

PLANO DE ENCERRAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO EM VALAS DE VARGEM, SP

Vargem, SP

Relatório 02 – Relatório final

**AGOSTO DE 2018
PRF-VGM-PEN-M-F**

São Paulo, 07 de agosto de 2018.

À

Prefeitura Municipal de Vargem

Rua Geraldino de Oliveira, 236, Centro - Vargem - SP

CEP: 12935-000

A/C Prefeito Silas Marques da Rosa.

Ref.: Plano de Encerramento do Aterro Sanitário em valas de Vargem, SP.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS.....	6
PLANO DE ENCERRAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO EM VALAS DE VARGEM, SP.....	8
1 LOCALIZAÇÃO	8
2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA.....	10
2.1 Sondagens de simples reconhecimento com SPT nos solos naturais (NBR 6484/2001)	12
2.2 Sondagens de simples reconhecimento com SPT no maciço de resíduos (NBR 6484/2001) e instalação de Piezômetros tipo “Stand Pipe” ou Geotech ...	14
3 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS	17
4 HISTÓRICO E ANÁLISE TEMPORAL	19
5 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	29
6 PLANO DE ENCERRAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO EM VALAS DE VARGEM, SP.....	29
6.1 Representação em planta planialtimétrica, em escala não inferior a 1:2.000, do uso do solo, das águas subterrâneas e das águas superficiais num raio mínimo de 200 m.	30
6.2 Retirada dos resíduos dispostos fora das valas, bem como, os sobrepostos em áreas já encerradas.....	31
6.3 Ensaaios e relatórios sobre estabilização geotécnica do maciço.....	33
6.3.1 Geometria de Análise.....	33
6.3.2 Método de Análise.....	33
6.3.3 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais	34

6.3.4	Peso específico dos resíduos.....	35
6.3.5	Pressões de líquidos e gases - Poropressões	35
6.3.6	Resultados Obtidos	36
6.3.7	Considerações finais	44
6.4	Proposta de conformação geométrica do maciço e proposição de cobertura final	45
6.4.1	Sistema de drenagem de biogás.....	45
6.4.2	Sistema de cobertura final.....	46
6.4.3	Sistema de drenagem de águas pluviais.....	47
6.4.3.1	<i>Canaletas de concreto tipo meia-cana</i>	<i>52</i>
6.4.3.2	<i>Descidas hidráulicas por canal trapezoidal em colchão Reno.....</i>	<i>54</i>
6.4.3.3	<i>Caixas de passagem</i>	<i>55</i>
6.4.3.4	<i>Tubos de concreto (travessias subterrâneas)</i>	<i>56</i>
6.4.3.5	<i>Sistema de Dissipação de Energia e Retenção de Sedimentos nas Saídas D'água</i>	<i>57</i>
6.5	Sistema de cobertura vegetal	60
6.6	Sistema de isolamento físico e visual da área do aterro	60
6.7	Uso futuro da área incluindo, preferencialmente, proposta de legislação que imponha restrições ao uso do solo nas áreas diretamente afetadas	61
6.8	Controle tecnológico	62
6.8.1	Monitoramento geotécnico	62
6.8.2	Monitoramento de águas subterrâneas.....	65
6.9	Cronograma de execução	69
BIBLIOGRAFIA.....		71
ANEXOS.....		73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Localização do Aterro sanitário em valas de Vargem, SP.	8
Figura 1-2. Localização do Aterro sanitário em valas de Vargem, SP (Fonte: Adaptado de IGC 1:10.000).	9
Figura 2-1. Mapa geológico regional da área do Aterro sanitário de Vargem, SP (Adaptado de IPT, 19981 – sem escala).....	11
Figura 2-2. Perfil esquemático de Piezômetro tipo “ <i>stand pipe</i> ” ou <i>Geotech</i>	16
Figura 3-1. Levantamento das drenagens em cartografia oficial (Fonte: Adaptado de IGC– 1:10.000).	17
Figura 4-1. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 11/04/2003 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	19
Figura 4-2. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 16/05/2007 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	20
Figura 4-3. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 04/09/2010 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	21
Figura 4-4. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 05/03/2012 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	22
Figura 4-5. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 05/07/2012 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	23
Figura 4-6. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 02/05/2013 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	24
Figura 4-7. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 28/04/2014 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	25
Figura 4-8. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 08/02/2017 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	26
Figura 4-9. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 25/04/2017 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	27
Figura 4-10. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 28/11/2017 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	28
Figura 6-1. Uso outorgado mais próximo da área de disposição de resíduos (desassoreamento).30	
Figura 6-2. Resíduos expostos na área do aterro sanitário, em 28/11/2017 (Fonte: Adaptado de Google Earth).....	32

Figura 6-3. Seção de análise de estabilidade B-B' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$).	39
Figura 6-4. Seção de análise de estabilidade C-C' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$).	40
Figura 6-5. Seção de análise de estabilidade C-C' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$) considerando a reconformação geométrica da cota 883,00 a 886,00 metros.	41
Figura 6-6. Seção de análise de estabilidade D-D' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$).	42
Figura 6-7. Seção de análise de estabilidade D-D' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$) considerando a reconformação geométrica da cota 883,00 a 886,00 metros.	43
Figura 6-8. Áreas das microbacias de contribuição da drenagem pluvial do Aterro sanitário em valas de Vargem e suas saídas d'água.	49
Figura 6-9: Exemplo de aterro sanitário encerrado.	61
Figura 6-10. Critérios de segurança para os deslocamentos horizontais e verticais.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1. Coordenadas UTM's em metros das sondagens realizadas na Área do Aterro Sanitário em valas.	12
Tabela 2-2. N_{SPT} obtidos nos solos naturais do entorno do Aterro sanitário.	13
Tabela 2-3. Coordenadas UTM's em metros das sondagens realizadas na Área do Aterro Sanitário em valas.	14
Tabela 2-4. N_{SPT} obtidos nos solos naturais do entorno do Aterro sanitário.	15
Tabela 6-1. Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais adotados.	34
Tabela 6-2. Valores de Fator de Segurança em função do r_u da seção analisada.	37
Tabela 6-3. Critérios de ação em função de análise dos valores de Fator de Segurança.	37
Tabela 6-4. Seção de análise de estabilidade A-A' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$).	38
Tabela 6-5. Microbacias da drenagem pluvial permanente do empreendimento proposto.	48
Tabela 6-6. Tempo de concentração para dimensionamento do sistema de drenagem pluvial.	50
Tabela 6-7. Intensidade de chuva para dimensionamento do sistema de drenagem pluvial.	51
Tabela 6-8. Contribuições de cada microbacia para dimensionamento do sistema de drenagem pluvial do empreendimento proposto.	52

Tabela 9. Dimensionamento das canaletas de concreto tipo meia-cana.	53
Tabela 10. Resumo do dimensionamento das descida d'água em geocélula.	55
Tabela 11. Dimensões mínimas das descida d'água em geocélula	55
Tabela 12. Dimensões das caixas de passagem entre descidas d'água de geocélula.	56
Tabela 13: Dimensões das caixas de passagem de mudança de direção e diminuição de energia nas canaletas.	56
Tabela 14. Dimensionamento dos tubos de concreto.	57
Tabela 15. Dimensionamento das caixas de dissipação de energia e retenção de sedimentos.	58
Tabela 16. Dimensionamento da bacia de enrocamento.	59
Tabela 6-17 - Variações máximas dos parâmetros durante a estabilização.	66

PLANO DE ENCERRAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO EM VALAS DE VARGEM, SP.

A Geotech Geotecnia Ambiental Consultoria e Projetos Ltda. apresenta o Plano de Encerramento do Aterro sanitário em valas de Vargem SP, conforme solicitado pela CETESB.

O presente plano de encerramento é objeto de exigência técnica da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), conforme Auto de Infração AIIPM N° 60001159 (Processo n.º 60 00374-16). O referido Auto se encontra no Anexo II, deste plano.

1 LOCALIZAÇÃO

O Aterro Sanitário, AS, desativado encontra-se localizado na Estrada Municipal do Bairro do Pico, S/N, complemento KM 04, Bairro dos Cardoso, Vargem – SP.



Figura 1-1. Localização do Aterro sanitário em valas de Vargem, SP.

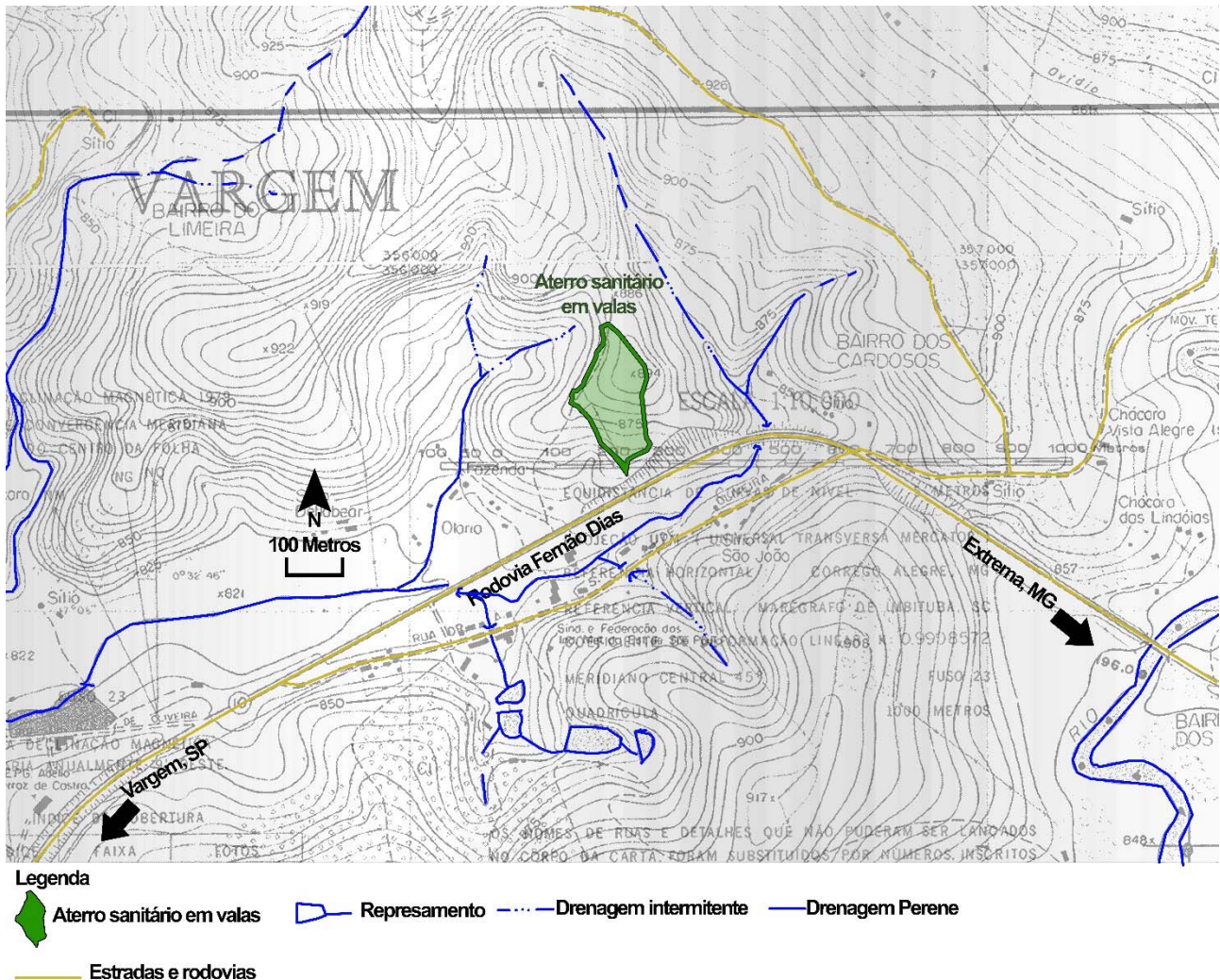


Figura 1-2. Localização do Aterro sanitário em valas de Vargem, SP (Fonte: Adaptado de IGC 1:10.000).

No local, cuja área estimada do perímetro do aterro é de 17.000 m² (LO ° 60001767), foram dispostos resíduos provenientes da coleta domiciliar regular do município, bem como de serviços de limpeza pública (poda de árvores, feiras livres, limpeza de vias e bueiros, entre outros).

Nos itens a seguir são apresentadas as caracterizações geológica-geotécnicas e hidrológicas da área do aterro sanitário de Vargem, SP.

2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA

Segundo o mapeamento geológico (IPT,1981), apresentado na Figura 2-1, no âmbito regional, verifica-se que os seguintes litotipos:

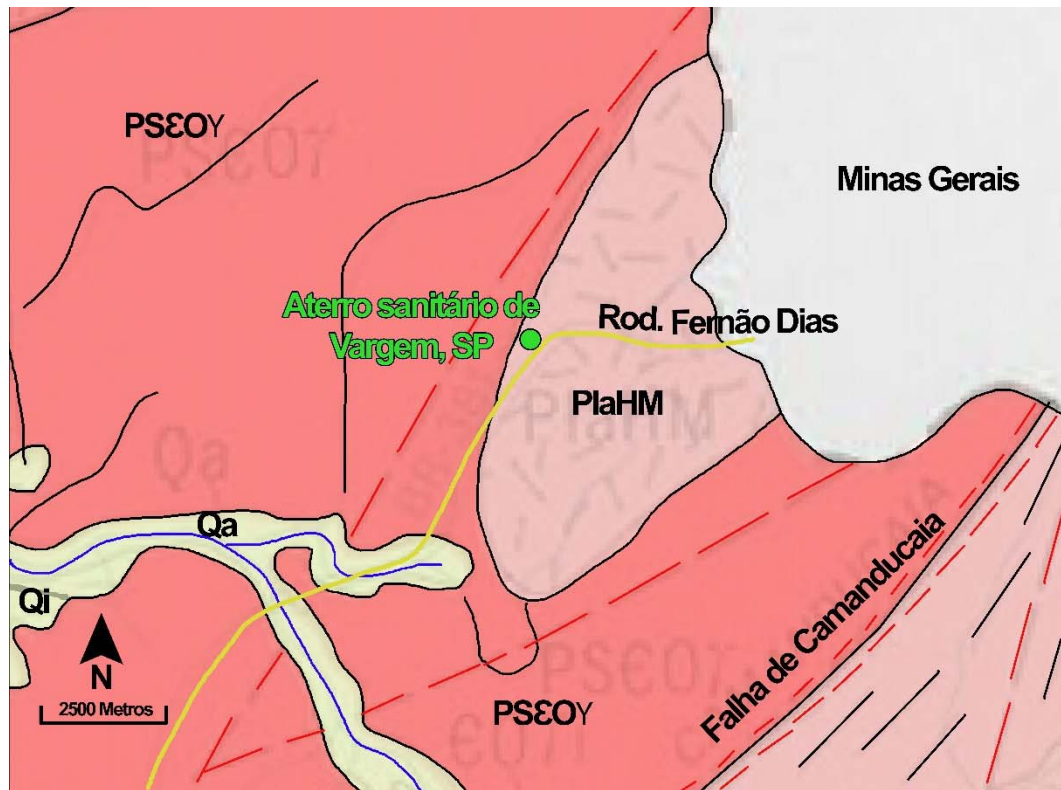
Qa: Nas drenagens ocorrem aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação invariável, argilas e cascalheiras fluviais subordinamente, em depósitos de calha e/ou terraços;

Qi: Sedimentos elúvio-coluvionares de natureza areno-argilosa e depósitos de caráter variado associados a encostas;

PS&Oγ: Granitos e granitóides polidiapíricos com predominância de termos porfíricos com granulações variadas;

PlaHM: migmatitos bandados com paleossoma granulítico e anfibolítico, granulitos diversos migmatizados, migmatitos homogêneos, anatexitos e subordinadamente biotita gnaisses e quartzitos.

O Aterro sanitário encontra-se na faixa de transição entre o predomínio de rochas proterozóicas e fanerozóicas representadas Granitos e granitóides porfíricos e migmatitos.



Legenda

- Qa: Aluviões em geral, areias, argilas e cascalheiras fluviais
- Qi: Eluviões-colvionares areno-argilosos e depósitos associados a encostas
- PSEYO: Granitos e granitóides porfíricos com granulação variada
- PlaHM: Migmatitos subrodinadamente biotita gnaisses e quartzitos
- Estradas e rodovias
- Falhas
- Aterro Sanitário em valas de Vargem, SP

Figura 2-1. Mapa geológico regional da área do Aterro sanitário de Vargem, SP (Adaptado de IPT, 19981 – sem escala).

Com a finalidade de complementar as informações quanto ao subsolo da área do entorno do aterro sanitário do maciço de resíduos foram realizadas sondagens geotécnicas nos solos naturais, sondagens geotécnicas no maciço de resíduos e instalação de piezômetros tipo Geotech, conforme apresentado nos itens 2.1 e 2.2, a seguir.

2.1 Sondagens de simples reconhecimento com SPT nos solos naturais (NBR 6484/2001)

Com a finalidade de melhor caracterizar geotecnicaamente os solos da área do Aterro Sanitário em valas desativado de Vargem foram realizadas 3 perfurações durante os dias 09 e 11 de junho de 2018, totalizando 61,35 metros lineares perfurados.

As sondagens foram realizadas com avanço a seco até a profundidade de 8,45 metros, após isto o avanço se deu por meio de circulação d'água até a profundidade de 20 metros. O ensaio SPT "*Standard Penetration Test*" foi realizado em cada metro de perfuração, com a finalidade de determinar os índices de resistência a penetração, N_{SPT} dos solos naturais.

Na Tabela 2-1 a seguir são apresentadas as coordenadas UTM's, profundidades atingidas, em metros e, data de realização de cada sondagem. Sua locação em planta é apresentada no Anexo I, Folha 02/04, juntamente com o levantamento topográfico da área em questão.

Sondagem	Coordenada UTM E (m)	Coordenada UTM N (m)	Cota (m)	Profundidade (m)	Data (m)
SP-01	356.344	7.469.482	881,50	20,45	09/06/2018
SP-04	356.292	7.469.370	874,50	20,45	11/06/2018
SP-05	356.377	7.469.267	855,82	20,45	11/06/2018

Tabela 2-1. Coordenadas UTM's em metros das sondagens realizadas na Área do Aterro Sanitário em valas.

Os valores de SPT são obtidos pelo número de golpes de um peso padronizado de 65 Kg, com altura de queda de 75 cm necessários para cravação de 30 cm de amostrador (em dois trechos de 15 cm), após uma penetração inicial de 15 cm. Na Tabela 2-2, a seguir, são apresentados os valores de N_{SPT} obtidos nos solos naturais da área do entorno do aterro sanitário em função da profundidade.

Profundidade (m)	SP-01	SP-04	SP-05	Legenda	
1	5	7	5	Média geral do N_{SPT} da camada de solo superficial (golpes)	6
2	12	7	8		
3	9	12	6		
4	10	16	5		
5	16	20	8	Média geral do N_{SPT} do solo residual de rocha -SR (golpes)	18
6	18	13	10		
7	19	10	12		
8	20	19	11		
9	30	25	11	Média geral do N_{SPT} do solo de alteração rocha - SAR (golpes)	32
10	22	30	13		
11	20	24	20		
12	30	40	16		
13	34	40	20		
14	30	20	20		
15	25	30	28		
16	31	28	34		
17	29	32	34		
18	33	34	36		
19	38	40	36		
20	40	38	41		

Tabela 2-2. N_{SPT} obtidos nos solos naturais do entorno do Aterro sanitário.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2-2 pode-se verificar que os índices de resistência a penetração, N_{SPT} , obtidos nos ensaios SPT realizados, aumentam gradativamente em função do aumento da profundidade e que os solos residuais e de alteração de rocha possuem boa capacidade de carga. Através dos resultados obtidos nas sondagens verifica-se que o aterro sanitário está inserido no domínio dos migmatitos (PlaHM).

Os índices de resistência a penetração médios, nos compartimentos denominados de camada de solo superficial, solos residuais de rocha e solo de alteração de rocha, são de 6, 18 e 32 golpes, respectivamente. Ressalta-se ainda que nas sondagens realizadas não foi encontrado níveis d'água.

No Anexo III são apresentados os boletins de sondagens a percussão nos solos naturais.

2.2 Sondagens de simples reconhecimento com SPT no maciço de resíduos (NBR 6484/2001) e instalação de Piezômetros tipo “Stand Pipe” ou Geotech

Com a finalidade de melhor caracterizar geotecnicamente o maciço de resíduos do Aterro Sanitário em valas desativado de Vargem foram realizadas 2 perfurações durante o dia 05/06/2018, totalizando 21,90 metros lineares perfurados.

As sondagens foram realizadas com avanço a seco até a profundidade final de perfuração. O ensaio SPT “*Standard Penetration Test*” foi realizado em cada metro de perfuração, com a finalidade de determinar os índices de resistência a penetração, N_{SPT} dos resíduos dispostos.

Na Tabela 2-1 a seguir são apresentadas as coordenadas UTM's, profundidades de instalação dos piezômetros, em metros. Sua locação em planta é apresentada no Anexo I, Folha 02/04, juntamente com o levantamento topográfico da área em questão.

Piezômetro	Coordenada UTM E (m)	Coordenada UTM N (m)	Cota (m)	Profundidade de instalação (m)	Data (m)
SP-02-PZ	356.352	7.469.376	882,82	11,00	05/06/2018
SP-03-PZ	356.352	7.469.376	869,62	8,60	05/06/2018

Tabela 2-3. Coordenadas UTM's em metros das sondagens realizadas na Área do Aterro Sanitário em valas.

Os valores de SPT são obtidos pelo número de golpes de um peso padronizado de 65 Kg, com altura de queda de 75 cm necessários para cravação de 30 cm de amostrador (em dois trechos de 15 cm), após uma penetração inicial de 15 cm. Na Tabela 2-2, a seguir, são apresentados os valores de N_{SPT} obtidos nos resíduos dispostos no aterro sanitário em função da profundidade.

Profundidade (m)	SP-02-PZ	SP-03-PZ
1	6	4
2	7	7
3	11	5
4	16	6
5	13	8
6	16	7
7	15	7
8	19	8
9	12	15
10	33	
11	30	

Legenda	
Média geral do N_{SPT} dos resíduos dispostos	12

Tabela 2-4. N_{SPT} obtidos nos solos naturais do entorno do Aterro sanitário.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2-2 pode-se verificar que os índices de resistência a penetração, N_{SPT} , obtidos nos ensaios SPT realizados, aumentam gradativamente em função do aumento da profundidade e que o índice de resistência a penetração médio geral nos resíduos de 12 golpes.

Os Piezômetros tipo “*stand pipe*” tem a finalidade de registrar dados de níveis piezométricos (metros de coluna de chorume) e pressões de biogás, utilizados para se obter o fator de pressão neutra r_u no interior da massa de resíduos.

No Anexo I, Folha 02/04 são apresentadas as locações dos piezômetros tipo “*stand pipe*” ou Geotech instalados no maciço de resíduos e no Anexo III, são apresentados seus perfis de instalação.

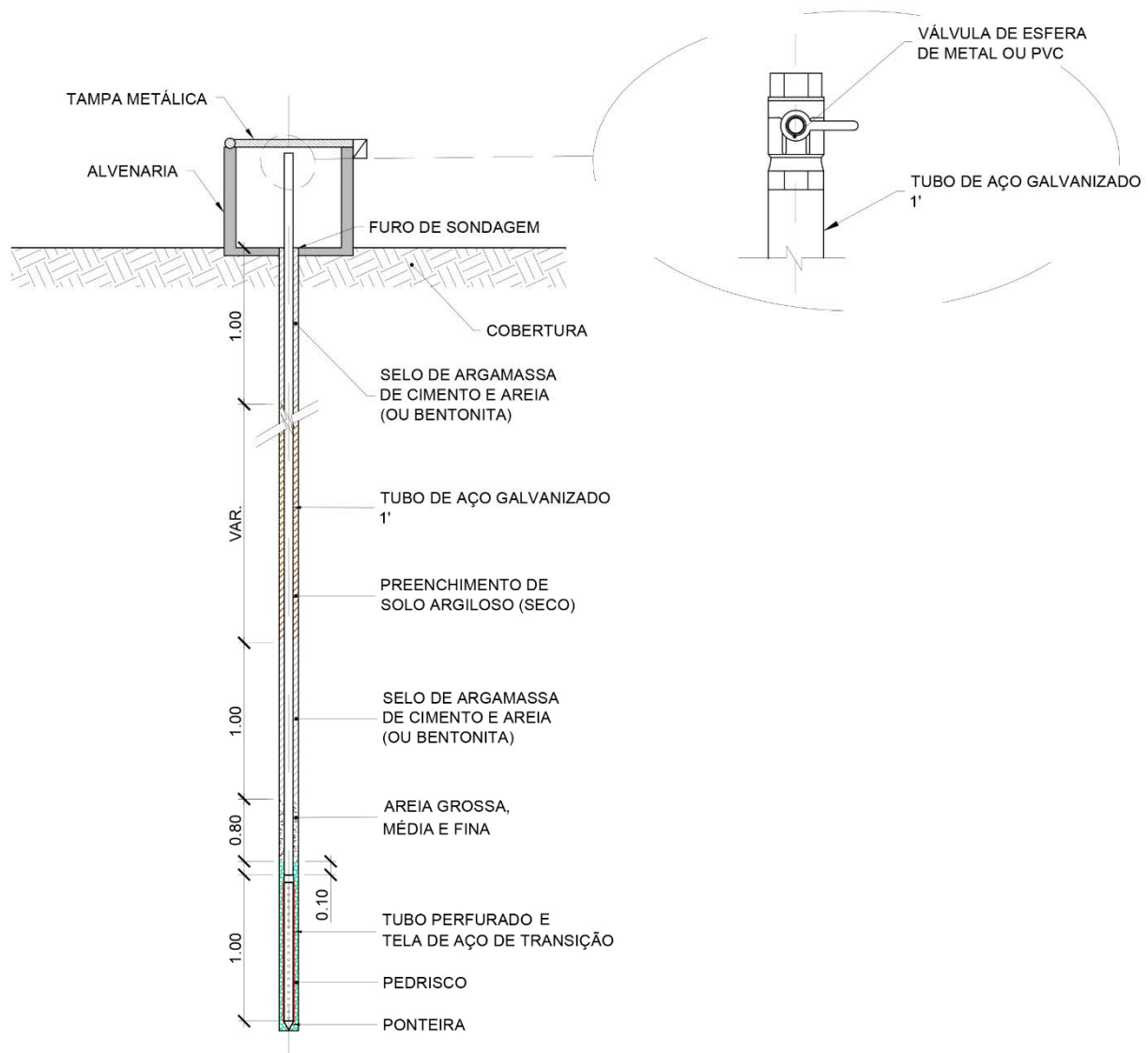


Figura 2-2. Perfil esquemático de Piezômetro tipo “stand pipe” ou Geotech.

No dia 26/07/2018 foram realizadas leituras de pressões de gases e pressões de percolados nos piezômetros SP-02-PZ e SP-03-PZ, conforme descrito a seguir.

- O piezômetro SP-02-PZ se apresentou “seco” durante sua primeira leitura e sem pressão de gás (0,000 bar); e
- O piezômetro SP-03-PZ se apresentou “seco” durante sua primeira leitura e com pressão baixa de gás (0,001 bar).

3 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

Com a finalidade de caracterizar a dinâmica dos recursos hídricos superficiais da área em estudo e de seu entorno, foram traçados os lineamentos dos cursos d'água junto à cartografia do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC), na escala 1:10.000. Ressalta-se que este levantamento prévio de toda a hidrografia do entorno, contribui para o melhor entendimento das condições da hidrografia, pretérita a disposição de resíduos no vazadouro, cuja existência e condições foram averiguadas em campo pela equipe técnica.

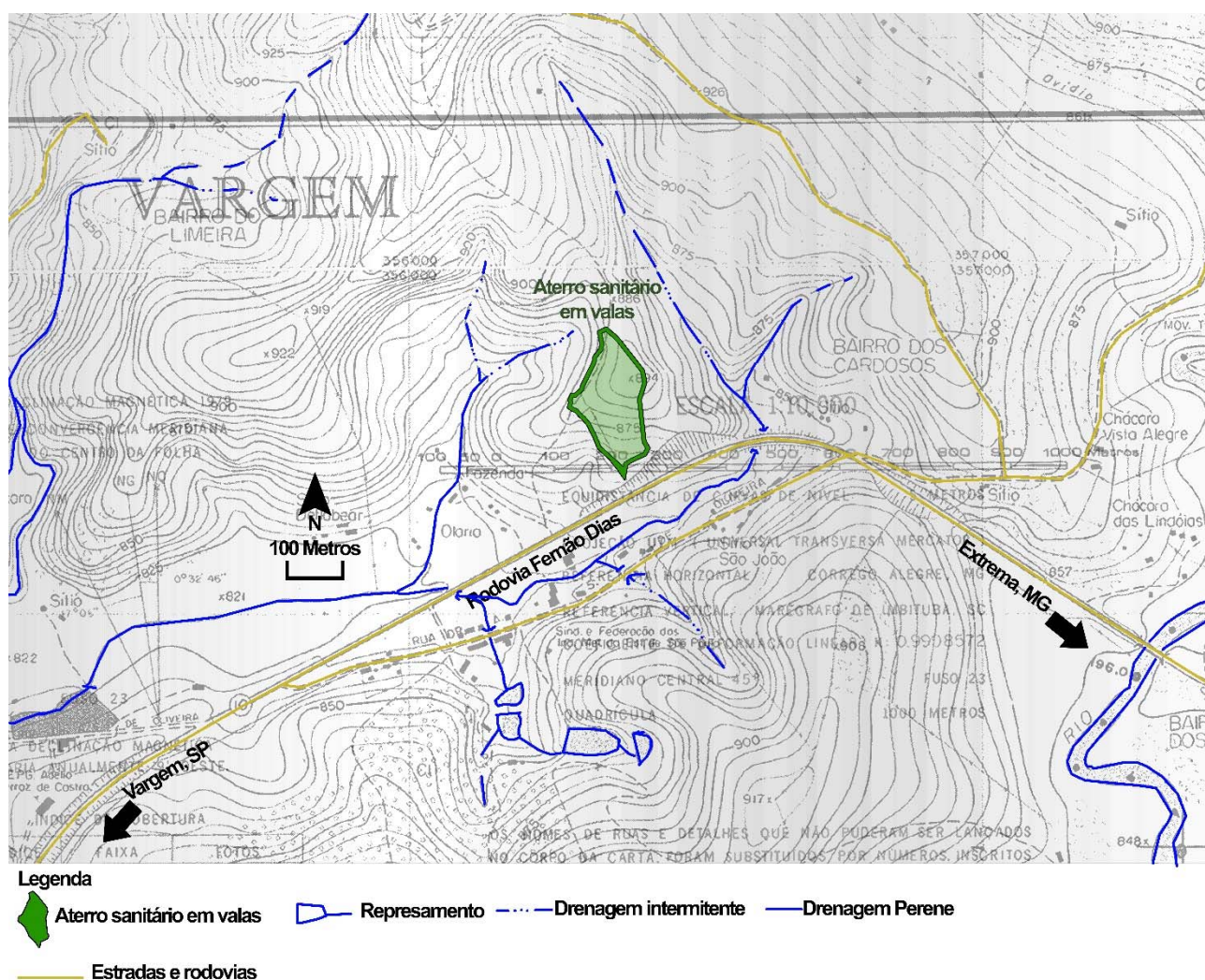


Figura 3-1. Levantamento das drenagens em cartografia oficial (Fonte: Adaptado de IGC– 1:10.000).

Conforme observado na Figura 3-1, de acordo com o levantamento realizado pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, IGC, pode-se notar que existem duas drenagens nas laterais do aterro sanitário, nas cotas mais elevadas as drenagens se apresentam intermitentes, passando a perene, à jusante do aterro. As drenagens e o corpo d'água, sem denominação, são afluentes do Ribeirão Limeira, que por sua vez, é afluente do Rio Jaguari. Cabe ressaltar que dentro do perímetro de resíduos estimado, não há nenhuma ocorrência de nascentes de água subterrâneas.

4 HISTÓRICO E ANÁLISE TEMPORAL

A seguir são apresentadas imagens de satélite datadas de 04/11/2003 até 28/11/2017, com a finalidade de acompanhar a evolução da ocupação do aterro sanitário em valas de Vargem, SP.



Figura 4-1. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 11/04/2003 (Fonte: Adaptado de Google Earth)

Verifica-se que em 11/04/2003, a área de implantação do aterro sanitário se encontrava antropizada, no entanto, sem ocupação do aterro.



Figura 4-2. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 16/05/2007 (Fonte: Adaptado de Google Earth)

Nesta imagem de 16/05/2007, verifica-se o início da ocupação do aterro sanitário. Segundo o inventário publicado pela CETESB, entre 2004 a 2006, o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos – IQR, se apresentava como condição “Inadequada” com valores na ordem de 4,3 e, no ano de 2007, o IQR obtido foi de 9,6, condição “Adequada”. Isso indica que

anteriormente a 2007, os resíduos provenientes de Vargem não eram dispostos no aterro, passando a ser dispostos no aterro a partir de 2007.

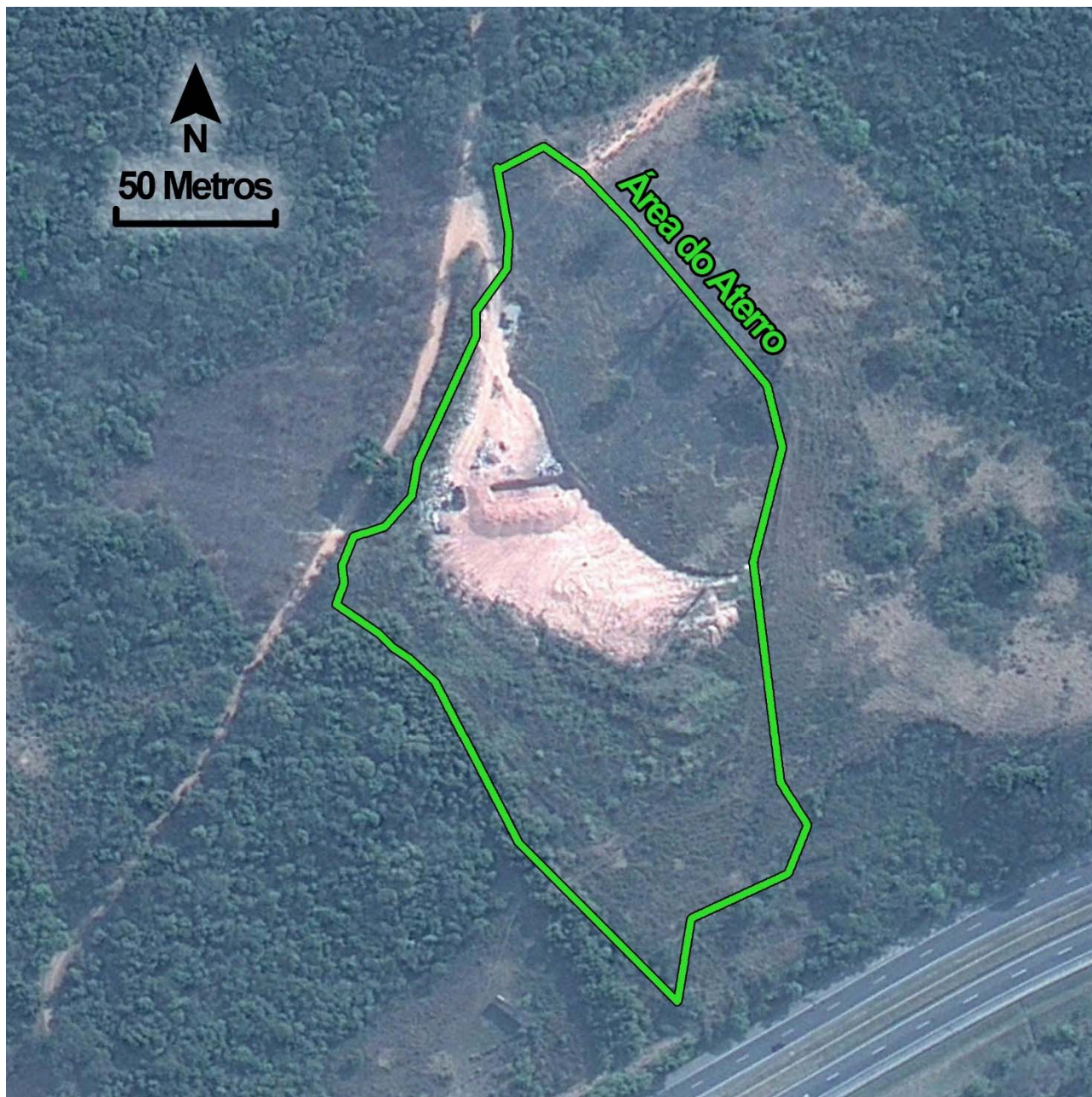


Figura 4-3. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 04/09/2010 (Fonte: Adaptado de Google Earth)

Verifica-se a progressão da ocupação do aterro sanitário em valas (IQR = 8,6 – Condição Adequada, CETESB, 2011).

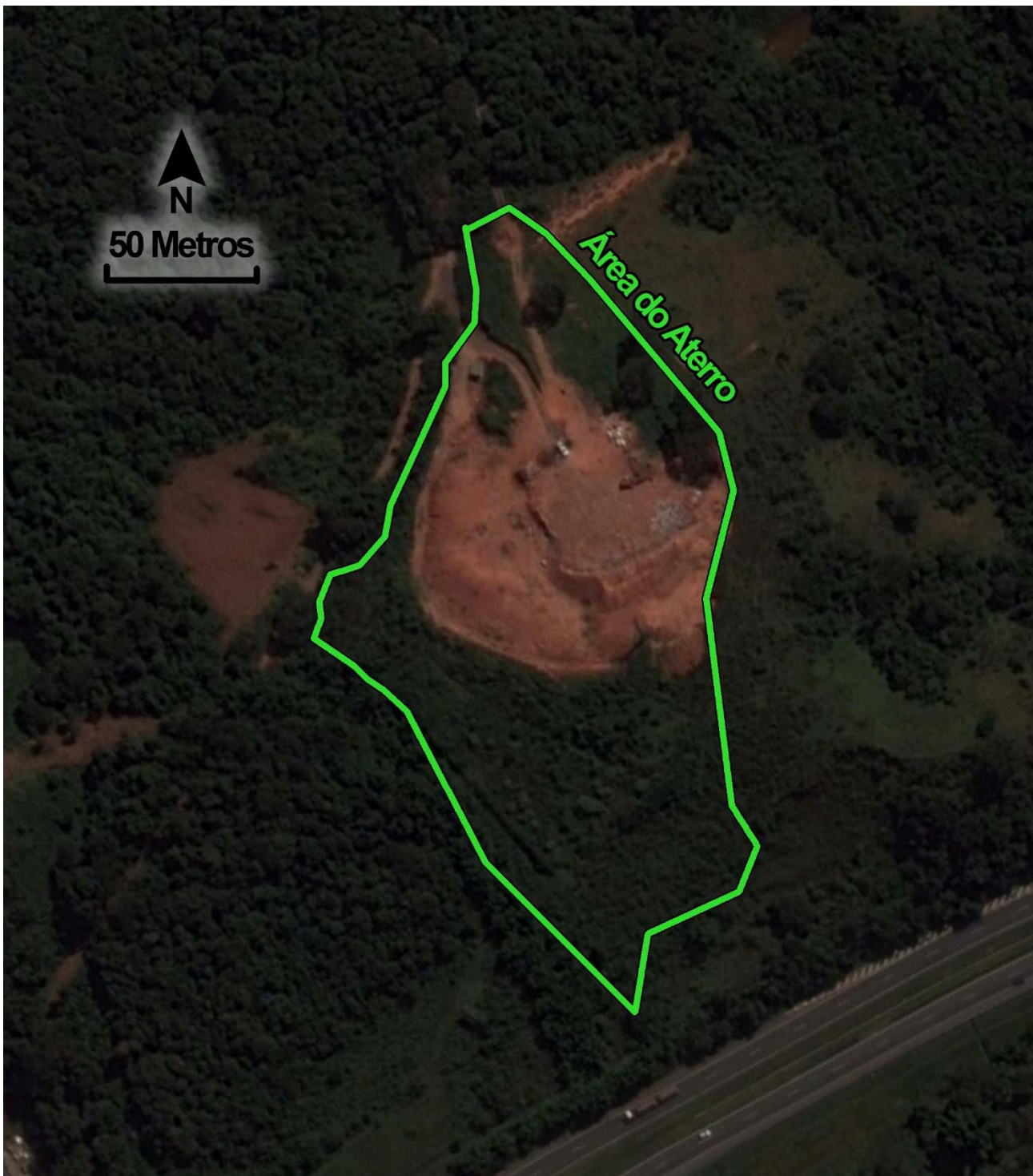


Figura 4-4. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 05/03/2012 (Fonte: Adaptado de Google Earth).

Verifica-se a progressão da ocupação do aterro sanitário em valas (IQR = 9,1 – Condição Adequada, CETESB, 2013).



Figura 4-5. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 05/07/2012 (Fonte: Adaptado de Google Earth).

Verifica-se a progressão da ocupação do aterro sanitário em valas (IQR = 9,1 – Condição Adequada, CETESB, 2013).



Figura 4-6. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 02/05/2013 (Fonte: Adaptado de Google Earth).

Verifica-se a progressão da ocupação do aterro sanitário em valas (IQR = 9,5 – Condição Adequada, CETESB, 2014).



Figura 4-7. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 28/04/2014 (Fonte: Adaptado de Google Earth).

Verifica-se a progressão da ocupação do aterro sanitário em valas (IQR = 8,4 – Condição Adequada, CETESB, 2015).



Figura 4-8. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 08/02/2017 (Fonte: Adaptado de Google Earth).

Verifica-se que a ocupação do aterro sanitário em valas foi paralisada, no entanto, na imagem de satélite é possível verificar a existência de áreas com disposição de resíduos sem cobertura definitiva adequada. Esta disposição de resíduos de forma inadequada, provavelmente, ocorreu durante o ano de 2016 em que o aterro obteve valor de IQR = 3,3 – Condição Inadequada, CETESB, 2017).



Figura 4-9. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 25/04/2017 (Fonte: Adaptado de Google Earth).

Verifica-se o crescimento da vegetação na área com disposição de resíduos sem cobertura definitiva adequada. No entanto, nota-se que a disposição de resíduos na área foi paralisada, sendo que os resíduos provenientes da coleta do município de Vargem, passaram a ser encaminhados para o aterro privado de Bragança Paulista, SP.



Figura 4-10. Imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 28/11/2017 (Fonte: Adaptado de Google Earth).

Nota-se que a disposição de resíduos na área foi paralisada e que não houvera ações para readequação da área.

5 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

No dia 05/04/2018 a equipe de topografia realizou o levantamento topográfico da área, a qual foi mensurada em cerca de 17.000 m², onde foi registrado o perímetro do aterro, cinturão verde, acesso interno, entrada, além dos pontos cotados e curvas de nível. No Anexo I Folha 02/04 é apresentado o levantamento topográfico em questão.

As coordenadas, com projeção em UTM (Universal Transversa de Mercator) cujo referencial planimétrico em vigor no país corresponde ao Sistema Geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de referência geocêntrico para as Américas 2000) e o referencial altimétrico ao zero de marégrafo de Imbituba, coincide com o nível médio dos mares no Porto Henrique Lage, na Baía de Imbituba, em Santa Catarina (Datum Vertical).

6 PLANO DE ENCERRAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO EM VALAS DE VARGEM, SP

Este plano prevê que o encerramento do aterro sanitário em valas se dará através da retirada dos resíduos dispostos fora das valas, bem como, os sobrepostos em áreas já encerradas, tendo-se como referência a NBR 13896/1997 (Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação) e NBR 8419/1992 (Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos).

Complementarmente, neste relatório foram atendidas as exigências técnicas apresentadas no Auto de Infração AIIPM Nº 60001159 (Processo n.º 60 00374-16), conforme transcritas a seguir.

6.1 Representação em planta planialtimétrica, em escala não inferior a 1:2.000, do uso do solo, das águas subterrâneas e das águas superficiais num raio mínimo de 200 m.

De acordo com o banco de dados Departamento de Águas e Energia Elétrica- DAEE, o uso outorgado mais próximo da área do aterro sanitário corresponde ao Desassoreamento do afluente do Rio Jaguari e dista cerca de 266 metros da área de disposição de resíduos (vide Figura 6-1).

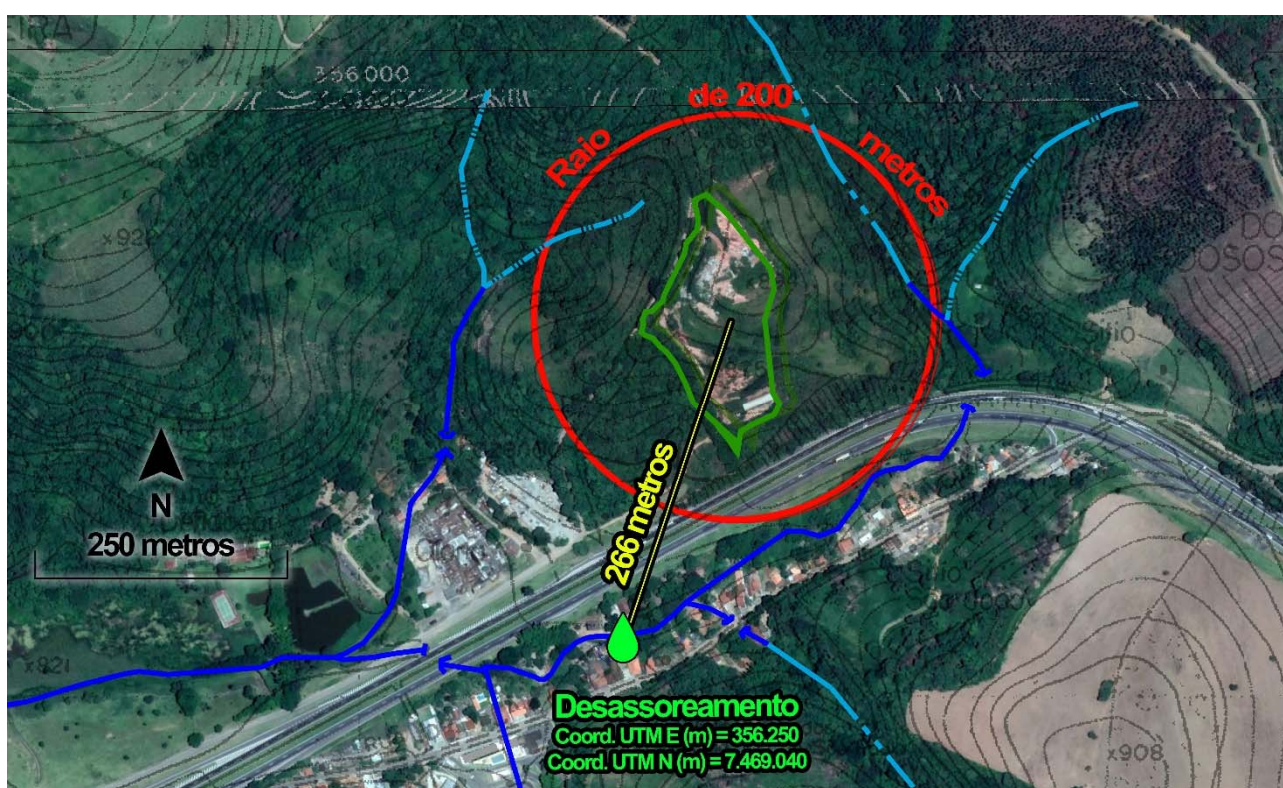


Figura 6-1. Uso outorgado mais próximo da área de disposição de resíduos (desassoreamento).

Do mesmo modo, conforme solicitado, no Anexo I, na Folha 01/04 apresenta-se o mapa de uso e ocupação do solo, das águas superficiais e subterrâneas.

6.2 Retirada dos resíduos dispostos fora das valas, bem como, os sobrepostos em áreas já encerradas

De acordo com a análise da imagem de satélite da área do aterro sanitário, em 28/11/2017 e de inspeções em campo foram delimitadas as principais áreas com resíduos expostos, que totalizam cerca de 1.785 m², conforme apresentado na Figura 6-2, a seguir. De modo conservador, adotando-se que a camada de resíduos possua espessura de 0,80 metro, tem-se que o volume conceitual a ser retirado de 1.428 m³.

Nesse sentido, neste plano de encerramento, contemplou-se a raspagem e/ou retirada dos resíduos fora das valas, sendo redistribuídos no platô superior do aterro sanitário, da cota 883,00 m a 886,00 m, seguindo-se a geometria de disposição com taludes finais com inclinação de 1:2 (V:H), com altura de 3,0 m. Estima-se que na reconformação proposta disponibilize cerca de 1.500 m³ de volume útil para disposição de resíduos, podendo ser ampliado se necessário.

No Anexo I, Folha 03/04 é apresentada a reconformação geométrica proposta.



Figura 6-2. Resíduos expostos na área do aterro sanitário, em 28/11/2017 (Fonte: Adaptado de Google Earth).

6.3 Ensaios e relatórios sobre estabilização geotécnica do maciço

A análise de estabilidade realizada reproduz a condição atual e de reconformação geométrica das seções consideradas mais críticas do aterro, conforme a inclinação, altura do maciço de resíduos existente e conformação do maciço de resíduos.

6.3.1 Geometria de Análise

Com a finalidade de identificar as principais seções críticas de análise de estabilidade foram realizadas diversas verificações quanto aos critérios geotécnicos que condicionam a análise de estabilidade do aterro sanitário em valas de Vargem, sendo: altura e espessura do maciço de resíduos, inclinação dos taludes locais e médios e poropressões internas.

Desse modo, a geometria adotada para a análise de estabilidade do maciço de resíduos proposto foi referente às seções críticas, Seções A-A', B-B', C-C' e D-D'. Sua localização é apresentada no Anexo I, Folha 02/04 e Folha 03/04.

O traçado do perfil geológico-geotécnico na seção levantada a partir do levantamento topográfico realizado e a caracterização dos materiais naturais componentes realizadas a partir dos resultados obtidos resultados obtidos nas sondagens e perfis de instalação dos piezômetros tipo Geotech, auxiliaram na definição das geometrias e considerações geotécnicas relativas aos taludes e ao comportamento esperado dos mesmos.

6.3.2 Método de Análise

Para as análises de estabilidade foi utilizado o método de equilíbrio limite baseado no método das lamelas apresentado por Spencer (1967).

O programa computacional utilizado foi o *Slide*, com consideração de superfícies circulares, possibilidade de representação de vários tipos de materiais, superfícies de rupturas, possibilidades de simulação de poropressões por pontos, excessos de poropressão, linhas

piezométricas e coeficiente r_u de Bishop e Morgenstern (1960), com pesquisa de superfície crítica, de mínimo fator de segurança.

O software utilizado busca, automaticamente, a superfície de menor fator de segurança, de forma que, em todas as análises, são definidas superfícies mais críticas de cada seção.

6.3.3 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais

Apesar da heterogeneidade aparente dos resíduos, os parâmetros de resistência médios, que preponderam na estabilidade de grandes massas, são os representativos dos maiores volumes presentes, tratando-se neste caso dos resíduos de origem domiciliar.

Através dos índices obtidos nos ensaios de prospecção do maciço foram estimados os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos, segundo Benvenuto & Benvenuto (2012), utilizando-se como referência o índice de resistência a penetração dinâmica médio geral obtido, N_{SPT} médio = 10 golpes, resultando em uma coesão efetiva de 12,61 kPa, e ângulo de atrito de $27,2^\circ$, aplicados indistintamente nos resíduos dispostos, na análise de estabilidade, de forma homogênea e isotrópica, a favor da segurança, modelando-se assim as características de resistência do maciço de resíduos.

As rupturas dos taludes foram obtidas ocorrendo preferencialmente dentro dos resíduos, tangentes aos solos de fundação, considerados mais resistentes que os resíduos, conforme constatado nos resultados das sondagens realizadas nos solos.

Sendo assim, através dos resultados obtidos nas sondagens e da consulta à bibliografia correspondente foram definidos os seguintes parâmetros de resistência adotados no aterro sanitário em questão, conforme apresentados na tabela a seguir.

nº	Material	c' (kPa)	ϕ'	γ (kN/m³)	Referência
1	Resíduo disposto	12,61	$27,2^\circ$	10	Benvenuto & Benvenuto (2012)
2	Solos Residuais e de alteração de rocha	20	$30,5^\circ$	22,5	Pinto et Al (1993)

Tabela 6-1. Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais adotados.

Onde:

c' = coesão média efetiva;

ϕ' = ângulo de atrito médio efetivo; e

γ = peso específico médio.

Os valores dos solos compactados foram considerados de acordo com a publicação da ABMS (1993), na ocorrência de solos semelhantes ensaiados no Estado de São Paulo.

6.3.4 Peso específico dos resíduos

Para analisar a estabilidade de uma massa de resíduos, além dos parâmetros de resistência, critérios de poropressões, geometria e método de análise, é fundamental o conhecimento do peso específico médio, γ , característico dos resíduos dispostos, após a compactação, sua variação com o peso das camadas superiores de resíduos e com a digestão anaeróbia, que se dá ao longo do tempo.

A compactação realizada com tratores de esteira tipo D6, em condições normais de operação, resulta em valores iniciais médios de peso específico dos resíduos, devendo-se variar este valor, para considerar outras condições devidas ao peso de camadas superiores, aumento e diminuição de teores de lixiviados na massa de resíduos e pressões de gás.

Assim, pode-se obter $7 \leq \gamma \leq 16 \text{ kN/m}^3$, de acordo com a literatura técnica, ao se considerar a variação de umidade dos resíduos por lixiviados, bolsões de biogás e as pressões devidas às profundidades dos resíduos dispostos. No caso em questão, foi adotado o peso específico médio de $10,0 \text{ kN/m}^3$.

6.3.5 Pressões de líquidos e gases - Poropressões

O comportamento da massa de resíduos doméstico é peculiar, principalmente, em função do fator “geração de gases” e suas pressões, como tem demonstrado os registros das instrumentações, através de piezômetros e medidas de deformações em aterros sanitários em geral.

A introdução de poropressões de líquidos e gases nos modelos de análise, pontualmente, por intermédio de linhas piezométricas “equivalentes”, ou a relação entre as poropressões de lixiviados e/ou gases e as tensões verticais produzidas pelo peso de resíduos sobre o ponto, coeficiente r_u , são as formas adequadas para representar o modelo hidrogeotécnico, em função da geometria da massa de resíduos e seus sistemas de drenagem internos.

No dia 26/07/2018 foram realizadas leituras de pressões de gases e pressões de percolados nos piezômetros SP-02-PZ e SP-03-PZ, conforme descrito a seguir.

- O piezômetro SP-02-PZ se apresentou “seco” durante sua primeira leitura e sem pressão de gás (0,000 bar); e
- O piezômetro SP-03-PZ se apresentou “seco” durante sua primeira leitura e com pressão baixa de gás (0,001 bar).

O fator de pressão neutra constante dentro da massa de resíduos, é denominado de coeficiente $r_u = u/\gamma z$, onde u é a poropressão, γ é o peso específico do material e z é a altura de material sobre o ponto considerado, usado por Bishop e Morgenstern (1960).

Através dos resultados obtidos pode-se verificar que os piezômetros analisados apresentaram coeficientes r_u igual 0,00, sendo este valor considerado nas modelagens matemáticas, tanto para a situação atual, quanto para a situação de projeto.

O modelo hidrogeotécnico adotado foi apresentado no artigo técnico “Modelo Reológico de Comportamento de Resíduos e Aterros Sanitários” por Benvenuto & Cipriano (2012).

6.3.6 Resultados Obtidos

Com base na geometria das seções analisadas foi possível obter os Fatores de Segurança para o aterro sanitário, considerando a situação de conformação atual apresentada no levantamento topográfico e de reconformação geométrica.

Nesse sentido, na tabela a seguir, para cada seção analisada são apresentados os valores de Fatores de Segurança em função das situações adotadas.

Seção	Fator de Segurança, FS	
	Atual	Projeto
Seção A-A'	2,6	-
Seção B-B'	2,3	-
Seção C-C'	2,1	2,1
Seção D-D'	2,6	2,6

Tabela 6-2. Valores de Fator de Segurança em função do r_u da seção analisada

Os resultados apresentados na Tabela 6-2, são representados nos gráficos a seguir.

Com relação às ações a serem tomadas em função do valor do Fator de Segurança, tem sido adotada as seguintes ações definidas na Tabela 6-3, em nível de monitoramento geotécnico dos aterros sanitários.

Condição	Intervenção
$F.S. \geq 1,5$	Inspeção Técnica Mensal com nova leitura de pressão.
$1,3 \geq F.S. \geq 1,5$	Inspeção Técnica Quinzenal/Semanal com nova leitura de pressão e ações de drenagem.
$1,1 \geq F.S. > 1,3$	Inspeção Técnica Semanal/Diária com nova leitura de pressão e ações de drenagem.
$F.S. < 1,1$	Eventual paralisação imediata dos trabalhos com ações de drenagem e demais medidas corretivas adequadas.

Tabela 6-3. Critérios de ação em função de análise dos valores de Fator de Segurança.

Cabe, no entanto, lembrar que a análise de estabilidade e o monitoramento da segurança estrutural não podem ser analisados apenas pela modelagem matemática, mas sim a partir de um conjunto de fatores conforme descrito em Benvenuto (2011).

Nesse sentido, é apresentada na figura a seguir, a seção de análise de estabilidade do maciço de resíduos em função do coeficiente $r_u = 0,00$.

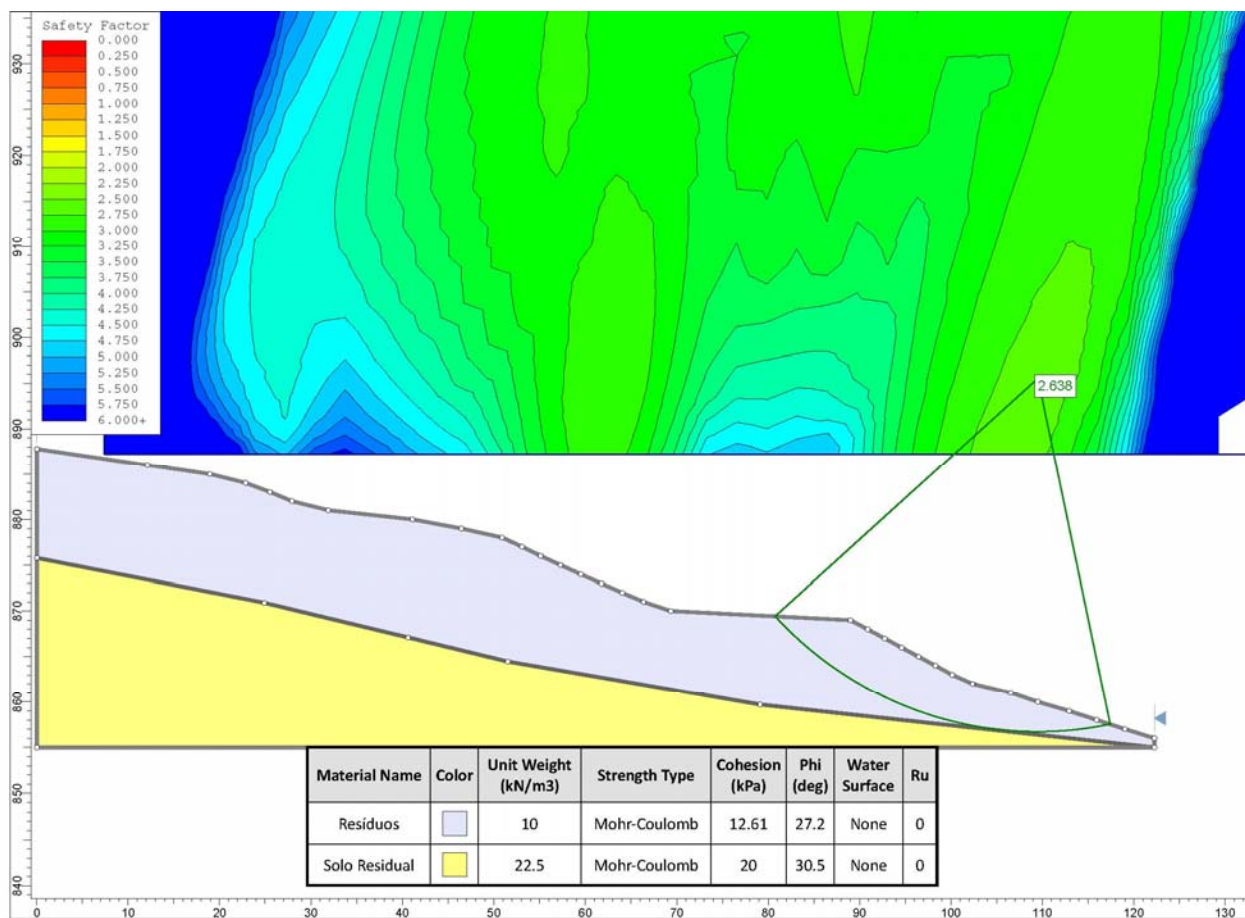


Tabela 6-4. Seção de análise de estabilidade A-A' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$).

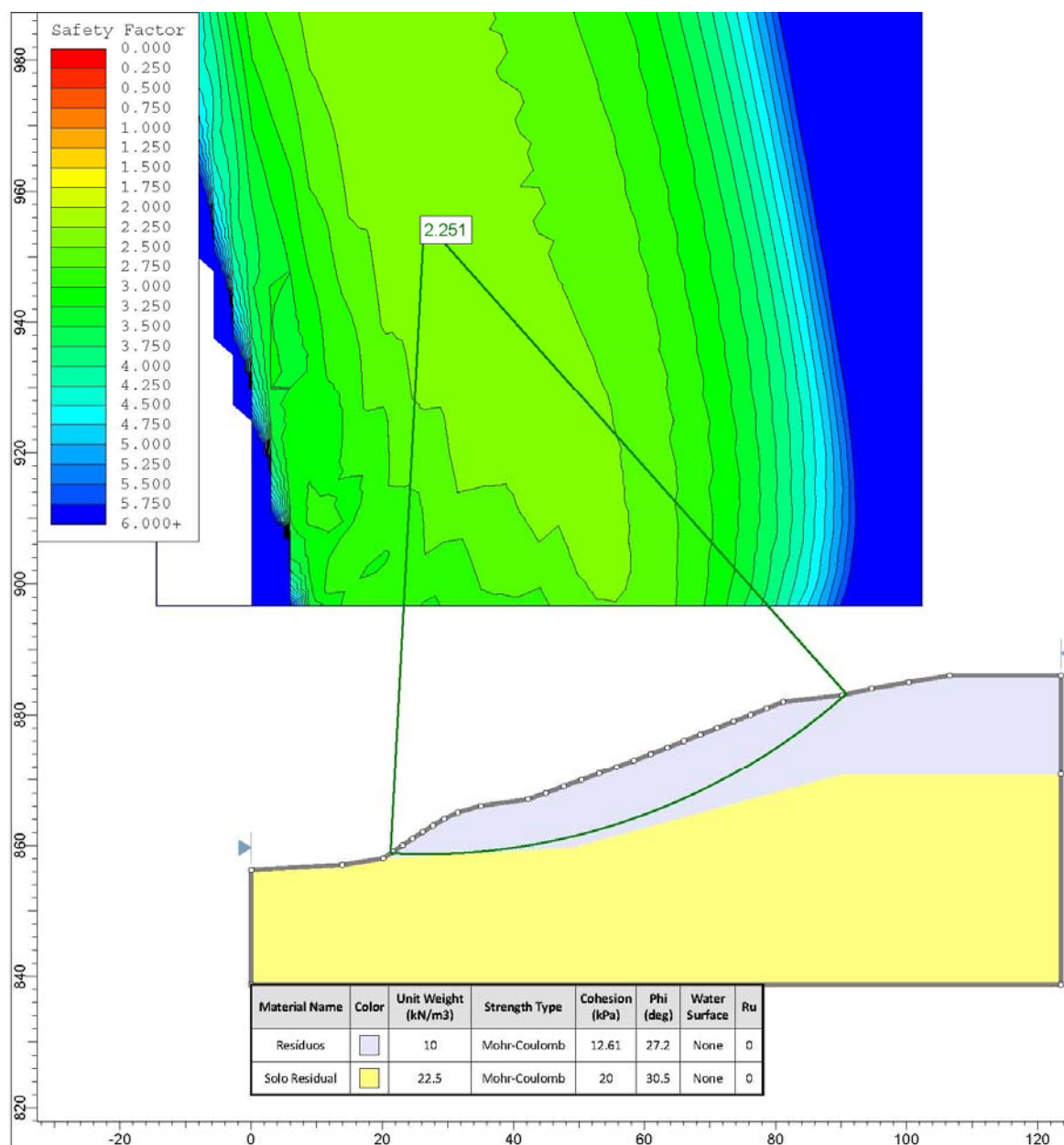


Figura 6-3. Seção de análise de estabilidade B-B' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$).

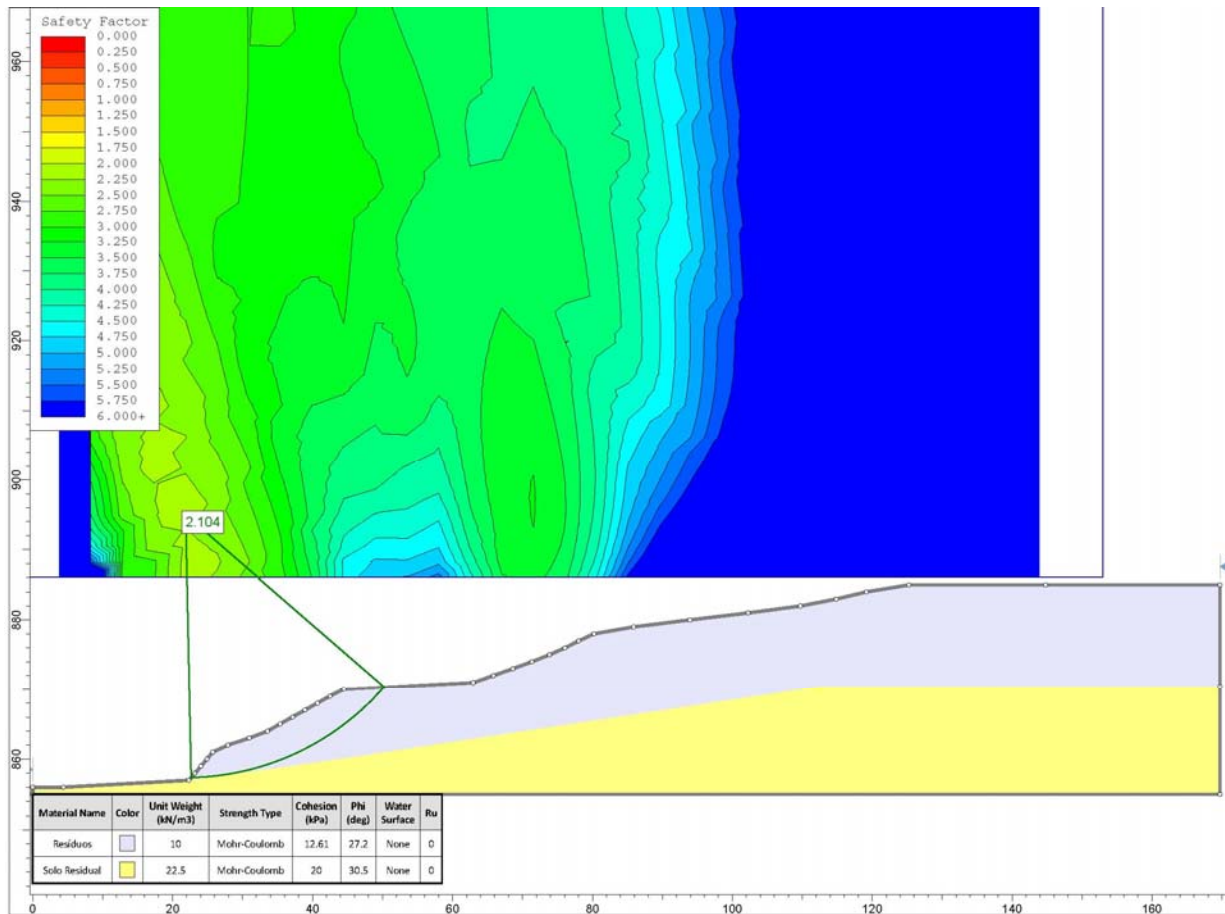


Figura 6-4. Seção de análise de estabilidade C-C' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$).

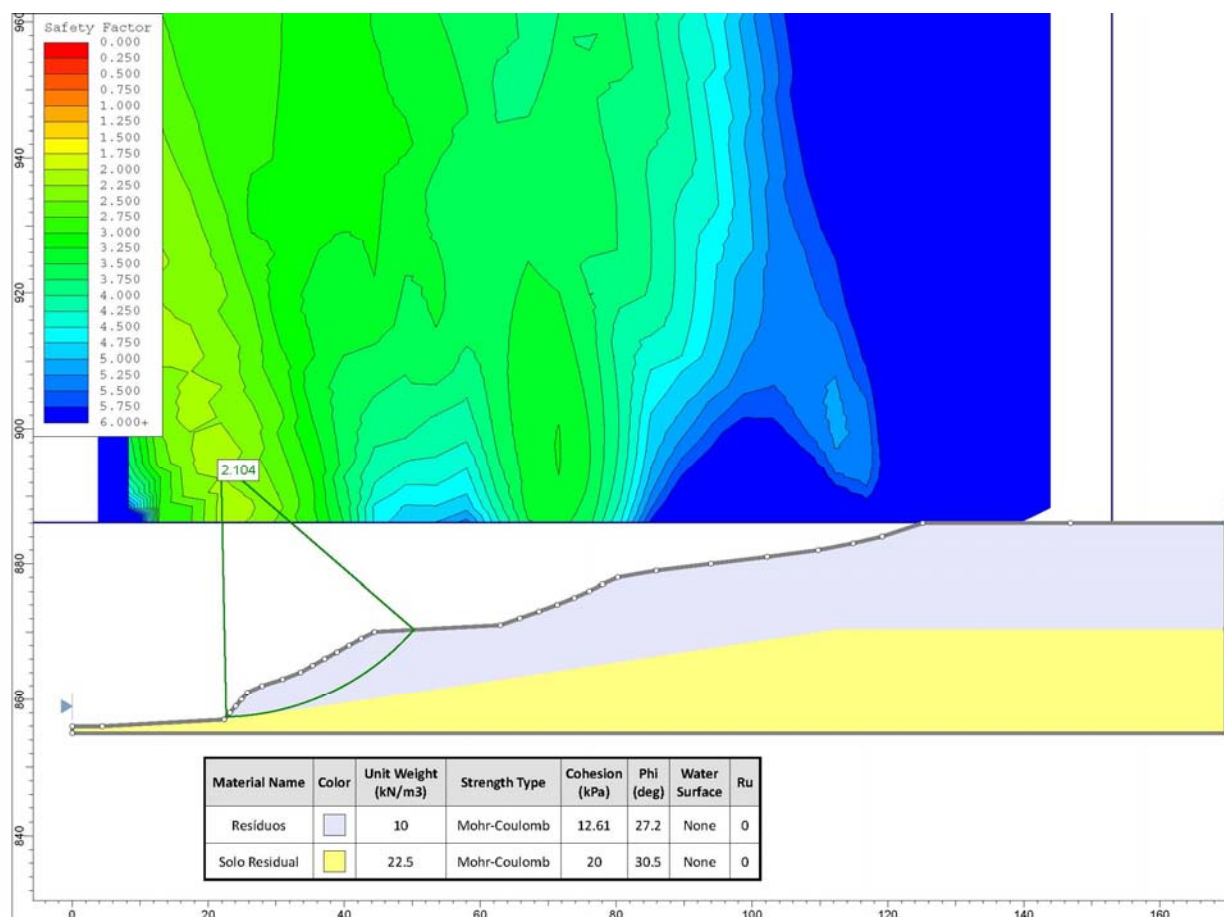


Figura 6-5. Seção de análise de estabilidade C-C' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$) considerando a reconformação geométrica da cota 883,00 a 886,00 metros.

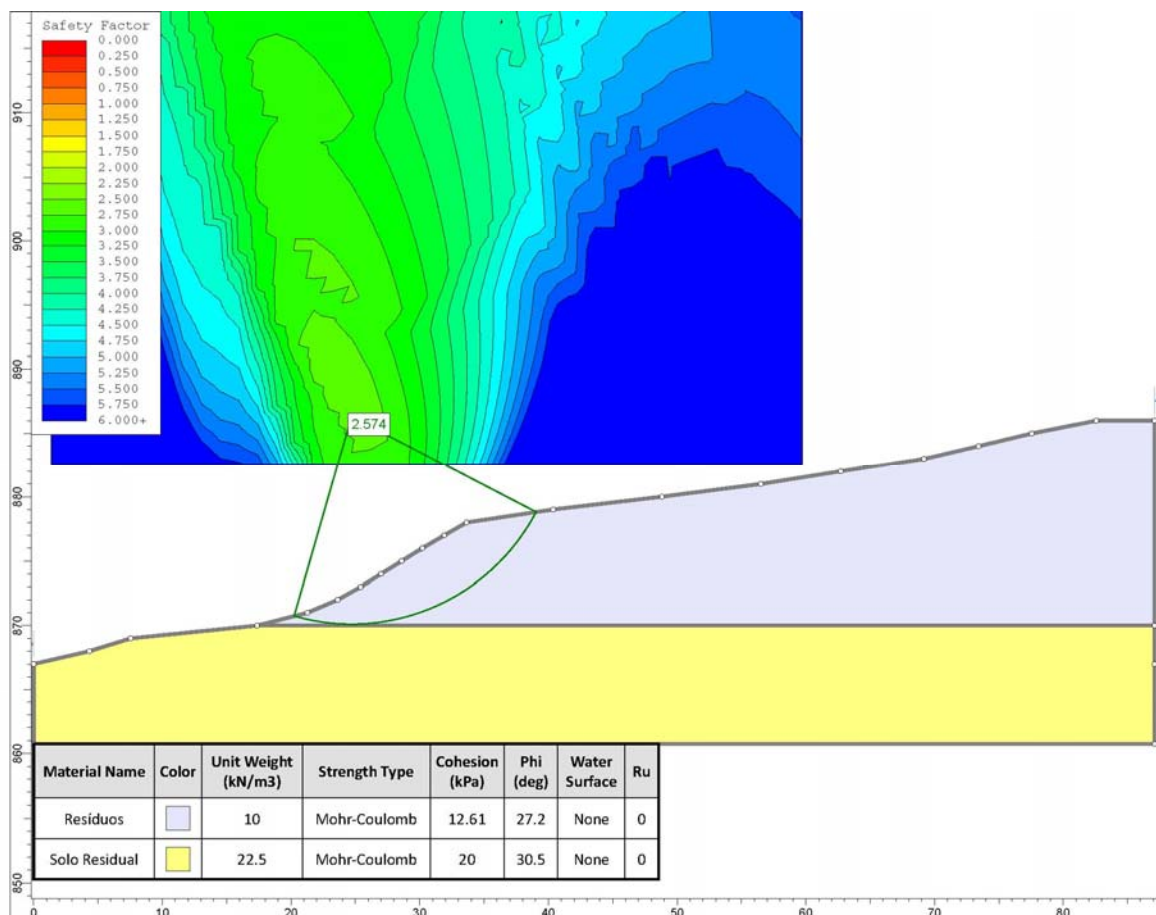


Figura 6-6. Seção de análise de estabilidade D-D' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$).

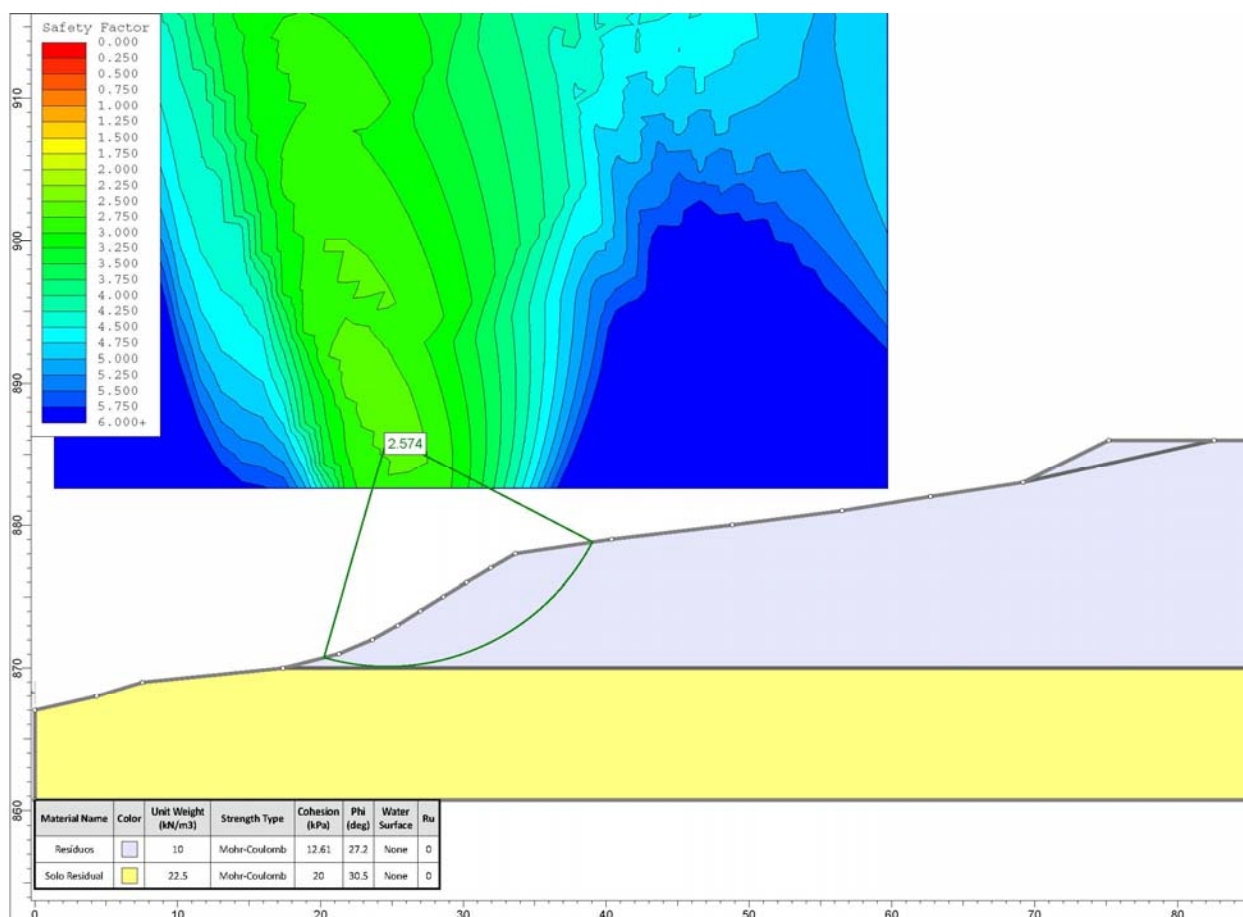


Figura 6-7. Seção de análise de estabilidade D-D' dos taludes do maciço de resíduos ($r_u = 0,00$) considerando a reconformação geométrica da cota 883,00 a 886,00 metros.

6.3.7 Considerações finais

A modelagem apresentada para a estabilidade geotécnica do maciço de resíduos sólidos, nas seções críticas analisadas, demonstra que o aterro denota condições geotécnicas normais de estabilidade e se prosseguidos os critérios de reconformação geométrica descritos neste plano, sua evolução será segura e controlada.

Verifica-se que o Fator de Segurança mínimo obtido foi de 2,1, referente a seção C-C', tanto na consideração de situação atual, quanto na situação de reconformação geométrica, valor este superior ao valor recomendado pela norma da ABNT – NBR 11.682/09 “Estabilidade de encostas”, para estabilidade de longo período que é de $FS = 1,5$.

Esta é uma das indicações de que o maciço se encontra estável e previsível. Para se ter total garantia dos riscos previstos, inclusive no âmbito das deformações e deslocamentos, ou seja, para a demonstração da garantia da estabilidade do maciço como um todo, recomenda-se a implementação das atividades a serem recomendadas no plano de encerramento em elaboração e implementação do monitoramento geotécnico no aterro.

No Anexo IV é apresentado o memorial de cálculo da análise de estabilidade.

6.4 Proposta de conformação geométrica do maciço e proposição de cobertura final

Conforme descrito no item 6.2, a proposta de conformação geométrica do maciço de resíduos contemplada neste plano de encerramento, se iniciará com a raspagem e/ou retirada dos resíduos fora das valas, sendo redistribuídos no platô superior do aterro sanitário, da cota 883,00 m a 886,00 m, seguindo-se a geometria de disposição com taludes finais com inclinação de 1:2 (V:H), com altura de 3,0 m. No Anexo I, Folha 03/04 é apresentada a reconformação geométrica proposta.

Para o adequado encerramento do aterro sanitário se faz necessária a implantação dos seguintes sistemas:

- Sistema de drenagem de biogás;
- Sistema de cobertura final; e
- Sistema de drenagem pluvial.

Nos itens a seguir são descritos os sistemas propostos para o adequado encerramento do aterro sanitário.

6.4.1 Sistema de drenagem de biogás

Na inspeção técnica realizada verificou-se que o platô superior do aterro sanitário se apresenta com trincas, muito provavelmente, ocasionadas pela drenagem desordenada de biogás. Nesse sentido, se faz necessária a implantação do sistema de drenagem e queima individual de biogás.

Este sistema tem a função de drenar os gases provenientes da decomposição da matéria orgânica, de forma controlada, executando-se uma rede de drenagem adequada, através de drenos do tipo “flutuantes”, com altura de 3,00 metros, interligados entre si, devendo estes drenos, ser implantados em pontos determinados do aterro, a fim de constituir uma malha de drenagem de biogás.

Para a drenagem de biogás serão utilizados tubos de concreto armado de Ø 0,30 m, perfurados, que terão fluxo ascendente de gases. Estes tubos deverão ser de encaixe tipo ponta e bolsa, envoltos por brita 4 ou rachão, com 0,25 m de espessura, contidos por tela de aço, para formar um espaço anelar preenchido por material granular. Não se faz necessário o preenchimento do tubo de concreto por brita ou rachão para facilitar as drenagens de gases.

Os gases serão conduzidos para este sistema e deverão ser queimados nas saídas dos tubos de concreto através de *flares* em aço ou ferro fundido.

Quanto à malha de drenos de biogás no aterro sanitário, sua distribuição foi definida considerando um espaçamento de 40 m de distância entre os drenos, de modo que a drenagem de biogás seja eficiente e contemple toda a área do aterro. As interligações entre os drenos serão constituídas por trincheiras de 0,40 m x 0,40 m preenchidas por brita.

No Volume III – Folhas de Projeto, nas Folhas 03/12 e 04/12, é apresentada a localização dos drenos de biogás e na Folha 12/12, seus detalhes.

6.4.2 Sistema de cobertura final

O sistema de cobertura final do maciço contará com uma camada de solo argiloso compactado de 0,60 m de espessura com permeabilidade da ordem de 10^{-6} cm/s, seguido de uma camada de solo vegetal que será submetida, imediatamente submetidos ao plantio de grama em placas, primeiramente nos taludes, a fim de resguardá-los das erosões laminares, sulcos nos taludes e aumentar a evapotranspiração.

A camada de solo argiloso compactado deverá ser executada com equipamentos convencionais de terraplenagem, com GC \geq 95% e desvio de umidade em torno da umidade ótima do ensaio de compactação Proctor Normal. Esta camada é a principal responsável pelo funcionamento adequado do sistema proposto de confinamento geotécnico, tendo como função impedir a migração e percolação das águas pluviais, além de restringir movimentos eventuais de gases dos resíduos de maneira descontrolada.

Complementarmente à implantação da cobertura final e quando do término do plantio de gramíneas em placas, deverá ser implementado o sistema de drenagem de águas pluviais, exposto no item a seguir.

6.4.3 Sistema de drenagem de águas pluviais

Neste item apresentam-se os critérios, métodos e dimensionamentos dos diversos sistemas propostos para a desvios de drenagens e disciplinamento de águas pluviais do Plano de Encerramento proposto.

A seguir são listados os elementos hidráulicos propostos:

- Canaletas de concreto tipo meia-cana;
- Descida hidráulica trapezoidal em geocélula preenchida por pedra-de-mão;
- Caixas de passagem de concreto;
- Galerias em tubos de concreto armado (travessias);
- Caixa de dissipação de energia e retenção de sedimentos;
- Bacias de enrocamento.

Os elementos de projeto foram calculados e dimensionados de acordo com os princípios de engenharia para aterros sanitários, seguindo as normas da ABNT, NBR 8419/1992 (Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento) e NBR 13896/1997 (Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação) e publicações de órgãos técnicos e ambientais.

Os parâmetros adotados estão indicados a seguir, para cada tipo de elemento de projeto.

Para o cálculo das vazões de cheias foi utilizado o Método Racional, aconselhado para áreas até 2 km², segundo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE (2005). Os dados climáticos do município de Vargem foram obtidos através do software “Plúvio 2.1 - Chuvas intensas no Brasil”.

Desse modo, os critérios para dimensionamento adotados foram os seguintes:

A) Período de retorno (T_r)

É o período de tempo em que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez.

Foi adotado a favor da segurança o período de retorno de 10 anos para o sistema de drenagem pluvial no maciço.

B) Áreas de contribuição

É a área de contribuição a ser drenada. No caso, uma área total de 18.405 m², que pôde ser dividida em 5 microbacias, conforme apresentado na tabela a seguir:

Microbacia	Área (km ²)
1	0,001
2	0,007
3	0,006
4	0,003
5	0,001
TOTAL	0,018

Tabela 6-5. Microbacias da drenagem pluvial permanente do empreendimento proposto.

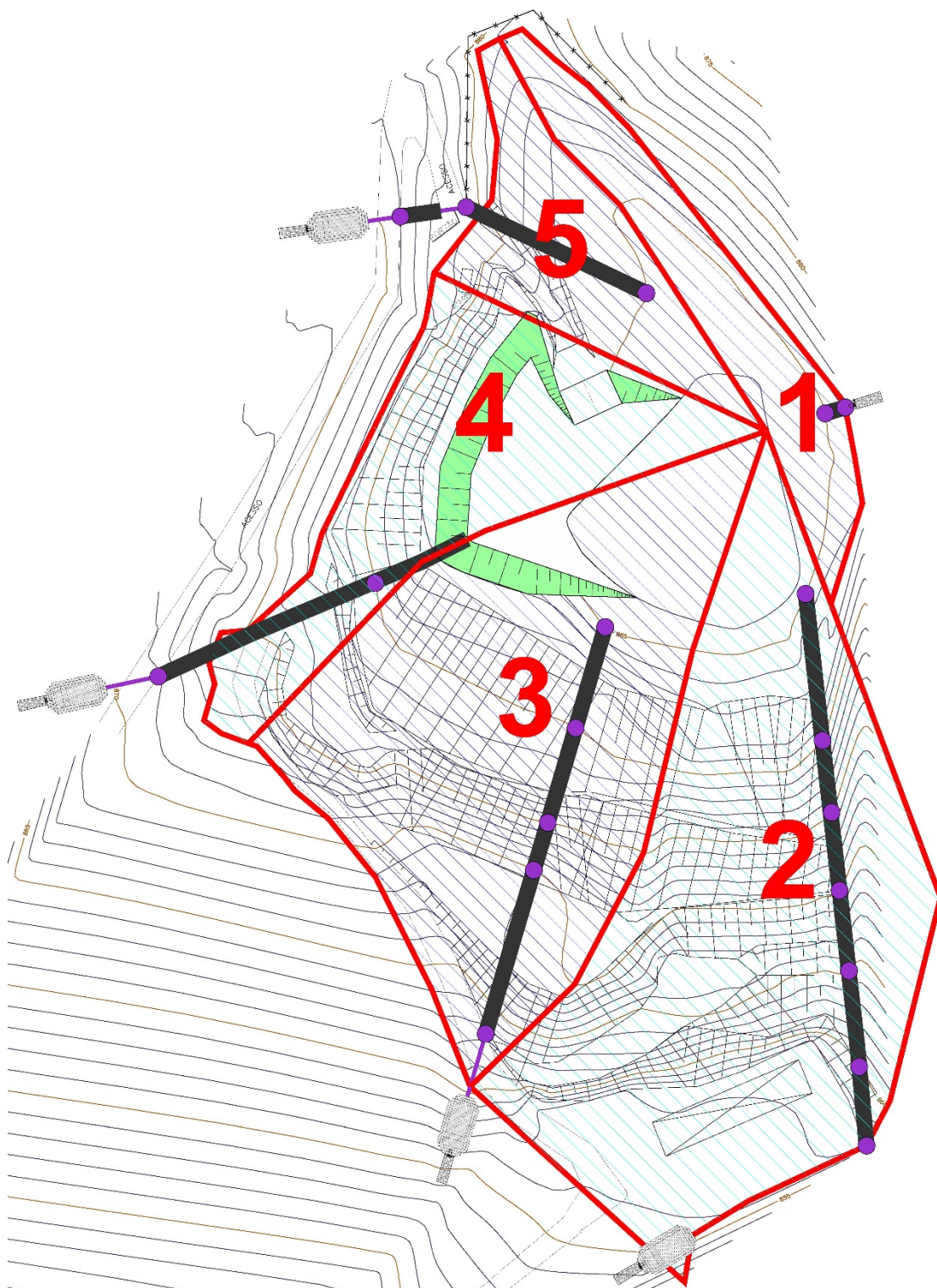


Figura 6-8. Áreas das microbacias de contribuição da drenagem pluvial do Aterro sanitário em valas de Vargem e suas saídas d'água.

C) Coeficiente de runoff ou escoamento superficial (C)

Este coeficiente é um parâmetro adimensional que varia de 0 a 1, e que segundo DAEE (2005), é estimado com base em características da bacia, e que representa o seu grau de impermeabilização ou de urbanização. Quanto menor a possibilidade de a água precipitada infiltrar-se no solo, ou de ficar retida pela vegetação, maior será a parcela que se transformará em escoamento superficial direto, resultando um valor mais elevado para o coeficiente C.

Nesse sentido, foram adotados valores característicos para lotes com 2.000 m² ou mais (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1986), sendo de 0,44, para a área de aterros sanitários.

D) Tempo de concentração (tc)

Segundo Tomaz (2010) é o tempo que leva uma gota de água mais distante para chegar até o trecho considerado na bacia. Para determinar esse tempo de concentração foi utilizado o método de Kirpich.

$$t_c = 0,019.L^{0,77}/S^{0,385}$$

t_c = Tempo de concentração (min)

L = Talvegue (m)

S = Declividade (m/m)

Os resultados do menor tempo de concentração dentre as microbacias é apresentado na tabela a seguir:

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (t _c)			
Microbacia	L (m)	S (m/m)	t _c (min)
4	135	0,119	1,89

Tabela 6-6. Tempo de concentração para dimensionamento do sistema de drenagem pluvial.

E) Intensidade de chuva (i)

É a intensidade média da precipitação sobre toda a área drenada, de duração igual ao tempo de concentração em mm/h.

$$i = \frac{K \cdot T_r^a}{(t_c + b)^c}$$

onde:

i = intensidade de chuva (mm/h)
T_r = Período de retorno (anos)
t_c = Tempo de concentração (min)
K, a, b, c = Parâmetros da equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação

Os valores dos parâmetros K, a, b e c, foram obtidos, através do software “Plúvio 2.1” (GPRH, 2006), para a localidade de Vargem.

Portanto, substituindo os valores para a equação de intensidade de chuva, obteve-se o maior valor, para ser adotado no dimensionamento hidráulico:

INTENSIDADE DE CHUVA (i)							
Microbacia	K	a	b	c	Tr (anos)	tc (min)	i (mm/h)
4	1996,791	0,173	19,459	0,8670	10	1,89	209,32

Tabela 6-7. Intensidade de chuva para dimensionamento do sistema de drenagem pluvial.

F) Pico de vazão

O Método Racional para a estimativa do pico de cheia resume-se, fundamentalmente, para área não superior a 2 km², no emprego da chamada “fórmula racional”:

$$Q_{\max} = (C \cdot i \cdot A) / 3,6$$

onde:

Q_{max} = pico máximo de vazão em m³/s
i = intensidade de chuva (mm/h)
A = área drenada (km²)
C = coeficiente de escoamento superficial (0,44 para a área de aterros sanitários)

Como já citado, para a área de contribuição do empreendimento foram subdivididas 5 microbacias, que foram consideradas para a determinação das vazões de pico, necessárias para o dimensionamento dos diversos sistemas componentes da drenagem pluvial permanente.

Na Tabela 6-8 são apresentadas as vazões de pico em cada microbacia que contribuirá para a drenagem pluvial permanente do empreendimento:

VAZÃO DE PICO (Q)				
Bacia	C (coef. run-off)	i (mm/h)	A (km ²)	Q (m ³ /s)
1	0,44	209,32	0,001	0,04
2	0,44	209,32	0,007	0,17
3	0,44	209,32	0,006	0,15
4	0,44	209,32	0,003	0,07
5	0,44	209,32	0,001	0,04
TOTAL	-	-	0,018	0,471

Tabela 6-8. Contribuições de cada microbacia para dimensionamento do sistema de drenagem pluvial do empreendimento proposto.

Portanto, substituindo os valores para a equação de pico de vazão da área do maciço sanitário, obteve-se:

$$Q_{\max} = 0,47 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } 470,88 \text{ l/s.}$$

6.4.3.1 Canaletas de concreto tipo meia-cana

As canaletas são os elementos responsáveis pela captação das águas pluviais que correm sobre os taludes, bermas, acessos e “platôs”.

A conformação das bermas será executada garantindo-se os caimentos previstos, tanto transversal como longitudinalmente.

Para o dimensionamento das canaletas foi considerada a linha de canaletas com a maior área de captação de águas pluviais, que no caso foi da Microbacia 2.

A partir daí, foram utilizadas a fórmula racional e o *software* CANAL (GPRH, 2000) para determinar a vazão de pico nessa área e o diâmetro da canaleta, respectivamente, assumindo como critérios de projeto: coeficiente de escoamento superficial de 0,44, maior valor de intensidade de chuva (209,32 mm/h), coeficiente de rugosidade de Manning de 0,015 (concreto), declividade de 2% e relação entre altura da lâmina de água e diâmetro do canaleta: $(y / D) < 0,45$.

Na tabela a seguir é apresentado o resumo do dimensionamento das canaletas de concreto tipo meia-cana que deverão ser implantadas.

CÁLCULO DE VAZÃO DE PICO (FÓRMULA RACIONAL)					
Dados de entrada					Resultados
Área	C	i (mm/h)	S (m ²)	S (km ²)	Q (m ³ /s)
Microbacia 2	0,44	209,32	6.719	0,007	0,17
DIMENSIONAMENTO CANALETA (<i>software</i> CANAL)					
Dados de entrada					Resultados
Área	Vazão (m ³ /s)	Declividade (m/m)	Coef. Manning	Prof. / Diâmetro (m/m)	Prof. Normal (m) Diâmetro (m) N° Froude Velocidade (m/s) Perímetro molhado (m) Diâmetro Adotado (m)
Microbacia 2	0,17	0,02	0,015	0,45	0,22 0,48 1,72 2,18 0,70 0,50

Tabela 9. Dimensionamento das canaletas de concreto tipo meia-cana.

Dessa forma, nas bermas do empreendimento, na Microbacia 2, as canaletas de concreto serão do tipo meia-cana, com dimensão de \varnothing 0,50 m e declividade mínima de 2%.

Para as demais partes que necessitam de canaletas do tipo meia-cana, as mesmas deverão ter dimensão de \varnothing 0,30 m e declividade mínima de 2%.

6.4.3.2 Descidas hidráulicas por canal trapezoidal em colchão Reno

As descidas d'água dos taludes do empreendimento se darão por canais trapezoidais com revestimento de geocélulas, preenchidas por pedras-de-mão e tela tipo alambrado galvanizada, uma alternativa mais econômica em relação ao revestimento tradicional de gabião manta (tipo colchão Reno), além de apresentar desempenho semelhante ao gabião manta, como já evidenciado em experiências recentes em aterros de resíduos Classe II.

Essas descidas hidráulicas acompanharão a declividade do talude e terão seção trapezoidal com revestimento de geocélula de altura de 0,10 m e inclinação do talude lateral interna do canal de 1:2 (V:H).

A seção transversal dessas descidas será trapezoidal, tendo o colchão 0,20 m de espessura, com inclinação do talude lateral interno da descida de 1:2 (V:H).

Para o dimensionamento dessas descidas foi adotado um coeficiente de rugosidade de Manning de 0,030 e para o cálculo da lâmina d'água (Z), foram consideradas as vazões obtidas em cada microbacia. Sendo assim, para este dimensionamento foi utilizado o método dos parâmetros adimensionais (AZEVEDO NETO et al, 1998), sendo:

$$Q = \left[\frac{y}{b} + m \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right] \cdot \left[\frac{\frac{y}{b} + m \left(\frac{y}{b} \right)^2}{1 + 2 \frac{y}{b} \sqrt{1 + m^2}} \right]^{\frac{2}{3}} \cdot b^{\frac{8}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{n}$$

Q = Vazão de pico (m³/s)

y = profundidade de escoamento (m)

b = largura do canal (m)

m = indicador horizontal do talude (m)

I = declividade (m/m)

n = coeficiente de rugosidade de Manning

No total foram definidas 5 linhas de descidas d'água. Na tabela a seguir é apresentado o resumo do dimensionamento das descidas d'água propostas, cujas dimensões mínimas dimensionadas atendem as vazões em cada área de contribuição das descidas d'água:

DIMENSIONAMENTO DA DESCIDA D'ÁGUA DE GEOCÉLULA	
Parâmetros	Descida d'água
	Microbacia 2
DADOS DE ENTRADA	
[y] Altura da lâmina d'água (m)	0,10
[f] Folga – <i>free-board</i>	0,10
[z] Altura da descida	0,20
[B] Largura do canal (m)	0,70
[m] Indicador horizontal do talude (m)	2
[I] Declividade (m/m)	0,25
[n] Coeficiente de rugosidade de Manning	0,03
RESULTADOS	
$Q = \left[\frac{y}{B} + m \left(\frac{y}{B} \right)^2 \right] \cdot \left[\frac{\frac{y}{B} + m \left(\frac{y}{B} \right)^2}{1 + 2 \frac{y}{B} \sqrt{1 + m^2}} \right]^{\frac{2}{3}} \cdot B^{\frac{8}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{n}$	0,27
[Q] Vazão da descida d'água (m³/s)	

Tabela 10. Resumo do dimensionamento das descida d'água em geocélula.

Q (m³/s)	z (m)	B (m)	L (m)
0,27	0,20	0,70	1,50

Tabela 11. Dimensões mínimas das descida d'água em geocélula

z = Altura da lâmina d'água (m)

B = Largura plana da descida – base inferior (m)

L = Largura plana da descida – superior (m)

6.4.3.3 Caixas de passagem

Nos pontos onde se torna necessário a mudança de direção dos elementos de drenagem, o encontro de drenagens e a diminuição da velocidade/energia das águas para o adequado encaminhamento das vazões coletadas, devem-se implantar caixas de passagem.

Dois tipos de caixas de passagem são propostas:

- P1: Transição entre descidas d'água de geocélula e tubos de concreto e transição entre tubos de concreto e descidas d'água de geocélula.

Essas caixas de passagem que interceptam as descidas d'água serão de concreto e foram dimensionadas, devendo ter dimensões fixas, conforme a tabela a seguir:

CAIXA DE PASSAGEM (ENTRE GEOCÉLULAS) – P1			
Tipo	Tubo de concreto	Dimensões (L x C x h)	Espessura
P1	Ø 0,40 m	1,70 x 0,70 x 0,80 m	0,15 m

L = Largura interna da caixa (m)

C = Comprimento interno da caixa (m)

h = Altura interna da caixa (m)

Tabela 12. Dimensões das caixas de passagem entre descidas d'água de geocélula.

- P2: Mudanças de direção e diminuição de energia de escoamento nas canaletas de concreto tipo meia-cana;

Essas caixas de passagem foram dimensionadas para serem implantadas em média a cada 50 m e nas mudanças de direção, com as seguintes dimensões:

CAIXA DE PASSAGEM (ENTRE CANALETAS) – P2			
Tipo	Ø Canaleta	Dimensões (L x L x h)	Espessura
P2-A	0,30 m	0,90 x 0,90 x 0,60 m	0,15 m
P2-B	0,50 m	1,20 x 1,20 x 0,80 m	0,15 m

L = Largura interna da caixa (m)

h = Altura interna da caixa (m)

Tabela 13: Dimensões das caixas de passagem de mudança de direção e diminuição de energia nas canaletas.

6.4.3.4 Tubos de concreto (travessias subterrâneas)

Para este dimensionamento, foram consideradas as vazões finais coletadas pelas caixas de passagem e caixa de dissipação de energia e retenção de sedimentos e com isso utilizou-se o programa CANAL, assumindo como critérios de projeto: coeficiente de rugosidade de Manning de 0,015 (concreto), a relação entre altura da lâmina de água e diâmetro do tubo: $(y / D) < 0,82$.

Foram obtidos os diâmetros adequados para os tubos de concreto, conforme as maiores vazões das microbacias, apresentado na tabela a seguir:

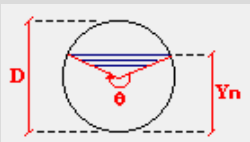
TUBO DE CONCRETO	
DADOS DE ENTRADA	Local
	Microbacia 2
Vazão (m³/s)	0,17
Declividade (m/m)	0,02
RESULTADOS	Local
	Microbacia 2
Diâmetro [D] (m)	0,34
Profundidade normal [Yn] (m)	0,28
Velocidade (m/s)	2,09
Diâmetro adotado (m)	0,40

Tabela 14. Dimensionamento dos tubos de concreto.

Para os tubos de concreto nas travessias entre descidas d'água de geocélula, conforme a maior vazão, da microbacia 2, foi definida uma única dimensão dos tubos de concreto, que é de Ø 0,40 m.

6.4.3.5 Sistema de Dissipação de Energia e Retenção de Sedimentos nas Saídas D'água

Neste empreendimento foram definidas cinco saídas d'água, sendo que em ambas foi proposto um sistema de dissipação de energia e retenção de sedimentos.

Nas saídas d'água foi definido um sistema associado, de caixa de dissipação de energia e retenção de sedimentos e bacia de enrocamento.

Esses dois equipamentos terão como função diminuir as velocidades elevadas de escoamento, reter sedimentos e direcionar adequadamente as águas pluviais ao curso d'água de jusante.

Nesse sentido, o dimensionamento das caixas de dissipação de energia e retenção de sedimentos é apresentado na tabela a seguir:

CAIXA DE DISSIPACÃO DE ENERGIA E DE RETENÇÃO DE SEDIMENTOS		
DADOS DE ENTRADA		
Parâmetros		Valores
Local		Microbacia 2
Diâmetro do tubo de chegada (m)		0,40
[Q] Vazão (m³/s)		0,26
[T] Tempo de retenção (s) = Tempo de concentração		113,2
[H] Altura interna da caixa (m)		1,50
[B] Largura interna da caixa (m)		3,00
RESULTADOS		
Parâmetros	Equação	Valores
[V] Volume interno da caixa (m³)	$V = Q.T$	29,43
[L] comprimento interno da caixa (m)	$L = V/(H-0,5)/B$	7,00

Tabela 15. Dimensionamento das caixas de dissipação de energia e retenção de sedimentos.

Quanto ao dimensionamento da bacia de enrocamento, na tabela a seguir é apresentado o resumo do dimensionamento desse equipamento:

BACIA DE ENROCAMENTO		
DADOS DE ENTRADA		
Parâmetros		Valores
Local		Microbacia 2
[D] Diâmetro interno do tubo (m)		0,40
[dp] Altura da lamina d'água no tubo (m)		0,33
[v] Velocidade (m/s)		2,32
[g] Aceleração da gravidade (m²/s)		9,81
RESULTADOS		
Parâmetros	Equação	Valores
[Wa] Largura da Bacia (m)	$Wa = 3.D$	1,20
[F] N° Froude	$F = v/(g.dp)^{0,5}$	1,34
[La] Comprimento da Bacia (m)	$La = D.[8 + 17.log(F)]$	4,00
[ds] Diâmetro da pedra (m)	$ds = 0,25.D.F$	0,13
[Da] Profundidade da Bacia (m)	$Da = 2ds$	0,25

Tabela 16. Dimensionamento da bacia de enrocamento.

6.5 Sistema de cobertura vegetal

Sobre os platôs finais das camadas de células e dos taludes finalizados deverá ser aplicada uma camada de substrato (solo vegetal) composto de nutrientes e espessura de 0,08 m sobre a camada de cobertura definitiva de solo compactado. O substrato tem finalidade de subsidiar nutrientes às gramíneas, auxiliar na fixação e no enraizamento das mesmas.

Cabe ressaltar que o substrato deverá ser enriquecido com macronutrientes essenciais a planta, como nitrogênio, fósforo e potássio. Após o tratamento do substrato ter sido realizado, deverá ser executado o plantio em placas da Grama-batatais (*Paspalum notatum*), com espessura de cerca de 0,07 m. Para fixação inicial das gramíneas nos taludes deverá ser realizado estaqueamento das placas.

Esse tipo de gramíneas é recomendado para conservação de taludes e controle de erosão, ou seja, ideal para este caso.

6.6 Sistema de isolamento físico e visual da área do aterro

Cabe informar que a área do aterro sanitário conta com isolamento físico composto por cerca de isolamento e portão, no entanto, em pontos isolados verificou-se a falta de manutenção dessa estrutura. Recomenda-se que seja realizada sua manutenção periódica de modo a impedir a entrada de pessoas estranhas ao local e o descarte irregular de resíduos.

Em relação ao isolamento visual do aterro, notou-se que ao redor do aterro sanitário foi implantado um cinturão verde que desempenha regularmente sua função. Nas regiões em que este sistema é falho, recomenda-se o plantio de espécies nativas.

6.7 Uso futuro da área incluindo, preferencialmente, proposta de legislação que imponha restrições ao uso do solo nas áreas diretamente afetadas

A área do aterro sanitário deverá ser integrada à paisagem com o incremento do plantio de vegetação no seu entorno, não devendo ser ocupada por edificações ou áreas de recreação até que se garanta a completa inertização e estabilidade da massa de resíduos, sendo comprovada no monitoramento geotécnico.

Esta área, após a verificação de término das atividades biológicas internas do aterro, poderá ser aproveitada como área de lazer e de parque, não se devendo construir nenhuma edificação sobre os resíduos, no entanto, podendo-se aproveitar as áreas em solo natural e as edificações implantadas, inclusive como locais para palestras e orientações de alunos de escolas, dentro de um plano de educação ambiental e de um circuito de passeios ecológicos da região, divulgando a área como exemplo de disposição segura de resíduos sólidos domiciliares e industriais não perigosos.

É possível após a finalização do aterro, com o plano de encerramento sendo executado, utilizar a área para aproveitamento energético com o uso de células fotovoltaicas, podendo-se produzir cerca de 5 MW para cada 50.000 m² de área. Esta alternativa depende de projeto específico de viabilidade técnica e econômica a ser desenvolvida próximo ao final da vida útil da área.



Figura 6-9: Exemplo de aterro sanitário encerrado.

6.8 Controle tecnológico

Segundo a Norma Técnica NBR 13.896/1997¹ um aterro sanitário deve ser operado e mantido de forma a minimizar a possibilidade deslizamento/vazamento de resíduos/lixiviados que possam constituir ameaça à saúde humana ou ao meio ambiente.

Nesse sentido, visando garantir o bom desempenho, a segurança do aterro sanitário e sua qualidade ambiental, algumas medidas de controle tecnológico devem ser adotadas seguindo as prescrições do projeto aqui descrito.

6.8.1 Monitoramento geotécnico

O objetivo principal do monitoramento geotécnico é identificar fatores de instabilidade da massa de resíduos, mesmo na situação de encerramento do aterro sanitário, orientando quanto a geometria da reconformação geométrica, mantendo o adequado funcionamento dos sistemas de proteção ambiental e sanitária e drenagens internas.

Sendo assim, durante o encerramento do aterro sanitário, este monitoramento avaliará as condições de estabilidade e de funcionamento dos sistemas componentes da drenagem de lixiviados, de biogás e pluvial, até a inertização da massa de resíduos.

O sistema de monitoramento geotécnico constará de instrumentos especiais que medirão:

- Poropressões de lixiviados e biogás no interior do aterro (piezômetro); e
- Deslocamentos horizontais e verticais do aterro (marco superficial).

Os pontos a serem monitorados pelos marcos superficiais e piezômetros foram escolhidos, considerando-se as áreas mais críticas, como as de maior altura do maciço.

Sendo assim, o plano de encerramento em questão contemplou a instalação de 4 piezômetros complementares e 6 marcos superficiais, conforme locação apresentada no Anexo I, Folha 03/04.

¹ NBR 13.896/1997 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação.

A leitura destes instrumentos deverá ser realizada com periodicidade de no mínimo uma vez a cada mês e os dados tratados, para avaliação do comportamento do aterro sanitário, de modo que seja possível avaliar as condições geotécnicas do maciço de resíduos. Os detalhes dos marcos superficiais e piezômetros estão apresentados na Folha 04/04 do Anexo I

Assim, conforme os resultados que serão obtidos da análise de estabilidade das seções mais críticas do aterro sanitário, os níveis de alerta deverão ser considerados, conforme a análise.

Os critérios de segurança relativos aos deslocamentos para as áreas sobre resíduos deverão seguir as recomendações aqui apresentadas conforme a Figura 6-10.

RECALQUE		
ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
$20 < x \leq 40$ mm/dia	$40 < x \leq 100$ mm/dia	$x > 100$ mm/dia
DESLOCAMENTO HORIZONTAL		
ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
$10 < x \leq 25$ mm/dia	$25 < x \leq 50$ mm/dia	$x > 50$ mm/dia

Figura 6-10. Critérios de segurança para os deslocamentos horizontais e verticais.

Em geral, o deslocamento horizontal dos marcos superficiais a uma velocidade inferior a 25 mm/dia é considerado um padrão aceitável para os aterros sanitários tradicionais de resíduos sólidos urbanos no Brasil. As posições dos marcos superficiais no maciço foram definidas pelas condições geométricas nos pontos, ou seja, levando-se em consideração principalmente, à altura, inclinação média do talude e espessura dos resíduos.

Ainda como parte desse monitoramento deverá ser realizada, conjuntamente, inspeções técnicas periódicas com preenchimento de formulários, baseados em *check-list*, por especialista geotécnico para verificação das condições de estabilidade do maciço.

Nestas inspeções deverão ser registradas as seguintes observações:

- Drenagem dos taludes – disfunções e assoreamento do sistema de drenagem;
- Erosões e proteção superficial das superfícies dos taludes;

- Trincas e instabilidades nas bermas e taludes;
- Recalques e poças d'água em platôs e bermas;
- Carreamento de sólidos para os corpos d'água de jusante;
- Reparos a serem realizados nos sistemas; e
- Surgências de gases e lixiviados.

A periodicidade dessas inspeções deve ser mensal, podendo ser mais intensa após períodos chuvosos, excepcionais, de grande intensidade ou duração.

Através dos dados obtidos nas leituras de marcos superficiais e piezômetros será possível realizar análise de estabilidade geotécnica geral e setorial dos maciços de resíduos, de modo a configurar o **Relatório Bimestral** de monitoramento geotécnico do aterro sanitário, contendo dados geotécnicos, descrições de atividades realizadas, recomendações, registro fotográfico, declaração de responsabilidade técnica e anotação de responsabilidade técnica.

Visando ainda atestar a viabilidade do presente projeto foram realizados cálculos e análises, que modelam e comprovam a estabilidade do projeto, através da modelagem computacional, contemplando as situações futuras da reconformação geométrica do aterro sanitário, cujos resultados se encontram apresentados no Anexo IV.

6.8.2 Monitoramento de águas subterrâneas

O desenvolvimento do plano de monitoramento das águas subterrâneas, para identificação de eventuais interferências nas águas subterrâneas na área do aterro sanitário, durante o encerramento das atividades, contemplou a implantação de quatro poços de monitoramento, de modo que as amostras de águas subterrâneas sejam representativas da qualidade do aquífero freático sob influência da tendência do fluxo de águas subterrâneas. Sendo 1 (um) de montante e 3 (três) a jusante do perímetro de resíduos, conforme a localização dos pontos previstos à implantação dos mesmos, na Folha 03/04, do Anexo I.

Os poços serão implantados dentro da gleba de terras determinada, seguindo-se as normas pertinentes existentes, elencadas a seguir:

- NBR 15.495-1/2009 – “Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção”; e
- NBR 15.495-2/2008 – “Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 2: Desenvolvimento”.

A amostragem de água subterrânea deverá seguir os preceitos da norma:

- NBR 15.847/2010 – “Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga”.

A campanha de amostragem das águas subterrâneas de cada poço de monitoramento deverá ser trimestral, de acordo com a Norma Técnica NBR 15.847/2010, sendo três amostragens com listagem mínima de parâmetros de qualidade das águas, e uma amostragem com listagem completa, conforme os parâmetros exigidos na DD 256/2016E da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.

Todas as amostras deverão ser coletadas utilizando-se o método de amostragem de baixa-vazão (micro-purga) para águas subterrâneas. Este método baseia-se na amostragem por meio da adoção de uma baixa velocidade na vazão da água, sendo o controle realizado por

meio do acompanhamento do rebaixamento do nível d'água durante o bombeamento realizado e análise em tempo real dos parâmetros indicadores de estabilização.

A análise do nível d'água dinâmico deverá ser realizada através da utilização de uma sonda elétrica para medição contínua do rebaixamento do nível d'água em cada poço (medidor de rebaixamento) e equipamento de medida acoplado. Quando obtidas leituras próximas e sucessivas dos parâmetros medidos "in situ" é fornecida a indicação de que foram alcançadas as condições ideais para a amostragem ou para as leituras da água da formação.

As leituras que devem ser consideradas são as que variaram dentro de um intervalo, conforme apresentado na tabela que segue, baseada na norma ABNT NBR 15847 – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento: Métodos de purga - jul/2010.

Parâmetro	Variação permitida
pH	0,2 unidades
Condutividade elétrica	5% das leituras
Potencial oxi-redução	20 milivolts
Temperatura	0,5 °C
Oxigênio Dissolvido	10% ou 0,2 mg/L

Tabela 6-17 - Variações máximas dos parâmetros durante a estabilização.

As amostras das águas subterrâneas deverão ser submetidas à análise laboratorial, visando determinar suas características físico-químicas e biológicas, utilizando-se as metodologias usuais que atendam aos limites mínimos de quantificação da amostra, de modo a atender aos valores orientadores descritos. Além disso, deverão ser adotados os adequados procedimentos de coleta, manuseio, preservação, acondicionamento e transporte de amostras, com registro de cadeia de custódia.

O laboratório a ser contratado pelo interessado deverá possuir situação ativa no banco de dados do Instituto Nacional de Metrologia e atender as alíneas contidas na Resolução SMA nº 90 de novembro de 2012.

LISTAGEM COMPLETA

Características Físicas e Organolépticas

- ✓ Condutividade elétrica;
- ✓ Sólidos totais dissolvidos;
- ✓ Dureza total;
- ✓ pH;
- ✓ Óleos e graxas;
- ✓ Cor aparente;
- ✓ Turbidez; e
- ✓ DBO.

Componentes Inorgânicos

- ✓ Alumínio;
- ✓ Arsênio;
- ✓ Bário;
- ✓ Cádmio;
- ✓ Cobre;
- ✓ Chumbo;
- ✓ Cloretos;
- ✓ Cromo total;
- ✓ Ferro total;
- ✓ Fosfato total;
- ✓ Magnésio;
- ✓ Manganês total;
- ✓ Mercúrio;
- ✓ Nitrogênio nitrito;
- ✓ Nitrogênio nitrato;
- ✓ Nitrogênio amoniacal;
- ✓ Nitrogênio kjeldahl;
- ✓ Potássio;
- ✓ Sulfato;

- ✓ Selênio;
- ✓ Sódio; e
- ✓ Zinco.

Componentes Orgânicos

- ✓ BTEX;
- ✓ Fenol;
- ✓ Diclorometano;
- ✓ Triocloroetileno;
- ✓ Cloreto de metileno; e
- ✓ Cloreto de vinila.

Bacteriológicos

- ✓ Coliformes totais e termotolerantes;
- ✓ Pseudomonas aeruginosos;
- ✓ Salmonella;
- ✓ Bactérias Heterotróficas; e
- ✓ e. coli.

LISTAGEM MÍNIMA

- ✓ Condutividade elétrica;
- ✓ Sólidos totais dissolvidos;
- ✓ pH;
- ✓ Óleos e graxas;
- ✓ Cloreto;
- ✓ Alumínio;
- ✓ Cromo total;
- ✓ Chumbo;
- ✓ Mercúrio;
- ✓ Cádmio;
- ✓ Ferro;
- ✓ Manganês;
- ✓ BTEX;
- ✓ Diclorometano;

- ✓ Tricloroetileno;
- ✓ Cloreto de vinila;
- ✓ Coliformes totais e termo tolerantes;
- ✓ Bactérias Heterotróficas;
- ✓ Nitrogênio nitrito;
- ✓ Nitrogênio nitrato;
- ✓ Nitrogênio amoniacal; e
- ✓ Nitrogênio Kjeldahl.

Anualmente, deverá ser emitido ao órgão ambiental responsável, um Relatório Anual de Monitoramento das Águas Subterrâneas, consolidando os resultados obtidos nas campanhas realizadas durante o ano, de modo a diagnosticar eventuais interferências na hidrogeoquímica na área do Aterro Sanitário e seu entorno de influência.

6.9 Cronograma de execução

A seguir é apresentado o cronograma de execução das atividades propostas no Plano de encerramento do Aterro Sanitário em valas de Vargem, SP.

[illegible]

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA. **Curso anual de treinamento sobre Aterros Sanitários - Licenças/Projeto/Operação**. São Paulo: ABLP, 2008 a 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 8.419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 07p.

_____, ABNT. **NBR 11682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____, ABNT. **NBR 13.896**: Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 12p.

BENVENUTO C. et al. **A Metodologia Geotécnica Aplicada à Disposição dos Resíduos Sólidos**. In: GEOAMBIENTAL, 1994, Rio de Janeiro, RJ. Seminário sobre Geotecnia de Aterros para Disposição de Resíduos – Ênfase em Aterros Sanitários, COPPE-UFRJ: 1994.

BENVENUTO C.; CIPRIANO, M. A. Modelo reológico de comportamento de resíduos e aterros sanitários, segundo critérios de projeto e operação atuais no Brasil. **Revista Limpeza Pública**, São Paulo, Edição 74. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2010.

BENVENUTO C. Monitoramento Geotécnico e a estabilidade dos aterros sanitários. **Revista Limpeza Pública**, São Paulo, Edição 77. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2011.

BISHOP, A. W; MORGENSTERN, N. (1960) **Stability coefficients for Earth Slopes – Geothécnique** – N. 4 – Vol. X.

CONSONI, A. J. SILVA, I. C. GIMENEZ FILHO, A. **Sistema de drenagem de biogás**. In: D'ALMEIDA, M. L. O. & VILHENA, A. (coord.). Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. Cap. V, p. 285.

CRUZ, P. T.; Ferreira, R. C. **Aterros Compactados, em Solos do Interior de São Paulo**, São Paulo: ABMS e USP/SC, 1993, p. 279.

GUIDICINI, C. E NIEBLE, C.M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976.

LAMBE, T. W. & WHITMAN, R. V. **Soil Mechanics**. Massachusetts Institute of Technology. New York, 1969.

PINTO, C. S. *et al.* Propriedades dos Solos Residuais. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS – NÚCLEO REGIONAL DE SÃO PAULO; DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS. **Solos do Interior de São Paulo**. São Carlos: ABMS & USP/SC, 1993. p. 97-142.

SHARMA, H. D. E LEWIS, S. P. **Waste Containment System, Waste Stabilization, and Landfills - Design and Evaluation**, John Wiley Sons, Inc. pp 534 - 1994.

SPENCER, E. **A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-slice Forces**, Géotechnique, 17 (1): 11-26, Mar. 1967.

TERZAGHI, K **Theoretical Soil Mechanics**, John Wiley & Sons, New York, 1943.