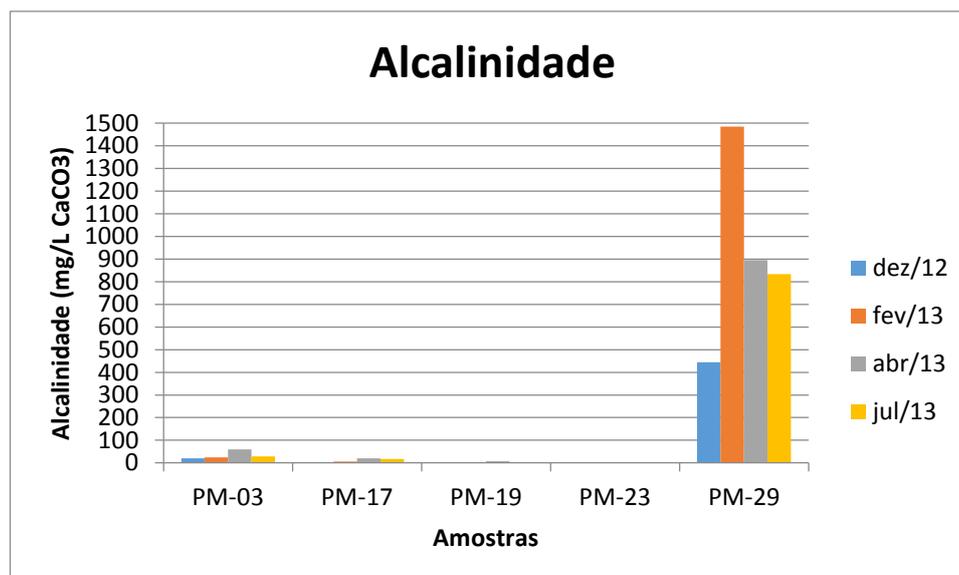


Figura 19 – Valor de alcalinidade nas amostras

5.4. Comparações

5.4.1. Comparação com os valores do APÊNDICE A

Os resultados obtidos foram comparados com aqueles do APÊNDICE A, para os mesmos meses de amostragem (dezembro/2010 com dezembro/2012 e julho/2010 com julho/2013) a fim de observar a evolução dos parâmetros analisados. Para tanto duas novas tabelas foram feitas (Tabelas 15 e 16). É importante salientar que o poço PM_D-29 é um poço novo, construído no ano de 2012 por uma pesquisadora de doutorado, portanto não há dados para comparação. Uma alternativa seria comparar os valores obtidos com os valores do piezômetro PM-12, uma vez que ambos se encontram próximos um ao outro, entretanto, não existem dados do PM-12.

Na Tabela 15 é apresentada a comparação dos parâmetros para o mês de dezembro. Já na Tabela 16 é apresentada a comparação dos parâmetros para o mês de julho.

Tabela 15 – Comparação entre os valores do APÊNDICE A e os valores obtidos no projeto para o mês de dezembro
- Continua

Amostra	Parâmetro	Valores anteriores (mg/L)	Valores obtidos (mg/L)	Situação
PM _M -03				
	Condutividade (µS/cm)	-	153,9	-
	pH	-	5,57	-
	Alumínio	-	0,97	-
	Chumbo	-	0,2	-
	Cádmio	-	0,18	-
	Cobalto	-	0,077	-
	Ferro	-	22,56	-
	Cobre	-	<0,003	-
	Cromo	-	0,051	-
	Níquel	-	0,278	-
	Zinco	-	0,139	-
	Bário	-	<0,005	-
PM _J -17				
	Condutividade (µS/cm)	-	304,9	-
	pH	-	4,19	-
	Alumínio	ND	0,97	AUMENTO
	Chumbo	0,156	0,2	AUMENTO
	Cádmio	ND	0,194	AUMENTO
	Cobalto	0,014	0,173	AUMENTO
	Ferro	ND	201,5	AUMENTO
	Cobre	ND	0,275	AUMENTO
	Cromo	ND	0,153	AUMENTO
	Níquel	ND	0,343	AUMENTO
	Zinco	0,0445	0,38	AUMENTO
	Bário	0,119	<0,005	DIMINUIÇÃO

Tabela 15 – Comparação entre os valores do APÊNDICE A e os valores obtidos no projeto para o mês de dezembro
- Conclusão

Amostra	Parâmetro	Valores anteriores (mg/L)	Valores obtidos (mg/L)	Situação
PM _J -19	Condutividade (µS/cm)	-	33,85	-
	pH	-	4,97	-
	Alumínio	0,309	<0,001	DIMINUIÇÃO
	Chumbo	ND	0,11	AUMENTO
	Cádmio	ND	0,183	AUMENTO
	Cobalto	ND	0,068	AUMENTO
	Ferro	ND	0,788	AUMENTO
	Cobre	ND	<0,003	IGUAL
	Cromo	ND	0,049	AUMENTO
	Níquel	ND	0,253	AUMENTO
	Zinco	0,0308	0,123	AUMENTO
	Bário	ND	<0,005	IGUAL
	PM _J -23	Condutividade (µS/cm)	-	37,6
pH		-	4,85	-
Alumínio		0,322	43,01	AUMENTO
Chumbo		0,032	0,29	AUMENTO
Cádmio		ND	0,195	AUMENTO
Cobalto		ND	0,149	AUMENTO
Ferro		ND	196,6	AUMENTO
Cobre		ND	0,146	AUMENTO
Cromo		ND	0,144	AUMENTO
Níquel		ND	0,371	AUMENTO
Zinco		0,0259	0,273	AUMENTO
Bário		0,0605	<0,005	DIMINUIÇÃO

Tabela 16 - Comparação entre os valores do APÊNDICE A e os valores obtidos no projeto para o mês de julho -
 Continua

Amostra	Parâmetro	Valores anteriores (mg/L)	Valores obtidos (mg/L)	Situação
PM _M -03	Condutividade (µS/cm)	118	144,2	AUMENTO
	pH	5,45	5,62	DIMINUIÇÃO DA ACIDEZ
	Alumínio	-	0,45	-
	Chumbo	-	0,35	-
	Cádmio	-	0,057	-
	Cobalto	-	0,025	-
	Ferro	-	2,2	-
	Cobre	-	<0,003	-
	Cromo	-	0,084	-
	Níquel	-	0,144	-
	Zinco	-	0,105	-
	Bário	-	<0,005	-
PM _J -17	Condutividade (µS/cm)	305	206,9	DIMINUIÇÃO
	pH	6,34	5,85	AUMENTO DA ACIDEZ
	Alumínio	0,16	0,56	AUMENTO
	Chumbo	0,015	0,31	AUMENTO
	Cádmio	ND	0,048	AUMENTO
	Cobalto	0,003	0,055	AUMENTO
	Ferro	ND	0,814	AUMENTO
	Cobre	0,008	<0,003	DIMINUIÇÃO
	Cromo	ND	0,097	AUMENTO
	Níquel	ND	0,135	AUMENTO
	Zinco	ND	0,106	AUMENTO
	Bário	0,02	<0,005	DIMINUIÇÃO

Tabela 16 - Comparação entre os valores do APÊNDICE A e os valores obtidos no projeto para o mês de julho - Conclusão

Amostra	Parâmetro	Valores anteriores (mg/L)	Valores obtidos (mg/L)	Situação
PMJ-19	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	29	21,4	DIMINUIÇÃO
	pH	4,62	5,11	DIMINUIÇÃO DA ACIDEZ
	Alumínio	0,29	3,04	AUMENTO
	Chumbo	0,02	0,56	AUMENTO
	Cádmio	0,001	0,045	AUMENTO
	Cobalto	0,005	0,045	AUMENTO
	Ferro	0,02	6,316	AUMENTO
	Cobre	0,003	0,013	AUMENTO
	Cromo	ND	0,097	AUMENTO
	Níquel	ND	0,139	AUMENTO
	Zinco	ND	0,134	AUMENTO
	Bário	0,06	<0,005	DIMINUIÇÃO
	PMJ-23	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	58	53,5
pH		4,81	4,94	DIMINUIÇÃO ACIDEZ
Alumínio		0,29	<0,001	DIMINUIÇÃO
Chumbo		0,022	0,39	AUMENTO
Cádmio		ND	0,051	AUMENTO
Cobalto		0,006	0,042	AUMENTO
Ferro		0,02	0,808	AUMENTO
Cobre		0,003	0,008	AUMENTO
Cromo		ND	0,088	AUMENTO
Níquel		ND	0,124	AUMENTO
Zinco		ND	0,093	AUMENTO
Bário		0,06	<0,005	DIMINUIÇÃO

A evolução dos parâmetros não ocorreu de forma semelhante nos poços analisados. Entretanto, na maioria dos piezômetros, nas duas amostragens comparadas, houve aumento da concentração dos parâmetros. Assim, a evolução dos parâmetros indica o aumento da influência da decomposição da matéria orgânica sob a água subterrânea presente na área. A qualidade da água, portanto, piorou.

5.4.2. Comparação com a Portaria MS nº 2914

A comparação foi feita com os valores máximos permitidos (VMP) para consumo humano da Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011, que dispõe sobre o padrão de potabilidade e os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano. A Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011, nos seus anexos X e VII, apresentam os seguintes valores máximos permitidos (Tabela 17):

Tabela 17 – Valores máximos permitidos (VMP) para consumo humano

Parâmetro	VMP (mg/L)
Alumínio	0,2 mg/L
Bário	0,7 mg/L
Cádmio	0,005 mg/L
Chumbo	0,01 mg/L
Cobre	2 mg/L
Cromo	0,05 mg/L
Cloreto	250 mg/L
Escherichia coli	Ausência em 100 ml
Ferro	0,3 mg/L
Manganês	0,1 mg/L
Níquel	0,07 mg/L
Nitrato	10 mg/L
Nitrito	1 mg/L
Nitrogênio Amoniacal	1,5 mg/L
Sódio	200 mg/L
Sulfato	250 mg/L
Zinco	5 mg/L

Fonte: Adaptado de Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011 (Federal)

Comparando os valores obtidos no estudo com os listados na Tabela 17, as tabelas presentes no APÊNDICE D foram construídas. Os parâmetros em vermelho são aqueles que ultrapassam os valores máximos permitidos estabelecidos pela Portaria MS nº 2914 (2011), os parâmetros em verde, por sua vez, são aqueles que não ultrapassam os valores máximos permitidos estabelecidos pela Portaria em questão.

Conclui-se que a água subterrânea não está contaminada, de acordo com os parâmetros estabelecidos por Portaria MS nº 2914, por cloreto, sulfato, nitrito, zinco, cobre, bário e sódio pois os valores encontrados no presente projeto não ultrapassam os VMP. Por sua vez, chumbo, cádmio, níquel, ferro, manganês, nitrato, nitrogênio amoniacal, cromo, alumínio e *Escherichia coli* (coliformes fecais) apresentam valores acima dos VMP na água subterrânea.

Portanto, através da comparação, segundo valores apresentados na Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011 (Federal), a água subterrânea analisada não apresenta qualidade adequada para o consumo humano.

5.4.3. Comparação com os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo

Houve comparação dos resultados analisados com os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - 2014 (CETESB, 2014).

Os valores orientadores são definidos em valor de referência de qualidade (VRQ), valor de prevenção (VP) e valor de intervenção (VI). O primeiro indica concentração de determinada substância que define o solo como limpo ou indica a qualidade da água subterrânea. Já o VP indica a concentração de determinada substância acima da qual pode haver alterações prejudiciais à qualidade do solo ou da água subterrânea. Por sua vez, o valor de intervenção (VI) é definido como a concentração de certa substância no solo ou na água subterrânea acima da qual há riscos potenciais à saúde humana.

Na resolução em questão, apenas são apresentados, para a água subterrânea, valores de intervenção (VI) (Tabela 21).

Tabela 21 – Valores de intervenção (VI) para a água subterrânea

Parâmetro	VI (µg/L)
Bário	700
Cádmio	5
Chumbo	10
Cobalto	70
Cobre	2000
Cromo total	50
Níquel	70
Prata	50
Zinco	1800

Fonte: Adaptado de CETESB (2014)

Comparando os valores obtidos neste estudo com os listados na Tabela 21, as tabelas presentes no APÊNDICE E foram construídas. Os parâmetros em vermelho são aqueles que ultrapassam os valores de intervenção estabelecidos por CETESB (2014), os parâmetros em verde, por sua vez, são aqueles que não ultrapassam os valores máximos permitidos estabelecidos por CETESB (2014).

Conclui-se que a água subterrânea não está contaminada, de acordo com os parâmetros estabelecidos por CETESB (2014), por zinco, cobre, bário e prata já que os valores encontrados no presente projeto não ultrapassam os VI. Por sua vez, chumbo, cádmio, níquel, cromo e cobalto apresentam valores acima dos VI na água subterrânea.

Portanto, através de tal comparação, segundo valores apresentados por CETESB na decisão de diretoria nº 045/2014/E/C/I, a água subterrânea analisada apresenta riscos potenciais à saúde humana.

5.5. Estudo anteriores

A contaminação da água subterrânea na área do lixão desativado de São Carlos foi comprovada inicialmente em 1995.

De acordo com Velozo (2006), a contaminação do aquífero livre na área do lixão até aproximadamente 25 metros de profundidade. O fluxo do contaminante da área é facilitado por alguns fatores como alta permeabilidade dos materiais arenosos na região, que encontram-se na faixa de 10^{-5} m/s; ausência de barreiras menos permeáveis; variação sazonal do nível d'água;

baixa capacidade de troca catiônica e conseqüente baixa capacidade de retenção de contaminante.

Também, PMSC (2011) comprovou a existência de plumas de contaminação na água subterrânea para os compostos alumínio, chumbo, cobalto, ferro e manganês.

6. CONCLUSÃO

Pela análise dos gráficos e tabelas fica claro que os parâmetros analisados no piezômetro PM_D-29 apresentam, no geral, os valores menos satisfatórios dentre todos os piezômetros analisados, ou seja, há grande influência da matéria orgânica na área situada dentro do corpo do lixão desativado de São Carlos.

Através das comparações feitas no presente estudo, tanto com Portaria MS nº 2914 quanto com Decisão de diretoria nº 045/2014/E/C/I, fica claro que existe a contaminação da água subterrânea.

O presente estudo aponta que a contaminação da água subterrânea na área de estudo persiste até os dias atuais e que, além da contaminação pelos metais alumínio, chumbo, cobalto, ferro e manganês, também existe contaminação por cádmio, níquel e cromo. Assim, a qualidade da água subterrânea encontra-se pior que em anos anteriores; apesar de não estar havendo disposição de rejeitos na área há anos, o fato pode estar associado à formação de lixiviado que perdura por muito tempo após o fim da atividade. Sugere-se, para estudos posteriores, a investigação detalhada das razões da diminuição da qualidade da água, com possíveis levantamentos históricos, além da continuidade no monitoramento da área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15492 (2007). Sondagens de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento**. Rio de Janeiro – RJ.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15495-1:2007 Versão Corrigida 2:2009 Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e Construção**.

AL-MUZAINI, S.; BEG, M. U.; MUSLMANI, K. **Characterization of landfill leachates at waste disposal site in Kuwait**. Environmental International. V. 21, n. 4, p. 399-405 (1995).

ÁLVARES, C.M.B. **Contribuição ao conhecimento do meio físico da região do lixão de São Carlos – SP, através de estudos geológicos, geofísicos, topográficos e químicos**. 158p Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

ARAUJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTER, P.E. **Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai; Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacaurémbo**. Curitiba: UFPR-Petrobras, 1995. Texto Explicativo, 16p.

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999. 109 p.

BOSCARDIN BORGHETTI, N. R.; BORGUETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guaraní: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais (GIA). Maxigráfica: Curitiba, PR. 214p. 2004.

BOSSOLAN, N. R. S. **Aspectos ecológicos das populações bacterianas em águas subterrâneas sob o efeito de um aterro controlado**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, Brasil, 1993.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

CAPELINI, M. **Potencialidade e aplicação da prevenção de resíduos de embalagens: abordagem sobre o projeto do produto e o consumo**. 273f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CDC – Centers for Disease Control and Prevention. ***Escherichia coli* Infection and Farm Animals**. USA, July 28,2010. Disponível em: <www.cdc.gov>. Acesso em 03/07/2013

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria Nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014**. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 29/07/2015.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Amostragem e Monitoramento das Águas Subterrâneas**. 1988, Atualizado 11/1999. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 30/06/2013.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia de Coleta e Preservação de amostras de água**. 1987. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 30/06/2013.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Procedimento para amostragem de água subterrânea**. Cód: S704V01. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2p. 2007.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001**. Publicado na DOU em 12/janeiro/2001.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986**. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em 03/07/2013.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em 03/07/2013.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Disponível em <www.mma.gov.br>. Acesso em 03/07/2013.

CONTIN NETO, D. **Avaliação da poluição e da contaminação dos recursos hídricos na região do aterro controlado de São Carlos – SP, através de monitoramento e modelagem matemática**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). Universidade de São Paulo (USP). São Carlos, SP, Brasil, 1998.

DIAS, C. L.; BARBOUR, E. D. A.; MODESTO, R. P.; CASARINI, D. C. P. **A importância do monitoramento das águas subterrâneas na gestão dos recursos hídricos**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal/RN, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Proposta de Boas Práticas Agrícolas para as Áreas do Afloramento do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto - SP**. 2009. Disponível em <<http://www.embrapa.br>>. Acesso em 14/12/2011.

FUSCONI, R.; GODINHO, M.J.L. Bacteria and protozoa populations in groundwater in a landfill área in São Carlos, SP. **Revista de Microbiologia**, v. 30, 1999.

GADOTTI, R. F. **Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao “lixão” da cidade de São Carlos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, USP, Brasil, 1997.

HIRATA, R. Recursos Hídricos. In: Wilson Teixeira; Fábio Taioli; Maria Cristina Motta de Toledo; Thomas Rich Fairchild (Org). **Decifrando a Terra**. Cap. 20: p.421-444. São Paulo, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2000. Disponível em < <http://www.ibge.com.br> >. Acesso em 13/12/2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2008. Disponível em < <http://www.ibge.com.br> >. Acesso em 13/12/2011.

KARMANN, I. Ciclo da Água, Água subterrânea e sua ação geológica. In: Wilson Teixeira; Fábio Taioli; Maria Cristina Motta de Toledo; Thomas Rich Fairchild (Org). **Decifrando a Terra**. Cap. 7: p.113-138. São Paulo, 2000.

L. BENGTSSON; D. BENDZ; W. HOGLAND; H. ROSQVIST; M. AKESSON. Water balance for landfills of different age. **Journal of Hydrology** 158, 1994, p.203-217.

L. M. JOHANNESSEN WITH G. BOYER. **Observations of Solid Waste Landfills in Developing Countries: Africa, Asia and Latin America**. 1999.

LIMA, S. J. **Avaliação da Contaminação do Lençol Freático do Lixão Municipal de São Pedro da Aldeia-RJ**. Tese (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2003.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos (SP)**. São Carlos, 178p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na Bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13)**. 370 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MATSUZAKI, S. S. **Aplicação de modelo computacional de escoamento de água subterrânea no lixão de São Carlos**. 113p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

MS – Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – **Portaria MS n.º 518/2004** – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 28 p. – (Série E. Legislação em Saúde).

MS – Ministério da Saúde. **Portaria MS n.º 2914 de 12/12/2011 (Federal)**. Disponível em: <www.suvisa.rn.gov.br>. Acesso em 02/07/2013.

OLIVEIRA S.; PASQUAL, A. **Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de um aterro sanitário**. Engenharia Sanitária e Ambiental vol.9 no.3 Rio de Janeiro, 2004.

OTERO D'ALMEIDA, M.L.; VILHENA, A. (coord). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. 2000.

PIZARRO, M.L.P. **Simulação de Fluxo de Água e Transporte de Solutos na Zona Não-Saturada do Solo pelo Método de Elementos Finitos Adaptativo**. 185 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PMSC - Prefeitura Municipal de São Carlos. **Investigação ambiental detalhada, avaliação de risco à saúde humana e medidas de intervenção na área do antigo lixão Fazenda Santa Madalena**. Relatório final. Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano - SMHDU. São Carlos, 2011.

RAMOS, N. P.; LUCHIARI JUNIOR, A. Monitoramento ambiental. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 29/07/2015.

RIBEIRO, W. C. Aquífero Guarani: gestão compartilhada e soberania. **Estudos Avançados** 22 (64), 2008.

ROCHA, L. C. R & HORBE, A. M. C. **Contaminação provocada por um depósito de lixo no aquífero Alter do Chão em Manaus – AM**. Universidade Federal do Amazonas, 2005.

SCHALCH, V. **Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia**. São Carlos. 220p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.

SCHALCH, V. **Produção e características do chorume em processo de decomposição de lixo urbano**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. C. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas. Brasília, 2001.

SHIRAIWA, S.; LISOVSKY, S. P.; ELIS, V. R.; PORSANI, J. L.; BORGES, W. R. Estudos geofísicos integrados do lixão de Cuiabá, MT, Brasil – resultados preliminares. **Revista Brasileira de Geofísica** vol.20 no.3 São Paulo, 2002.

SILVA, F. B. **Tratamento combinado de lixiviados de aterros sanitários**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2009.

T. HARTER. **Groundwater Quality and Groundwater Pollution**. Publication 8084. 2003 by the Regents of the University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.

U. K. SINGH; M. KUMAR; R. CHAUHAN; P. K. JHA; AL. RAMANATHAN; V. SUBRAMANIAN. **Assessment of the impact of landfill on groundwater quality: A case study of the Pirana site in western India**, 2007.

VELOZO, R. **Caracterização geológico-geotécnica do lixão desativado de São Carlos-SP, com auxílio da geofísica**. 2006. 177f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Parâmetros de qualidade da água subterrânea da área de influência do lixão desativado de São Carlos por PMSC (2011)

APÊNDICE B – Piezômetros amostrados

APÊNDICE C – Resultado das análises realizadas

APÊNDICE D – Comparação das análises realizadas com os valores máximos permitidos (VMP) apresentados na Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011 (Federal)

APÊNDICE E – Comparação das análises realizadas com os valores de intervenção (VI) da CETESB apresentados na decisão de diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014

APÊNDICE A - Parâmetros de qualidade da água subterrânea da área de influência do lixão desativado de São Carlos por PMSC (2011)

As Tabelas 1, 2 e 3 a seguir, mostram os resultados das análises de PMSC (2011) na área de influência do lixão desativado de São Carlos.

Tabela 1 – Valore de nível estático, pH, temperatura, cor aparente, turbidez e OD referentes à água subterrânea sob a área do antigo lixão Santa Madalena

Nome do poço	Nome da amostra	Data amostragem	Nível estático (m)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (UT)	OD (mg/L)	Condutividade elétrica (µS/cm)
PM3 (L19)								
	A	out/09	16.04					
	B	jul/10	18.36	5.45	22.75	Ausente	2.01	
	C	dez/10	16.64					118
PM17								
	A	out/09	inexistente					
	B	jul/10	11.14	6.34	23.57	Ausente	2.36	
	C	dez/10	11.46					305
PM19								
	A	out/09	inexistente					
	B	jul/10	12.99	4.62	22.67	Ausente	4.55	
	C	dez/10	13.33					29
PM23								
	A	out/09	inexistente					
	B	jul/10	14.89	4.81	22.59	Ausente	5.15	
	C	dez/10	2.56					58

Fonte: Adaptado de PMSC (2011)

Tabela 2 – Valores de Al, Pb, Cd, Co, Fe e Cu referentes à água subterrânea sob a área do antigo lixão Santa Madalena

Nome do poço	Nome da amostra	Data amostragem	Al (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)
PM3 (L19)								
	A	out/09						
	B	jul/10						
	C	dez/10						
PM17								
	A	out/09						
	B	jul/10	0.16	0.015	nd	0.003	nd	0.008
	C	dez/10	nd	0.156	nd	0.014	nd	nd
PM19								
	A	out/09						
	B	jul/10	0.29	0.02	0.001	0.005	0.02	0.003
	C	dez/10	0.309	nd	nd	nd	nd	nd
PM23								
	A	out/09						
	B	jul/10	0.29	0.022	nd	0.006	0.02	0.003
	C	dez/10	0.322	0.032	nd	nd	Nd	Nd

Fonte: Adaptado de PMSC (2011)

Tabela 3 – Valores de Cr total, Cr hexavalente, Ni, Zn, Sr, Hg, As e Ba referentes à água subterrânea sob a área do antigo lixão Santa Madalena

Nome do poço	Nome da amostra	Data amostragem	Cr total (mg/L)	Cr hexavalente (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	Sr (mg/L)	Hg (mg/L)	As (mg/L)	Ba (mg/L)
PM3 (L19)	A	out/09								
	B	jul/10								
	C	dez/10								
PM17	A	out/09								
	B	jul/10	nd		nd	nd		nd	0.013	0.02
	C	dez/10	nd		nd	0.0445		nd	nd	0.119
PM19	A	out/09								
	B	jul/10	nd		nd	nd		nd	nd	0.06
	C	dez/10	nd		nd	0.0308		nd	nd	nd
PM23	A	out/09								
	B	jul/10	nd		nd	nd		nd	nd	0.06
	C	dez/10	nd		nd	0.0259		nd	nd	0.0605

Fonte: Adaptado de PMSC (2011)

APÊNDICE B – Piezômetros amostrados

As tabelas 4, 5, 7, 8, 9 e 10 a seguir apresentam nome, nível d'água, data e referência em relação ao corpo do lixão, dos piezômetros amostrados durante o estudo.

Tabela 4 – Piezômetros amostrados na área do antigo lixão Santa Madalena em setembro/2012

Poço	Nível d'água (m)	Data	Referência em relação ao corpo do lixão
PM-03	16,36	14/09/2012	Montante
PM-05	18,97	14/09/2012	Montante
PM-06	13,38	14/09/2101	Montante
PM-10	7,20	14/09/2012	Montante
PM-29	6,66	14/09/2012	Dentro
PM-12	5,86	14/09/2012	Dentro
PM-04	SECO	14/09/2012	Jusante
PM-16	20,05	14/09/2012	Jusante
PM-08	7,58	14/09/2012	Jusante
PM-17	8,59	14/09/2012	Jusante
PM-19	15,32	14/09/2012	Jusante
PM-23	13,38	14/09/2012	Jusante

Tabela 5 – Piezômetros amostrados na área do antigo lixão Santa Madalena em outubro/2012

Poço	Nível d'água (m)	Data	Referência em relação ao corpo do lixão
PM-01	SECO	08/10/2012	Montante
PM-02	SECO	08/10/2012	Dentro
PM-03	16,26	08/10/2012	Jusante
PM-29	6,70	08/10/2012	Jusante
PM-25	5,68	08/10/2012	Jusante

Tabela 7 – Piezômetros amostrados na área do antigo lixão Santa Madalena – 1ª coleta (dez/2012)

Poço	Nível d'água (m)	Data	Referência em relação ao corpo do lixão
PM-03	16,39	06/12/2012	Montante
PM-29	7,00	06/12/2012	Dentro
PM-17	8,95	06/12/2012	Jusante
PM-19	15,46	06/12/2012	Jusante
PM-23	13,43	06/12/2012	Jusante

Tabela 8 – Piezômetros amostrados na área do antigo lixão Santa Madalena - 2ª coleta (fev/2013)

Poço	Nível d'água (m)	Data	Referência em relação ao corpo do lixão
PM-03	16,20	25/02/2013	Montante
PM-29	5,87	25/02/2013	Dentro
PM-17	8,10	25/02/2013	Jusante
PM-19	15,05	25/02/2013	Jusante
PM-23	13,15	25/02/2013	Jusante

Tabela 9 – Piezômetros amostrados na área do antigo lixão Santa Madalena - 3ª coleta (abr/2013)

Poço	Nível d'água (m)	Data	Referência em relação ao corpo do lixão
PM-03	16,34	19/04/2013	Montante
PM-29	6,50	19/04/2013	Dentro
PM-17	8,14	19/04/2013	Jusante
PM-19	15,22	19/04/2013	Jusante
PM-23	13,55	19/04/2013	Jusante

Tabela 10 – Piezômetros amostrados na área do antigo lixão Santa Madalena - 4ª coleta (jul/2013)

Poço	Nível d'água (m)	Data	Referência em relação ao corpo do lixão
PM-03	16,25	01/07/2013	Montante
PM-29	6,90	01/07/2013	Dentro
PM-17	8,08	01/07/2013	Jusante
PM-19	14,98	01/07/2013	Jusante
PM-23	13,09	01/07/2013	Jusante

APÊNDICE C - Resultado das análises realizadas

As Tabelas 11, 12, 13 e 14 a seguir mostram os resultados das análises realizadas nesse projeto de pesquisa.

Tabela 11 – Resultados das análises de pH, condutividade, alcalinidade, cloreto, fosfato e sulfato nas amostragens de dezembro, fevereiro, abril e julho na área do antigo lixão Santa Madalena

Data amostragem	Amostra	pH	Condutividade (µS/cm)	Alcalinidade (mg/L CaCO₃)	Cloreto (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Sulfato (mg/L)
06/dez	PM-03	5,57	153,910	20	19,0	0,05	< LD
06/dez	PM-17	4,19	304,900	< LD	224,0	0,81	< LD
06/dez	PM-19	4,97	33,850	< LD	1,8	0,68	< LD
06/dez	PM-23	4,85	37,620	< LD	14,0	0,53	< LD
06/dez	PM-29	6,91	1066,500	445	75,0	0,75	< LD
25/fev	PM-03	6,2	222,700	24	24,1	0,20	< LD
25/fev	PM-17	5,74	285,900	6	140,0	0,15	< LD
25/fev	PM-19	5,04	37,980	< LD	4,8	0,30	< LD
25/fev	PM-23	4,55	40,110	< LD	2,5	0,03	< LD
25/fev	PM-29	6,95	2084,000	1485,12	235,0	0,54	< LD
19/abr	PM-03	6,04	175,500	59	10,5	0,44	< LD
19/abr	PM-17	6,29	231,200	20	21,0	0,37	< LD
19/abr	PM-19	5,46	55,940	7	6,0	0,40	< LD
19/abr	PM-23	4,7	29,180	<LD	4,5	0,05	< LD
19/abr	PM-29	6,75	1829,400	896	70,0	0,65	< LD
01/jul	PM-03	5,62	144,230	29	11,0	0,46	< LD
01/jul	PM-17	5,85	206,900	18	15,0	0,40	< LD
01/jul	PM-19	5,11	21,380	2	8,5	0,41	< LD
01/jul	PM-23	4,94	53,470	<LD	2,0	0,06	< LD
01/jul	PM-29	6,87	1550,200	834	125,0	3,00	< LD

Tabela 12 - Resultados das análises de nitrito, nitrato, DQO, DBO, NH₃ e NTK nas amostragens de dezembro, fevereiro, abril e julho na área do antigo lixão Santa Madalena

Data amostragem	Amostra	Nitrito (mg/L)	Nitrato(mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	NH₃ (mg/L)	NTK (mg/L)
06/dez	PM-03	0,122	5,83	17	4	<LD	9,8
06/dez	PM-17	0,037	9,80	28	7	14,0	23,3
06/dez	PM-19	0,003	1,67	6	<1	<LD	11
06/dez	PM-23	0,003	2,09	15	4	<LD	9,8
06/dez	PM-29	0,012	2,47	206	19	71,9	83,7
25/fev	PM-03	0,008	4,90	15	4	0,1	1
25/fev	PM-17	0,013	10,80	11	3	8,8	<LD
25/fev	PM-19	0,003	2,08	2	<1	0,1	3
25/fev	PM-23	0,002	1,84	2	<1	<LD	<LD
25/fev	PM-29	0,002	4,78	194	18	66,3	105
19/abr	PM-03	0,004	4,31	15	5	0,1	2
19/abr	PM-17	0,031	9,21	9	3	4,6	5,6
19/abr	PM-19	0,010	2,92	6	<1	<LD	<LD
19/abr	PM-23	0,003	1,54	2	<1	<LD	3,5
19/abr	PM-29	0,003	3,77	137	14	65,7	93
01/jul	PM-03	0,004	3,82	14	5	0,2	4
01/jul	PM-17	0,027	10,01	6	2	2,8	2,9
01/jul	PM-19	0,004	2,89	11	4	0,2	7,7
01/jul	PM-23	0,003	1,05	2	<1	0,0	<LD
01/jul	PM-29	0,002	2,98	118	11	81,0	85

Tabela 13 - Resultados das análises de zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), cromo(Cr) e alumínio (Al) nas amostragens de dezembro, fevereiro e julho na área do antigo lixão Santa Madalena

Data amostragem	Poços	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Al (mg/L)
06/dez	PM-03	0,139	0,2	0,18	0,278	22,56	0,07	<0,003	0,051	0,97
06/dez	PM-17	0,38	1,77	0,194	0,343	201,5	0,7	0,275	0,153	86,4
06/dez	PM-19	0,123	0,11	0,183	0,253	0,788	0,016	<0,003	0,049	<0,001
06/dez	PM-23	0,273	0,29	0,195	0,371	196,6	1,446	0,146	0,144	43,01
06/dez	PM-29	0,15	0,14	0,202	0,295	25,46	0,477	<0,003	0,049	<0,001
25/fev	PM-03	0,085	<BR	0,083	0,18	7,564	0,027	0,003	0,149	0,46
25/fev	PM-17	0,104	<BR	0,082	0,136	1,695	0,244	0,006	<BR	2,34
25/fev	PM-19	0,108	0,26	0,083	0,173	1,178	0,024	0,022	0,18	0,55
25/fev	PM-23	0,093	<BR	0,081	0,134	0,136	0,025	0,01	<BR	0,38
25/fev	PM-29	0,102	0,21	0,096	0,201	73,6	1,769	0,012	0,101	0,59
01/jul	PM-03	0,105	0,35	0,057	0,114	2,2	0,034	<0,003	0,084	0,45
01/jul	PM-17	0,106	0,31	0,048	0,135	0,814	0,425	<0,003	0,097	0,56
01/jul	PM-19	0,134	0,56	0,045	0,139	6,316	0,072	0,013	0,097	3,04
01/jul	PM-23	0,093	0,39	0,051	0,124	0,808	0,034	0,008	0,088	<0,001
01/jul	PM-29	0,101	0,33	0,051	0,156	17,558	0,77	<0,003	0,093	<0,001

Tabela 14 - Resultados das análises de bário (Ba), cobalto (Co), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), estrôncio (Sr) e prata (Ag) nas amostragens de dezembro, fevereiro e julho na área do antigo lixão Santa Madalena

Data amostragem	Poços	Ba (mg/L)	Co (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Sr (mg/L)	Ag (mg/L)
06/dez	PM-03	<0,005	0,077	8,62	5,52	2,6	2,2	0,14	0,019
06/dez	PM-17	<0,005	0,173	3,76	1,321	10,8	15,6	0,055	0,019
06/dez	PM-19	<0,005	0,068	1,07	0,383	2,4	1,2	0,007	0,019
06/dez	PM-23	<0,005	0,149	1,22	3,432	1,6	6,3	0,037	0,019
06/dez	PM-29	<0,005	0,075	17,75	7,784	35	37,6	0,193	0,019
25/fev	PM-03	0,15	0,029	6,3	4,998	2,4	30,2	0,115	0,031
25/fev	PM-17	0,16	0,057	2,62	0,318	13,6	21,3	0,025	0,013
25/fev	PM-19	<BR	0,038	0,369	0,248	2,5	2,2	0,008	0,005
25/fev	PM-23	<BR	0,029	0,685	0,641	0,7	0,8	0,013	<BR
25/fev	PM-29	0,29	0,059	27,35	17,28	75,5	77	0,322	0,002
01/jul	PM-03	<0,005	0,025	9,15	4,51	1,8	2	0,062	0,006
01/jul	PM-17	<0,005	0,055	5,13	0,507	5,7	21,9	0,063	0,006
01/jul	PM-19	<0,005	0,045	4,54	0,455	1,6	2,4	0,055	0,005
01/jul	PM-23	<0,005	0,042	2,19	0,422	0,9	0,9	0,056	0,005
01/jul	PM-29	<0,005	0,065	57,48	9,86	45,9	45,9	0,19	0,008

APÊNDICE D - Comparação das análises realizadas com os valores máximos permitidos (VMP) apresentados na Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011 (Federal)

As Tabelas 18, 19 e 20 a seguir apresentam a comparação entre os valores encontrados através das análises realizadas neste projeto com os valores máximos permitidos (VMP) apresentados na Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011 (Federal). Os valores em vermelho são aqueles que ultrapassam o VMP. Os valores em verde, por sua vez, são aqueles que não ultrapassam o VMP.

Tabela 18 – Comparação dos resultados de cloreto, sulfato, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal (NH₃), analisados no antigo lixão Santa Madalena, com os Valores Máximos Permitidos segundo Portaria MS nº 2914

Data amostragem	Poços	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato(mg/L)	NH₃ (mg/L)
06/dez	PM-03	19,0	< LD	0,122	5,83	<LD
06/dez	PM-17	224,0	< LD	0,037	9,80	14,00
06/dez	PM-19	1,8	< LD	0,003	1,67	<LD
06/dez	PM-23	14,0	< LD	0,003	2,09	<LD
06/dez	PM-29	75,0	< LD	0,012	2,47	71,90
25/fev	PM-03	24,1	< LD	0,008	4,90	0,11
25/fev	PM-17	140,0	< LD	0,013	10,80	8,80
25/fev	PM-19	4,8	< LD	0,003	2,08	0,06
25/fev	PM-23	2,5	< LD	0,002	1,84	<LD
25/fev	PM-29	235,0	< LD	0,002	4,78	66,25
19/abr	PM-03	10,5	< LD	0,004	4,31	0,13
19/abr	PM-17	21,0	< LD	0,031	9,21	4,55
19/abr	PM-19	6,0	< LD	0,010	2,92	<LD
19/abr	PM-23	4,5	< LD	0,003	1,54	<LD
19/abr	PM-29	70,0	< LD	0,003	3,77	65,70
01/jul	PM-03	11,0	< LD	0,004	3,82	0,19
01/jul	PM-17	15,0	< LD	0,027	10,01	2,75
01/jul	PM-19	8,5	< LD	0,004	2,89	0,20
01/jul	PM-23	2,0	< LD	0,003	1,05	0,02
01/jul	PM-29	125,0	< LD	0,002	2,98	81,00

Tabela 19 – Comparação dos resultados de zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), ferro (Fe) e manganês (Mn), analisados no antigo lixão Santa Madalena, com os Valores Máximos Permitidos segundo Portaria MS nº 2914

Data amostragem	Poços	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
06/dez	PM-03	0,139	0,2	0,18	0,278	22,56	0,07
06/dez	PM-17	0,38	1,77	0,194	0,343	201,5	0,7
06/dez	PM-19	0,123	0,11	0,183	0,253	0,788	0,016
06/dez	PM-23	0,273	0,29	0,195	0,371	196,6	1,446
06/dez	PM-29	0,15	0,14	0,202	0,295	25,46	0,477
25/fev	PM-03	0,085	<BR	0,083	0,18	7,564	0,027
25/fev	PM-17	0,104	<BR	0,082	0,136	1,695	0,244
25/fev	PM-19	0,108	0,26	0,083	0,173	1,178	0,024
25/fev	PM-23	0,093	<BR	0,081	0,134	0,136	0,025
25/fev	PM-29	0,102	0,21	0,096	0,201	73,6	1,769
01/jul	PM-03	0,105	0,35	0,057	0,114	2,2	0,034
01/jul	PM-17	0,106	0,31	0,048	0,135	0,814	0,425
01/jul	PM-19	0,134	0,56	0,045	0,139	6,316	0,072
01/jul	PM-23	0,093	0,39	0,051	0,124	0,808	0,034
01/jul	PM-29	0,101	0,33	0,051	0,156	17,558	0,77

Tabela 20 – Comparação dos resultados de cobre (Cu), cromo (Cr), alumínio (Al), bário (Ba), sódio (Na) e *Escherichia coli*, analisados no antigo lixão Santa Madalena, com os Valores Máximos Permitidos segundo Portaria MS nº 2914

Data amostragem	Poços	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Na (mg/L)	<i>E. coli</i> (quantidade/100ml)
06/dez	PM-03	<0,003	0,051	0,97	<0,005	2,6	-
06/dez	PM-17	0,275	0,153	86,4	<0,005	10,8	-
06/dez	PM-19	<0,003	0,049	<0,001	<0,005	2,4	-
06/dez	PM-23	0,146	0,144	43,01	<0,005	1,6	-
06/dez	PM-29	<0,003	0,049	<0,001	<0,005	35	-
25/fev	PM-03	0,003	0,149	0,46	0,15	2,4	19
25/fev	PM-17	0,006	<BR	2,34	0,16	13,6	ausente
25/fev	PM-19	0,022	0,18	0,55	<BR	2,5	ausente
25/fev	PM-23	0,01	<BR	0,38	<BR	0,7	ausente
25/fev	PM-29	0,012	0,101	0,59	0,29	75,5	ausente
01/jul	PM-03	<0,003	0,084	0,45	<0,005	1,8	-
01/jul	PM-17	<0,003	0,097	0,56	<0,005	5,7	-
01/jul	PM-19	0,013	0,097	3,04	<0,005	1,6	-
01/jul	PM-23	0,008	0,088	<0,001	<0,005	0,9	-
01/jul	PM-29	<0,003	0,093	<0,001	<0,005	45,9	-

APÊNDICE E – Comparação das análises realizadas com os valores de intervenção (VI) da CETESB apresentados na decisão de diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014

A tabela 22 a seguir apresenta a comparação entre os valores encontrados através das análises realizadas neste projeto com os valores de intervenção (VI) da CETESB apresentados na decisão de diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014. Os valores em vermelho são aqueles que ultrapassam o valor de intervenção. Os valores em verde, por sua vez, são aqueles que não ultrapassam o valor de intervenção.

Tabela 22 – Comparação dos resultados de zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), cobre (Cu), cromo (Cr), bário (Ba), cobalto (Co) e prata (Ag), analisados no antigo lixão Santa Madalena, com os Valores de Intervenção segundo CETESB/14

Data amostragem	Poços	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Ba (mg/L)	Co (mg/L)	Ag (mg/L)
06/dez	PM-03	0,139	0,2	0,18	0,278	<0,003	0,051	<0,005	0,077	0,019
06/dez	PM-17	0,38	1,77	0,194	0,343	0,275	0,153	<0,005	0,173	0,019
06/dez	PM-19	0,123	0,11	0,183	0,253	<0,003	0,049	<0,005	0,068	0,019
06/dez	PM-23	0,273	0,29	0,195	0,371	0,146	0,144	<0,005	0,149	0,019
06/dez	PM-29	0,15	0,14	0,202	0,295	<0,003	0,049	<0,005	0,075	0,019
25/fev	PM-03	0,085	<BR	0,083	0,18	0,003	0,149	0,15	0,029	0,031
25/fev	PM-17	0,104	<BR	0,082	0,136	0,006	<BR	0,16	0,057	0,013
25/fev	PM-19	0,108	0,26	0,083	0,173	0,022	0,18	<BR	0,038	0,005
25/fev	PM-23	0,093	<BR	0,081	0,134	0,01	<BR	<BR	0,029	<BR
25/fev	PM-29	0,102	0,21	0,096	0,201	0,012	0,101	0,29	0,059	0,002
01/jul	PM-03	0,105	0,35	0,057	0,114	<0,003	0,084	<0,005	0,025	0,006
01/jul	PM-17	0,106	0,31	0,048	0,135	<0,003	0,097	<0,005	0,055	0,006
01/jul	PM-19	0,134	0,56	0,045	0,139	0,013	0,097	<0,005	0,045	0,005
01/jul	PM-23	0,093	0,39	0,051	0,124	0,008	0,088	<0,005	0,042	0,005
01/jul	PM-29	0,101	0,33	0,051	0,156	<0,003	0,093	<0,005	0,065	0,008