



# Aterro Sanitário de MURIAÉ



**Diagnóstico preliminar do aterro quanto à sua estabilidade geotécnica**

**Proposição de medidas emergenciais e de médio prazo**

São Paulo, Março 2020

Revisão 0



## Sumário

1. Dados Cadastrais.....	4
2. Objetivos .....	4
3. Documentos de referencia .....	5
4. Aterro sanitário de Muriaé (AS Muriaé) .....	5
4.1. Localização da área do aterro sanitário .....	5
4.2. Meio físico na área do aterro sanitário segundo PCA .....	7
4.2.1 Geologia / Geotecnia .....	7
4.2.2. Hidrologia .....	8
4.2.3 Clima.....	8
5. Concepção do aterro sanitário segundo PCA/RCA .....	8
6. Trincas no aterro e sua estabilidade geotécnica. ....	11
7. Obras emergenciais visando garantir integridade do maciço .....	17
7.1. Obra emergencial 1: Criação de drenos de percolado emergenciais .....	17
7.2. Obra emergencial 2: Minimização de entrada de água no maciço via eliminação de leiras de solo e correção de caimentos.....	19
7.3. Obra emergencial 3: Minimização de entrada de água no maciço via impermeabilização do platô superior .....	19
7.4 Obra emergencial 4: Eliminação de superfícies preferenciais de escorregamento .....	23
8. Diagnóstico geral do aterro, levantamento de problemas e proposição de ações corretivas a médio prazo .....	23
8.1. PROBLEMA 1: Insuficiência do sistema de drenagem interna de percolado ..	24
8.1.1. Drenos verticais de percolado/gás.....	24
8.1.2. Drenos horizontais de percolado .....	28
8.1.3. Conclusão – Insuficiência do sistema de drenagem de percolado .....	28
8.1.4. Proposição de ações de médio prazo .....	29
8.2. PROBLEMA 2: Entrada excessiva de águas pluviais dentro do maciço .....	32
8.2.1. Proposição de ações de médio prazo .....	33
8.3. PROBLEMA 3: Inexistência de sistema de drenagem pluvial .....	33
8.3.1. Proposição de ações de médio prazo .....	34
8.4. PROBLEMA 4: Existência de superfícies preferenciais de escorregamento ....	37
8.4.1. Proposição de ações de médio prazo .....	38
8.5. PROBLEMA 5: Inexistência de sistema de monitoramento geotécnico.....	39
8.5.1. Proposição de ações de médio prazo .....	39
8.6. PROBLEMA 6: Inexistência de sistema de tratamento de percolado para períodos chuvosos.....	47



8.6.1. Proposição de ações de médio prazo .....	47
8.7. PROBLEMA 7: Inexistência de controle operacional.....	48
8.7.1. Proposição de ações de médio prazo .....	48
7. Conclusões .....	50



## 1. Dados Cadastrais

- **CONTRATANTE:**

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE SANEAMENTO URBANO – DEMSUR

CNPJ: 02.318.396/0001-45

Avenida Castelo Branco, s/n - Bairro Gávea

Muriaé, MG, CEP: 36880-000

Tel.: (32) 3696-3450

- **EMPRESA CONTRATADA:**

DRS Consultoria e Planejamento Eirelli (ANEXO 1)

Rua Maranjaí 701 - sala 12

São Paulo – SP

CEP: 01549-010

Tel: (11) 98835108

Equipe técnica:

- Eng. Eleusis Bruder Di Creddo – CREA 260519747-6 (ANEXO 2)

## 2. Objetivos

O presente relatório tem os seguintes objetivos:

- **Diagnóstico da situação geral do aterro, no que tange à sua estabilidade geotécnica.** Tal diagnóstico foi feito usando os documentos fornecidos pela DEMSUR e as observações feitas durante visita técnica ao CTR realizada nos dias 4 e 5/03/2020 para conhecimento das condições locais, entrevistas com profissionais da empresa e obtenção de dados de campo ainda não eventualmente coletados.
- **Proposição de ações emergenciais** para minimização de perigos eventualmente detectados
- **Análise dos documentos existentes com proposição de soluções tecnológicas a médio prazo** a serem adotadas pela DEMSUR para correção de eventuais problemas detectados nesses documentos.



### **3. Documentos de referencia**

No presente trabalho os documentos consultados foram:

- PCA/RCA – relatório - aterro Muriaé
- PCA/RCA – aterro Muriaé - desenho de conformação final do aterro
- PCA/RCA – aterro Muriaé – desenho do sist. drenagem chorume
- PCA/RCA – aterro Muriaé – futura expansão

### **4. Aterro sanitário de Muriaé (AS Muriaé)**

O objetivo principal da existência do Aterro Sanitário da cidade de Muriaé é o de possibilitar uma disposição final adequada, ambiental e sanitariamente segura, dos resíduos sólidos urbanos coletados no município de Muriaé (MG), que corresponde em média a 60 t/dia. O horizonte de projeto do Aterro Sanitário elaborado visa atender a comunidade de Muriaé por um período de 20 anos. Após as formalidades legais, o terreno foi adquirido pelo Departamento Municipal de Saneamento Urbano – DEMSUR- para a implantação do aterro sanitário.

#### **4.1. Localização da área do aterro sanitário**

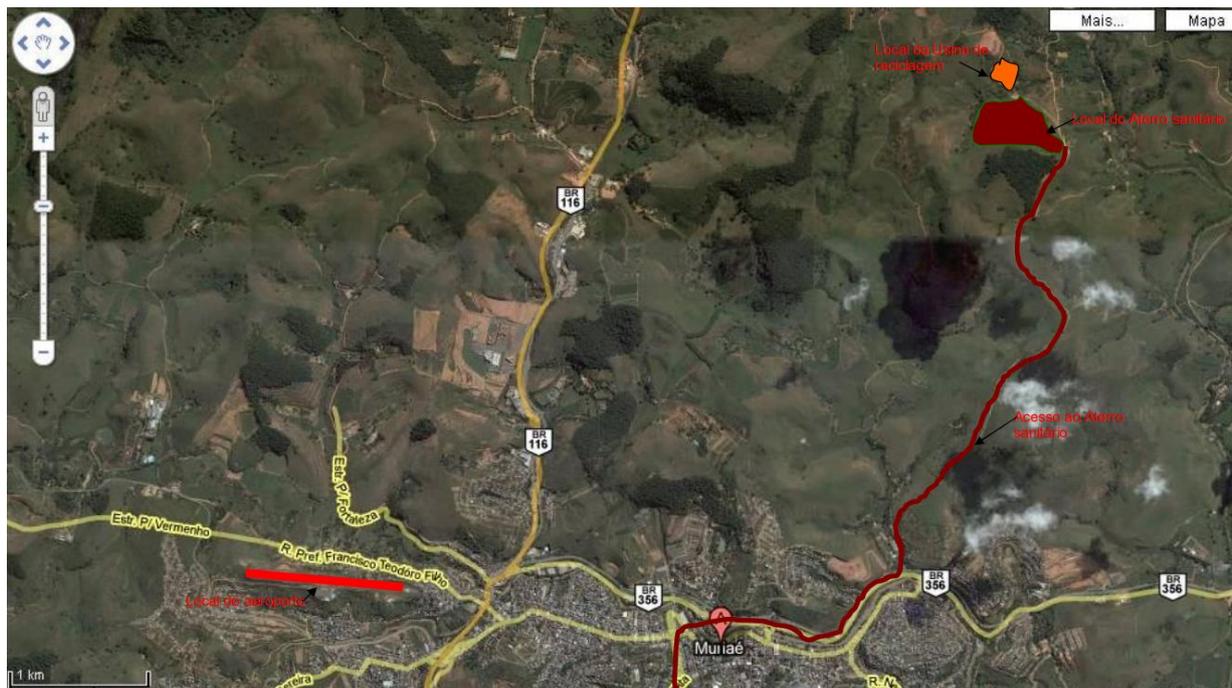
Com área da ordem de 195.570,308 m<sup>2</sup>, o terreno faz limite, com as propriedades rurais de João Batista de Souza, José Cruz Reis, Pedro Pedrosa, José Martins de Andrade e área da usina de triagem que pertence à Prefeitura Municipal de Muriaé.

Situa-se a cerca de 7 km do centro urbano da sede do município, numa região denominada de Retiro Campo Formoso (Fazenda Cachoeira da Encoberta) localizado na zona rural do município. O acesso ao local é feito a partir do centro da cidade num percurso de 2 km seguindo a BR 356 - sentido Itaperuna entra à direita numa estrada vicinal de chão batido em boas condições de tráfego no sentido da Fazenda Cachoeira Encoberta num percurso total de aproximadamente 5 km chega-se ao local do aterro na localidade denominada Retiro Campo Formoso (Fazenda Cachoeira da Encoberta).

Na figura 4.1, evidencia-se a localização do aterro e na Figura 4.2., mostra-se uma visão mais detalhada da área onde o aterro foi implantado (destacada em linha azul). Note-se que o local do aterro se encontra numa das encostas de um vale, sendo que encosta oposta se encontra o antigo lixão da cidade – marcada em linha vermelha - (desativado) e que operou nesse local por mais de 20 anos.



**Figura 4.1 – localização da área do AS Muriaé**



**Figura 4.2 – área do AS Muriaé**





## 4.2. Meio físico na área do aterro sanitário segundo PCA

### 4.2.1 Geologia / Geotecnia

O tipo de solo disponível na área do aterro é constituído por uma argila arenosa e silte areno argiloso. A variação dos valores do coeficiente “k” de permeabilidade, em todos os furos e profundidades analisadas, está entre valores de  $10^{-8}$  cm/s a  $10^{-6}$  cm/s.

Em termos de materiais, foram encontradas 3 camadas (figura 4.3):

- A camada mais superficial, constituída por uma argila arenosa com espessura máxima de 6,45m e mínima de 2,45m. Trata-se de uma argila-siltosa, castanha, com grãos de quartzo, mole à rija.
- Sob a camada superficial ocorre um solo residual maduro de gnaiss constituído por uma argila siltosa, média a dura, localmente pouco siltosa ou arenosa, passando, em profundidade, a uma areia siltosa, pouco a medianamente compacta. Tem cor variegada (rósea, castanha, amarela ou cinza), localmente com mica. A espessura desta camada varia entre 2,0 e 4,0m.
- Por fim, ocorre uma camada de solo residual jovem variando entre uma areia siltosa (fina ou grossa), um silte argiloso e um silte arenoso, localmente argiloso. A cor é variegada, todos contêm mica, e localmente pode ocorrer caulim e pedregulhos. As areias e os siltes arenosos são medianamente compactos a compactos, enquanto os siltes argilosos são médios à rijos.

**Figura 4.3 – Perfil litológico do solo local**





#### 4.2.2. Hidrologia

O corpo d'água mais próximo da área do empreendimento situa-se a cerca de 30 m do limite inferior do atual depósito de lixo, numa cota aproximadamente 10m abaixo da cota de implantação do aterro sanitário. Este corpo d'água, sem denominação, é afluente do Rio Glória, pertencente à sub-bacia do Rio Muriaé e à bacia do Rio Paraíba do Sul. O uso mais comum da água em questão é para dessedentação de animais. A água coletada desta região não é utilizada para consumo humano, recreação ou irrigação.

#### 4.2.3 Clima

O clima de Muriaé é o tropical de Altitude, segundo a classificação de W. Köppen é do tipo Cwa (mesotérmico, verão chuvoso e quente), e apresenta duas estações bem definidas: uma, que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e outra de maio a setembro, mais fria e com menor presença de chuvas.

Este clima pode também ser definido, genericamente, como Tropical de Altitude, por corresponder a um tipo tropical influenciado pelos fatores altimétricos, em vista do relevo local apresentar altitudes baixa que contribuem para amenização das temperaturas. Uma das características do verão local, além dos elevados índices de calor e umidade, é a presença de chuvas de tipo convectivo, típicas de final de tarde e início da noite, acompanhadas de elevadas e concentradas precipitações pluviométricas.

As temperaturas médias anuais oscilam entre 18°C e 23°C.e os índices pluviométricos anuais, nas últimas décadas acusaram valores médios próximos de 1.536 mm.

## **5. Concepção do aterro sanitário segundo PCA/RCA**

A concepção do aterro foi feita pela empresa SLOPE CONSULTORIA E PROJETOS LTDA- de Viçosa (MG).

O aterro sanitário foi projetado para ser construído pelo método da rampa em 9 grandes plataformas. As plataformas têm largura e comprimento variáveis. A primeira plataforma implantada na cota 305; a segunda na cota 315; a terceira na cota 330; e, assim, sucessivamente até a nona que será implantada na cota 347.

Os cortes foram projetados, portanto, com 15 de altura e, segundo os desenhos do PCA, com inclinação de 15(V): 26(h), ou seja 1(V): 1,7(H). Na cota 300 foi prevista a construção de um dique de disparo de 5m de altura, para contenção da 1ª célula de resíduos (da cota 300 à cota 305). Sobre esta foram projetadas mais sete (7) células de resíduos sobrepostas, indo a disposição da cota 305 até a cota 345. Entende-se, portanto, que o aterro de resíduos terá uma altura total de 45m.



Na construção dos taludes das plataformas, o solo residual deveria ser escavado com inclinação de 1(V) para 2(H).

Os taludes de resíduos deverão ter inclinação de 1(V) para 2(H).

Concebeu-se um aterro com capacidade volumétrica total de 693.869 m<sup>3</sup>, conforme tabela 5.1 abaixo.

**Tabela 5.1 – Volume total do aterro**

	<b>Volume total do Aterro (m<sup>3</sup>) para 20 anos</b>
Volume total de lixo compactado do aterro	555.095,70
Volume total de solo compactado (25%)	138.773,93
<b>Volume total do aterro sanitário:</b>	<b>693.869,67</b>

Para as análises da estabilidade dos taludes formados durante o processo de escavação e disposição dos resíduos foi utilizado o método dos elementos finitos, utilizando-se o programa GEO-SLOPE/SEEP/W (2002) que permite analisar a estabilidade dos taludes. As análises de estabilidade foram realizadas pelo método de equilíbrio limite que envolvem a definição de uma superfície de deslizamento por toda a massa do talude e a divisão desta massa em fatias verticais (Geo-Slope, 2002). Utilizaram-se os métodos de Bishop e Janbu, onde o primeiro faz derivação do fator de segurança em relação ao equilíbrio de momentos, efeito das forças de empuxo e cisalhamento ao longo das faces laterais das fatias e o segundo ao equilíbrio de forças e é dependente da forma da superfície de escorregamento (Geo-Slope, 2002). Para a determinação dos parâmetros geotécnicos dos materiais constituintes dos solos dos furos de sondagens (Tabela 5.2) foram coletadas amostras indeformadas e os parâmetros de resistência obtidos durante a execução dos furos (SPT). Foram realizados ensaios permeabilidade in situ, granulometria, massa específica e determinação de curva característica, todos eles seguindo os procedimentos sugeridos por normas brasileiras.

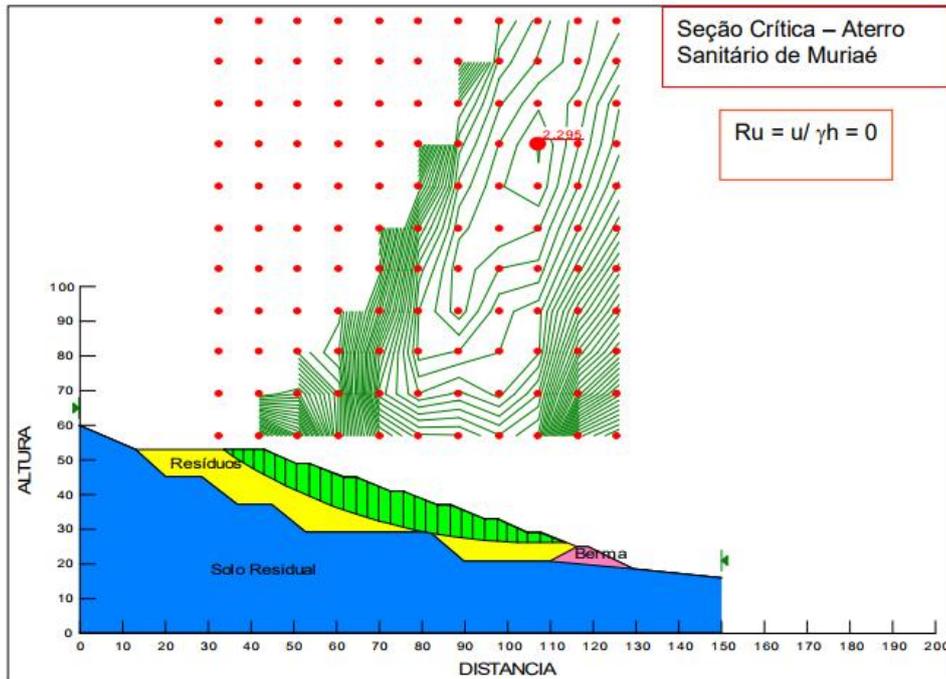
**Tabela 5.2 – Parâmetros Geotécnicos – estudos de estabilidade**

<b>Camada</b>	<b><math>\gamma</math>(kN/m<sup>3</sup>) (peso específico)</b>	<b>c (kPa) (coesão)</b>	<b><math>\phi</math> (ângulo de atrito)</b>
Berma	19	52	450
Lixo	7	10	300
Areia Fina Siltosa	13,5	51,6	450

A figura 5.1. evidencia o resultado obtido na modelagem da estabilidade dos taludes dos cortes e dos taludes de lixo, considerando o aterro totalmente drenado ( sem chorume no seu interior – Ru=0).



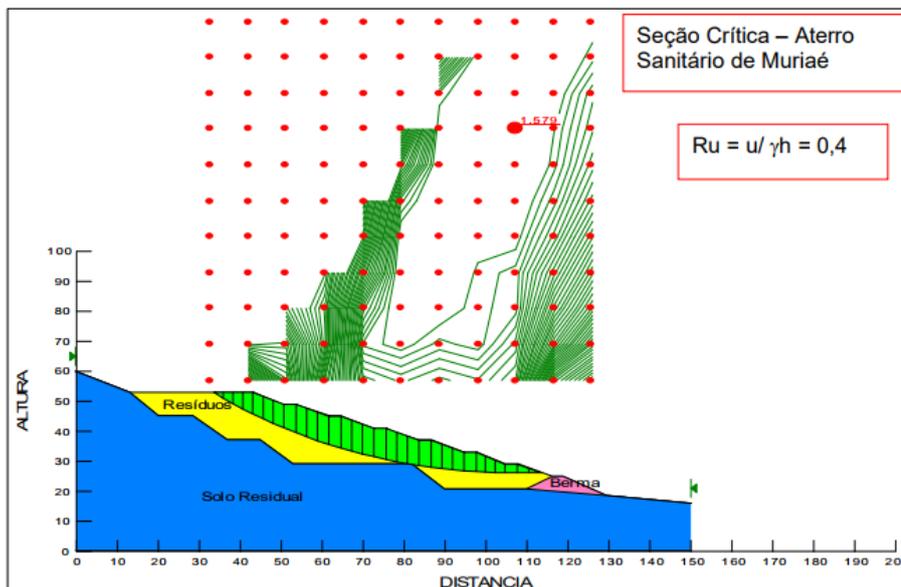
**Figura 5.1 – Fator de segurança do aterro para Ru=0**



Para essas condições, a projetista calculou que o fator de segurança contra a instabilidade seria de FS= 2,295.

A figura 5.2. evidencia o resultado obtido na modelagem da estabilidade dos taludes dos cortes e dos taludes de lixo, considerando o aterro com  $Ru = 0,40$  (40% das tensões totais se aplicam em chorume e não sobre resíduos). Para essas condições, a projetista calculou que o fator de segurança contra a instabilidade seria de FS= 1,579.

**Figura 5.2 – Fator de segurança do aterro para Ru=0,40**





## 6. Trincas no aterro e sua estabilidade geotécnica.

A figura 6.1 apresenta uma vista aérea do aterro de Muriaé em oito de agosto de 2019 (segundo Google Earth). Trata-se de da foto mais recente que se conseguiu viabilizar anterior ao problema detectado no mês de março de 2020 e que gerou a necessidade desse relatório.

**Figura 6.1- Vista aérea do aterro em agosto de 2019**



Com a detecção de trincas no platô superior do aterro pela equipe do DEMSUR deflagrou-se a necessidade de analisar o problema ocorrido e propor medidas



emergenciais através de um especialista (o que está sendo através desse relatório de modo formal e que já foi feito verbalmente no aterro nos dias 4 e 5 de março).

Passa-se a seguir a uma descrição do problema específico das trincas encontradas no aterro quando da visita feita em 4, e 5 de março.

No primeiro dia de março de 2020 notou-se a ocorrência de trincas na célula em operação (cota 320), ou seja, na célula situada 5 m acima da 2ª plataforma de corte.

A localização das trincas, após visita em campo, pode ser marcada na figura 6.2 abaixo.

**Figura 6.2- mapeamento das trincas**



As fotos 6.1 a 6.3 evidenciam as trincas no dia 4/3/2020



**Foto 6.1- Foto das trincas 4/3/2020**



**Foto 6.2- Foto das trincas 4/3/2020**





**Foto 6.3- Foto das trincas 4/3/2020**



Notou-se que

- As trincas evidenciam um formato semicircular, **o que é extremamente preocupante** pois denota a delimitação de uma possível “cunha de ruptura”.
- Além de um deslocamento horizontal (de abertura das trincas) houve também uma subsidência (rebaixamento) da parte do aterro delimitada pela cunha. Informações verbais coletadas no local informaram que o caimento da superfície do aterro nesse local (que era do sentido da esquerda para a direita na Foto 5.3. Inverteu totalmente após tal subsidência, sendo que as águas pluviais agora, se dirigem da direita para a esquerda.

As fotos 6.4 a 6.5 evidenciam as trincas no dia seguinte, ou seja, 5/3/2020 e, visualmente, evidenciaram **aumento nos seus deslocamentos.**

A DEMSUR já havia contratado uma equipe de topografia para delimitar essas trincas e avaliar seu aumento (ou não) que estava no local desde o dia 1/3/2020. Apesar dessa ótima ação, quando da elaboração desse relatório esses dados de topografia ainda não estavam disponíveis.



**Foto 6.4. - Foto das trincas 5/3/2020 na mesma posição da Foto 5.1.**



**Foto 6.5. - Foto das trincas em 5/3/2002 na mesma posição da Foto 5.3.**





Considerando que:

- As trincas, aparentemente, parecem estar evoluindo, com maiores deslocamentos horizontais e verticais;
- A inexistência de um sistema regular de monitoramento geotécnico do aterro impede comprovar isso matematicamente
- A colocação de mais resíduo (continuidade de operação do aterro nessa área) nessa área somente agravará o problema e acelerará eventos danosos
- Caso ocorra ruptura geotécnica dessa cunha demarcada pelas trincas, ela se deslocará, por força da gravidade, para baixo e cobrirá, com certeza, a estrada de acesso que permite, atualmente a operação do aterro. Tal massa pode eventualmente, soterrar pessoas e equipamento que porventura estejam se utilizando da estrada, com riscos à vida humana e danos materiais (Figura 6.6);

**Figura 6.6.-projecção da massa deslocada na hipótese de ruptura geotécnica da cunha demarcada pelas trincas**



- A colocação de resíduos (continuidade de operação do aterro em outra área diversa onde se situam as trincas forçosamente exigirá o uso constante da estrada de acesso que se situa exatamente no pé do aterro, a jusante dessa provável cunha de ruptura e isso não é recomendável m, visto o risco retro mencionado;



- De modo a evitar essa ruptura se impõem, imediatamente, o deslocamento de todos os equipamentos ora em operação no aterro para execução de obras emergenciais no aterro, impedindo a sua operação normal;

Recomenda-se:

- ***Cessar, de imediato, toda operação de disposição de resíduos no aterro, visando minimização de riscos***
- ***Deslocamento de todos os equipamentos pesados existentes no aterro para execução das obras emergenciais descritas no capítulo 7***
- ***Início imediato das obras emergenciais descritas no capítulo 7***

## 7. Obras emergenciais visando garantir integridade do maciço

Conforme diagnóstico mais detalhado apresentado no capítulo 8, pode-se dizer que as causas deflagradoras do aparecimento das trincas são várias e estão descritas a seguir:

- **Insuficiência do sistema de drenagem interna de percolado** no sentido de não conseguir drenar adequadamente todo o percolado gerado (ver capítulo 8.1)
- **Entrada excessiva de águas pluviais dentro do maciço**, com aumento na vazão de percolado dentro do maciço sem a correta drenagem (ver capítulo 8.2)
- **Criação de superfícies preferenciais de escorregamento** com a colocação de materiais extremamente úmidos (lodo/lama, etc.) em locais não adequados no interior do aterro ( ver capítulo 8.3)

Sabedores das causas, passa-se a seguir a uma descrição das obras emergenciais a serem executadas para estabilização da movimentação da cunha. Ressalta-se que as obras aqui previstas são de cunho emergencial, **devendo ser complementadas com obras a médio prazo (descritas no capítulo 8) para que o problema não volte a se repetir!**

### 7.1. Obra emergencial 1: Criação de drenos de percolado emergenciais

Sabe-se que o aterro está inadequadamente drenado internamente (Capítulo 8.1.) impondo-se a criação de drenos que permitam drenar o percolado que se encontra estocado a montante da cunha de ruptura , aliviando assim a pressão desestabilizadora do líquido.

Após análise cuidadosa do melhor caminamento desses drenos, verificou-se que o dreno vertical marcado como “A” na figura 7.1. estava íntegro e drenando adequadamente o percolado a ele conduzido. Desta forma considerou-se a a construção do dreno emergencial 1, mostrado na figura 7.1, a que 3m caberia a responsabilidade de coletar o percolado a montante da cunha, levando-o para o ponto A.

**Figura 7.1-Drenos emergenciais de percolado**

**O dreno emergencial 1** deve ser construído em primeiro lugar, com profundidade de 6m, escavado na largura da caçamba da escavadeira hidráulica. Após escavação (com caimento para o dreno marcado como A na figura 7.1) deve-se preencher a vala com 1m de altura de pedra de mão ou “ pé de moleque”) e o restante da vala com o próprio lixo escavado.

Notou-se também que o dreno auxiliar B (ver capítulo 8.1), construído pelo DEMSUR, também possuía boa vazão de percolado e poderia ser usado para complementar a ação do dreno emergencial 1. Assim, concebeu-se o **dreno emergencial 2**, a ser construído após o dreno emergencial 1, em continuação e interligado ao dreno emergencial 1 no ponto A mas com caimento em direção ao ponto B, onde se ligará com o dreno auxiliar 1 construído pelo DEMSUR no passado.



Desta forma, se conseguirá um dreno contínuo em todo o platô superior do aterro com profundidade de 6m (sendo 1m preenchido com material drenante) descarregando a vazão coletada de percolado em todo o platô superior do aterro através, preferencialmente, em duas saídas: o dreno vertical “A” e o dreno auxiliar 2. São drenos que estão adequados e drenando o percolado a eles trazido e por isso adequados para tal uso emergencial. Após a execução dos drenos emergenciais 1 e 2 recomenda-se a construção de drenos mais rasos, chamados de **drenos emergenciais 3** (figura 7.2.), perpendiculares a esses dois drenos, escavados com 2m de profundidade e preenchidos com 1m de pedra de mão (ou pedra pé de moleque) e o restante preenchidos com lixo escavado. Tais drenos visam drenar, mas adequadamente todo o platô superior do aterro onde existem bolsões de percolado superficiais (ver capítulo 8.1)

## 7.2. Obra emergencial 2: Minimização de entrada de água no maciço via eliminação de leiras de solo e correção de caimentos

Sabe-se que a conformação geométrica atual do aterro está permitindo, inadequadamente, a entrada de quantidade excessiva de água pluviais para dentro da massa de resíduos e da trinca existente (Capítulo 8.2. do diagnóstico) Assim recomenda-se eliminar as leiras de solo construídas sobre o platô superior e que estão impedindo a saída da água e a correção do caimento do platô superior (ver capítulo 7.3)

## 7.3. Obra emergencial 3: Minimização de entrada de água no maciço via impermeabilização do platô superior

Além da obra emergencial 2 retro citada, é de primordial importância que seja feita uma impermeabilização emergencial do platô superior do aterro. Com essa impermeabilização, com caimento adequado, direcionando as águas pluviais para longe do maciço e da trinca, se evitará aumentar as pressões de líquido dentro do maciço, ajudando na estabilidade geotécnica. Após análise cuidadosa, verificou-se que devido à subsidência do terreno do aterro na região da trinca, o aterro está dividido em duas áreas em termos de caimento superficial.

**Na área 1**, onde se localiza a trinca, devido ao recalque do terreno, o caimento é no sentido da direita para a esquerda da figura 7.3., ou seja, a água está sendo direcionada para a fachada do aterro. Na área 2, devido à não existência de recalques significativos, o caimento se manteve como projeto, ou seja, da esquerda para a direita da figura 7.3.

Em termos de urgência, **a área 1 é prioritária** e concebeu-se sua impermeabilização em primeiro lugar, usando-se lona de PVC de baixo custo e facilmente encontrada em lojas de material de construção. Antes da colocação da manta sintética, haverá a necessidade de escavar uma porção da área 1 para permitir a drenagem da água a ser captada pela manta para fora do aterro, conforme indicado na figura 7.4. após criação



dessa canal de descarga, deve-se regularizar ao máximo a superfície colocando a manta sobre ela. Para evitar que a manta se levante por ação de ventos, deverão ser colocados sacos de rafia preenchidos com areia, distanciados de 2m entre si em todas as direções.

**Figura 7.2- Drenos emergenciais 3**





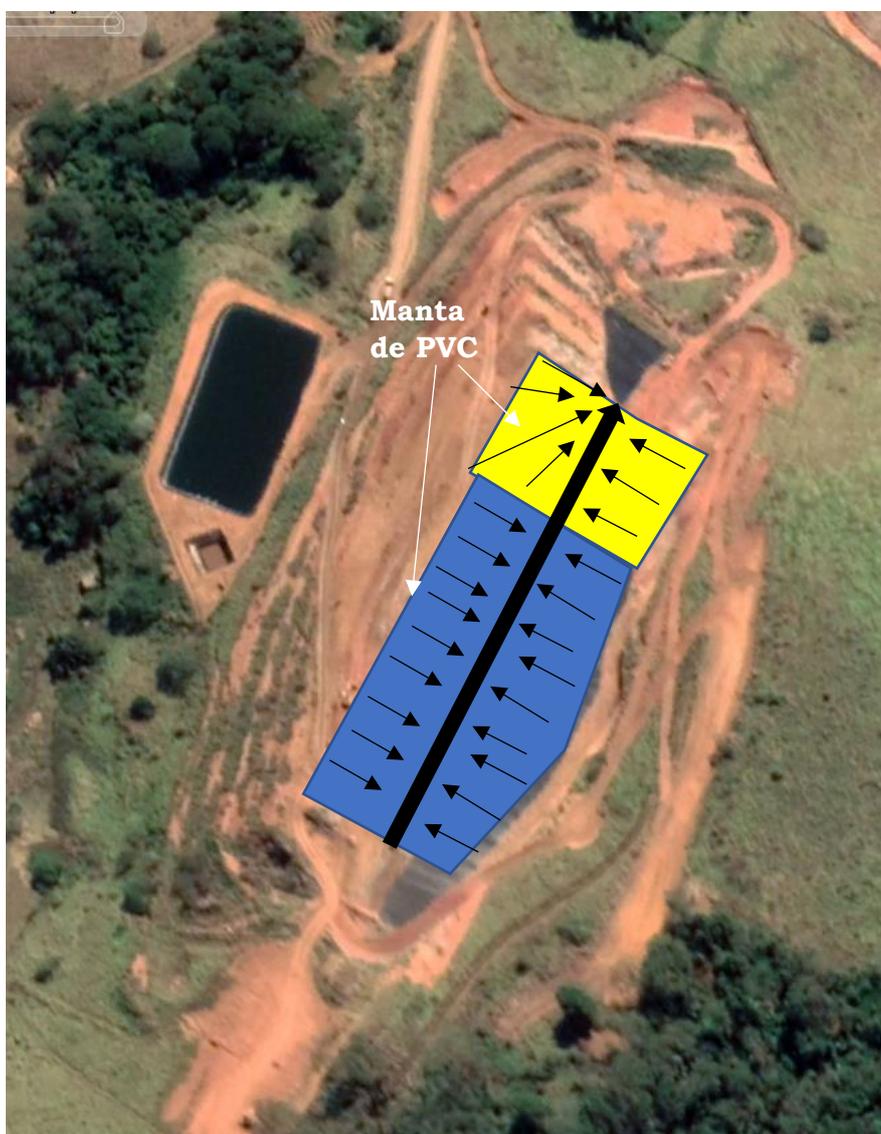
**Figura 7.3- Caimentos atuais no platô superior do aterro**



Após impermeabilização adequada da área 1, deve-se passar à impermeabilização da área 2.



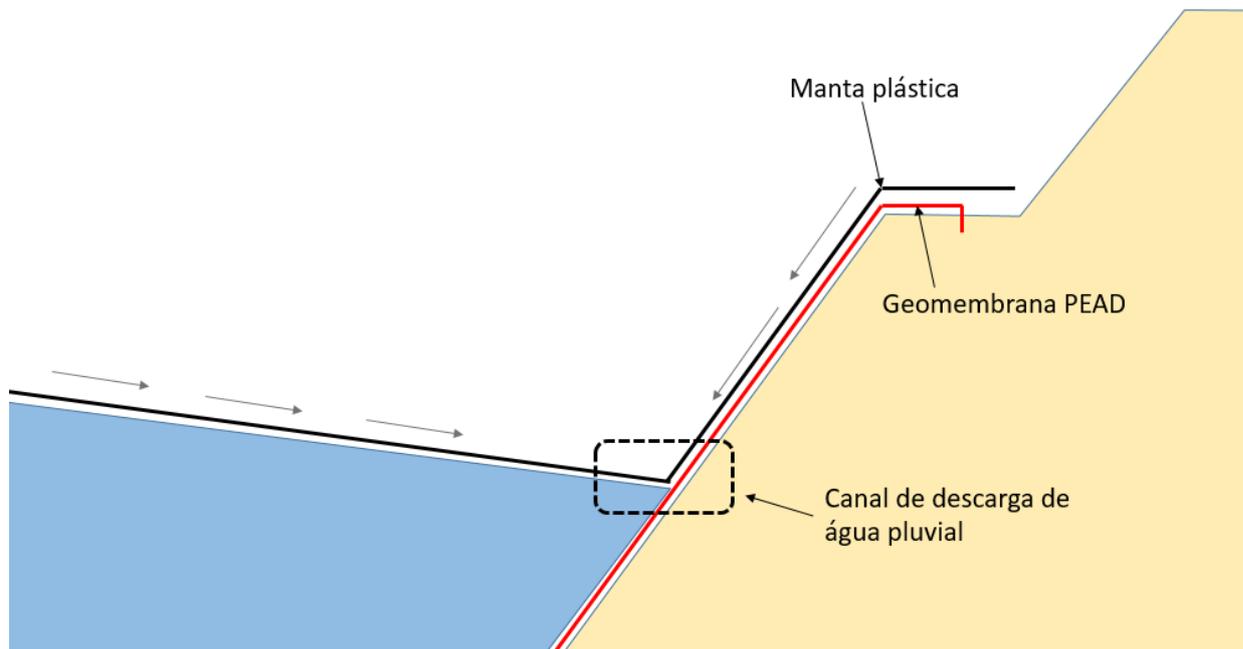
**Figura 7.4- Impermeabilização do platô superior**



Haverá a necessidade de criar um canal de descarga de água justamente no contato da geomembrana existente com o lixo e é necessário de alguma forma, que essa água não infiltre nesse canal, exigindo-se sua impermeabilização. Assim, para criar tal canal, concebeu-se impermeabilizar não somente o platô com manta de PVC mas estende-la, por sobre a manta existente no talude até a berma de ancoramento da geomembrana. (ver figura 7.5.). Para que a manta colocada nos taludes não se levante por ação dos ventos sugere-se que os sacos de areia usados no platô também sejam colocados nos taludes, mas unindo 20 deles a cada 2m em uma corda e fixando essa corda na berma de ancoragem da geomembrana, estendendo-a sobre o talude.



**Figura 7.5- detalhe do canal de drenagem a ser executada com manta plástica**



#### 7.4 Obra emergencial 4: Eliminação de superfícies preferenciais de escorregamento

Conforme mostrado no diagnóstico apresentado no capítulo 8.3, existem duas superfícies que, atualmente, favorecem o escorregamento. Quanto à primeira superfície, não há nada a fazer pois não faz sentido retirar o material aterrado. Recomenda-se que, se tal disposição for novamente necessária, que ela se realize o mais longe possível da fachada do aterro e dos drenos verticais e horizontais. Quanto à 2ª superfície, existe uma obra a médio prazo que pode ser feita - não sendo emergencial - e que, por tal motivo, está detalhada no capítulo 8.4.

### **8. Diagnóstico geral do aterro, levantamento de problemas e proposição de ações corretivas a médio prazo**

Definidas as obras emergenciais no capítulo 7, procurou-se, neste capítulo, fazer um diagnóstico do aterro em termos gerais, com levantamento dos problemas existentes e proposição de medidas a médio prazo. As observações deste capítulo também embasaram a definição das obras emergenciais descritas no capítulo 7.



## 8.1. PROBLEMA 1: Insuficiência do sistema de drenagem interna de percolado

O projeto do aterro, constante do PCA, definia um sistema de drenagem de percolado onde drenos horizontais de célula de resíduos (construídos a cada 5m de altura) coletavam percolado e o encaminhavam para drenos verticais de percolado/gás. Estes, por sua vez, coletavam todo esse volume e o levavam, por gravidade, até UM (1) dreno principal de percolado construído na base do aterro. Todo o percolado coletado no aterro, por esse dreno, seria levado para uma caixa (CP 04) e desta para a lagoa de acumulação de percolado. O Anexo 5 apresenta a concepção do sistema aprovado.

Fo feita inspeção visual nessa caixa CP 04 e que deveria receber o percolado coletado em todo o aterro e não se notou vazão significativa de percolado, fato extremamente preocupante. Considerando o tamanho do aterro e a intensidade das chuvas que tem ocorrido em Muriaé desde dezembro de 2019 até os dias de hoje, a vazão na caixa CP 04 teria que ser muito maior.

Os colaboradores da DEMSUR sabiam da deficiência desse dreno e, por tal motivo, criaram mais 2(DOIS) drenos principais auxiliares e mais duas caixas de recepção.

A Figura 8.1 mostra, esquematicamente, a posição do dreno principal de projeto e os dois drenos auxiliares construídos pela DEMSUR.

Foi feita, então, inspeção, nessas outras duas caixas, receptoras das vazões de percolado dos drenos auxiliares 1 e 2. Infelizmente, as duas caixas também mostravam baixa vazão de percolado, sendo que a caixa do dreno 2 mostrava um volume maior do que a caixa do dreno 1.

Concluiu-se, portanto, que o volume de percolado do aterro não estava sendo coletado e levado adequadamente para os três drenos principais citados, indicando problemas nos drenos verticais de percolado/gás e nos drenos horizontais de células.

Passou-se, então, a uma inspeção nesses dois elementos, como se descreve a seguir:

### 8.1.1. Drenos verticais de percolado/gás

Foi feita inspeção em todos os drenos verticais de percolado/gás e notou-se que existiam dois tipos de drenos verticais (Foto 8.1). Um maior, com tubo de concreto de 60 cm de diâmetro no seu interior e pedra ao redor e outro, de menor diâmetro e sem tubo de concreto. O projeto do PCA só continha um tipo de dreno, o maior indicado na foto acima, e não se entendeu o porquê da execução dos drenos menores. Estes, por seu pequeno diâmetro, dificilmente conseguirão manter sua integridade vertical por toda a espessura de resíduos e logo se tornando ineficazes.

Já os drenos verticais maiores usados no aterro divergem (para melhor) do dreno constante do PCA (Figura 8.2), que nem pedra ao redor do tubo de concreto exigia. A iniciativa de colocação de pedra ao redor do tubo partiu dos funcionários do DEMSUR e foi extremamente positiva.



**Figura 8.1 – localização esquemática dos drenos principais de percolado**



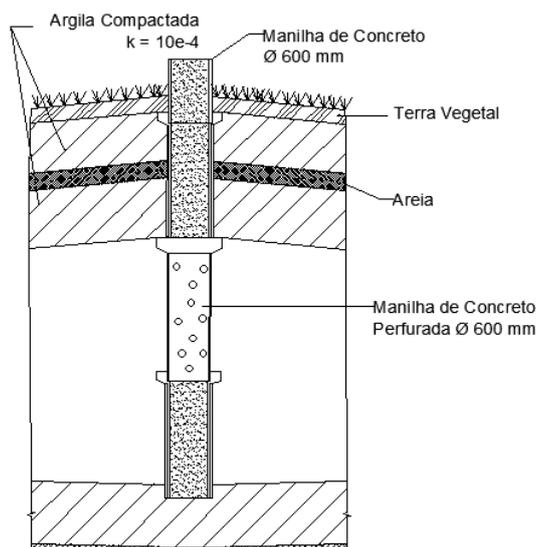


**Foto 8.1 Dois tipos de drenos verticais de gás**



**Figura 8.2 – Dreno vertical aprovado no PCA**

### DRENO DE BIOGAS





A seguir foi feita inspeção nos drenos verticais maiores (com tubo de concreto) do aterro visando aquilatar se estes estavam íntegros ao longo de sua altura e estavam drenando corretamente o percolado a eles trazido pelos drenos horizontais de cada célula.

Infelizmente vários drenos verticais estavam completamente obstruídos com solo e vários deles estavam com lâmina estagnada de percolado no seu interior, fato extremamente preocupante, pois é indicativo que o dreno não está conseguindo drenar, ao longo de sua altura e por gravidade, o percolado a ele trazido.

A Foto 8.2 é exemplificativa de um desses drenos inoperantes.

Infelizmente somente alguns poços estavam em condições operativas normais, onde se notava, com certeza, que todo percolado a ele trazido, era corretamente drenado. Foi feito um mapeamento desses poços adequados para usá-los como parte integrante das soluções emergenciais propostas ( capítulo 7 ).

**Foto 8.2. Dreno vertical inoperante**





### 8.1.2. Drenos horizontais de percolado

Passou-se então a inspeção dos drenos horizontais de percolado. Segundo informações do pessoal do DEMSUR, os drenos horizontais são quadrados, com 40 cm de lado, construídos com pedra, dotados de um tubo perfurado do tipo “kanaflex” de 150 mm no seu interior.

Tal concepção me parece completamente inadequada e incapaz de drenar adequadamente o aterro em suas células de 5 em 5m de altura. Note-se que na Foto 8.2. se nota a chegada de dois drenos horizontais ( tubos kanaflex) ao dreno vertical, praticamente secos !

Outra constatação dessa ineficiência dos drenos horizontais é a quantidade excessiva de percolado em bolsões estagnados no platô superior do aterro (Fotos 8.3. e 8.4).



### 8.1.3. Conclusão – Insuficiência do sistema de drenagem de percolado

Em vista do exposto, **não há dúvidas que o aterro possui deficiências enormes no que tange à drenagem de percolado e gases** e tais deficiências podem ter uma influência decisiva no aparecimento das trincas e na movimentação do aterro.

O aterro é formado por um lixo heterogêneo, mas na engenharia de aterros sanitários esse lixo heterogêneo é assumido como um “ solo “ com coesão e ângulo de atrito.

Quanto um aterro de lixo sofre carga sobre ele (mais lixo) o ideal é que toda essa carga fosse suportada pelo lixo (solo) que está embaixo da carga que está sendo posta, mas isso só acontece se não houver nenhum líquido (chorume) nesse solo que estiver suportando a carga. Se houver líquido, parte da carga é suportada pelo lixo e parte é suportada pelo líquido, diminuindo a resistência do conjunto. O percolado “ lubrifica” os grãos do solo (lixo) diminuindo o contato entre eles e portanto, a resistência. Quanto mais líquido se encontra dentro do lixo, mais o líquido assume a carga e menos o lixo



é carregado, fazendo com que, no limite, toda a massa escorregue por falta de atrito entre os grãos que compõem o lixo.

Assim quanto mais drenado estiver um maciço, mais resistente ele estará e menos suscetível a escorregamentos.

#### 8.1.4. Proposição de ações de médio prazo

Uma vez feito o diagnóstico que o sistema atual não é adequado para a correta drenagem de percolado do aterro, impõe-se, a meu ver, a curto e médio prazo, uma série de ações, a saber:

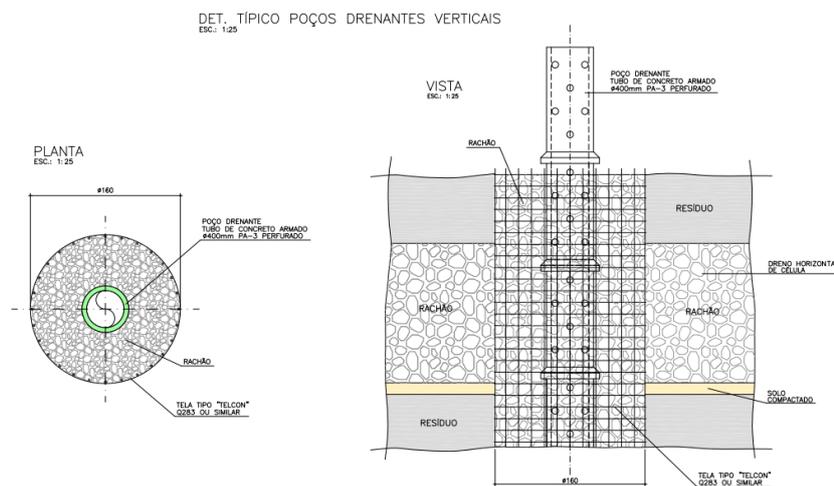
##### 8.1.4.1 Revisão do projeto de drenagem de percolado e gás

Está claro que o sistema projetado é insuficiente para drenar adequadamente o percolado gerado no aterro, impondo-se a execução de uma revisão do projeto a partir dessa data, melhorando-o significativamente. Os itens 8.1.4.2. a 8.1.4.3. apresentam algumas ideias que, a meu ver, deveriam ser incorporadas nesse novo projeto.

##### 8.1.4.2 Padronização dos drenos verticais

Não há sentido em se ter dois tipos de drenos verticais num aterro como ficou demonstrado que acontece no aterro de Muriaé. (Item 8.1.1.). Assim recomenda-se que a partir de agora se padronize o dreno vertical de percolado/gás, usando o modelo indicado na Figura 8.3., de uso frequente na maioria dos aterros sanitários brasileiros. Tais drenos devem estar espaçados 50 m entre centros de tubos de concreto de drenos contíguos.

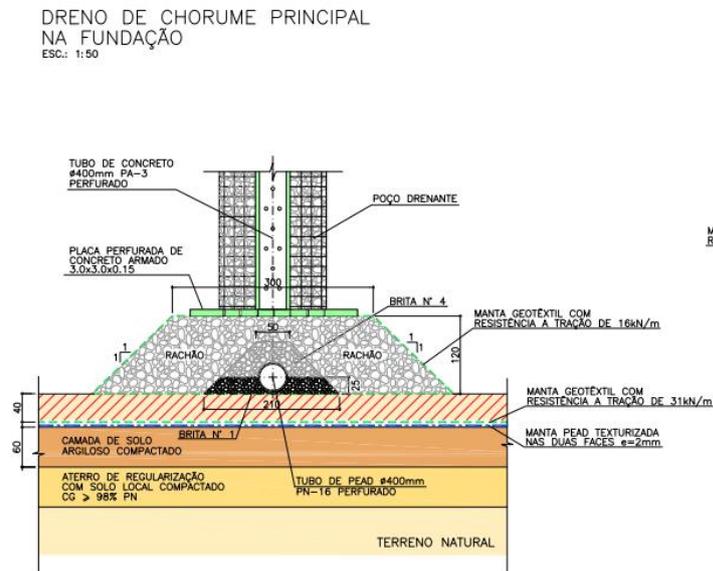
**Figura 8.3. – Proposição de novo dreno vertical padrão para continuidade dos drenos atuais**





Quando da ampliação do aterro será necessário construir novos poços verticais partindo da base da plataforma (geomembrana). Nesse caso recomenda-se usar o detalhe apresentado a seguir (figura 8.4).

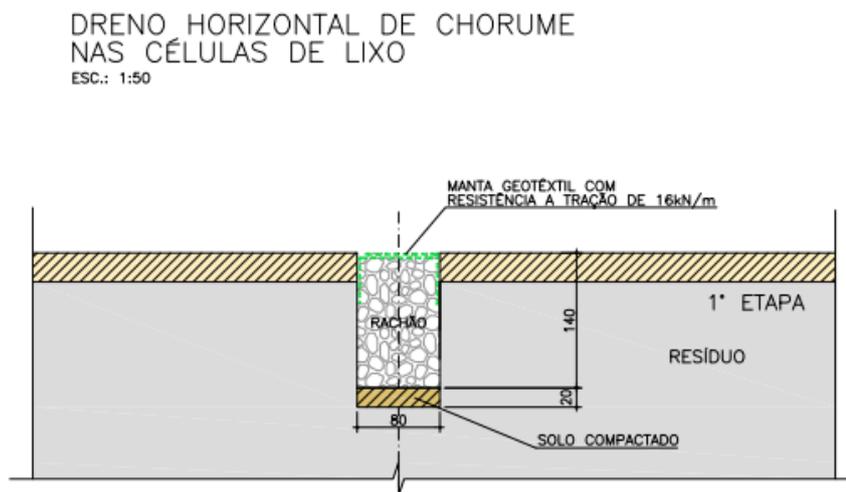
**Figura 8.4. – Proposição de novo dreno vertical padrão partindo da base do aterro.**



#### 8.1.4.3. Padronização dos drenos horizontais de célula de resíduos

Verificou-se (item 8.1.2) que os drenos atuais horizontais de célula não estão funcionando a contento devido ao seu pequeno tamanho. Assim recomenda-se padronizar, a partir de agora, os drenos de célula a serem construídos em cada célula de 5m de resíduos e devidamente interligados com os drenos verticais. A figura 8.5 detalha a 1ª etapa de construção desse dreno.

**Figura 8.5. – Escavação/preenchimento de dreno horizontal de célula**

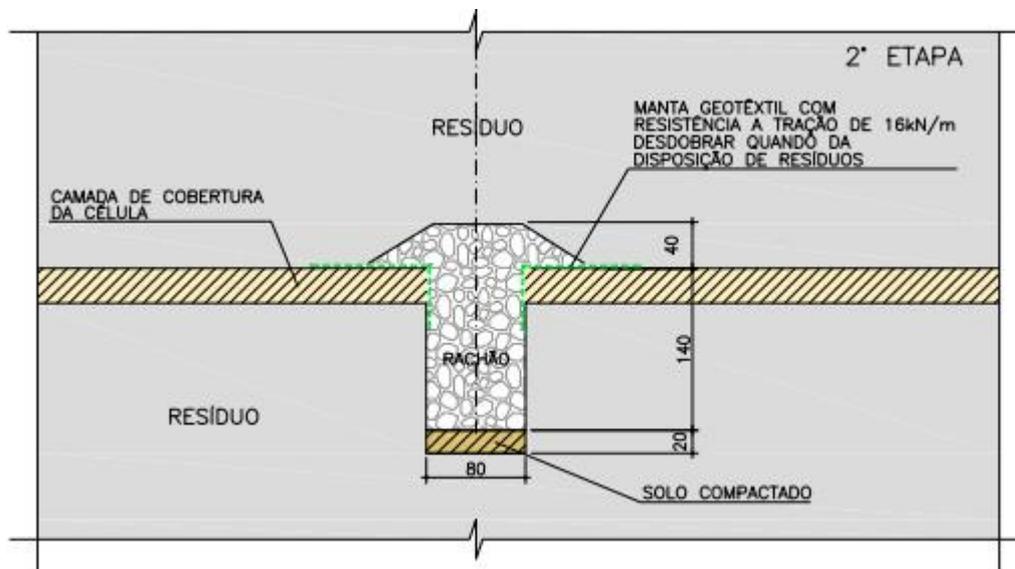




- Terminada a execução de uma célula de 5m de resíduos, deve –se abrir uma vala nas dimensões mostradas na Figura 8.5(1,60 x 0,8m).
- Feita a escavação, fazer um forro de solo compactado no fundo, com 20 cm de espessura
- Feito o forro, preencher a vala com 1,40m de pedra rachão (diâmetro maior do que 30 cm), sendo que a pedra acabada deve ficar no mesmo nível da cobertura de solo da célula
- Colocação de geotêxtil não tecido dobrado sobre a pedra (resistência a tração de 16kN/m)

A 2ª etapa de construção desse dreno ocorre quando se for efetuar a disposição de resíduos sobre o dreno (figura 8.6).

**Figura 8.6. – Operacionalização do dreno**



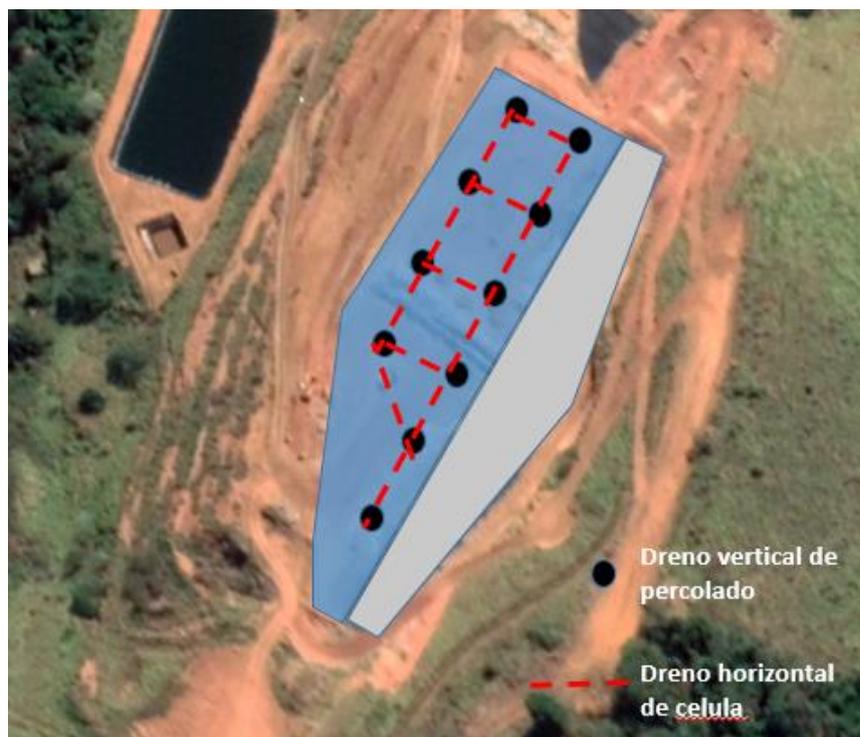
- Antes de se iniciar a disposição de resíduos sobre um dreno já com pedra e geotêxtil, deve –se desdobrar o geotêxtil (figura 8.6) e fazer um “trapézio” de pedras sobre o dreno com altura de 40 cm.

#### *8.1.4.4. Padronização da sistemática de drenagem em cada célula de 5m de resíduos*

Apenas a título de maior clarificação fez-se uma figura (figura 8.7) esquemática de como deve ser feita a drenagem de percolado a partir desta data, se foram aceitas as minhas recomendações. A figura 8.7 apresenta uma célula hipotética, num determinado nível, com as duas estruturas de drenagem definidas na figura 8.3 (dreno vertical de percolado) e figura 8.5 (dreno horizontal de percolado)



**Figura 8.7. – Drenagem típica por célula de 5 m de resíduos**



NOTA: Deve-se alertar que a posição dos drenos verticais dessa figura é hipotética pois não se dispõe de “as built” topográfico que permita conhecer a exata localização de cada um deles. Trata-se de uma figura que apresenta um “conceito” a ser seguido.

## 8.2. PROBLEMA 2: Entrada excessiva de águas pluviais dentro do maciço

Notou-se também que há entrada excessiva de águas de chuva no maciço provocada basicamente por quatro (4) motivos:

- Existência de extensa área de talude impermeabilizada com geomembrana PEAD e que direciona toda as águas pluviais nela incidentes para o interior do maciço (Foto 8.4.)
- Caimentos inadequados que impedem a saída de água pluvial do topo do aterro criando grandes empoçamentos. (Foto 8.5.)
- Caimentos inadequados que dirigem as águas pluviais para dentro dos drenos verticais de gás. (Foto 8.6.)
- Construção de leiras de solo impedem a saída de água pluvial do topo do aterro criando grandes empoçamentos. (Foto 8.7.)



**Foto 8.4- Geomembrana conduzindo água pluvial para o aterro**



**Foto 8.5- empoçamentos no platô superior**



**Foto 8.6- Condução de água para dentro dos drenos de gas**



**Foto 8.7- Leiras de solo criando empoçamentos no platô superior**

### 8.2.1. Proposição de ações de médio prazo

Todos esses problemas decorrem da inexistência de um sistema implantado de drenagem pluvial, que evite essa entrada excessiva de água no maciço. A solução para esse problema está consubstanciada no capítulo que se segue (8.3.1.1.)

## 8.3. PROBLEMA 3: Inexistência de sistema de drenagem pluvial

Não se notou nenhum elemento do sistema de drenagem pluvial projetado no PCA instalado no aterro. Ele, na data de hoje, está totalmente desprovido de qualquer elemento que impeça a entrada de água pluvial no maciço e o carreamento de solo e a formação de erosões.



### 8.3.1. Proposição de ações de médio prazo

Uma vez feito o diagnóstico que o sistema atual inexistente, impõe-se, a meu ver, a curto e médio prazo, uma série de ações, a saber:

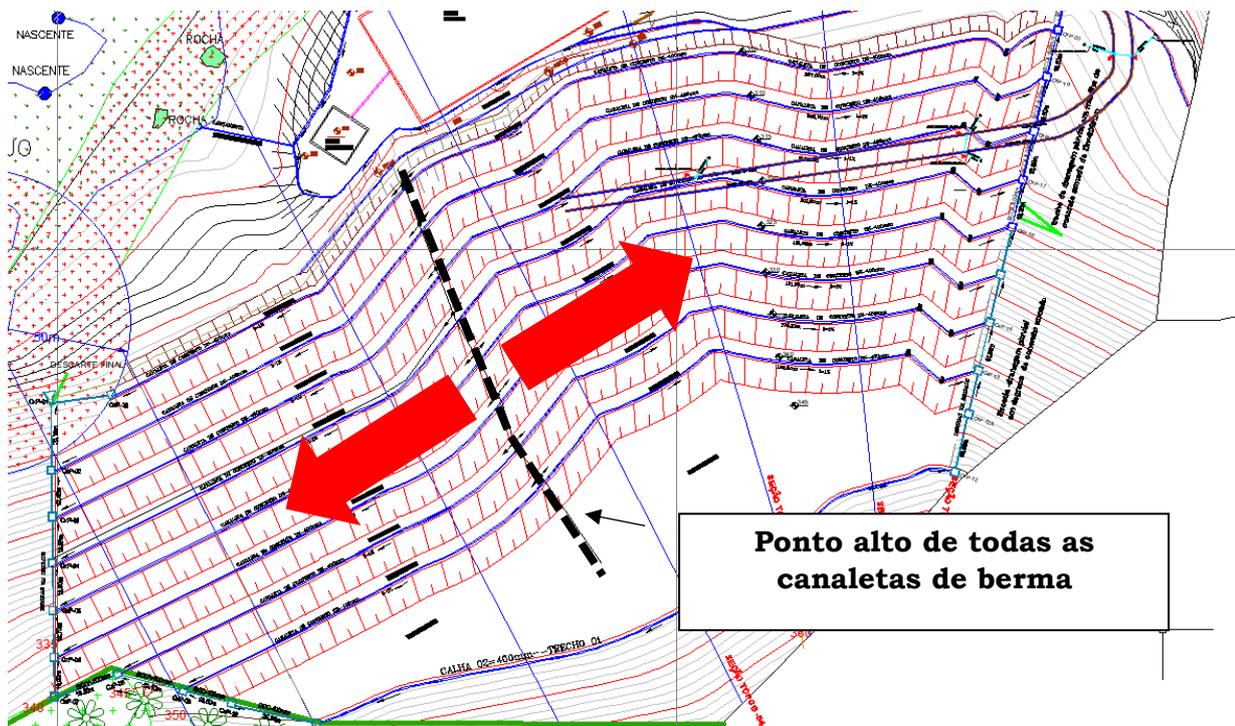
#### 8.3.1.1 Revisão do projeto de drenagem pluvial

O projeto de drenagem pluvial apresentado no ANEXO 4 está, a meu ver inadequado e contém algumas concepções errôneas que, se não forem mudadas, gerarão problemas no futuro.

O conceito fundamental de todo projeto de drenagem pluvial de um aterro é a colocação de canaletas  $\frac{1}{2}$  cana no pé de cada talude de resíduos (a cada célula de 5m), no projeto apresentado isso foi adequadamente contemplado com a colocação de canaletas meia cana de 400mm de diâmetro em todas as bermas.

Contudo todas essas canaletas, segundo o projeto, terão seu ponto mais alto no centro do aterro, tendo caimento para suas ombreiras laterais **e tal conceito está equivocado!**

**Figura 8.8. –Canaletas  $\frac{1}{2}$  cana com caimento para as ombreiras**



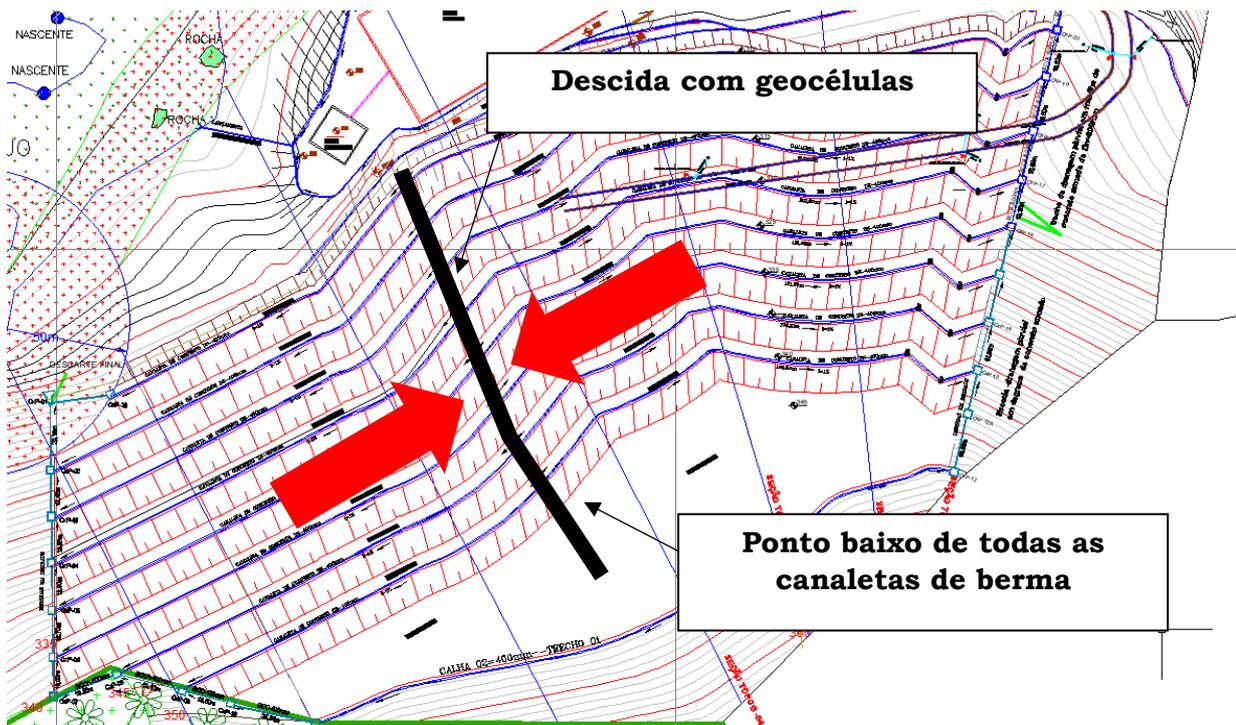
Num aterro sanitário há grandes recalques verticais devido à degradação da matéria orgânica existente nos resíduos **e onde há maior espessura de resíduos, há maior degradação e consequentemente maiores recalques.** Em outras palavras, o centro do aterro é o local onde os recalques serão maiores e ao ocorrerem, na concepção do



projeto, inverterão o caimento das canaletas para dentro do aterro e não para as ombreiras, como se deseja.

Um bom projeto de drenagem pluvial prevê esses recalques e coloca uma descida de água para coletar a água de todas as canaletas  $\frac{1}{2}$  cana de todas as bermas justamente no centro do aterro, pois ali sempre será um ponto mais baixo! (Figura 8.9)

**Figura 8.9. –Canaletas  $\frac{1}{2}$  cana com caimento para canaleta central com geocelulas**



Apenas para ajudar na revisão desse projeto, apresenta-se a seguir a concepção dessa descida de água, feita com geocélulas.

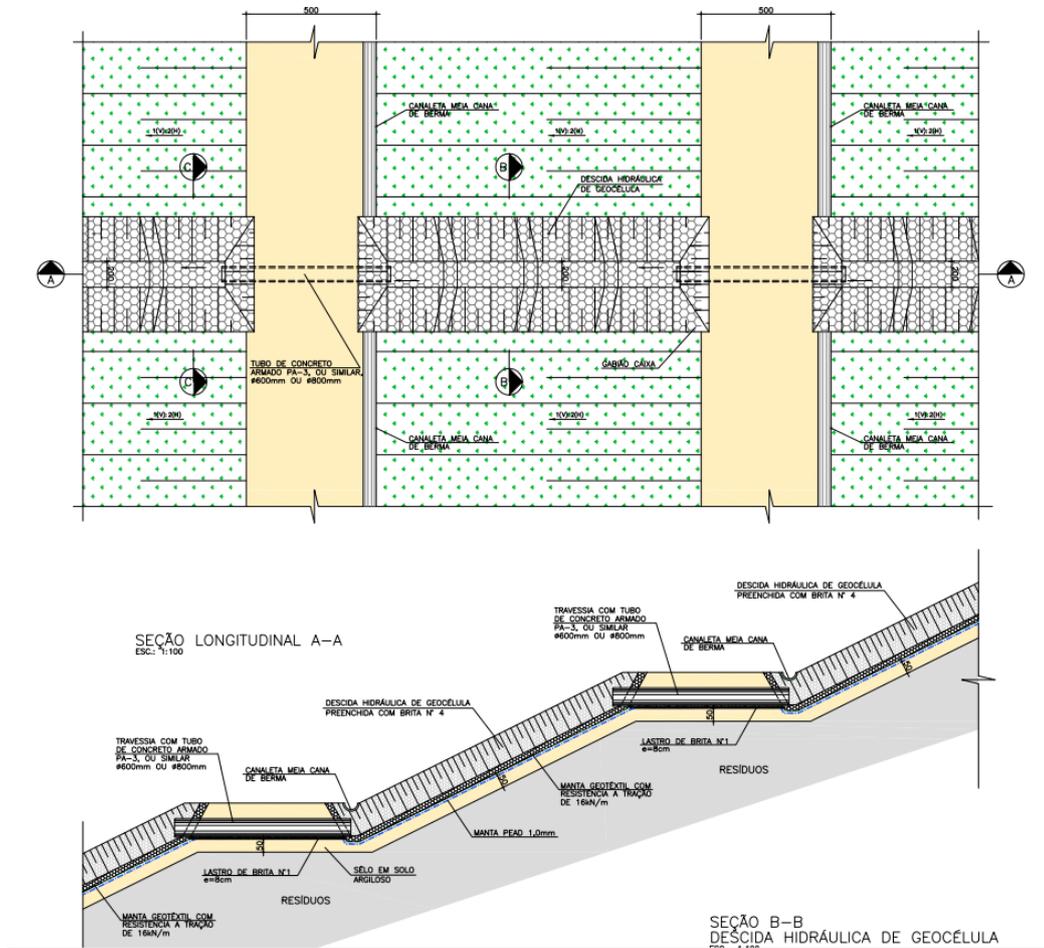
### 8.3.1.2. Descida de água em geocélulas

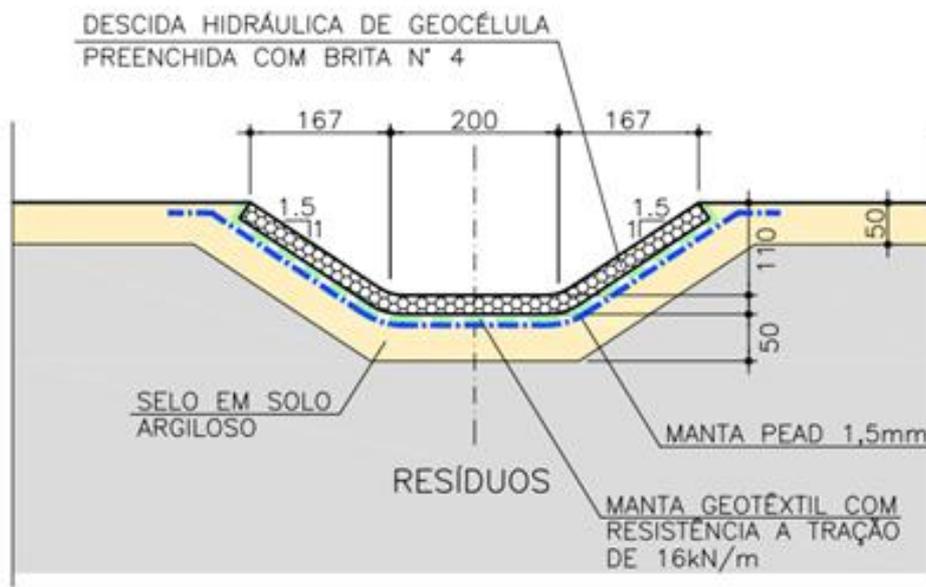
Apresenta-se a seguir (Figura 8.10) uma vista típica, em planta, da descida de água pluvial com geocélulas que se recomenda instalar.



**Figura 8.10. -Canaleta com geocélula - planta**

PLANTA TÍPICA – DESCIDA HIDRÁULICA DE GEOCÉLULA  
ESC.: 1:100



**Figura 8.10. –Canaleta com geocélula- seção transversal**

#### 8.4. PROBLEMA 4: Existência de superfícies preferenciais de escorregamento

Existem duas superfícies que, atualmente, favorecem o escorregamento:

- **A primeira superfície** é justamente aquela delimitada pelas trincas no platô superior, pois conforme relatos do pessoal do DEMSUR foi justamente nesse local que foram aterrados todos os resíduos provenientes das casas inundadas e limpeza das ruas de Muriaé após as chuvas de dezembro de 2019 até os dias de hoje. Foram depositados 150 caminhões de moveis estragados, colchões, eletrodomésticos, e lama proveniente das limpezas das casas e ruas.
- **A segunda superfície** é a geomembrana instalada nos taludes, sem qualquer tipo de proteção sobre ela e que oferece (mesmo sendo texturizada) uma superfície de mais fácil deslizamento dos resíduos sobre ela.

Quanto à primeira superfície, não há nada o que fazer pois não faz sentido retirar o material aterrado. Recomenda-se que, se tal disposição for novamente necessária, que ela se realize o mais longe possível da fachada do aterro e dos drenos verticais e horizontais.

Quanto à 2ª superfície, existe uma obra a médio prazo que pode ser feita - não sendo emergencial - e que, por tal motivo, está aqui detalhada.

Em inspeção na geomembrana instalada nos taludes do aterro foram notados vários problemas, a saber:

- **Falta da adequada proteção da geomembrana.** Como ela se encontra instalada, além de criar uma superfície preferencial de escorregamento, a geomembrana está completamente exposta a perfurações pois o lixo está sendo depositado diretamente sobre ela, o que NUNCA deve acontecer! Madeiras,



blocos de concreto, a própria lamina da escavadeira podem perfurar a geomembrana, como já está acontecendo. (Fotos 8.8 e 8.9)



- **Altura excessiva do talude de geomembrana.** Notou-se também que o corte em solo natural, revestido com geomembrana tem 15m de altura! Trata-se altura excessiva e que pode transmitir tensão de tração para a geomembrana, esticando-a e podendo rompe-la! Uma geomembrana de impermeabilização de aterro deve, ao máximo, não ser submetida a nenhum esforço.

#### 8.4.1. Proposição de ações de médio prazo

Uma vez feito o diagnóstico dos dois problemas relatados no capítulo 8.4. impõe-se, a meu ver, a curto e médio prazo, uma série de ações, a saber:

##### *8.3.1.1 Colocação de proteção mecânica sobre a geomembrana*

Não se pode permitir que, quando da retomada de operação do aterro, a disposição de resíduos continue sendo feita da forma atual, com lixo em contato direto com a geomembrana. Sugere-se a colocação, sobre a geomembrana de um geotêxtil não tecido de elevada gramatura (600 g/m<sup>2</sup>) ancorado junto com a geomembrana.

##### *8.3.1.2 Diminuição da tensão de tração na geomembrana*

A solução mais adequada para a diminuição da tensão de tração na geomembrana seria a diminuição do talude de corte de 15m para 10 m, mas isso traria inúmeros inconvenientes para a DEMSUR pois



- Tal diminuição de corte exigiria maior número de bermas e a extensão, em planta, dos cortes, seria maior do que a aprovada no PCA, exigindo negociações com o órgão ambiental.
- Além desse fato, a extensão, em planta, dos cortes, poderia ser que ultrapassasse o limite do terreno de propriedade do DEMSUR

Assim, uma vez que não é possível diminuir a altura do corte, a única solução viável é colocar um outro material junto com a geomembrana para ajudá-la a suportar a tensão de tração. Esse material pode ser o geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup> já citado.

Assim recomenda-se que os taludes atuais de corte (e os futuros) sejam cobertos com geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>, ancorados juntamente com a geomembrana.

## 8.5. PROBLEMA 5: Inexistência de sistema de monitoramento geotécnico

Ao se inspecionar o aterro, notou-se que ele não possui nenhum tipo de monitoramento geotécnico. Apesar de não se tratar de exigência do órgão ambiental, é de fundamental importância que o aterro disponha de um sistema de permita monitorar seus movimentos e o nível de pressão interna do percolado.

### 8.5.1. Proposição de ações de médio prazo

Uma vez tendo sido diagnosticado a inexistência de um sistema de monitoramento geotécnico, impõe-se, a meu ver, a curto e médio prazo, uma série de ações, a saber:

#### 8.5.1.1. Implantação de marcos superficiais e monitoramento dos deslocamentos

São instrumentos incorporados ao aterro de resíduos, superficialmente, que tem como função servir como elementos que indicam os deslocamentos aos quais o aterro está sujeito. São constituídos de uma base de concreto e de um pino de referência para as medições topográficas, além de receberem uma placa de identificação para um melhor acompanhamento e registro da movimentação deste local.

Para efetuar este monitoramento são implantados, fora da área do aterro, marcos fixos, irremovíveis, de referência de nível e de posição relativa. Baseado nestes, serão observados por levantamento topográfico, os deslocamentos verticais e horizontais de marcos superficiais a serem instalados no aterro durante a fase de operação.

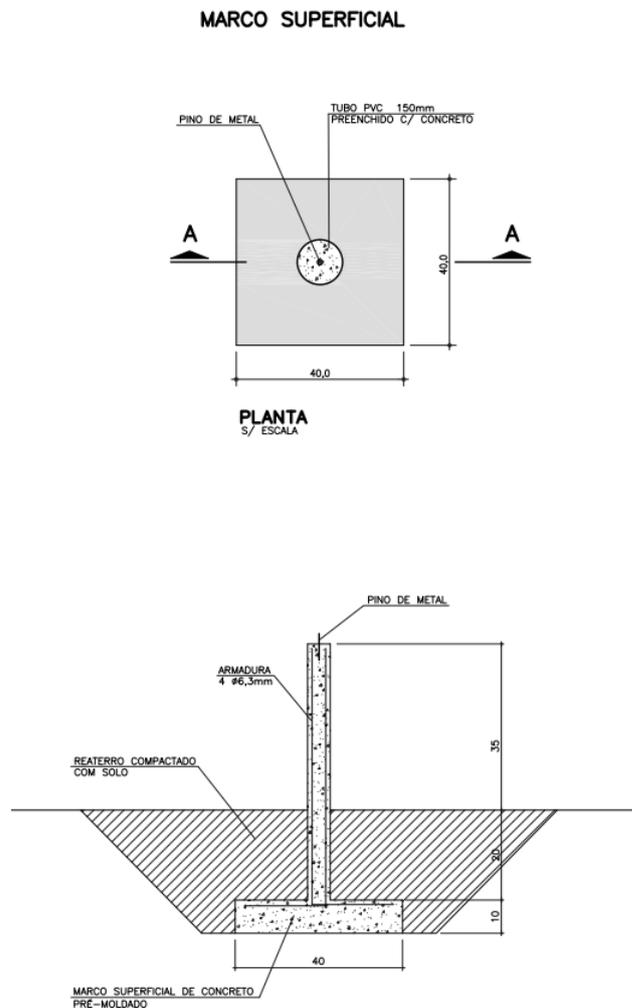
Com base nas leituras fe coordenadas e cotas dos marcos superficiais (sempre em relação aos marcos de referência, localizados fora da área do aterro) poder-se-á calcular os deslocamentos diários de cada marco. Para o cálculo dos deslocamentos horizontais indicados por estes marcos, deve ser feita a decomposição do deslocamento horizontal total em dois eixos preferenciais de deslocamento:

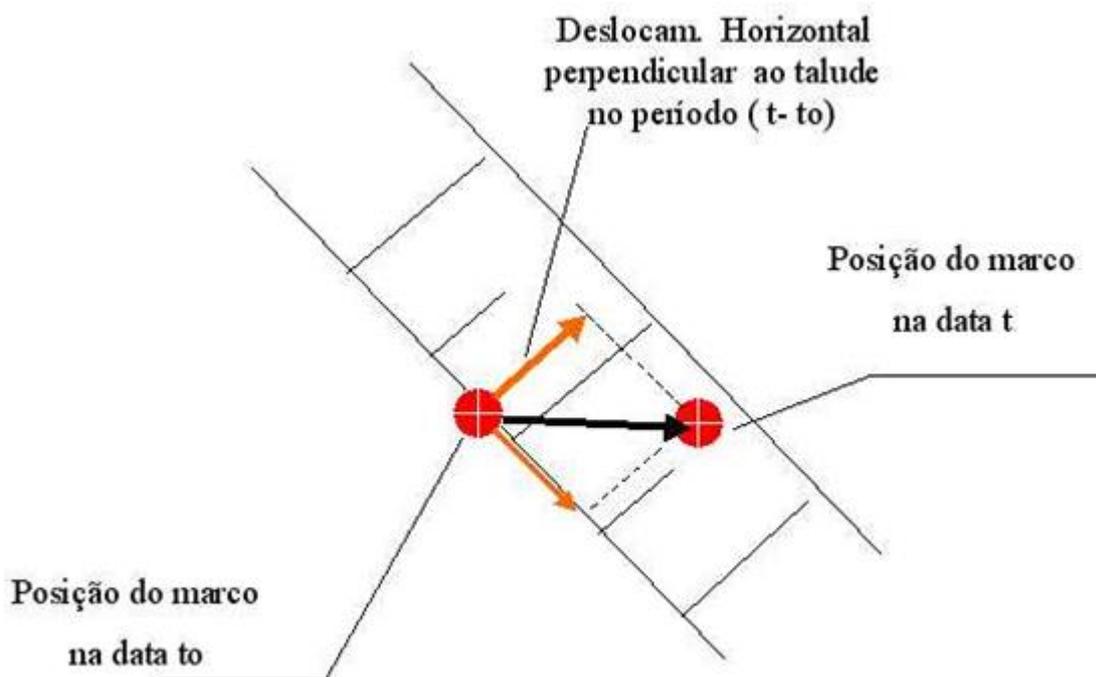


- Um dos eixos é o formado pela perpendicular ao talude onde o marco está instalado, eixo este que se considera ser o que indica a direção de instabilidade do maciço;
- o outro eixo a ser considerado na decomposição é o eixo paralelo ao talude (perpendicular ao eixo que indica a direção de instabilidade).

Caso este deslocamento horizontal perpendicular ao talude seja positivo, isto significa que o maciço está se movimentando, superficialmente, num sentido contrário à estabilidade; sendo este valor negativo, o sentido de movimentação do aterro tende a uma situação de estabilização do maciço. Portanto da análise deste parâmetro pode-se avaliar a necessidade de uma intervenção nas obras de operação do aterro para que se garanta a estabilidade do mesmo. (Figura 8.12.)

**Figura 8.11. – Marco superficial típico**



**Figura 8.12. – movimentações do marco superficial**

#### 8.5.1.2. Implantação de piezômetros e monitoramento das pressões internas de percolado

Para a garantia de estabilidade de um aterro é de fundamental importância que não existam pressões neutras de grande magnitude no interior da massa de resíduos, pois elas diminuem as tensões efetivas e favorecem os mecanismos de escorregamento. Portanto é vital que as condições de pressão interna sejam monitoradas no interior da massa dos resíduos depositados. Com um monitoramento constante pode-se perceber com razoável antecedência qualquer acréscimo de pressão neutra e agir, preventivamente, no sentido de diminuir tal pressão. Portanto para que se possa obter uma análise mais detalhada e real possível, estes piezômetros devem instalados de forma a caracterizar linhas de estudo, associando-se estas linhas às linhas formadas pelos marcos superficiais, fazendo com que, em conjunto, estas linhas possibilitem uma visão global sobre a movimentação do maciço e suas possíveis causas.

A instalação do piezômetro (Figura 8.13) deve ser feita perfurando-se o solo até a cota estabelecida e instalando-se um tubo de PVC ranhurado de diâmetro de 1" no interior de um tubo galvanizado com diâmetro de 2". Ao redor do tubo galvanizado deve ser colocada lama bentonítica, para servir como um "selo", tendo apenas, um pouco acima da cota de instalação, um filtro formado por brita e areia, por onde deve ser captado o líquido que indicará o nível piezométrico. Para a sua proteção deve ser executada uma caixa de concreto ao redor deste instrumento.



Existem empresas especializadas na execução desses aparelhos e a pedido do DEMSUR, relaciono (Figura 8.13) abaixo algumas delas que tem experiência no assunto.

**Figura 8.13. – Empresas especializadas em execução de piezômetros**

EMPRESA	CONTATO	TELEFONE	LOCALIZAÇÃO	E MAIL
ENGESOLOS	Milton Miyashiro / Fernando	(11) 3048-2166 / 2165	São Paulo/SP	<a href="mailto:engesolos@engesolos.com.br">Email: engesolos@engesolos.com.br</a>
GEONORDESTE	Ricardo Couri	(71) 3561-3141 / (71) 9 9261-9094	Salvador/BA	<a href="mailto:ricardo@geonordeste.com.br">ricardo@geonordeste.com.br</a>
HELICIBRÁS FUNDAÇÕES & ENGENHARIA	Paulo Roberto (Diretor Comercial)	(11) 4991-2011 / (11) 99840-1405	Santo André/SP	<a href="mailto:comercial@helicebras.com.br">Email: comercial@helicebras.com.br</a>
TRUSTY GROUP	Gustavo Sturion Codo (Diretor)	(11) 5084-1677 / (11) 97265-8782	Cotia/SP	<a href="mailto:gustavo.codo@trustygroup.com.br">gustavo.codo@trustygroup.com.br</a>

#### 8.5.1.3. Implantação de sistemática rotineira de estudos de estabilidade

O monitoramento da estabilidade do aterro sanitário deve ser feito através dos métodos clássicos de análise de estabilidade de taludes por condições de equilíbrio limite.

Para a execução dessa análise deverão ser efetuadas as seguintes ações preliminares:

- Definição da seção de estudo a ser analisada
- Parametrização da seção de estudo e definição das características geotécnicas de todos os materiais
- Definição da posição de linha piezométrica interna do maciço
- Execução do estudo computacional

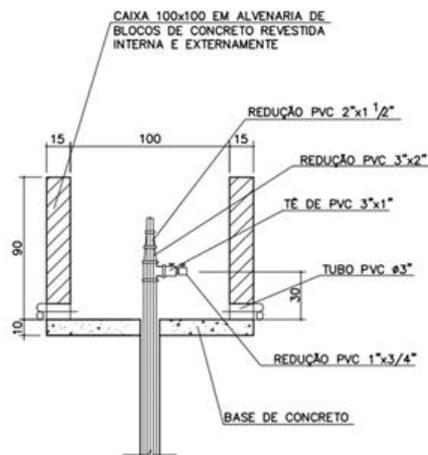
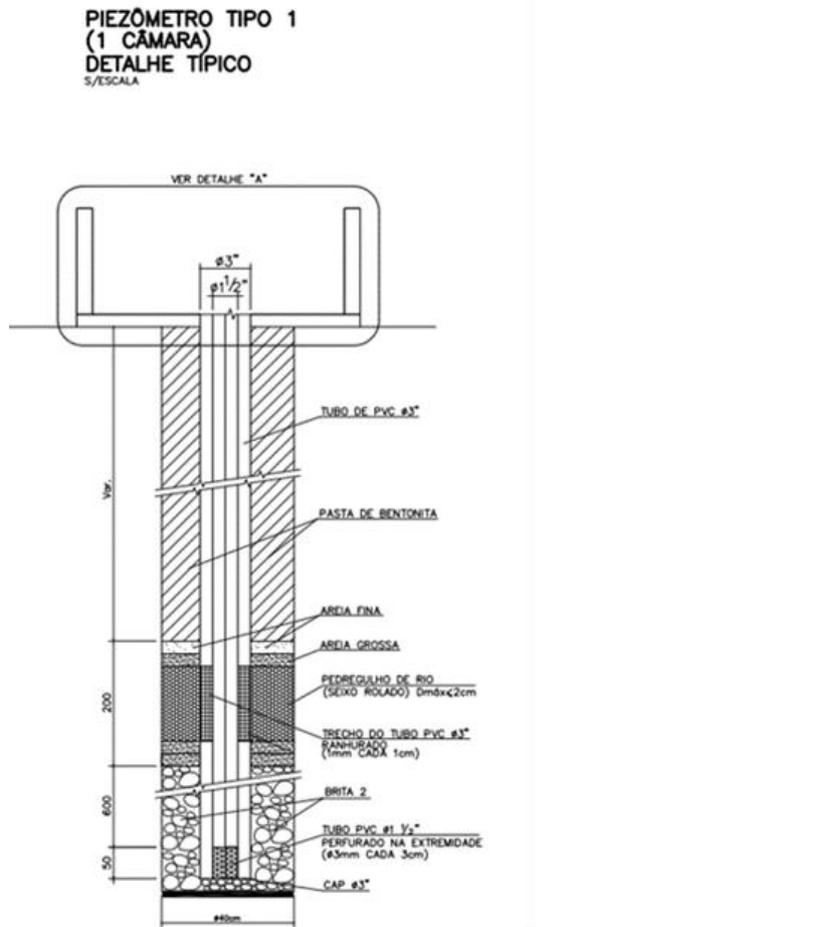
Passa-se a seguir a uma descrição mais detalhada de cada uma dessas fases:

##### 8.5.1.3.1. Definição da seção de estudo a ser analisada

Devem ser analisadas as seções transversais do aterro, escolhendo-se, para estudo, aquela que apresenta as condições mais desfavoráveis à estabilidade, ou seja, maior espessura de lixo depositada, inclinação da base do aterro mais acentuada, etc.



**Figura 8.13. -Piezômetro típico**





#### 8.5.1.3.2. Parametrização da seção de estudo e definição das características geotécnicas de todos os materiais

Uma vez definida a seção de estudo, tal seção deve ser parametrizada, através de linhas definidas por pontos (definidos por coordenadas). Portanto, nessa etapa, devem haver linhas definindo todas as principais camadas de materiais existentes na seção de estudo, ou seja:

- Perfil superior dos resíduos depositados,
- Perfil do aterro de base, e
- Perfil das diversas camadas de solo e de geosintéticos existentes na fundação do aterro.

À cada uma dessas camadas devem ser, então, atribuídos parâmetros de resistência (coesão, ângulo de atrito e peso específico)

NOTA: Os estudos realizados no PCA (Figuras 5.1. e 5.2) não consideraram os parâmetros de resistência dos geosintéticos usados no aterro e nem as suas características de interface.

#### 8.5.1.3.3. Definição da posição de linha piezométrica interna do maciço

Uma vez definida a seção de estudo, as diversas camadas e os parâmetros geotécnicos de cada uma delas, deve se proceder, nessa etapa, à adoção de outra linha que definirá, na seção parametrizada, onde se situa a linha piezométrica do percolado acumulado no interior da massa de resíduos. Tal linha deve ser entendida como sendo uma linha de saturação, ou seja, o programa assumirá que, abaixo dessa linha, todos os vazios do lixo estarão preenchidos com líquido (chorume). Na adoção dessa linha, deverão ser usados os dados coletados nos piezômetros instalados no aterro.

#### 8.5.1.3.4. Execução do estudo computacional

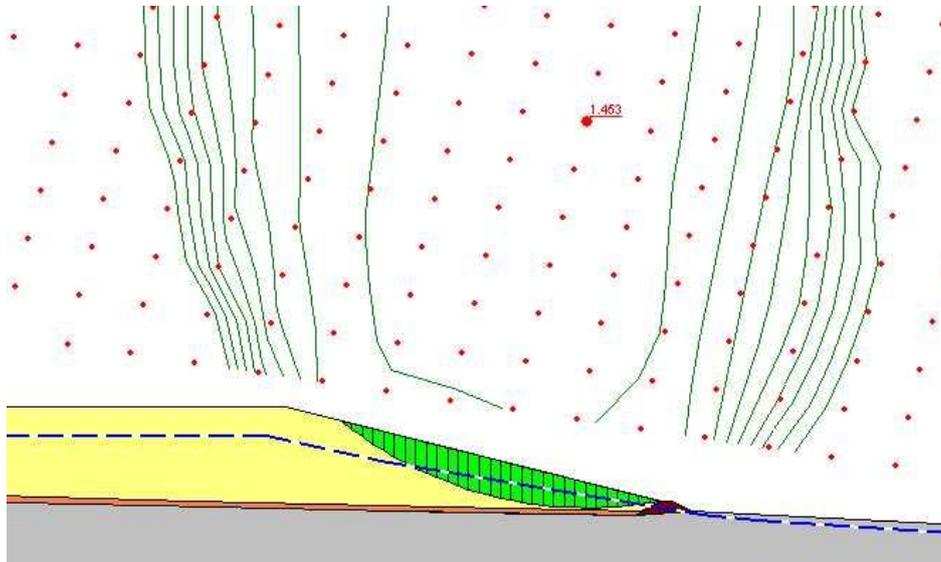
Uma vez executadas todas as etapas anteriores, pode-se executar a análise de estabilidade do aterro, através de comando computacional. O programa automaticamente, fornecerá, após pesquisa de inúmeras seções de estudo, qual aquela que é mais crítica, fornecendo a sua posição e qual o coeficiente de segurança dessa seção crítica ao deslizamento (FS = fator de segurança). Considera-se que uma seção crítica terá adequada segurança quando seu FS for superior a 1,3.

A seguir, na Figura 8.14. é apresentado um exemplo de estudo de estabilidade. Nesta figura são considerados os taludes verificados no aterro (conforme plantas



apresentadas) e os níveis piezométricos obtidos a partir de leituras de piezômetros. Com estes dados pode-se avaliar a estabilidade do aterro através da determinação de um fator de segurança para a situação observada no campo.

**Figura 8.14. –Estudo de estabilidade típico**



Os estudos de estabilidade (e o programa citado) permitem a execução de dois tipos de estudos de estabilidade, no que tange ao monitoramento geotécnico do aterro, a saber:

- Execução de estudo de estabilidade para determinada seção do aterro, a partir da adoção de linha piezométrica pré-definida e
- Execução de estudo de estabilidade para determinada seção do aterro, adotando-se várias posições da linha freática e definindo-se níveis de alerta nos piezômetros, para os quais o FS é muito baixo. Se o nível do chorume chegar a esse nível de alarme, medidas serão tomadas a fim de corrigir a situação.

Essas medidas podem ser:

- Bombeamento no poço a fim abaixar o nível do chorume;
- Parada temporária da operação das células incriminadas a fim de não aumentar a sollicitação mecânica do talude;
- Identificação e eliminação da causa da subida do chorume (melhoria da cobertura das células, desentupimento da rede de drenagem)

#### *8.5.1.4. Sugestão de monitoramento geotécnico*

Apenas à título de colaboração com o DEMSUR, apresenta-se na Figura 8.15. uma primeira tentativa de estabelecimento de um monitoramento geotécnico para o aterro de Muriaé.



**NOTA IMPORTANTE:** A profundidade dos piezômetros deve ser a maior possível, mas eles, não podem, em hipótese, alguma, perfurar a geomembrana da base. Desta forma a perfuração deve parar 5m antes da cota da geomembrana.

**Figura 8.15. -Locação de instrumentação geotécnica - preliminar**





## 8.6. PROBLEMA 6: Inexistência de sistema de tratamento de percolato para períodos chuvosos

Em inspeção no aterro detectou-se também um problema em potencial que necessita de solução a médio prazo.

Todo o percolato coletado no aterro é direcionado para a lagoa de acumulação existente no pé do aterro. Em meses de intenso calor e balanço hídrico favorável, esse percolato é recirculado no aterro, mantendo assim a lagoa em níveis de acumulação bem baixos (Figura 8.10).

**Foto 8.10- Lagoas de acumulação de percolato**



Contudo em épocas de maior pluviosidade, nas quais é impraticável a recirculação, o percolato permanece estocado nas lagoas, e esse acúmulo crescente de percolato pode elevar cada vez mais o nível de percolato dentro da lagoa, **havendo risco de extravasamento.**

No caso de extravasamento, o líquido extravasado, seguramente, não terá sido tratado adequadamente na lagoa (que é incapaz de performar um tratamento de modo a atender os parâmetros de descarte da CONAMA 430) e, portanto, poderá haver um impacto ambiental significativo no corpo hídrico receptor.

### 8.6.1. Proposição de ações de médio prazo

Tendo em vista o risco retro mencionado recomenda-se que o DEMSUR viabilize uma solução alternativa para tratamento do percolato gerado no aterro durante os meses de maior intensidade pluviométrica.



## 8.7. PROBLEMA 7: Inexistência de controle operacional

Notou-se que o aterro carece de controles operacionais básicos que permitam geri-lo de modo mais racional e lógico.

### 8.7.1. Proposição de ações de médio prazo

Entre os controles operacionais que se sugere estabelecer se destacam:

#### *8.7.1.1 Levantamento planialtimétrico mensal do aterro*

É de suma importância que se disponha de levantamento planialtimétrico da situação real do aterro (as built) a cada mês, para que se possa avaliar avanços, medir densidades, avaliar a compactação, recalques, etc.

#### *8.7.1.2 Controle de material pétreo entregue no aterro*

Outro controle de suma importância é a quantidade volumétrica de material pétreo empregado no aterro num determinado período. Esse valor, dividido pela quantidade de resíduos recebida no mesmo período permite estimar qual está sendo o gasto de pedra por tonelada de resíduos depositado. Com tal indicador pode-se avaliar se o consumo de pedra está adequado ou aquém do necessário.

#### *8.7.1.3 Controle da chuva incidente via instalação de pluviômetro*

Recomenda-se a instalação de um pluviômetro no aterro de modo a permitir a medição da chuva incidente na área geográfica do aterro.

#### *8.7.1.4 Controle da vazão coletada de percolado*

O aterro dispunha de medidor de vazão de percolado – calha parshall – mas ela se encontra danificada (Foto 8.11) . Recomenda-se a instalação de medição do percolado gerado no aterro, lembrando que existem três caixas de coleta de percolado que recebem o percolado de três drenos principais.



**Foto 8.11 \_ medidor de vazão de percolado danificado**

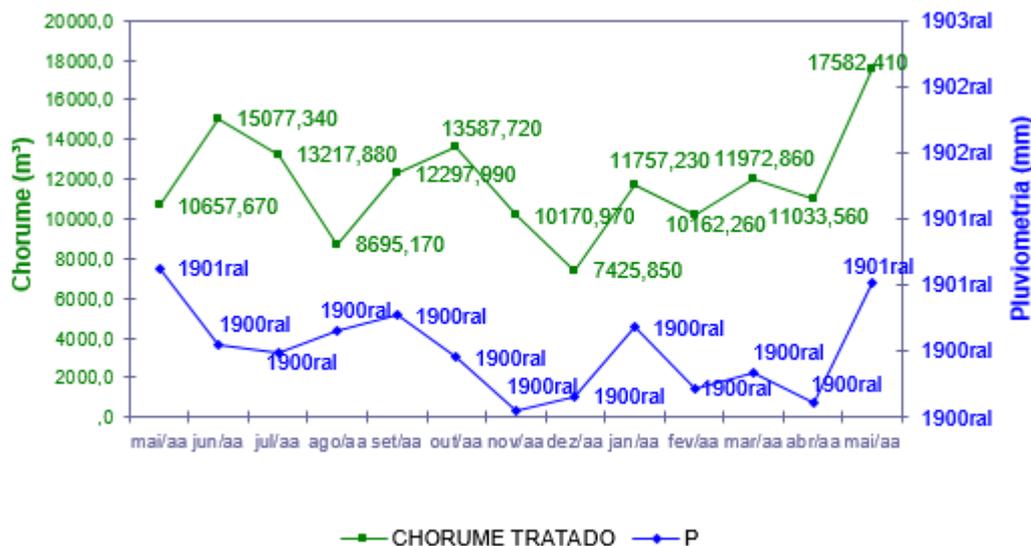


#### *8.7.1.5 Busca da correlação chuva x chorume coletado*

Com os dados de pluviometria mensal obtidos com o pluviômetro a ser instalado e sabendo-se a área de resíduos (via levantamento planialtimétrico) em determinado mês, poder-se-á calcular o volume de água incidente sobre o maciço (chamado de “volume de contribuição”)

Sabendo-se a vazão coletada de percolado nesse mesmo mês, pode-se estabelecer uma correlação entre esse volume e o volume de contribuição, descobrindo-se assim, qual porcentagem das chuvas incidentes no aterro se transforma em percolado. Tal porcentagem deve ser a menor possível e é um ótimo indicador se o aterro está adequadamente coberto ou não.

A Figura 8.16, apresenta, apenas à título de ilustração, correlação chuva x chorume de um aterro sanitário.

**Figura 8.16. –Correlação chuva x chorume**

Outra análise que se pode ter diz respeito à verificação **se todo pico de precipitação pluviométrica promove pico de geração de percolado**, mostrando que o sistema de drenagem de percolado do aterro está funcionando adequadamente. Caso se verifique que picos pluviométricos não gerem picos de vazão pode-se deduzir que está havendo acúmulo de percolado na massa de lixo depositada, o que pode provocar mecanismos de instabilidade geotécnica por aumento de pressão neutra.

## 7. Conclusões

Tendo em vista todo o exposto, pode-se concluir que:

- O aterro deve imediatamente ser paralisado para que novas cargas de resíduos não o desestabilizem ainda mais e para que possam ser feitas as obras emergenciais destinadas a garantir sua segurança. A esse respeito, a DEMSUR já foi proativa e já tinha paralisada a operação, mesmo antes da minha visita em 4 e 5 de março do corrente mês;
- As obras emergenciais aqui citadas devem ser feitas de imediato. Em campo, nos dias 3 e 4 de março, essas obras – constantes desse relatório - já foram passadas verbalmente para a equipe do DEMSUR e elas já estavam em execução no dia 5/3;



- Existem outras obras de médio a longo prazo que são fundamentais para correção dos problemas de projeto verificados. Exige-se uma revisão geral do projeto de modo a fazer com que problemas como esse acontecido e relatado n nesse relatório não voltem a acontecer.

São Paulo, 12 de março de 2020

---

DRS CONSULTORIA E PLANEJAMENTO EIRELLI

Eleusis Bruder Di Creddo

CREA 260519747-6



# **Anexo 1**



## **Anexo 2**