

### III-358 – INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL DE ANTIGAS ÁREAS DE DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE RESÍDUOS – O CASO DE SANTANA DE PARNAÍBA (SP)

**Camila Camolesi Guimarães<sup>(1)</sup>**

Gestora Ambiental pela Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH/USP). Mestranda em Ciência Ambiental no Instituto de Energia e Ambiente (IEE/USP). Pesquisadora Assistente no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

**Alexandre Muselli Barbosa<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Especialista em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ). Mestre em Ciência do Solo pela UFRRJ. Pesquisador Assistente no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Professor Almeida Prado, 532 – Cidade Universitária – São Paulo – SP - CEP: 05508-901 - Brasil - Tel: (11) 3767-4946 - e-mail: [camilacg@ipt.br](mailto:camilacg@ipt.br).

#### RESUMO

O gerenciamento e gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) representam atualmente um grande desafio para os municípios brasileiros. O gerenciamento de RSU deficiente inclui a falta de tratamento e disposição final inadequada, causando problemas sociais, sanitários, econômicos e ambientais, como a contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas. Muitos dos municípios do Estado de São Paulo ainda possuem, em suas áreas de domínio, antigos vazadouros (lixões ou aterros controlados) que devem ser encerrados. Para o processo de encerramento de um antigo lixão, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) exige que seja realizada a investigação ambiental da área, para verificar a presença de contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas, bem como a presença de gases, a partir da qual será elaborado o plano de encerramento do local. O presente estudo teve por objetivo a investigação ambiental do antigo lixão do município de Santana de Parnaíba (SP). O lixão localiza-se no bairro de Vila Esperança, próximo à Estrada dos Romeiros e ao rio Tietê, abrangendo uma área de aproximadamente 63.000 m<sup>2</sup>, tendo recebido os RSU do município no período de meados da década de 90 até o ano de 2011. Foram seguidas as seguintes etapas de gerenciamento de áreas contaminadas: avaliação preliminar e investigação confirmatória, com as devidas adaptações. O plano de amostragem foi elaborado considerando a realização de quinze sondagens e cinco coletadas de solo, bem como a amostragem de água subterrânea em seis poços de monitoramento e instalação de cinco poços de gases. Os estudos de caracterização gravimétrica apontam que o aterro ainda está em processo de degradação de matéria orgânica, gerando uma grande quantidade de chorume e gases. A investigação geofísica auxiliou na delimitação do resíduo a montante da área e na definição dos pontos de sondagem, amostragem e instalação de poços de monitoramento. Para os solos, não foram detectadas concentrações acima dos valores orientadores de referência da CETESB. Uma das amostras de água subterrânea apresentou concentração de bário de 0,906 mg/L, estando acima dos valores de intervenção (0,7 mg/L), sendo a única amostra que ultrapassou os limites preconizados pela CETESB (2014). A rede de monitoramento de gases apresentou concentrações de metano em diversos pontos, sendo que três apresentaram concentrações acima de 10.000 ppm e 100 % do limite inferior de explosividade (LEL). Com base neste modelo conceitual, foram elaboradas recomendações a serem implantadas, as quais deverão servir como base para as definições das próximas etapas de estudo e intervenções a serem realizadas na área do antigo lixão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos, antigo lixão, processo de encerramento, investigação ambiental.

#### INTRODUÇÃO

O gerenciamento e gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) representam atualmente um grande desafio para os municípios brasileiros. O gerenciamento de RSU deficiente inclui a falta de tratamento e disposição final inadequada, causando problemas sociais, sanitários, econômicos e ambientais, como a contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas.

No Estado de São Paulo são geradas, aproximadamente, 38.370 toneladas de RSU/dia, sendo a disposição final avaliada por meio do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), metodologia adotada pela Companhia

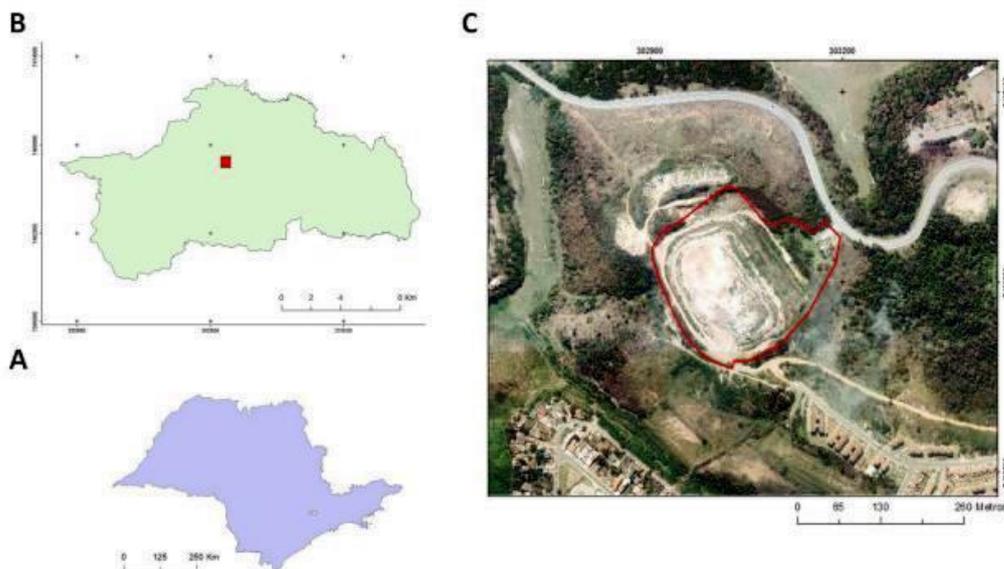
Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Em 2012, verificou-se que 590 municípios dispunham os RSU em instalações de disposição final enquadradas na condição “adequada” (IQR=7,1 a 10,0), enquanto 55 enquadravam-se na condição “inadequada” (IQR=0,0 a 7,0) (SMA, 2014).

Apesar da maioria dos municípios do Estado apresentar, atualmente, condições adequadas de disposição de resíduos, muitos ainda possuem, em suas áreas de domínio, antigos vazadouros (lixões ou aterros controlados), que, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), deveriam ser encerrados em até quatro anos após sua publicação. Para o processo de encerramento de um antigo lixão, a CETESB exige que seja realizada a investigação ambiental da área, para verificar a presença de contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas, bem como a presença de gases, a partir da qual será elaborado o plano de encerramento do local.

Na falta de um procedimento específico para a avaliação ambiental de vazadouros de resíduos sólidos, foi elaborado o “Procedimento para Investigação de Passivos Ambientais em Áreas de Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos” pela CETESB. O objetivo desse procedimento é caracterizar a presença de contaminação no solo e na água subterrânea e migração de gases, causadas por problemas construtivos ou operacionais em áreas de disposição de RSU, aplicado com base no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001). Entretanto, o modelo conceitual de investigação possui algumas particularidades, visto que a possível fonte geradora já é conhecida e sua remoção, do ponto de vista técnico/econômico, se torna inviável. Desta forma, a investigação visa identificar as possíveis direções de fluxo dos contaminantes e impedir que estes atinjam a área externa ao vazadouro.

O levantamento de informações da área deve subsidiar a elaboração do plano de encerramento. Este deve conter todas as informações relacionadas ao uso pretérito da área; localização e delimitação da massa de resíduos; rede de monitoramento de água, solo, gases e suas respectivas quantificações químicas; avaliação geotécnica quanto à estabilidade, readequação geométrica e confinamento; além de possíveis intervenções, como barreiras, calhas de captação, cobertura e sistemas de drenagem de chorume e gases.

Assim, o presente estudo teve por objetivo a investigação ambiental do antigo lixão do município de Santana de Parnaíba (SP) (**Figura 1**), situado a 35 km da capital. O lixão localiza-se no bairro de Vila Esperança, próximo à Estrada dos Romeiros e ao rio Tietê, abrangendo uma área de aproximadamente 63.000 m<sup>2</sup>, tendo recebido os RSU do município no período de meados da década de 90 até o ano de 2011.



**Figura 1: Localização da área de estudo no município de Santana de Parnaíba**

Este trabalho é parte integrante de projeto realizado no município através de convênio estabelecido através do Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios (PATEM) com a Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação (SDECTI) para atendimento pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Como base para a realização dos estudos de avaliação ambiental em vazadouros de resíduos sólidos, utilizou-se o “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas” (CETESB, 2001), além das normas ABNT NBR 15515-1 (ABNT, 2007) e NBR 15515-2 (ABNT, 2011). O objetivo foi caracterizar a presença de contaminação no solo, na água subterrânea e migração de gases, causadas por problemas construtivos ou operacionais em áreas de disposição de RSU. Os trabalhos foram adaptados de acordo com as necessidades, devido às diferenças conceituais existentes entre as investigações de áreas com grande volume de passivo ambiental definido, como no caso de antigos lixões, e áreas com contaminações pontuais.

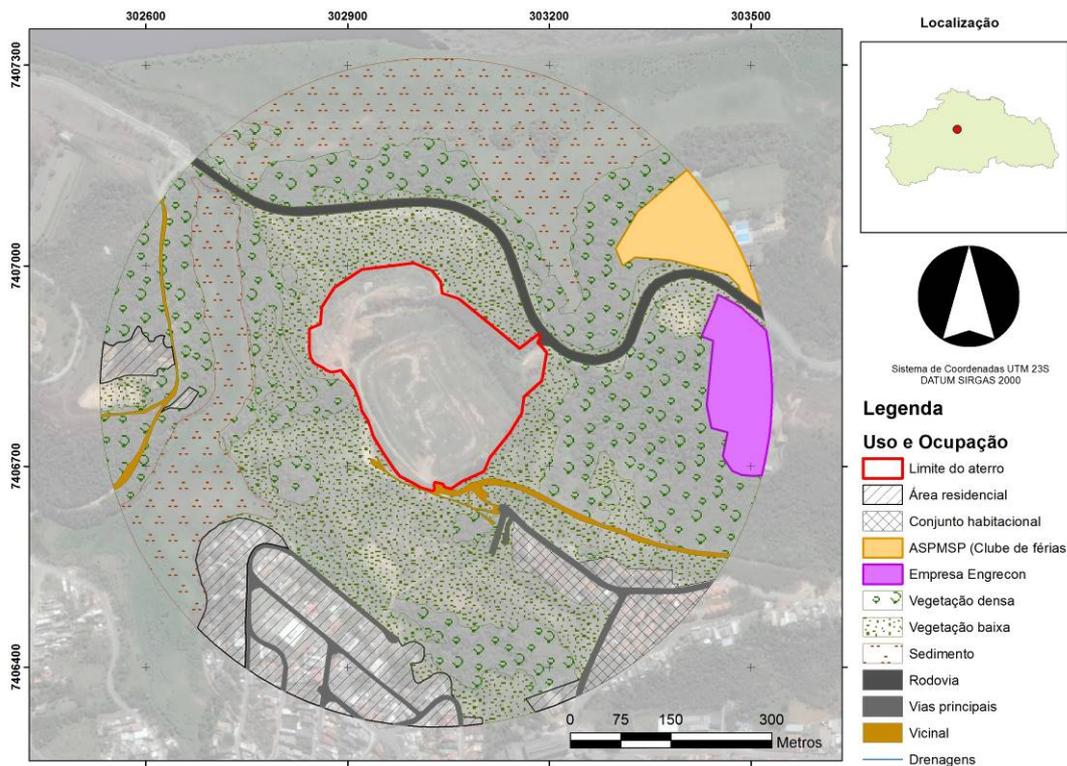
Dessa forma, para a investigação ambiental do antigo lixão de Santana de Parnaíba, foram seguidas as seguintes etapas de gerenciamento de áreas contaminadas: avaliação preliminar e investigação confirmatória, com as devidas adaptações. A avaliação preliminar compreende o levantamento de informações sobre o meio físico, histórico ambiental e de uso e ocupação do local, bem como a sistematização de trabalhos anteriores realizados na área e resultados das visitas técnicas, de forma a identificar possíveis indícios de contaminação ambiental. A investigação confirmatória tem por objetivo confirmar ou não a existência de contaminação, com base na instalação de uma rede de monitoramento da qualidade do solo e água subterrânea e presença de gases.

### PRIMEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO PRELIMINAR

Na etapa de avaliação preliminar foram realizadas as seguintes atividades: levantamento e análise da documentação disponível sobre a área, na Prefeitura Municipal de Santana de Parnaíba e na agência da CETESB responsável pelo município; caracterização geológica, hidrogeológica, pedológica, e climatológica do local; análise multitemporal de fotos aéreas (considerando fotos aéreas e imagens de satélite referentes aos anos de 1972, 1988, 1997, 2003, 2007, 2011 e 2014); inspeção de reconhecimento da área de estudo; e levantamento planialtimétrico.

### RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PRELIMINAR: CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA

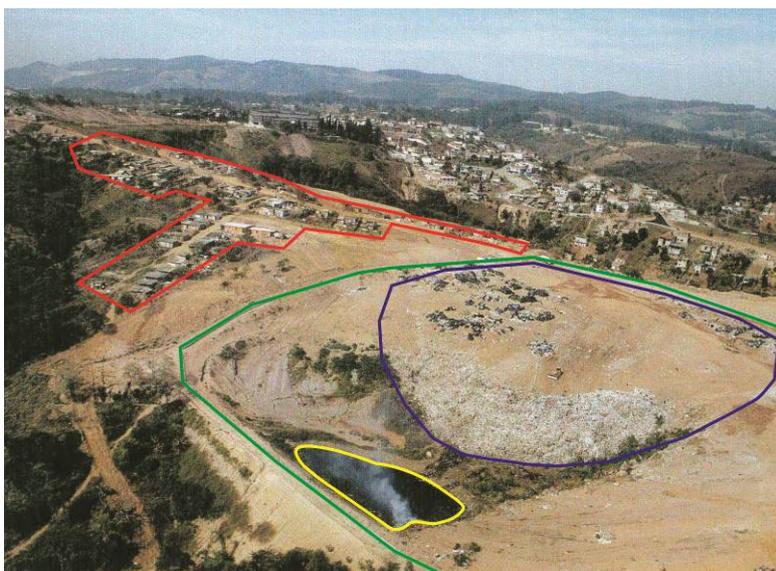
O antigo lixão de Santana de Parnaíba encontra-se em uma zona de uso misto. Considerando um raio de 500 metros, encontram-se zonas habitacionais de pequena densidade ao leste e sudeste do aterro, com alguns conjuntos habitacionais à sudoeste. Na parte oeste existem a Engecom, empresa de engenharia e construção, e o clube de férias da Associação dos Servidores Públicos Municipais de São Paulo (ASPMSP). O mapa de uso e ocupação da área de estudo e entorno é apresentado na **Figura 2**.



**Figura 2: Mapa de uso e ocupação do entorno do antigo lixão**

As atividades de disposição de resíduos foram iniciadas em meados dos anos 90, sendo que, em 1997, a área já apresentava grandes movimentações de terra, com grande quantidade de residências em seu entorno, abrigando os catadores que atuavam no aterro. Em 2001, a área ocupada pelo aterro correspondia, em planta, a aproximadamente 60 % da área total, sendo que o restante era ocupado pela Cooperativa de Catadores de Vila Esperança (15 %) e pela área terraplenada utilizada como jazida para cobertura dos resíduos (25 %). O aterro recebia, na época, cerca de 1800 toneladas de resíduos por mês (FRAL, 2001) e havia ainda a presença de ocupação irregular consolidada no entorno do aterro.

Numa visita realizada nesse mesmo ano, a empresa FRAL constatou ausência de cobertura em grande extensão dos resíduos dispostos e ausência de sistema de drenagem de líquidos percolados e gases, bem como de águas superficiais, ocasionando erosões localizadas e arraste de resíduos para cotas inferiores. Os líquidos percolados acumulavam-se junto ao maciço do aterro na forma de um pequeno lago. Na **Figura 3**, observa-se a antiga área de ocupação irregular delimitada pelo contorno vermelho, o limite do aterro delimitado pela linha verde, a massa de resíduos delimitada pela linha roxa e a antiga lagoa de chorume, pela linha amarela.



**Figura 3: Vista aérea do aterro no ano de 2001, com destaque para o lago de chorume na base do aterro (FRAL, 2001)**

No ano de 2003, foram iniciadas obras para a construção de um conjunto habitacional no entorno do aterro, estando já concluídas no ano de 2007, tendo os barracos sido removidos do entorno. No ano de 2011, o aterro teve suas atividades encerradas, havendo um processo de revegetação natural, sendo a vegetação atual constituída por matas, capoeiras, campos e várzea, principalmente no aflúente de um córrego situado na margem esquerda do Rio Tietê.

No período de 2001 a 2004, foi realizada a implantação de linhas de drenagem de líquidos percolados e gás, bem como um reservatório para contenção e transferência de chorume. Foram também instalados e amostrados três poços de monitoramento de água, não sendo identificadas contaminações nas águas subterrâneas provenientes do aterro, mas da ocupação do entorno. Em 2009, foram realizadas amostragens em cinco poços de monitoramento, sendo identificadas concentrações maiores que os limites de intervenção para bário, manganês e nitrato. Além disso, foram encontradas concentrações elevadas de metano em todo o entorno do aterro.

Atualmente, o aterro encontra-se cercado, com portão de acesso e presença de segurança na guarita durante o dia (**Figura 4**). Existem drenos de gases instalados, nos quais se coloca fogo diariamente para queima do metano (**Figura 5**). Existem alguns focos de deposição de entulhos sem recobrimento, sendo ainda identificados resíduos de construção civil durante a etapa de caracterização gravimétrica (**Figura 6**). Na lateral do aterro, há uma área de empréstimo da qual foi retirado solo para recobrimento das camadas de resíduos (**Figura 7**). Foram identificados, na face leste do aterro, dois taludes de deposição de resíduos, e, na face oeste, seis taludes e sete bermas, de alturas variáveis (**Figura 8**). Na base do aterro há três tanques de retenção de chorume, que recebem os líquidos percolados e de escoamento superficial, sendo esvaziados ao esgotar sua capacidade e destinados à estação de tratamento de esgoto (**Figura 9**).



**Figura 4: Portão de acesso ao aterro**



**Figura 5: Dreno de gás com queima de metano**



**Figura 6: Foco de deposição de entulho**



**Figura 7: Área de empréstimo**



**Figura 8: Bermas de deposição na face oeste do aterro**



**Figura 9: Tanques de armazenamento de chorume**

## **SEGUNDA ETAPA: INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA**

Na sequência, como parte da etapa de investigação confirmatória, foram realizadas as seguintes atividades: levantamento geofísico utilizando-se o método eletromagnético; caracterização gravimétrica dos resíduos em três pontos do antigo lixão; sondagens para amostragem de solo; instalação de poços de monitoramento de água subterrânea; instalação de poços de monitoramento de gases; amostragem e caracterização físico-química do solo e água subterrânea; e medição dos níveis de gases.

Foram realizadas 15 sondagens, com a instalação de quatro poços de monitoramento de água subterrânea, em adição a dois poços já existentes na área, e seis poços de monitoramento de gases, distribuídos a montante e jusante da massa de resíduos. Os poços de monitoramento foram construídos e desenvolvidos com base nas normas ABNT NBR 9603/1986, NBR 15495-1/2007 e NBR 15495-2/2008. A partir das sondagens, foram também selecionadas amostras representativas do perfil de solo para descrição tátil-visual, seguindo-se a metodologia proposta pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Para a caracterização química das amostras de solo e água subterrânea, foi utilizada a listagem de substâncias exigidas pelo “Procedimento para Investigação de Passivos Ambientais em Áreas de Destinação Final de

Resíduos Sólidos Urbanos”, da CETESB, que inclui os seguintes parâmetros: compostos nitrogenados (nitrito, nitrato e n-amoniaco); carbono orgânico total e dissolvido; metais (ferro, manganês, alumínio, arsênio, cromo, cobre, chumbo, zinco, bário, cádmio, mercúrio e níquel); cloreto; sulfato; cianeto; varredura de compostos orgânicos voláteis (VOCs) e semi-voláteis (SVOCs), hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH); e bifenilas policloradas (PCBs). Foram selecionadas sete amostras de solo e seis amostras de água subterrânea para a caracterização química, em laboratório acreditado pelo INMETRO. Os resultados foram comparados aos valores de intervenção estabelecidos para solo (valor de intervenção residencial) e água subterrânea pela CETESB (2014) e pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 2015).

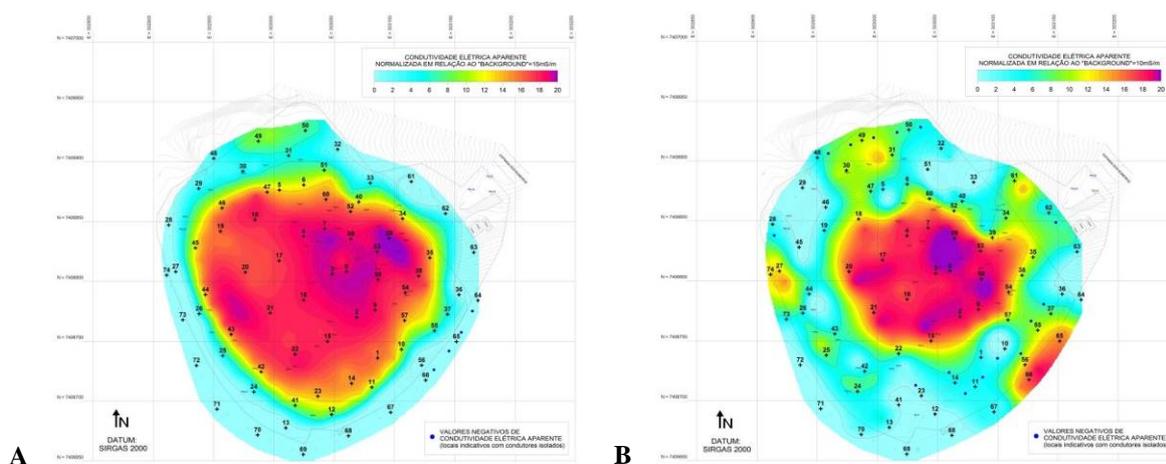
Durante a amostragem de água subterrânea, foi realizado o monitoramento de parâmetros físico-químicos com a utilização de sonda multiparamétrica, com medição dos seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, potencial de oxirredução, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e temperatura. Foram também realizados ensaios de permeabilidade, do tipo *Slug Test* com carga variável, para determinação da condutividade hidráulica da zona saturada nos poços de monitoramento.

Em seguida, foram realizadas medições da presença de gases nos poços de monitoramento de água e gás, bem como em drenos de gases já existentes na área. Utilizaram-se os equipamentos Gastech, para a medição dos níveis de metano (em ppm e porcentagem do limite inferior de explosividade), e PID Phocheck Tiger, para a medição dos compostos orgânicos voláteis no aterro.

## RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

Na **Figura 10** são apresentados os resultados obtidos durante o levantamento geofísico, onde é possível observar as anomalias de condutividade elétrica da área. A **Figura 10A** apresenta os resultados entre 0 m e 15 m, sendo as observações correspondentes à área alteada do lixão, onde as anomalias se concentram dentro da área dos taludes. Na **Figura 10B** (leituras entre 0 m e 30 m), é possível observar anomalias de condutividade elétrica fora da área do lixão, demonstrando um processo de fluxo subterrâneo de líquidos percolados, assim como anomalias que ultrapassam os limites do antigo lixão.

Com auxílio do levantamento aerofotogramétrico histórico e cruzamento das informações em sistema GIS, verificou-se que estas anomalias são decorrentes das ocupações ilegais que ocorreram até 2007, cuja distribuição circundava toda a área do antigo lixão. Devido à forma de ocupação, a disposição de resíduos era realizada de maneira inadequada e os efluentes gerados eram despejados diretamente sobre o solo. A anomalia externa, localizada na porção sudeste, é decorrente de uma atividade de deposição de resíduos, sendo a operação realizada ao lado da área de empréstimo. Como atualmente toda a área se encontra aterrada e fora da área de alteamento, sua localização só foi possível através dos estudos geofísicos.



**Figura 10: Resultados dos estudos geofísicos entre 0 e 15 m (A) e entre 0 e 30 m (B)**

A partir dos dados de composição gravimétrica, pode-se verificar que, em todos os pontos amostrados, obteve-se maior quantidade de plásticos em relação aos outros resíduos (cerca de 45 %), seguido por tecidos (15 %),

orgânicos (5 %), vidros (3 %), metais (2 %) e borracha (1 %), estes três últimos em pequena quantidade. A grande quantidade de plásticos encontrados, principalmente sacolas plásticas, reflete o aumento do uso desse material nas últimas décadas, observando-se ainda uma forte presença de fraldas descartáveis em todos os pontos amostrados. Foi observada também grande porcentagem de solo nas amostras (29 %), o que é devido ao fato de se tratar de uma área aterrada, na qual foi depositado solo proveniente de uma área de empréstimo.

As amostras de solo obtidas durante a realização da composição gravimétrica foram analisadas para a determinação de umidade, teor de matéria orgânica e voláteis (**Tabela 1**). Observa-se alto teor de matéria orgânica, alto teor de umidade e baixo teor de voláteis nas amostras de solo. O alto teor de matéria orgânica reflete a característica dos resíduos brasileiros e, conseqüentemente, dos resíduos depositados no aterro, os quais são compostos por aproximadamente 50 % de matéria orgânica. Os valores de umidade detectados foram maiores do que o esperado, mesmo a amostragem tendo sido realizada em época chuvosa, indicando uma alta taxa de infiltração de águas pluviais, o que contribui para manter a geração de chorume, explicando ainda o fluxo subterrâneo observado nos mapas de geofísica. Já o baixo teor de voláteis indica atividade biológica atuando no processo de degradação deste material, evidenciando a existência de resíduos orgânicos no aterro que ainda não foram degradados.

**Tabela 1: Teores de umidade, matéria orgânica e sólidos voláteis das amostras de solo**

Amostra	Teor de Umidade 105 °C (%)	Teor de Matéria Orgânica (%)	Teor de Voláteis 550 °C / 3 h (%)
P1	30,34	6,50	8,22
P2	29,75	6,82	8,91
P3	44,66	5,88	7,98

Durante as amostragens de água subterrânea, foram monitorados os parâmetros físico-químicos, apresentados na **Tabela 2**. As leituras indicaram valores de pH variando de 5,02 (SP-08) a 5,95 (SP-02), sendo considerada uma água levemente ácida. As leituras de condutividade elétrica variaram bastante nos poços amostrados, de 0 µS/cm (SP-02) a 2447 µS/cm (MN-01A), representando esta a quantidade de íons dissolvidos na água subterrânea. De acordo com CETESB (2005), valores acima de 100 µS/cm podem representar uma indicação qualitativa de impactos na água subterrânea. Dessa forma, as leituras realizadas detectaram uma grande quantidade de íons dissolvidos e conseqüente presença de possíveis impactos na qualidade da água subterrânea nos poços SP-05, MN-01 e MN-01A.

As leituras de potencial de oxirredução (ORP) variaram de 36,7 mV (SP-02) a 174,5 mV (MN-01). Em todos os pontos amostrados, o potencial de oxirredução apresentou valores positivos, indicando um meio oxidante. O oxigênio dissolvido variou de 0 ppm (SP-08 e MN-01A) a 3,55 ppm (SP-05), podendo ser um indicativo da presença de nitratos e fosfatos na água. A velocidade da água subterrânea variou de 0,05 m/dia a 0,75 m/dia. O nível d'água da área do aterro varia de 02 metros a 43 metros, e como condutividade hidráulica média local foi determinado o valor de  $3,94 \times 10^{-4}$  cm/s.

**Tabela 2: Parâmetros físico-químicos da água subterrânea**

Poço	Temp. (°C)	pH	ORP (mV)	OD (ppm)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Velocidade da água subterrânea (m/dia)
SP-01	25,18	5,68	55,5	2,58	15	-
SP-02	23,35	5,95	36,7	1,17	0	0,37
SP-05	22,91	5,13	172,2	3,55	695	0,75
SP-08	22,01	5,02	144,2	0,00	82	0,20
MN-01	23,60	5,24	174,5	2,97	1606	-
MN-01A	23,09	5,06	171,7	0,00	2447	0,05

Com relação aos resultados das análises químicas de solo, não foram quantificadas concentrações acima dos valores orientadores de referência da CETESB (2014). Para as amostras de água subterrânea, foram detectadas concentrações de bário, nitrato acima dos valores orientadores de referência da CETESB (2014), e de nitrito, cianeto, ferro e clorofórmio acima dos valores de referência (*Regional Screening Levels*) da EPA (2015) (**Tabela 3**). Entretanto, todas estas concentrações estão localizadas dentro da área de estudo, não ultrapassando seus limites e com sua delimitação espacial realizada.

**Tabela 3: Concentrações de parâmetros acima do limite permitido identificadas na água subterrânea**

Parâmetros	Unidade	CETESB	EPA	SP-01	SP-02	SP-05	SP-08	SP-08A	SP-20	SP-21	MN-01	MN-01A
<b>Nitrogenados</b>												
Nitrato	mg/L	10	3,2	1,19	<0,1	2,19	1,36	1,4	<b>46,4</b>	<0,1	<0,1	<b>8,47</b>
Nitrito	mg/L	-	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<b>18,1</b>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Inorgânicos</b>												
Bário	mg/L	0,7	0,38	0,051	0,022	0,315	0,094	0,081	<b>0,741</b>	<0,005	<0,005	0,906
Cianeto	mg/L	-	0,00015	<0,05	<0,05	<b>190,0</b>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<b>420,0</b>
Ferro	mg/L	-	1,4	0,848	0,164	<b>2,19</b>	<0,025	<0,025	0,142	<0,025	<0,025	<0,025
<b>VOC</b>												
Clorofórmio	µg/L	300	0,22	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<b>16,8</b>	<1,0

Para o monitoramento de gases, foram realizadas medições em seis poços de monitoramento de gás, dois poços de monitoramento de água, quatro pontos de sondagem e dois drenos presentes na área, sendo os resultados apresentados na **Tabela 4**.

**Tabela 4: Resultados das medições de gases na área do aterro**

Ponto	CH4		LEL (%)	PID (ppm)
	(ppm)	Excluso (ppm)		
GAS-01	>10.000	80	100	<1
GAS-02	0	0	0	<1
GAS-03	>10.000	60	100	<1
GAS-06	>10.000	0	100	<1
GAS-07	9.120	0	35	<1
GAS-08	0	0	0	<1
MN-01	40	0	0	<1
MN-01A	40	0	1	<1
SP-01	20	0	0	<1
SP-02	>10.000	0	100	<1
SP-05	100	0	2	<1
SP-08	20	0	0	<1
Dreno 01	7.000	0	65	<1
Dreno 02	>10.000	0	100	<1

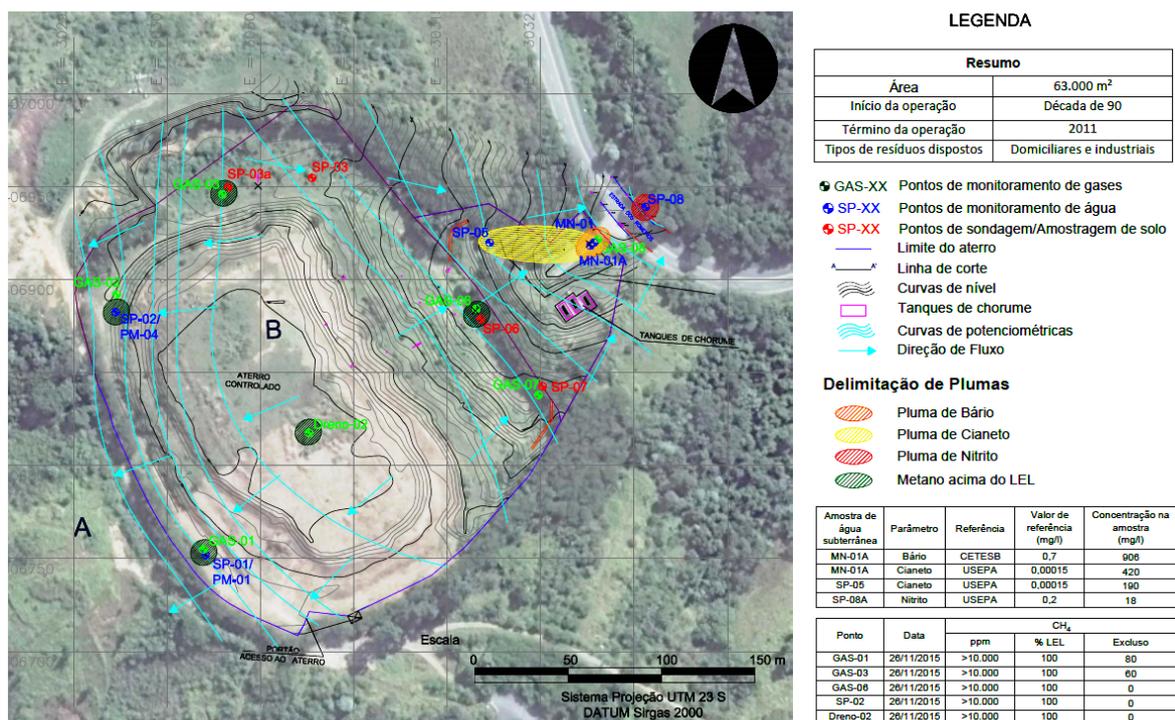
Dentre os pontos de medição, cinco apresentaram concentrações acima do limite inferior de explosividade (LEL), que representa a menor concentração de metano necessária para que ocorra explosão. Este dado evidencia processos ativos de metanogênese, corroborando com os dados obtidos pela geofísica, que demonstram fluxos ativos de chorume, assim como os resultados de teores de matéria orgânica e voláteis, observados nas análises físicas do solo da caracterização gravimétrica.

## TERCEIRA ETAPA: PLANO DE ENCERRAMENTO E PROPOSTAS DE USO FUTURO

Após a investigação ambiental, foi elaborado o modelo conceitual consolidado da área, sendo também estabelecidas diretrizes para seu uso futuro, considerando os resultados obtidos a partir da investigação ambiental e as ações de monitoramento a serem executadas para o correto encerramento do vazadouro.

## RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

O modelo conceitual consolidado da área de estudo é apresentado na **Figura 11**.



**Figura 11: Modelo conceitual consolidado da área de estudo**

O encerramento do antigo aterro de Santana de Parnaíba requer inspeções regulares e manutenção permanente, a fim de garantir a segurança quanto à estabilidade geotécnica e ao meio ambiente, assim como para garantir o desenvolvimento de atividades, caso seja definido um uso futuro para a área. O tipo de uso previsto, compatível com as condições de fundação e segurança do aterro determinará o tipo de manutenção e periodicidade a ser realizada.

Como a decomposição do lixo ocorre de modo diferenciado no corpo do aterro, a depender dos materiais depositados, devem ocorrer recalques no terreno, formando depressões nos platôs, causando empoçamento e escoamento irregular das águas superficiais. Essas anomalias relacionadas ao escoamento das águas pluviais podem ocasionar uma série de danos ao aterro. A manutenção deverá incluir a correção dos recalques nos platôs, nas bermas, e nos taludes, assim como a correção e adequação periódica do sistema de drenagem.

Os recalques provenientes da decomposição dos resíduos promovem danos ao sistema de drenagem, particularmente aos componentes rígidos (canaletas de concreto). Desse modo, faz-se necessário realizar vistorias frequentes do sistema de drenagem e, detectando-se anomalias, efetuar a recuperação/restauração imediata. Tais serviços de manutenção podem incluir o reparo e/ou substituição de elementos do sistema de drenagem definitivo.

O aterro de Santana de Parnaíba já apresenta uma cobertura vegetal, constituída, principalmente, por gramíneas. Porém, o crescimento da vegetação na área ocorre muito rapidamente, principalmente no período chuvoso. Dessa forma, indica-se a necessidade de uma manutenção periódica da cobertura vegetal do aterro, de forma a possibilitar o acesso à área para a realização dos monitoramentos necessários. A manutenção da

cobertura vegetal sobre o aterro de resíduos deverá incluir atividades de irrigação no período de estiagem, replantio das espécies que não resultaram em pega e realização de poda.

Deve ser realizada a manutenção do sistema de drenagem de líquidos percolados existente, de forma a verificar e reparar possíveis vazamentos. Também, para que esse sistema não seja sobrecarregado, a integridade da camada impermeabilizante deve ser monitorada. As bacias de contenção de chorume deverão ser monitoradas constantemente, devendo ser verificados possíveis vazamentos, e assegurar que sejam esvaziadas periodicamente, diminuindo o intervalo do recolhimento no período chuvoso.

O isolamento físico atualmente é feito através de cerca de alambrado, em bom estado e com vigia atuando em horário comercial. O isolamento visual da área é feito através de cinturão verde, sendo composto basicamente de Sansão do campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), que compreende todo o entorno da área. Recomenda-se apenas a manutenção de poda e futuras reposições de espécimes mortos.

A partir da interpretação conjunta dos resultados obtidos, verifica-se a impossibilidade de qualquer tipo de uso a curto e médio prazo para a área interna do terreno do aterro. Mesmo a área não apresentando nenhum tipo de contaminação no solo ou água subterrânea que extrapole seus limites físicos, este apresenta massa em presente estado de degradação, com grande geração de gases e chorume, impossibilitando a instalação de edificações sobre sua massa, ainda sob risco de movimentações.

Nas áreas circunvizinhas da massa principal, foram encontradas regiões de uso pretérito de disposição de resíduos, que posteriormente foram soterradas. Estas apresentaram presença de gases, chegando ao limite inferior de explosividade, além de não apresentarem capacidade de sustentação, limitando, assim, o seu uso para novas finalidades.

Como forma preventiva, não é recomendada a utilização das áreas internas ao aterro para nenhum tipo de finalidade, salvo atividades destinadas a sua manutenção. Em caso de qualquer tipo de alteração de uso, no futuro, recomenda-se a realização de novos estudos, que contemplem ensaios geotécnicos de estabilidade e resistência das áreas de interesse e áreas sob influência do aterro.

## CONCLUSÕES

A investigação ambiental compreendeu as etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória e as diretrizes para o plano de encerramento e recuperação da área do antigo lixão do município de Santana de Parnaíba, SP. O plano de amostragem foi elaborado considerando seis poços de monitoramento, sendo um multinível, seis poços de gases, cinco coletas de solo e a realização de quinze sondagens.

Durante as sondagens foram detectadas áreas com presença de resíduos enterrados, sobrepostas às anomalias detectadas durante os estudos geofísicos. Os estudos de caracterização gravimétrica apontam que o aterro ainda está em processo de degradação de matéria orgânica, gerando uma grande quantidade de chorume e gases. A investigação geofísica auxiliou na delimitação do resíduo a montante da área e na definição dos pontos de sondagem, amostragem e instalação de poços de monitoramento. As anomalias indicaram áreas pretéritas de deposição de resíduos, uma antiga bacia de chorume, e áreas circunvizinhas de ocupação irregular.

O solo da área apresenta baixa permeabilidade, com predominância de solos de textura franco a franco argilosa com acréscimo de silte em profundidades de até 15 metros. Para os solos, não foram detectadas concentrações acima dos valores orientadores de referência CETESB. Uma das amostras de água subterrânea apresentou concentração de bário de 0,906 mg/L, estando acima dos valores de intervenção (0,7 mg/L), sendo a única amostra que ultrapassou os limites preconizados pela CETESB (2014). Esta contaminação também foi encontrada em estudo anterior em ponto próximo ao analisado.

A rede de monitoramento de gases apresentou concentrações de metano em diversos pontos, onde os poços GAS-01, GAS-03, GAS-06, SP-02, apresentaram concentrações acima de 10.000 ppm e 100 % do limite inferior de explosividade (LEL). As leituras demonstram que o processo de metanogênese na área é ativo e atinge pontos fora da área da massa principal do aterro.

Portanto, com base na avaliação preliminar e levando-se em consideração a natureza dos contaminantes identificados, a única via de exposição possível, dos receptores da área do entorno identificadas, seria por meio do contato dérmico e da ingestão de água subterrânea dos poços de abastecimento. Com base neste modelo conceitual, foram elaboradas recomendações a serem implantadas, as quais deverão servir como base para as definições das próximas etapas de estudo e intervenções a serem realizadas na área do antigo lixão pela Prefeitura Municipal de Santana de Parnaíba.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15515-1**: Passivo ambiental em solo e água subterrânea - Parte 1: Avaliação Preliminar. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 47 p.
2. ABNT. **NBR 15515-2**: Passivo Ambiental em solo e água subterrânea. Parte 2: Investigação Confirmatória. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
3. ABNT. **NBR 15495-1**: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 25 p.
4. ABNT. **NBR 15495-2**: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 2: Desenvolvimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 24 p.
5. ABNT. **NBR 9603**: Sondagem a trado. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 6 p.
6. BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 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. Brasília, DF, 02 ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em 07 ago. 2015.
7. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2001. 389 p.
8. CETESB. Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 21 de fevereiro de 2014. Seção 1, p. 53.
9. FRAL. **Relatório preliminar do plano de ações para adequação da disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU's) do município de Santana de Parnaíba - SP**. São Paulo: FRAL Consultoria Ltda, out. 2001, 66p.
10. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA. **Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA, 2014. 350 p. Disponível em: <http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/plano-residuos-solidos-sp-2014.pdf>. Acesso em 07 ago. 2015.
11. USEPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Regional Screening Level Summary Table**. EPA: 2015. Disponível em: <http://semspub.epa.gov/work/03/2218432.pdf>. Acesso em 26 nov. 2015.