À REVITA

A/C Carlos Bezerra

Tel.: (11) 3124-7028

E-mail: cbezerra@solvi.com

# PROJETO BÁSICO
# ATERRO SANITÁRIO DE SÃO MATEUS/ES
# REVISÃO 4

DEZEMBRO/2021

# SUMÁRIO

**1. APRESENTAÇÃO ..... 11**

**2. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO ..... 11**

*2.1. Localização ..... 11*

*2.2. Recebimento de resíduos ..... 14*

*2.3. Contexto geomorfológico ..... 14*

*2.4. Contexto geológico e geotécnico local ..... 16*

*2.5. Clima ..... 22*

**3. PREMISSAS ..... 24**

*3.1. Introdução ..... 24*

*3.2. Premissas básicas ..... 25*

*3.3. Medidas propostas ..... 25*

**4. CONCEPÇÃO DE PROJETO ..... 26**

*4.1. Introdução ..... 26*

*4.2. Terraplenagem ..... 26*

*4.3. Dreno subsuperficial ..... 27*

*4.4. Dique de partida ..... 28*

*4.5. Barreira de fluxo ..... 28*

*4.6. Sistema de drenagem de lixiviados de base e das células ..... 29*

*4.7. Drenos verticais ..... 31*

*4.8. Conformação geométrica do aterro ..... 32*

*4.9. Sistemas de cobertura do aterro ..... 33*

*4.10. Acesso viário ..... 34*

*4.11. Drenagem superficial ..... 34*

*4.12. Cobertura vegetal* ..... *35*

*4.13. Sistema de monitoramento geotécnico* ..... *35*

*4.14. Cortina vegetal / Cinturão verde* ..... *35*

*4.15. Unidade de triagem de materiais recicláveis* ..... *36*

4.15.1. Vantagens do processo de triagem e reciclagem ..... 36

4.15.2. Informações do projeto ..... 37

4.15.2.1. Sistemas da unidade de triagem ..... 38

*4.16. Unidade de tratamento de resíduo sólidos de serviço de saúde – UTRSSS* ..... *40*

4.16.1. Acondicionamento ..... 40

4.16.2. Transporte ..... 41

4.16.3. Unidade de tratamento de RSSS ..... 41

4.16.4. Descrição da autoclave ..... 44

4.16.4.1. Objeto ..... 44

4.16.4.2. Produção ..... 44

4.16.4.3. Características básicas de cálculo e fabricação da Autoclave ..... 44

4.16.4.4. Sistemas de segurança ..... 45

4.16.5. Operação do sistema de esterilização ..... 46

*4.17. Estação de Tratamento de Efluentes* ..... *47*

4.17.1. Introdução ..... 47

4.17.2. Rota Tecnológica ..... 49

4.17.2.1. Fluxo de processo ..... 49

4.17.2.2. Equalização ..... 49

4.17.2.3. Precipitação Química ..... 50

4.17.2.4. Stripping de amônia ..... 50

4.17.2.5. Lodos ativados ..... 52

4.17.2.6. Filtração e adsorção ..... 54

4.17.2.7. Deságue de lodo / destinação de lodo ..... 55

4.17.3. Projeto Conceitual ..... 55

4.17.3.1. Controles operacionais ..... 57

4.17.3.2. Efluente tratado ..... 57

4.17.3.3. Condições e padrão de lançamento ..... 58

4.17.3.4. Corpo d'água próximo à área analisada ..... 58

4.17.3.5. Bacia de Contribuição ..... 59

4.17.3.6. Regionalização hidrológica ..... 60
4.17.3.7. Qualidade das águas ..... 61
4.17.3.8. Considerações do lançamento do efluente tratado ..... 61

**5. MEMORIAL DE CÁLCULO ..... 61**

*5.1. Introdução ..... 61*

*5.2. Análises de Estabilidade ..... 62*
5.2.1. Caracterização dos materiais ..... 62
5.2.2. Geometria ..... 62
5.2.3. Metodologia de cálculo ..... 65
5.2.4. Poropressões ..... 65
5.2.5. Resultados das análises ..... 65

*5.3. Terraplenagem ..... 67*

*5.4. Estimativa de Geração de Percolados / Lixiviados ..... 68*
5.4.1. Método Suíço ..... 68
5.4.2. Método Racional ..... 70
5.4.4. Comparativo das estimativas de geração de percolados / lixiviados ..... 73

*5.5. Sistema de drenagem de percolados / lixiviados ..... 73*
5.5.1. Verificação da capacidade do tubo da base do aterro ..... 74
5.5.2. Verificação dos drenos em meio poroso ..... 75
5.5.3. Verificação dos tubos de lançamento nas lagoas ..... 77
5.5.4. Cálculo do Sistema de Armazenamento de Lixiviados ..... 78

*5.6. Sistema de drenagem superficial ..... 78*
5.6.1. Concepção do sistema ..... 78
5.6.1.1. Canaleta de berma ..... 79
5.6.1.2. Descida d'água ..... 80
5.6.1.3. Travessias de bermas e viários ..... 81
5.6.1.4. Canaleta de contorno ..... 82
5.6.2. Estudos hidrológicos ..... 82
5.6.2.1. Intensidade de chuva crítica ..... 83
5.6.2.2. Análise das vazões de pico da bacia ..... 84
5.6.3. Dimensionamento hidráulico dos elementos do sistema de drenagem superficial ..... 86
5.6.3.1. Canaletas de berma provisória ..... 87

5.6.3.2. Canaletas de berma definitiva ..... 88
5.6.3.3. Descida d'água provisória em geomembrana ..... 89
5.6.3.4. Descida d'água definitiva ..... 90
5.6.3.5. Travessia de berma e viários com tubulação de concreto ..... 90
5.6.3.6. Canaletas de contorno retangular ..... 91

**6. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS ..... 92**

*6.1. Limpeza do Terreno ..... 92*

*6.2. Sistema de controle da entrada dos caminhões ..... 92*

*6.3. Implantação dos acessos ..... 92*

6.3.1. Corte de meia encosta para abertura de acessos provisórios e definitivos ..... 93

*6.4. Sistema de impermeabilização de base ..... 94*

*6.5. Sistema de drenagem de lixiviados ..... 95*

6.5.1. Dreno Principal e secundário ..... 96
6.5.2. Dreno de camadas ..... 96

*6.6. Tubos de lançamento nas lagoas ..... 97*

*6.7. Sistema de drenagem superficial ..... 97*

6.7.1. Geomembrana de PEAD ..... 97
6.7.2. Canaleta meia cana ..... 98
6.7.3. Tubos de travessia de berma ..... 98
6.7.4. Gabião tipo colchão ..... 99
6.7.5. Geotêxtil não tecido ..... 100

*6.8. Cobertura diária e definitiva ..... 101*

*6.9. Cobertura temporária ..... 101*

**7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 102**

**ANEXO 1 – BOLETIM DE SONDAGENS ..... 104**

**ANEXO 2 –PLANILHAS DE QUANTIDADES ..... 105**

**ANEXO 03 – LISTA DE DESENHOS ..... 107**

**ANEXO 04 - ART ..... 109**

# LISTA FIGURAS

FIGURA 1. DIVISAS DA CIDADE DE SÃO MATEUS (EXTRAÍDO E ADAPTADO DE WIKIPEDIA). ..... 12

FIGURA 2. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO EM RELAÇÃO AO ENTORNO (ADAPTADO DE GOOGLE EARTH). ..... 13

FIGURA 3. IMAGEM DE SATÉLITE DO LOCAL A SER EXECUTADO O EMPREENDIMENTO (ADAPTADO DE GOOGLE EARTH). ..... 13

FIGURA 4. UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL DA REGIÃO DO EMPREENDIMENTO (FONTE: EXTRAÍDO E ADAPTADO DO MAPA DE GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO - CPRM, 2010). .... 16

FIGURA 5. UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA DA REGIÃO DO EMPREENDIMENTO (FONTE: EXTRAÍDO E ADAPTADO DO MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO - CPRM, 2018). ..... 17

FIGURA 6. SOLOS DA REGIÃO DO EMPREENDIMENTO (FONTE: EXTRAÍDO E ADAPTADO DO MAPA DE RECONHECIMENTO DE SOLOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – 2016). ..... 19

FIGURA 7. LOCAÇÃO DAS SONDAGENS (GOOGLE EARTH). ..... 20

FIGURA 8. CROQUI TERRAPLANAGEM. ..... 27

FIGURA 9. GEOMETRIA DO DIQUE DE PARTIDA ..... 28

FIGURA 10. SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE ..... 29

FIGURA 11. DRENO PRINCIPAL DA DRENAGEM DE BASE. ..... 30

FIGURA 12. DRENO SECUNDÁRIO DA DRENAGEM DA BASE. ..... 30

FIGURA 13. DRENO DAS CAMADAS. ..... 31

FIGURA 14. DRENO VERTICAL DO ATERRO. ..... 32

FIGURA 15. GEOMETRIA DOS TALUDES DO ATERRO. ..... 33

FIGURA 16. LAYOUT FINAL PROPOSTO DO ATERRO SANITÁRIO. ..... 33

FIGURA 17. LAYOUT DA USINA DE TRIAGEM DE MATERIAL RECICLÁVEL. ..... 37

FIGURA 18. ESTEIRA TRANSPORTADORA ..... 39

FIGURA 19. AUTOCLAVE OPERADA PELO GRUPO SOLVI. ..... 40

FIGURA 20. LAYOUT GERAL. ..... 43

FIGURA 21. VISTA FRONTAL DE UMA AUTOCLAVE. ..... 44

FIGURA 22. EXEMPLO DE CARRINHO QUE FARÁ O ACONDICIONAMENTO DE RSSS NO INTERIOR DA AUTOCLAVE. ..... 45

FIGURA 23. ETE DA UVS MINAS DO LEÃO – RS. ..... 48

FIGURA 24. ETE NA UVS RESÍDUO ZERO – GO. ..... 48

FIGURA 25. SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES E PROCESSOS PROPOSTOS PARA O SISTEMA DE TRATAMENTO. ..... 49

FIGURA 26. MÓDULO DE STRIPPING DE AMÔNIA NO ATERRO DO GRUPO SOLVÍ CRVR MINAS DO LEÃO/ RS. ..... 51

FIGURA 27. MÓDULO DE STRIPPING DE AMÔNIA NO ATERRO DO GRUPO SOLVÍ RESÍDUO ZERO GUAPÓ/GO. ..... 52

FIGURA 28. REATOR DE LODOS ATIVADOS NO ATERRO DO GRUPO SOLVÍ ESSENCIS JOINVILLE/SC ..... 53

FIGURA 29. REATOR DE LODOS ATIVADOS NO ATERRO DO GRUPO SOLVÍ RESÍDUO ZERO GUAPÓ/GO . .. 53

FIGURA 30. LOCALIZAÇÃO DA ETE NO ATERRO DE SÃO MATEUS. ..... 56

FIGURA 31. ÁREA ANALISADA E CARTA TOPOGRÁFICA DO IBGE 1:100.000. ..... 59

FIGURA 32. BACIA DE CONTRIBUIÇÃO E PONTO PROPOSTA PARA LANÇAMENTO DO EFLUENTE. ..... 60

FIGURA 33. DETALHE DAS SEÇÕES DE ESTABILIDADE NA CONFORMAÇÃO FINAL DO ATERRO. ..... 63

FIGURA 34. GEOMETRIA REFERENTE ÀS SEÇÕES DE ESTABILIDADE. ..... 64

FIGURA 35. ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL PARA A SEÇÃO DE ESTABILIDADE 01. ..... 66

FIGURA 36. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA FUNDAÇÃO PARA A SEÇÃO DE ESTABILIDADE 01. ..... 66

FIGURA 38. ANÁLISE DE ESTABILIDADE PELA INTERFACE CONSIDERANDO GEOMEMBRANA TEXTURIZADA PARA A SEÇÃO DE ESTABILIDADE 01. ..... 67

FIGURA 39. SEÇÕES DE ESCAVAÇÃO DO ATERRO. ..... 67

FIGURA 40. FLUXOGRAMA DOS ELEMENTOS DE DRENAGEM NO ATERRO. ..... 79

FIGURA 41. CANALETA DE BERMA EM BICA CORRIDA. ..... 79

FIGURA 42. CANALETA DE BERMA TIPO MEIA CANA DE CONCRETO. ..... 80

FIGURA 43. DESCIDA D'ÁGUA PROVISÓRIA. ..... 80

FIGURA 44. DESCIDA D'ÁGUA EM GABIÃO COLCHÃO ..... 81

FIGURA 45. TRAVESSIA DE BERMA E VIÁRIOS. ..... 81

FIGURA 46. CANALETA DE CONTORNO. ..... 82

FIGURA 47. COEFICIENTES PARA A EQUAÇÃO DE CHUVA DE LUIZ ALVES (BLUMENAU). ..... 83

FIGURA 48. CROQUI DAS ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO FINAL. ..... 85

FIGURA 49. CORTE DE MEIA ENCOSTA. ..... 94

# LISTA TABELAS

**TABELA 1.** RESUMO DAS SONDAGENS. ..... 21

**TABELA 2**. ENSAIOS DE PERMEABILIDADE EXECUTADOS. ..... 22

**TABELA 3**. DADOS HISTÓRICOS DE PRECIPITAÇÃO CIDADE SÃO MATEUS (INMET). ..... 23

**TABELA 4.** DADOS PRECIPITAÇÃO CIDADE SÃO MATEUS (*WWW.CLIMATEMPO.COM.BR*). ..... 23

**TABELA 5**. DADOS DE TEMPERATURAS MÉDIAS INMET. ..... 24

**TABELA 6**. DADOS DE TEMPERATURAS MÉDIAS DO SITE *WWW.CLIMATEMPO.COM.BR*. ..... 24

**TABELA 7**. PARÂMETROS ADOTADOS PARA AS ANÁLISES. ..... 62

**TABELA 8.** VALORES DE K PARA MÉTODO SUÍÇO (ROCCA *E AL.*, 1981). ..... 69

**TABELA 9.** VAZÕES OBTIDAS PELO MÉTODO SUÍÇO. ..... 70

**TABELA 10.** COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (CETESB, 1979). ..... 71

**TABELA 11.** CÁLCULO DE P-ES-EP. ..... 71

**TABELA 12.**VAZÕES OBTIDAS PELO MÉTODO RACIONAL. ..... 72

**TABELA 13.** CÁLCULO DO MAIOR EXCEDENTE HÍDRICO. ..... 72

**TABELA 14.** VAZÕES OBTIDAS PELO MÉTODO DE MAIOR EXCEDENTE HÍDRICO. ..... 73

**TABELA 15.** COMPARATIVO DAS ESTIMATIVAS DE VAZÃO PERCOLADO. ..... 73

**TABELA 16**. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PARA MATERIAIS DRENANTES. ..... 74

**TABELA 17**. VALORES DE RH (RAIO HIDRÁULICO) PARA BRITAS. ..... 74

**TABELA 18**. DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DOS TUBOS DOS DRENOS PRINCIPAIS. ..... 75

**TABELA 19.** CAPACIDADE DA VAZÃO DO MEIO POROSO DO DRENO PRINCIPAL. ..... 76

**TABELA 20.** CAPACIDADE DA VAZÃO DO MEIO POROSO DO DRENO SECUNDÁRIO. ..... 76

**TABELA 21.** CAPACIDADE DA VAZÃO DO MEIO POROSO DO DRENO DE CAMADA. ..... 77

TABELA 22. DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO TUBO DE CONDUÇÃO PARA A LAGOA. .. 77

TABELA 23. COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (C) (CETESB, 1979). ..... 84

TABELA 24. QUANTIFICAÇÃO DAS VAZÕES. ..... 85

TABELA 25. VELOCIDADE MÁXIMA DE ESCOAMENTO (*PORTO, 1998*). ..... 87

TABELA 26. RESULTADO DO DIMENSIONAMENTO DAS CANALETAS DE BERMA PROVISÓRIA. ..... 88

TABELA 27. DIMENSIONAMENTO DA CANALETA DE BERMA DEFINITIVA. ..... 88

TABELA 28. DIMENSIONAMENTO DA DESCIDA D'ÁGUA PROVISÓRIA. ..... 90

TABELA 29. DIMENSIONAMENTO DA DESCIDA D'ÁGUA DEFINITIVA. ..... 90

TABELA 30. DIMENSIONAMENTO DO TUBO DAS TRAVESSIAS DE BERMA E VIÁRIOS. ..... 91

TABELA 31. DIMENSIONAMENTO DAS CANALETAS DE CONTORNO. ..... 92

TABELA 32. ESPECIFICAÇÕES DA GEOMEMBRANA PEAD 2,0 MM TEXTURIZADA. ..... 95

TABELA 33. ESPECIFICAÇÕES DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO DE 400 G/M². ..... 95

TABELA 34. FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DO MATERIAL DE ENCHIMENTO. ..... 96

TABELA 35. ESPECIFICAÇÕES DA GEOMEMBRANA PEAD 1 MM. ..... 98

TABELA 36. ESPECIFICAÇÕES DA MALHA DO GABIÃO COLCHÃO ..... 99

TABELA 37. FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DO MATERIAL DE ENCHIMENTO. ..... 100

TABELA 38. ESPECIFICAÇÕES DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO DE 300 G/M². ..... 100

# 1. APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta o relatório técnico referente ao Projeto Básico para a execução de um aterro sanitário na cidade de São Mateus/ES.

O projeto foi desenvolvido baseado nos critérios tecnológicos mais avançados disponíveis atualmente, aplicando as normas específicas que visa minimizar os impactos ambientais, com a impermeabilização adequada da área e a drenagem de gás e lixiviados. A seguir será apresentado a concepção do sistema proposto para a este aterro.

# 2. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

## *2.1. Localização*

São Mateus é um município brasileiro do estado do Espírito Santo que está localizado a uma latitude 18° 42′ 58″ Sul e uma longitude 39° 51′ 21″ Oeste, estando a uma altitude aproximada de 36 metros. Sua população estimada em 2021 é de 134.629 habitantes de acordo com dados do *IBGE* (população do último censo de 2010 é de 109.028 pessoas).

O município de São Mateus situa-se no nordeste da região Sudeste do Brasil, na Mesorregião Litoral Norte Espírito-Santense que tem aproximadamente 498.000 habitantes e Microrregião de São Mateus que tem uma população aproximada de 174.000 habitantes, distando 64 km da divisa com a Bahia e a 220 km da capital do estado Vitória. São Mateus faz divisa com seguintes municípios e oceano:

- Norte: Boa Esperança, Pinheiros e Conceição da Barra;
- Sul: São Gabriel da Palha, Vila Valério, Jaguaré e Linhares;
- Leste: Oceano Atlântico;
- Oeste: Nova Venécia.

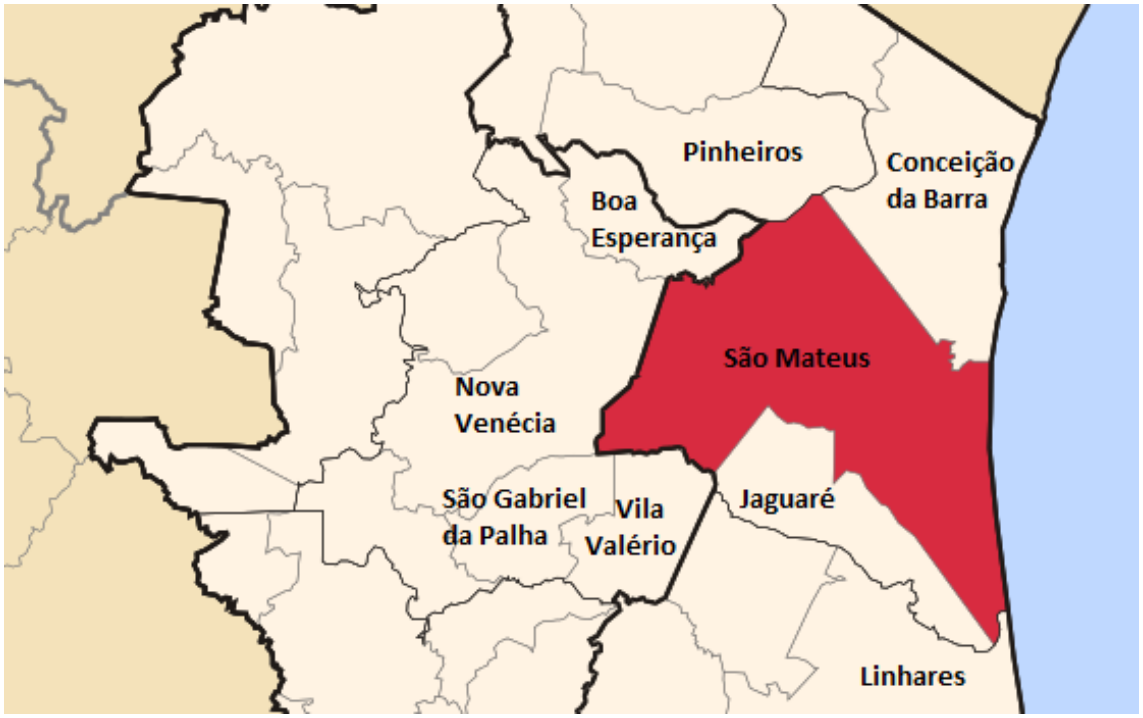



**Figura 1.** Divisas da cidade de São Mateus (extraído e adaptado de Wikipedia).

A área onde será instalado o Aterro de São Mateus localiza-se a Oeste do município, as margens da rodovia ES-381, a aproximadamente a 6 km da região central do município.

Na imagem de satélite retirado do Google Earth, **Figura 2**, podem-se visualizar a localização do empreendimento em relação ao entorno. A **Figura 3** apresenta a imagem da região do empreendimento, bem como o seu acesso, que é feito diretamente através da ES-381.

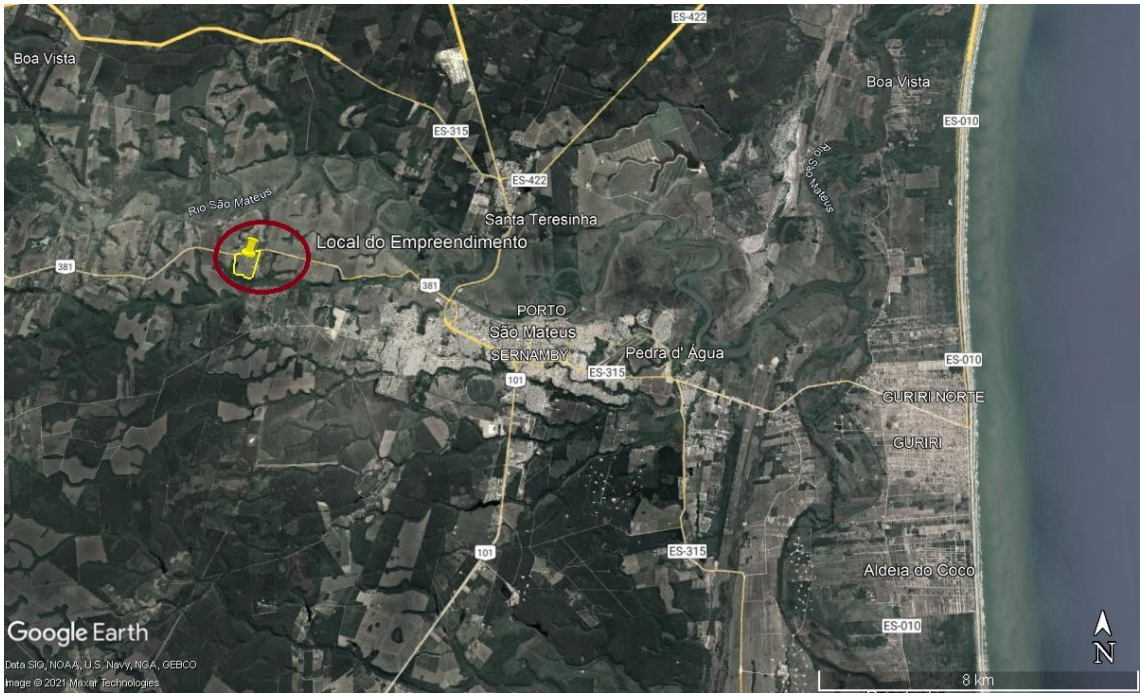



Figura 2. Localização do empreendimento em relação ao entorno (adaptado de Google Earth).

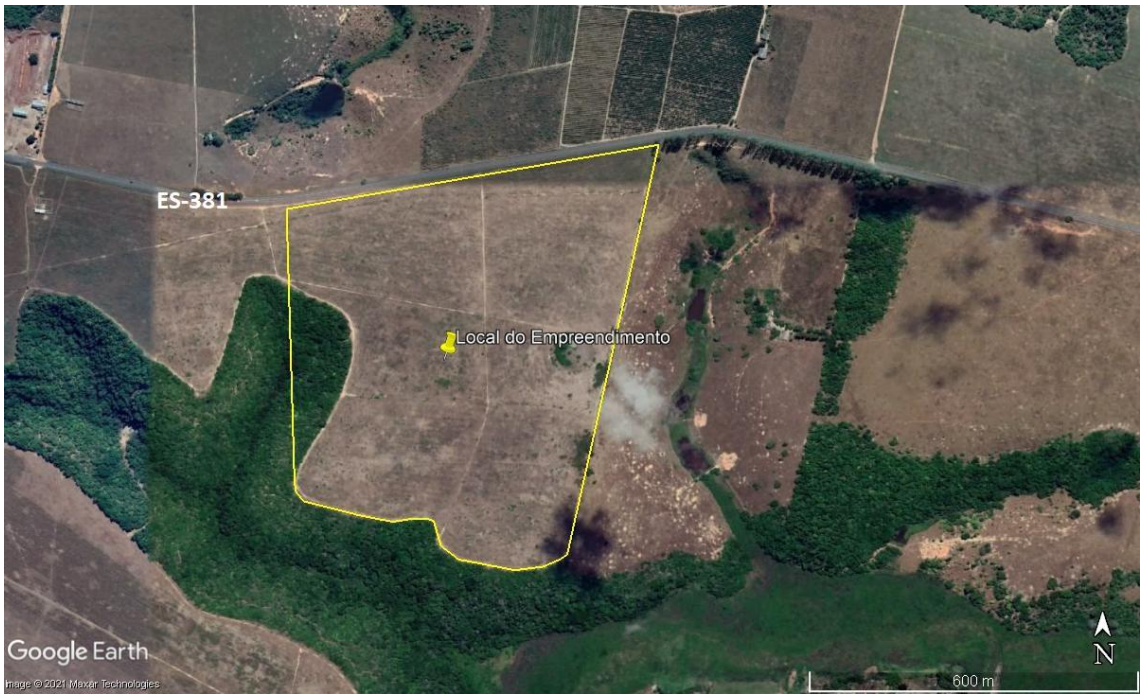



Figura 3. Imagem de satélite do local a ser executado o empreendimento (adaptado de Google Earth).

### *2.2. Recebimento de resíduos*

O aterro sanitário da São Mateus tem previsão de receber 400 toneladas/dia de resíduo, durante 6 dias por semana, totalizando aproximadamente 125.000 toneladas/ano de resíduos.

Os materiais que serão dispostos no aterro sanitário são oriundos de resíduos domésticos da mesorregião do litoral Norte Espírito-Santense e estão enquadrados na Classe IIA – resíduos não inertes e Classe IIB – resíduos inertes.

### *2.3. Contexto geomorfológico*

De acordo com o Mapa de Geodiversidade do Estado do Espírito Santo (CPRM, 2010), o empreendimento será implantado em área com transição de dois domínios geológicos ambientais, o primeiro e predominante na região é o domínio geológico ambiental dos sedimentos cenozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a tabuleiros.

Este domínio é presente de forma bem expressiva no sudeste e norte do Estado, e compreende terrenos formados por processos antigos de deposição. Correspondem ao empilhamento irregular de camadas de diversas espessuras, depositadas e acumuladas em pequenas e grandes bacias sedimentares em ambientes que podem variar desde continental (fluvial e o lacustrino) até o ambiente marinho.

A unidade geológico-ambiental que compreende esse domínio é composta por materiais inconsolidados a pouco consolidados constituídos por arenitos conglomeráticos e argilitos arenosos. De forma secundária ocorrem horizontes de canga laterítica, formações ferruginosas e aluminosas endurecidas, formando uma capa dura, resistente ao intemperismo físico e químico e aos agentes erosivos.

Também segundo o mapa de geodiversidade essa unidade geológico ambiental é a número 6.b, com alternância irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho). A principal característica desse domínio é o empilhamento de camadas com características geomecânicas e hidráulicas muito contrastantes verticalmente.

Tal aspecto se traduz em mudança brusca de comportamento de uma camada para outra. De maneira geral, apresenta boa capacidade de suporte para instalação de obras de médio porte e resistência ao corte e a penetração variável. Em função das características dos materiais aflorantes podem ocorrer locais com predomínio de materiais maciço e rijo

de difícil escavação e perfuração como os sedimentos síltico-argilosos e locais com materiais com baixo grau de consolidação facilmente escaváveis e perfuráveis por sondagem como os sedimentos arenosos.

A suscetibilidade a ocorrência de movimentos de massa e processos erosivos é variável. De maneira geral taludes de corte executados em pacotes enriquecidos em materiais siltico-argilosos apresentam muito boa estabilidade natural, já taludes de corte em materiais arenosos apresentam maior suscetibilidade a ação de processos erosivos.

O segundo domínio presente na região do empreendimento é o domínio geológico ambiental dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso. De ocorrência significativa junto ao litoral norte capixaba esse domínio compreende terrenos geologicamente novos, em processo de construção.

Correspondem a áreas baixas, onde atuam processos agradacionais, caracterizados pela deposição e acumulação de materiais transportados por rios e depositados junto à faixa costeira pela ação de rios, lagoas e mar. As unidades geológico-ambientais presentes nesse domínio são compostas por materiais inconsolidados a semiconsolidados, de espessura variável, com granulometria crescente da base para o topo. São constituídas por cascalho, areia, silte e argila, com ocorrência localizada de matéria orgânica.

Segundo o mapa de geodiversidade essa unidade geológico ambiental é a número 1.a, são compostos por ambiente de planícies aluvionares recentes, material inconsolidado e de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila. A principal característica das unidades que constituem esse domínio é o empilhamento irregular de camadas horizontais, com constituições e espessuras variadas.

Tal irregularidade influência de forma mais negativa que positiva a execução de obras, pois reflete um comportamento hidráulico e geomecânico muito contrastante. Como características geotécnicas importantes, destacam-se os materiais pouco consolidados o que lhes confere baixa capacidade de suporte para obras de médio a grande porte. Nesta unidade a existência de camadas de cascalhos de rochas duras e abrasivas dificulta a execução de sondagens rotativas e a percussão.

Em função da variabilidade de características granulométricas e mineralógicas, essas litologias apresentam comportamento geomecânico muito irregular. Camadas ricas em areia são muito friáveis e suscetíveis a processos erosivos, em especial durante a execução de escavações e/ou exposição de taludes de corte. Camadas mais enriquecidas em argila exibem menor suscetibilidade a ação desses processos.

O relevo plano a quase plano e as declividades muito baixas e/ou pouco significativas favorecem o afloramento do lençol freático e/ou sua ocorrência a baixas profundidades,

podendo gerar problemas para obras com escavações subterrâneas. De maneira geral, constituem áreas sujeitas a rápido alagamento e empoçamento, os quais podem apresentar longo tempo de duração. As características do relevo conferem a esta unidade alta suscetibilidade a ocorrência de enchentes e inundações.

A figura a seguir apresenta a unidade geológico-ambiental do local do empreendimento de acordo com o mapa da geodiversidade do Estado do Espírito Santo.

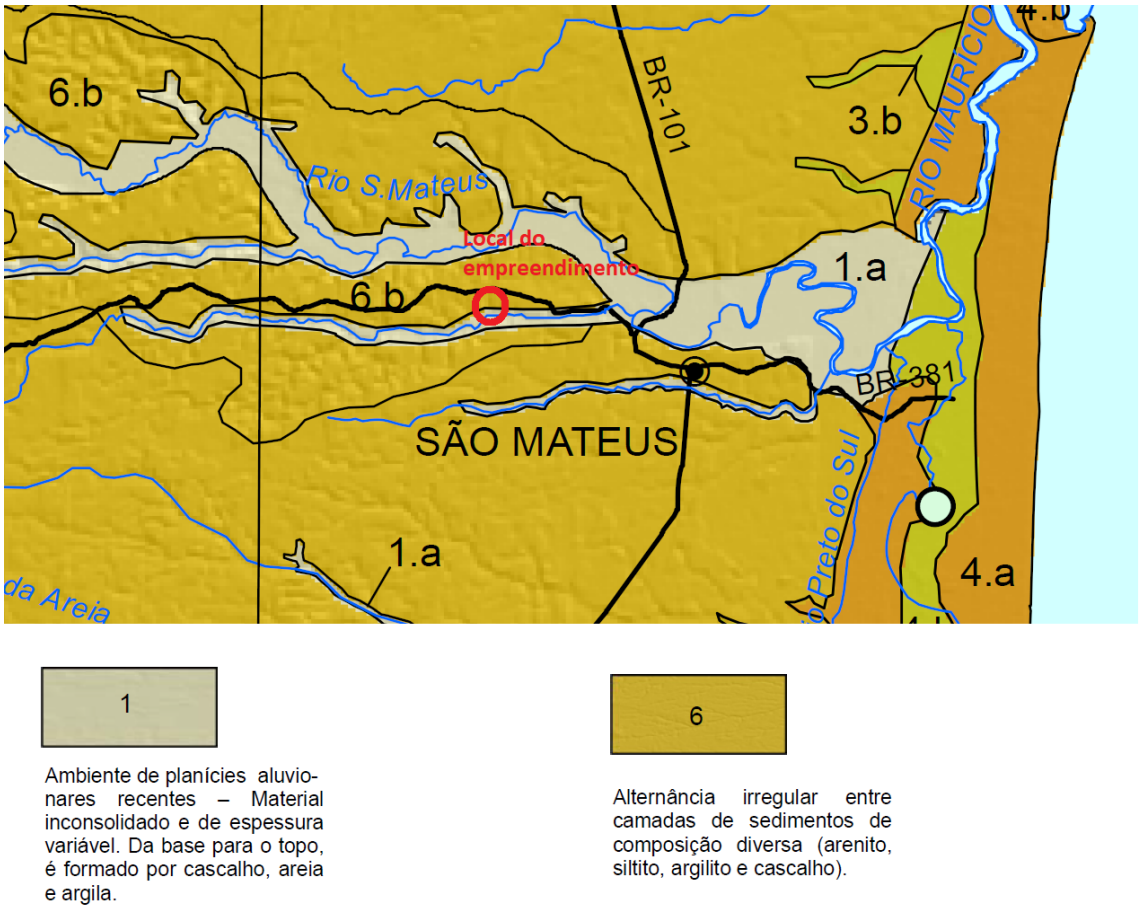



**Figura 4.** Unidade geológico-ambiental da região do empreendimento (Fonte: Extraído e adaptado do Mapa de Geodiversidade do Estado do Espírito Santo - CPRM, 2010).

### *2.4. Contexto geológico e geotécnico local*

De acordo com o Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo (CPRM, 2018), a área de interesse está inserida área de transição das unidades litoestratigráficas da Bacia do

Espírito Santo Formação Rio Doce – Eges e da unidade de depósitos aluviais e coluviais indiferenciados – Q12ca (**Figura 5**).

A Bacia do Espírito Santo e Formação Rio doce tem cobertura superficial de arenito, branco, feldspático, conglomerático e argilito, intercalados com ignimbritos e rochas piroclásticas de composição riolítica a dacítica. Observa-se um "mixing" na base da Formação Rio Doce com vulcânicas ignimbríticas da Formação Abrolhos, correspondendo a uma extensão do vulcanismo de Abrolhos onshore.

Já os depósitos aluviais e coluviais indiferenciados são compostos superficialmente por sedimentos argilo-arenosos encontrados nos vales, frequentemente acima do limite atingido pela penúltima transgressão.

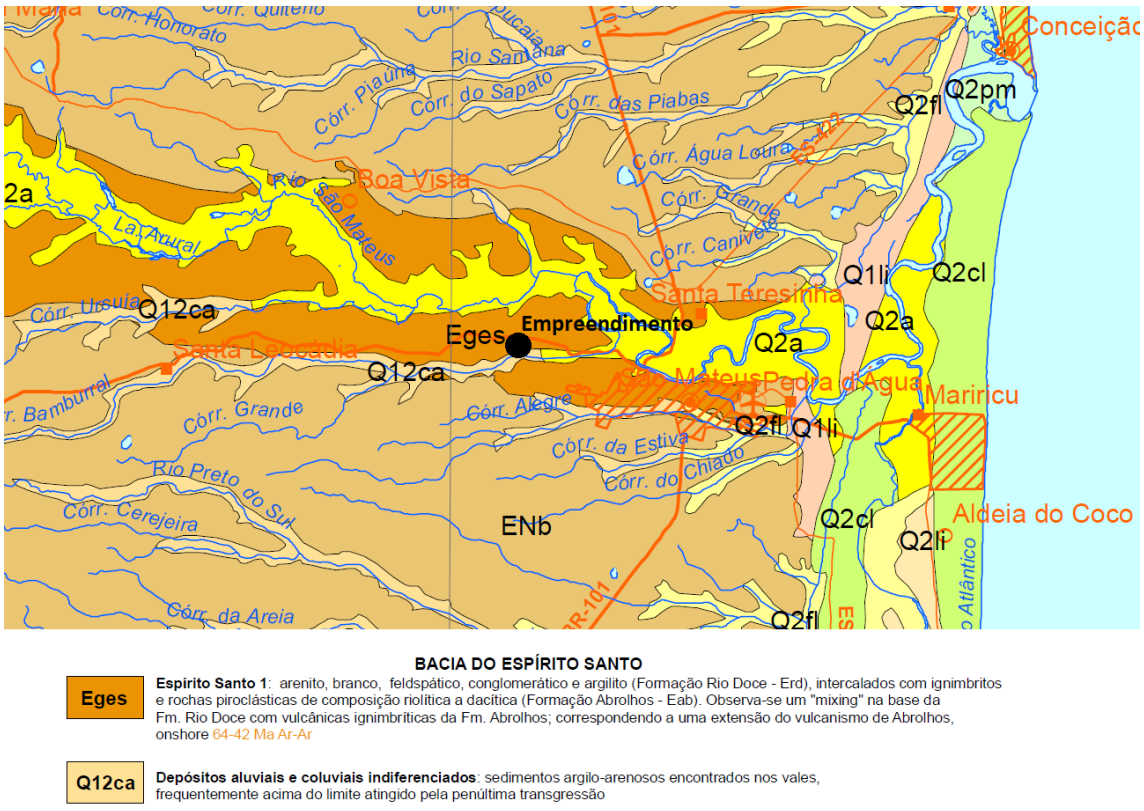



**Figura 5.** Unidade litoestratigráfica da região do empreendimento (Fonte: Extraído e adaptado do Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo - CPRM, 2018).

Ainda, segundo o sistema de geociência do Serviço geológico do Brasil – CPRM retirado do portal da GeoSGB, a região do empreendimento, unidade Eges na figura acima, tem predomínio de camadas horizontais de arenito conglomerático com matriz caolínica,

contendo lentes e lençóis de conglomerado e brecha, ricos em seixos e grânulos de quartzo e/ou feldspato, e intercalações de argilito caolínico silto-arenoso, siltito, arenito caolínico, arenito argiloso, arenito ferruginoso e argiloso friável e diamictito.

Podem apresentar horizontes e/ou colunas de oxi-redução e/ou canga em que assumem cores variegadas (branca, vermelha e roxa), arenitos argilosos de tonalidade variegada (amarelada, avermelhada e esverdeada), matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, ferruginoso e, às vezes, silicoso com granulação fina a média, com leitos conglomeráticos e nódulos lateríticos na base (pode-se encontrar, no topo, areias sílticas bem classificadas), e também sistema fluvial com esporádicas corridas de lamas.

A unidade de depósitos aluviais e coluviais é composta de depósitos de cascalhos, areia e siltes inconsolidados, com sedimentos pelíticos subordinados exibindo estratificações variadas. São relacionados a fluxos gravitacionais e aluviais de transporte de material de alteração das vertentes.

Segundo dados do Mapa de Reconhecimento de Solos do Estado do Espírito Santo (2016) o empreendimento está inserido numa região com solo tipo Latossolo Amarelo (Figura 6).

Segundo a EMBRAPA os latossolos amarelos são solos desenvolvidos de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares. A cor amarelada é uniforme em profundidade, o mesmo ocorrendo com o teor de argila. A textura mais comum é a argilosa ou muito argilosa. Outro aspecto de campo refere-se à elevada coesão dos agregados estruturais (solos coesos). Apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade. Observando-se a paisagem, nota-se sua ocorrência no relevo plano ou suavemente ondulado, não favorecendo a erosão, mas os problemas de compactação limitam a utilização deste solo.

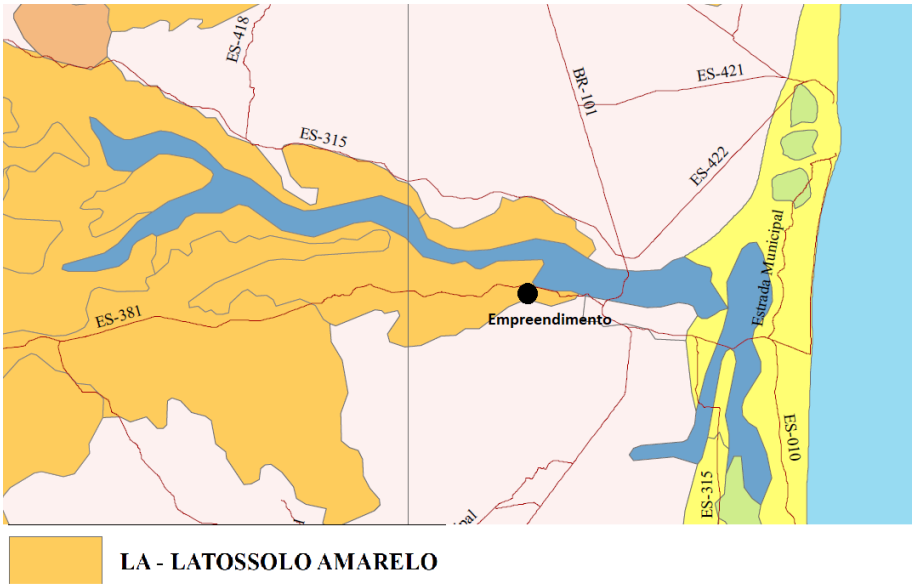



Figura 6. Solos da região do empreendimento (Fonte: Extraído e adaptado do Mapa de Reconhecimento de Solos do Estado do Espírito Santo – 2016).

Destaca que as camadas endurecidas observadas em Latossolos Amarelos dos tabuleiros costeiros do Espírito Santo variam de poucos centímetros até cerca de 2 metros e que sua ocorrência se deve ao entulhamento de partículas (argilas) oriundas dos horizontes superiores, as quais preencheriam poros (macro e micro), aumentando a densidade aparente tornando a camada muito coesa e compacta. Destaca, ainda, que os menores teores de ferro normalmente observados na camada endurecida poderiam contribuir para uma maior coesão. Como os latossolos amarelos apresentam baixas quantidades de óxidos de ferro e de alumínio, o ajuste face a face das partículas de caulinita seria favorecido, e responsável pelo seu endurecimento quando seco. As moléculas de água entrando entre as partículas de argila orientadas, reduziriam a coesão e os solos tornam-se friáveis.

Para a caracterização do subsolo local foram executadas 10 sondagens de simples reconhecimento com realização de ensaios SPT executadas pela empresa Parâmetro Ambiental - Consultoria Ambiental, Topografia e Sondagem em novembro e dezembro de 2019.

A Figura 7 a seguir apresenta a localização das sondagens executadas na área. A Tabela 1 detalha as camadas de solo transpassadas por cada sondagem, assim como os seus índices SPT. Os perfis completos das sondagens SPT poderão ser observados em anexo.




Figura 7. Locação das Sondagens (Google Earth).

O solo predominante em toda a extensão do empreendimento é bastante homogêneo, com predominância de argilas variando de pouco a muito arenosas. Aparecem em algumas sondagens uma argila silto arenosa e algumas passagens de areias argilosas.

De maneira geral a resistência a penetração aumenta conforme aumenta a profundidade das camadas e a consistência destas argilas variam entre mole a dura. O nível d'água encontrado em todas as sondagens ficam acima de 12,9 m de profundidade.

Nesta campanha de sondagem foram realizados 2 ensaios de permeabilidade para os solos acima do nível do lençol freático, ambos na camada de argila arenosa. Os 2 pontos amostrados e seus resultados se encontram descritos na Tabela 2.

Tabela 1. Resumo das sondagens.

| RESUMO DO NSPT | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Prof. (m) | SP 01 | SP 02 | SP 03 | SP 04 | SP 05 | SP 06 | SP 07 | SP 08 | SP 09 | SP 10 |
| 1,0 | 3 | 4 | 4 | 10 | 6 | 9 | 5 | 4 | 9 | 7 |
| 2,0 | 4 | 2 | 3 | 6 | 8 | 10 | 7 | 7 | 7 | 9 |
| 3,0 | 5 | 4 | 2 | 16 | 7 | 9 | 8 | 8 | 8 | 15 |
| 4,0 | 9 | 5 | 4 | 17 | 9 | 15 | 27 | 20 | 16 | 18 |
| 5,0 | 9 | 6 | 5 | 19 | 10 | 18 | 35 | 24 | 32 | 25 |
| 6,0 | 12 | 5 | 6 | 17 | 15 | 21 | 29 | 32 | 31 | 31 |
| 7,0 | 8 | 12 | 8 | 19 | 25 | 14 | 20 | 36 | 25 | 35 |
| 8,0 | 9 | 14 | 12 | 22 | 28 | 14 | 23 | 16 | 18 | 22 |
| 9,0 | 16 | 16 | 14 | 27 | 24 | 18 | 19 | 16 | 19 | 18 |
| 10,0 | 24 | 18 | 29 | 15 | 20 | 19 | 22 | 21 | 21 | 19 |
| 11,0 | 22 | 21 | 31 | 16 | 19 | 30 | 20 | 30 | 21 | 22 |
| 12,0 | 18 | 24 | 25 | 24 | 21 | 36 | 34 | 44 | 31 | 30 |
| 13,0 | 24 | 19 | 26 | 25 | 21 | 38 | 27 | 46 | 23 | 33 |
| 14,0 | 21 | 17 | 20 | 30 | 29 | 37 | 29 | 22 | 16 | 25 |
| 15,0 | 20 | 32 | 23 | 28 | 35 | 32 | 38 | 24 | 18 | 28 |
| 16,0 | 26 | 41 | 27 | 25 | 43 | 34 | 32 | 24 | 27 | 33 |
| 17,0 | 28 | 43 | 30 | 18 | 48 | 33 | 33 | 33 | 27 | 41 |
| 18,0 | 28 | 16 | 34 | 18 | 38/22 | 33 | 33 | 44 | 23 | 34 |
| 19,0 | 32 | 14 | 43 | 18 | 49 | 41 | 37 | 48 | 15 | 40 |
| 20,0 | 41 | 22 | 38 | 24 | 38/20 | 43 | 34 | 49 | 16 | 44 |
| 21,0 | 41 | | | 27 | | 40 | 39 | 41/27 | 16 | 41 |
| 22,0 | 44 | | | 34 | | 44 | 32 | | 24 | |
| 23,0 | | | | 36 | | 44 | 42 | | 31 | |
| 24,0 | | | | | | | | | 48 | |
| 25,0 | | | | | | | | | 43 | |
| 26,0 | | | | | | | | | 45 | |
| N.A | 13,10 | 12,90 | 12,70 | 14,00 | 17,70 | 13,20 | 17,50 | 18,50 | 18,30 | 16,80 |
| COMP. TOTAL (m) | 22,45 | 20,45 | 20,45 | 23,45 | 20,35 | 23,45 | 23,45 | 21,27 | 26,45 | 21,45 |

**LEGENDA**

- Argila muito arenosa cor variada
- Argila arenosa cor variada
- Argila pouco arenosa cor variada
- Argila silto arenosa cor variada
- Areia pouco argilosa cor variada
- Areia argilosa cor variada
- Areia cor variada

Tabela 2. Ensaios de Permeabilidade executados.

| Local do ensaio | Data | Profundidade Ensaiada (m) | OBS | K (cm/s) |
|---|---|---|---|---|
| SP 04 | 29/11/2019 | 4,0 a 5,0 | Acima NA | $4,44 \times 10^{-6}$ |
| SP 07 | 30/11/2019 | 4,0 a 5,0 | Acima NA | $9,64 \times 10^{-6}$ |

Conforme pode ser visto pela Tabela 2 é possível observar que nos resultados dos ensaios se verifica uma permeabilidade baixa a muito baixa, característica de solos argiloso misturados com arenosos. A ordem de grandeza da permeabilidade é de $10^{-6}$cm/s.

### *2.5. Clima*

O clima do município de São Mateus pode ser classificado pelo sistema internacional de *Köppen* (1984) com tropical quente superúmido (Aw – clima de savana), sendo que apresenta uma estação mais seca no inverno (Aw), onde o mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm e equivale a menos de 4% da precipitação anual total.

Em São Mateus a temperatura média anual está acima de 24 °C e tem uma pluviosidade média anual superior a 1.200 mm.

Para Pluviometria foram coletados os dados históricos dos anos de 2011 a 2021 da estação meteorológica convencional de São Mateus (código nº 83550) obtidas no portal do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Como comparação, também são apresentados os dados obtidos no site *da Clima Tempo (www.climatempo.com.br)* para a cidade de São Mateus, valore estes calculados a partir de uma série de 30 anos observados.

A Tabela 3 apresenta dados históricos de precipitação média mensal/anual no período do ano de janeiro de 2011 a outubro de 2021 do portal INMET para a estação convencional de São Mateus e Tabela 4 dados coletados no site *da clima tempo* também para a cidade de São Mateus.

Através dos dados do INMET, que são dados oficiais, podemos notar a precipitação média anual situa-se acima de 1.200 mm, sendo o período do inverno os meses mais secos, com precipitações média em torno de 70 mm, e novembro e dezembro os meses com as maiores precipitações, acima de 130 mm aproximadamente. A maior chuva registrada pela estação do INMET, para o período analisado, em um único mês foi de 344,0 mm em novembro de 2013 e a média geral dos meses foi de 100,3 mm.

Tabela 3. Dados históricos de precipitação cidade São Mateus (INMET).

| MESES | | DADOS PLUVIOMETRIA SÃO MATEUS (em mm) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | MÉDIA |
| JAN | 84,8 | 122,5 | 160,7 | 110,1 | 11,2 | 158,1 | 49,0 | 45,1 | 14,2 | 326,9 | 76,0 | **105,3** |
| FEV | 87,4 | 103,0 | 8,9 | 75,6 | 86,6 | 8,1 | 166,5 | 205,2 | 36,8 | 43,1 | 212,5 | **94,0** |
| MAR | 214,0 | 36,8 | 28,5 | 70,6 | 177,2 | 49,8 | 129,3 | 90,2 | 135,2 | 152,5 | 79,1 | **105,7** |
| ABR | 271,2 | 48,5 | 55,8 | 56,5 | 80,9 | 21,9 | 24,2 | 181,2 | 66,6 | 33,4 | 49,2 | **80,9** |
| MAI | 41,8 | 55,5 | 44,6 | 5,4 | 158,5 | 12,9 | 200,2 | 189,4 | 155,1 | 35,7 | 36,8 | **85,1** |
| JUN | 29,5 | 36,4 | 8,6 | 124,9 | 109,1 | 42,4 | 181,3 | 48,3 | 119,7 | 61,7 | 28,5 | **71,9** |
| JUL | 120,7 | 114,9 | 83,9 | 114,3 | 33,8 | 71,4 | 108,4 | 18,4 | 15,5 | 86,9 | 9,0 | **70,7** |
| AGO | 18,8 | 252,7 | 73,1 | 144,6 | 50,7 | 17,8 | 35,4 | 115,8 | 150,2 | 79,9 | 49,0 | **89,8** |
| SET | 33,8 | 42,1 | 48,0 | 32,5 | 6,9 | 30,6 | 89,1 | 30,2 | 43,5 | 49,8 | 37,2 | **40,3** |
| OUT | 213,3 | 51,7 | 93,8 | 255,7 | 29,0 | 59,3 | 12,1 | 151,1 | 197,1 | 174,2 | 189,0 | **129,7** |
| NOV | 193,8 | 265,6 | 344,0 | 71,0 | 20,9 | 217,6 | 122,8 | 238,9 | 297,7 | 136,4 | * | **190,9** |
| DEZ | 127,6 | 12,3 | 235,0 | 51,0 | 32,5 | 137,3 | 329,4 | 230,3 | 144,8 | 91,3 | * | **139,2** |
| TOTAL | **1.436,7** | **1.142,0** | **1.184,9** | **1.112,2** | **797,3** | **827,2** | **1.447,7** | **1.544,1** | **1.376,4** | **1.271,8** | **766,3** | **1.203,3** |

*Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).*

** Informação não fornecida.*

Tabela 4. Dados precipitação cidade São Mateus (*www.climatempo.com.br*).

| DADOS PLUVIOMETRIA SÃO MATEUS (em mm) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
| Meses | 125,0 | 83,0 | 150,0 | 118,0 | 77,0 | 58,0 | 69,0 | 55,0 | 82,0 | 120,0 | 189,0 | 160,0 |
| TOTAL | 1.286,0 | | | | | | | | | | | |

*Fonte: site do clima tempo.*

A Tabela 5 apresenta os dados de temperaturas médias de acordo com informações do *INMET* da estação convencional da cidade de São. Para efeito de comparação na Tabela 6 apresentamos as informações coletadas no site *Clima Tempo* também para a cidade de São Mateus.

Tabela 5. Dados de temperaturas médias INMET.

| Dados climatológicos INMET - Temperatura (°C) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| Máxima média recorde | 34,0 | 34,6 | 33,9 | 33,0 | 30,7 | 29,9 | 28,6 | 28,9 | 30,4 | 30,6 | 32,6 | 33,0 |
| máxima média | 32,2 | 32,7 | 32,6 | 31,3 | 29,6 | 28,9 | 27,8 | 27,8 | 29,0 | 29,6 | 30,0 | 31,4 |
| média | 26,5 | 26,8 | 26,7 | 25,5 | 23,6 | 23,1 | 22,1 | 22,2 | 23,2 | 24,0 | 25,1 | 26,3 |
| mínima média | 22,6 | 22,9 | 22,8 | 21,9 | 20,0 | 19,3 | 18,1 | 18,3 | 19,1 | 20,6 | 21,4 | 22,4 |
| mínima média recorde | 22,2 | 22,0 | 21,9 | 21,2 | 19,1 | 18,3 | 17,2 | 17,0 | 17,4 | 19,6 | 20,2 | 21,6 |

*Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).*

Tabela 6. Dados de temperaturas médias do site [www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br).

| Dados climatológicos - Temperatura (°C) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| Máxima média | 28,0 | 28,0 | 28,0 | 27,0 | 26,0 | 25,0 | 24,0 | 24,0 | 25,0 | 26,0 | 26,0 | 27,0 |
| média | 26,0 | 26,0 | 26,0 | 25,5 | 24,0 | 23,0 | 22,5 | 22,5 | 23,0 | 24,0 | 24,5 | 25,5 |
| Mínima média | 24,0 | 24,0 | 24,0 | 24,0 | 22,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 22,0 | 23,0 | 24,0 |

*Fonte: site do clima tempo.*

De acordo com os dados do Inmet, janeiro e fevereiro são os meses mais quentes do ano com uma temperatura média recordes acima de 34,0° C e julho e agosto os mais frios com médias próximas a 18° C. A temperatura possui uma média anual em torno dos 24,6° C e média mínima em julho é de 17° C. Para efeito de cálculo utilizaremos os dados do *INMET* que é um órgão oficial.

## 3. PREMISSAS

### *3.1. Introdução*

Com previsão para recebimento total de 400 toneladas/dia e 125.000 toneladas/ano toneladas/ano aproximadamente de Resíduos Classe IIA e IIB, o aterro irá ocupar uma

área aproximada de 17,4 ha de um total de 39 ha do empreendimento. O aterro será operado em duas fases, a primeira fase utilizando apenas a área a norte da linha de alta tensão existente e uma segunda fase unindo toda a área após a remoção e realocação desta linha. O empreendimento irá contar com uma infraestrutura básica para o gerenciamento e operação do aterro como portaria, laboratório, balança, administração, vestiários, unidade de triagem de materiais recicláveis, unidade de tratamento de resíduos sólidos de serviços de saúde (UTRSSS), estação de tratamento de efluentes (ETE) e equipamentos para a operação do aterro.

A capacidade volumétrica total deste aterro será de 4.190.118 m³ totalizando uma vida útil aproximada de 33,5 anos.

### *3.2. Premissas básicas*

As premissas básicas para o projeto de implantação deste aterro Sanitário são:

a) Terraplenagem;
b) Sistema de drenagem subsuperficial;
c) Sistema de impermeabilização da base;
d) Sistema de drenagem de lixiviados;
e) Geometria adequada para garantir a estabilidade geotécnica do maciço;
f) Sistema de cobertura e drenagens superficiais do maciço;
g) Plano para o monitoramento geotécnico.
h) Cortina vegetal / Cinturão verde

### *3.3. Medidas propostas*

O aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos evitando danos ou riscos à saúde pública e aos impactos ambientais.

Desta forma as Normas pertinentes para a implantação de aterros sanitários são:

- *NBR 8419/1992 – "Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos"* - determina os sistemas que devem compor o projeto de aterro sanitário;
- *NBR 13896/1997 – "Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação"* – determina condições mínimas para projeto, implantação e operação de aterros sanitários a fim de proteger os recursos hídricos superficiais e subterrâneas e os operadores a que estão em atividade.

Os sistemas que compões o projeto são divididos em componentes do aterro e atividades de operação do aterro. No que se refere aos componentes do aterro sanitário, serão dimensionados e detalhados no desenvolvimento deste projeto básico. No que se refere aos processos inerentes da operação, ficam a critério da evolução das atividades do aterro.

# 4. CONCEPÇÃO DE PROJETO

## *4.1. Introdução*

O aterro sanitário será implantado de forma a dar sequência no prosseguimento da operação da disposição final de resíduos Classe IIA e IIB. A seguir será apresentada a concepção do projeto.

## *4.2. Terraplenagem*

Para a implantação do novo aterro sanitário, o terreno deverá ser terraplenado adequadamente para propiciar um perfeito escoamento dos lixiviados na base do aterro.

A superfície natural do terreno é plana, com poucas variações de declividade, sendo no sentido norte a sul de aproximadamente 0,5%. Para a preparação da base do aterro, a terraplenagem será realizada com escavação estabelecendo como critério a altura mínima de 2,0 metros acima do Nível D'Água – NA do subsolo.

A declividade da base concebida será constante, 2% no sentido nordeste para a fase 1 e 2,9% no sentido sudeste para a fase 2. A **Figura 8** seguir ilustra a área da terraplenagem.

Os materiais das escavações poderão ser utilizados para as seguintes operações:

- Construção de dique;
- Material de cobertura diária dos resíduos;
- Material de cobertura final dos resíduos.

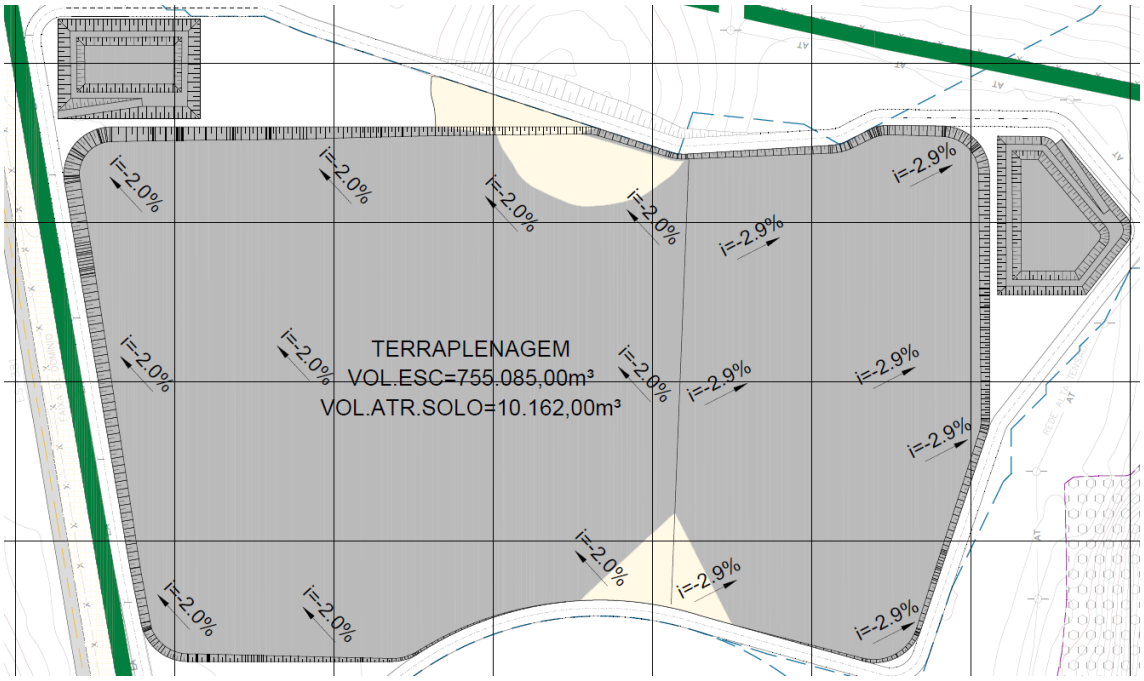



**Figura 8.** Croqui terraplanagem.

### *4.3. Dreno subsuperficial*

Os drenos subsuperficiais são sistemas de proteção de nascentes, cursos d'água e drenagens subsuperficiais. Este sistema capta águas de eventuais nascentes ou águas sazonais da base do aterro de forma a não interferir na construção e operação do aterro, bem como conduzir a mesma para pontos mais baixos da mesma forma que ocorreria sem a implantação do empreendimento.

Este tipo de dispositivo não será necessário para esta área pois as sondagens mostraram que o nível piezométrico (NA) na época de maiores chuvas ficarão a mais de 2,0m do

fundo da terraplanagem. Se na fase executiva for detectado nível piezométrico durante as escavações da base do aterro, os serviços deverão ser paralisados e um projeto de drenagem subsuperficial deverá ser elaborado e executado.

### *4.4. Dique de partida*

Para a execução do aterro sanitário será necessária a implantação do dique de partida em parte do aterro conforme folhas de projeto. O dique deverá ser executado em aterro de solo compactado, tendo a função de conter o efluente líquido das células de lixo, bem como ancorar as mantas de impermeabilização da base. A **Figura 9** ilustra a geometria do dique de partida:

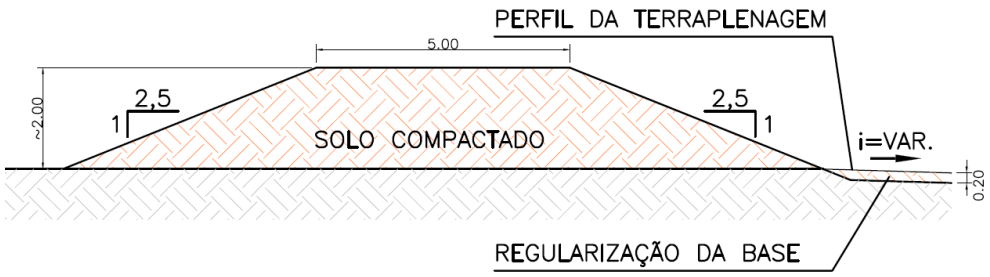



**Figura 9**. Geometria do dique de partida

- taludes na proporção 1V:2,5H;
- largura da berma 5,0 m;
- altura do dique variável

### *4.5. Barreira de fluxo*

O sistema de barreira de fluxo da base foi concebido para evitar o mínimo de vazamento possível, garantindo com isso que não ocorra a contaminação do solo de fundação do local. Primeiramente, como elemento principal, foi especificada uma geomembrana de PEAD com 2,0 mm de espessura. Conforme será ilustrado neste relatório, esta

geomembrana precisará ser texturizada, para garantir uma estabilidade geotécnica adequada.

E como forma de atribuir uma maior eficiência ao sistema de impermeabilização da base, foi adotado uma segunda camada de segurança em geocomposto bentonítico - GCL. O geocomposto bentonítico – GCL deverá ter uma massa seca de bentonita igual a 3,6 kg/m² e deverá ser instalado diretamente sobre a camada de argila compactada (solo de regularização de 50 cm.

Como proteção da geomembrana de PEAD será especificado um sistema de proteção mecânica misto composto de um geotêxtil não tecido de Polipropileno, com gramatura igual a 400 g/m² e uma camada de solo compactado de 30 cm, garantindo com isso uma proteção mecânica adequada a geomembrana.

Na Figura 10 é possível visualizar toda a camada de impermeabilização e o sistema de proteção projetado.

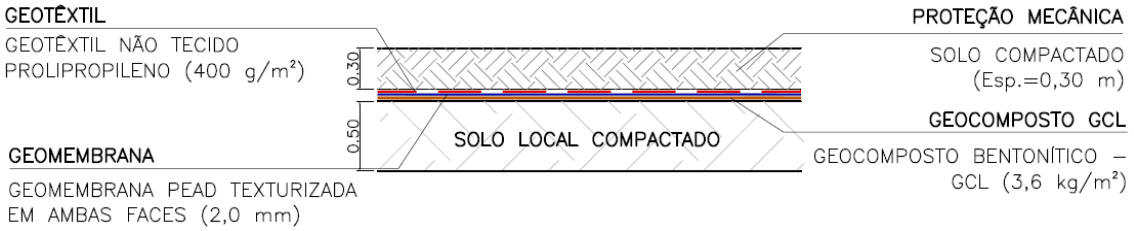



Figura 10. Sistema de impermeabilização da base

### *4.6. Sistema de drenagem de lixiviados de base e das células*

O sistema de drenagem horizontal de lixiviados gerados pela decomposição natural dos resíduos será realizado por uma rede em “espinha de peixe” composto por drenos principais e drenos secundários na base. Nos alteamentos (células) também será em formato espinha de peixes composto pelos drenos de camada.

Devido ao potencial de colmatação de mantas geotêxteis convencionais, disponíveis no mercado brasileiro, não foi adotado nenhum material de filtro. Será recomendado, com isso, que os resíduos sejam lançados diretamente sobre os drenos.

O lixiviado captado pelo sistema de drenagem horizontal será conduzido por drenos principais constituídos por tubo drenante de PEAD perfurado e conduzidos para o

reservatório de acúmulo e posteriormente para o sistema de tratamento, reduzindo os riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Nas **Figura 11**, **Figura 12** e **Figura 13** podemos visualizar o esquema dos drenos a serem executados.

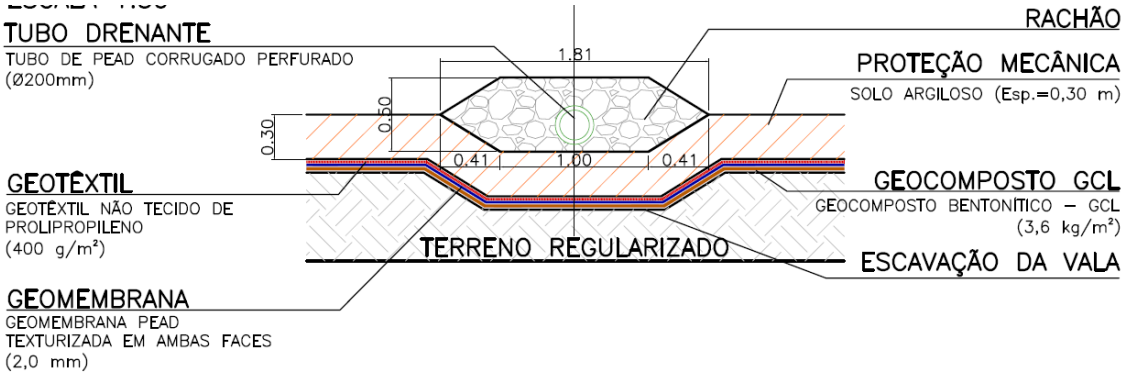



**Figura 11.** Dreno principal da drenagem de base.

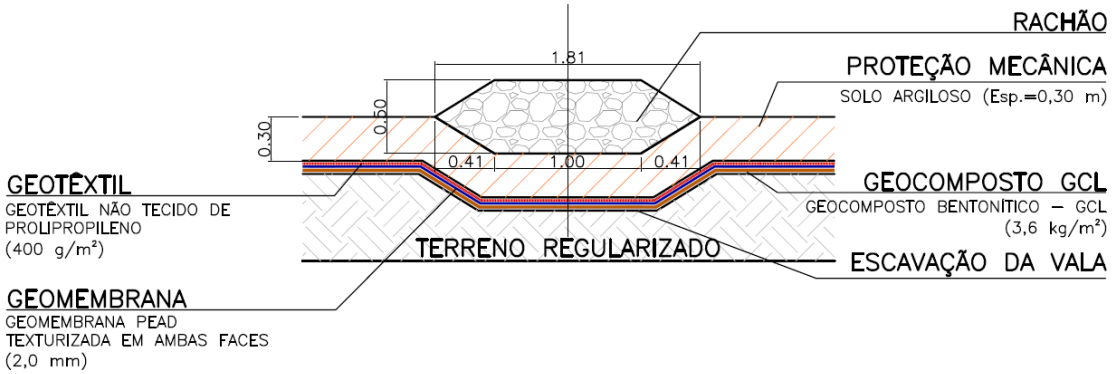



**Figura 12.** Dreno secundário da drenagem da base.

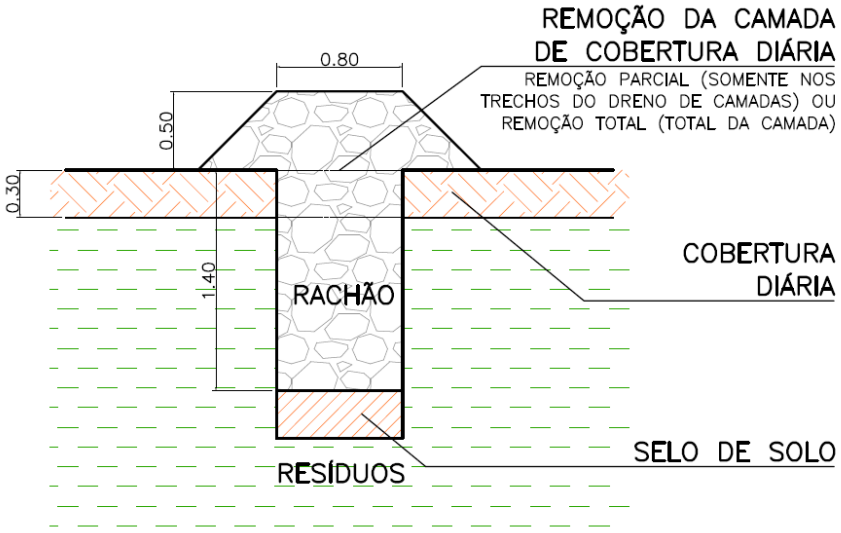



Figura 13. Dreno das camadas.

### *4.7. Drenos verticais*

A condução dos lixiviados gerados pelas camadas de resíduos superiores do aterro de resíduos serão realizados pelos drenos verticais até os drenos de base. Estes tipos de drenos também são executados para garantir a drenagem dos gases que deverão ser conduzidos até a superfície.

Os drenos verticais serão construídos com tubos de concreto perfurados e envoltos por uma camada de rachão fixados por uma malha metálica tipo Telcon Q138 ou similar.

Para o controle das emissões do biogás, será realizada a queima local diretamente na extremidade superior dos drenos verticais, como por exemplo a instalação de tubos galvanizados providos de queimadores na sua extremidade.

Futuramente, caso se obtenha viabilidade econômica, poderemos instalar sistemas de queima centralizados, com aproveitamento energético e com a possibilidade de geração de créditos de carbono.

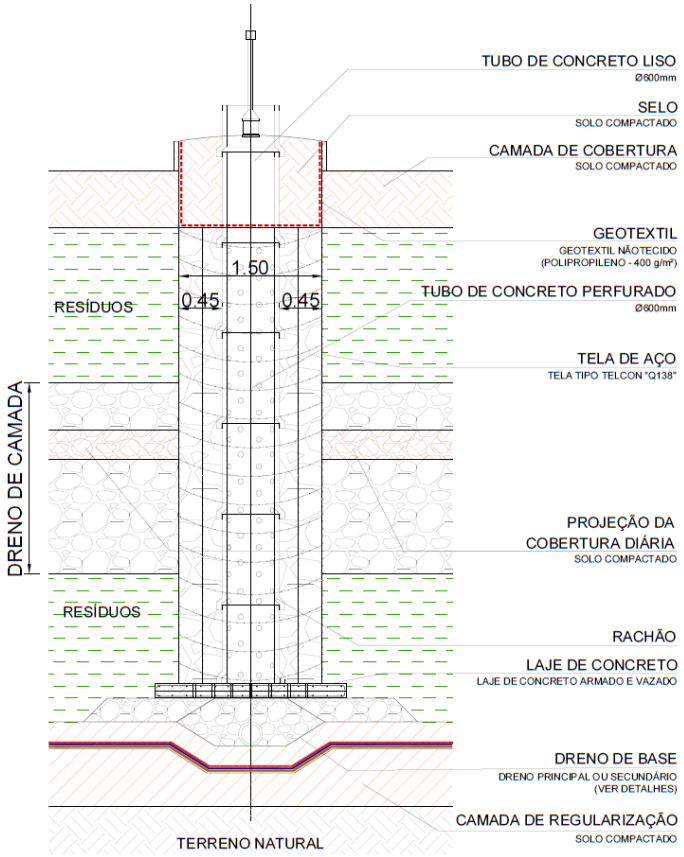



**Figura 14.** Dreno vertical do aterro.

### *4.8. Conformação geométrica do aterro*

A conformação do maciço do aterro será executada com a geometria dos taludes de altura de 10,0 m, com inclinação aproximada de 1V:2,5H e bermas entre taludes com 5,0 m de largura. Essa inclinação pode apresentar variação durante a operação, como também devido aos recalques do aterro. A **Figura 15** ilustra a geometria dos taludes do aterro e a **Figura 16** ilustra a configuração final do Aterro Sanitário proposto.

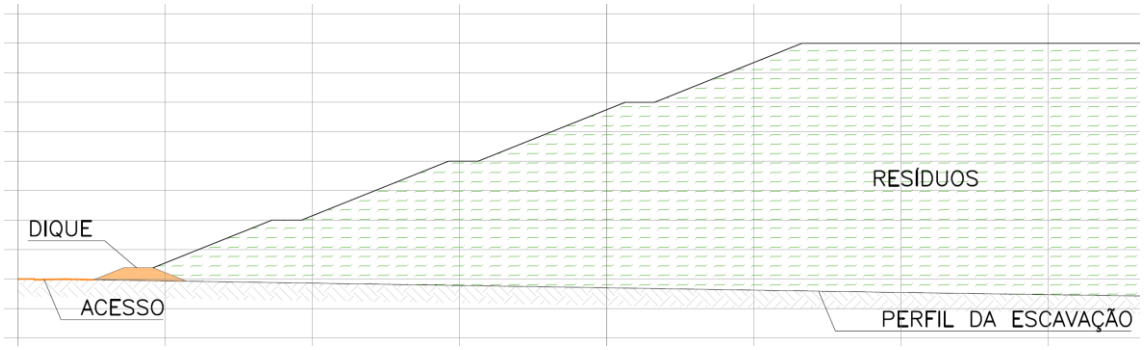



**Figura 15**. Geometria dos taludes do aterro.

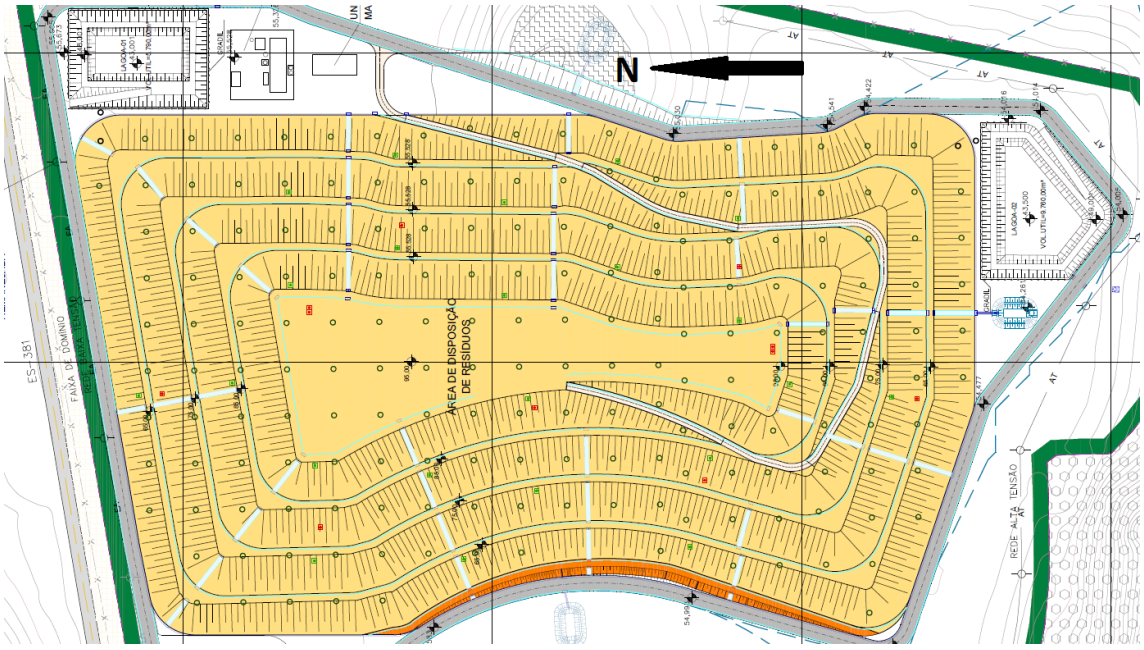



**Figura 16.** Layout final proposto do Aterro Sanitário.

### *4.9. Sistemas de cobertura do aterro*

As coberturas diária e final dos resíduos serão executadas em solo compactado com espessuras de 30 e 60 cm respectivamente. Esta cobertura proporciona diversos benefícios para o maciço de resíduos tais como:

- Controle de odor;
- Evita a proliferação de insetos e roedores;
- Arraste de resíduos pela ação dos ventos e da chuva;
- Redução do escape de gases e
- Proporciona a circulação de veículos para a manutenção do maciço.

Para as coberturas diárias, alternativamente poderão ser utilizadas mantas de sacrifício construídas por geomembrana PEAD/PVC de cerca de 1 mm de espessura. Estes materiais permitem que sejam reutilizados, e após atingirem o limite de utilizações, podem ser descartados diretamente no maciço do aterro

### *4.10. Acesso viário*

Os acessos provisórios e permanentes sobre o maciço estão previstos para serem executados a partir do viário de contorno até a frente de operação, devendo a declividade longitudinal atingir no máximo 10%. Estes viários propiciarão o acesso dos veículos a frente de descarga e acesso de máquinas para a operação de aterramento dos resíduos.

### *4.11. Drenagem superficial*

A implantação de uma rede de drenagem superficial deverá ser executada para conduzir o escoamento pluvial para fora do maciço, garantindo com isso uma redução na percolação de água para dentro do maciço, evitando também o surgimento de processos erosivos nos taludes. Esta rede será composta por:

- Canaletas de berma;
- Descidas d'águas;
- Travessias de bermas e viários;
- Canal e canaletas de contorno;
- Canaletas provisórias.

### *4.12. Cobertura vegetal*

A cobertura final do aterro será executada com camada vegetal. Esta medida é fundamental para evitar a erosão. A execução será com tratamento do solo de cobertura que permita a revegetação da área, e implantação de vegetais com espécies nativas adaptadas ao solo alterado, peculiar a aterros sanitários.

Entretanto, não são recomendadas espécies arbóreas, como também deve-se garantir que a vegetação esteja sempre curta, permitindo com isso uma melhor visualização de toda a superfície do aterro.

### *4.13. Sistema de monitoramento geotécnico*

O monitoramento geotécnico do aterro é uma medida que visa o acompanhamento do comportamento físico do maciço de resíduos. Este procedimento é realizado com a instalação de instrumentos que auxiliem no monitoramento e são compostos basicamente por Marcos Superficiais e Piezômetros.

A leitura dos marcos superficiais permite avaliar as velocidades de recalque e deslocamentos horizontais do maciço, que em conjunto com as leituras dos níveis piezométricos dos lixiviados medidos no interior do maciço corroboram para a avaliação do fator de segurança do aterro, no que se refere a estabilidade geotécnica do maciço.

### *4.14. Cortina vegetal / Cinturão verde*

Como forma de proteção e visando diminuir os impactos de poluição visual e de odores está previsto em projeto a execução de uma cortina vegetal ou cinturão verde.

O cinturão verde é um sistema de barreira vegetal que minimiza a visualização do interior do aterro e da operação melhorando o aspecto estético da área. Todo o entorno do aterro deve apresentar a cortina vegetal.

A faixa de vegetação prevista terá aproximadamente 10 m de largura. Esse cinturão verde deverá ser composto através da combinação de sansão do campo na faixa externa do perímetro, seguida de fileiras de eucalipto citriodora, intercalados com outras espécies,

a serem definidas. Seu crescimento e desenvolvimento serão monitorados desde seu plantio, até o término da vida útil e encerramento do empreendimento.

Importante ressaltar, que a implantação do cinturão verde ocorrerá gradualmente, concomitantemente ao avanço das fases.

### *4.15. Unidade de triagem de materiais recicláveis*

Em etapa futura do aterro de São Mateus, será implantada uma Usina de Triagem visando adequar o empreendimento aos novos rumos e conceitos ambientais relacionados à destinação final de resíduos.

De acordo com a segregação na origem, o percentual de coleta seletiva nos municípios brasileiros varia de 3 a 5%, o que significa uma quantidade entre 12 e 20 ton/dia, que chegará na unidade de triagem que terá capacidade de 20 ton/dia em uma área de 400 m², visando à triagem de materiais recicláveis (como plásticos, metais e papéis) oriundos da coleta seletiva a ser implementadas pelas prefeituras da região.

A premissa básica do processo de triagem é o aproveitamento de materiais recicláveis que, após processo de reciclagem fora dessa unidade, retornam à cadeia produtiva como matéria-prima na fabricação de novos produtos.

Destaca-se que a unidade de triagem será instalada após o êxito da coleta seletiva que está associada à conscientização da população e, consequentemente, da participação ativa dela no processo de separação na fonte geradora dos resíduos domiciliares como uma das etapas do processo, que se completa com a participação dos serviços de limpeza pública, seja através da coleta seletiva ou do trabalho de separação realizado em usinas de triagem ou recicladoras.

#### *4.15.1. Vantagens do processo de triagem e reciclagem*

As vantagens da adoção do processo de triagem e reciclagem no tratamento dos resíduos são várias, entre elas destacam-se:

- Redução do volume e quantidade final de resíduos a ser objeto de disposição final no meio ambiente;

- Redução da necessidade de apropriação de recursos naturais para utilização na produção de novos bens;
- Redução de custos nos processos produtivos, em consequência de redução do consumo de energia e de matérias-primas industriais.

### *4.15.2. Informações do projeto*

A unidade de triagem será instalada sob um galpão de 400m² a ser construído com estrutura metálica, cobertura e piso de concreto que será impermeabilizado nos locais de manejo de materiais e/ou rejeitos. Haverá um sistema de canaletas que encaminhará o percolado, que possa ser gerado na unidade, para a caixa de coleta. O percolado acumulado na caixa deverá ser bombeado e enviado para a ETE.

A unidade é composta por 01 (uma) linha de recepção, triagem e sistemas de prensas abrigadas, como pode ser visto na figura abaixo:

Os orgânicos que possam estar presentes serão considerados rejeitos, bem como tecidos, couro e outros resíduos cujas condições físicas e comprometimento com misturas inviabilizem a separação. A seguir são detalhados os sistemas da unidade de triagem.

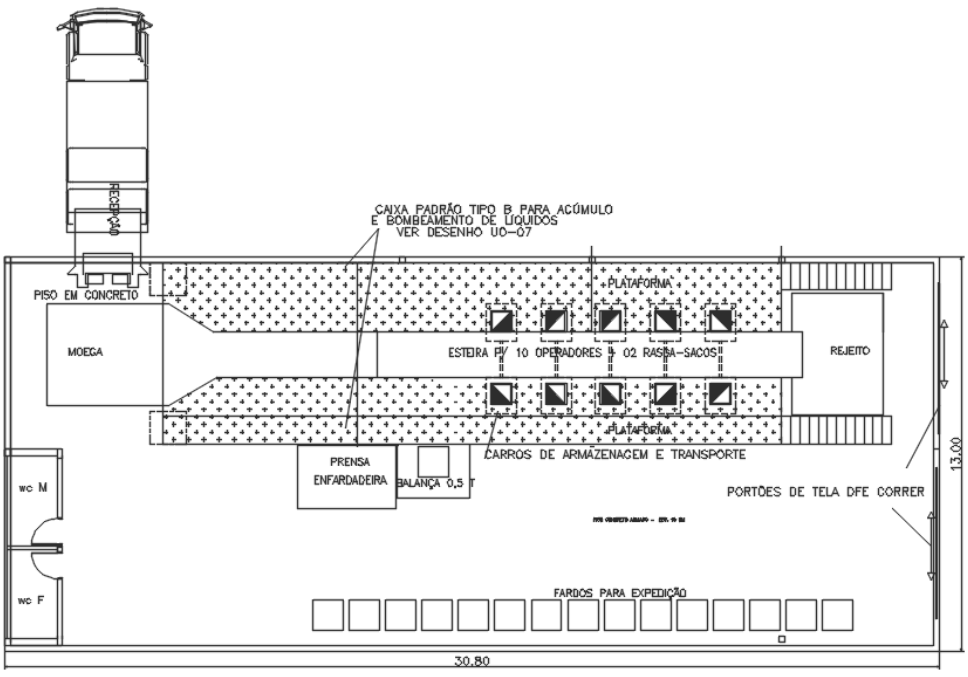



Figura 17. Layout da usina de triagem de material reciclável.

#### *4.15.2.1. Sistemas da unidade de triagem*

Para os resíduos de interesse, o processamento ocorre da seguinte forma:

- Recepção;
- Transferência;
- Separação;
- Prensagem/enfardamento;
- Rejeito.

a) Recepção

Os materiais recicláveis que chegam à Usina, através dos veículos coletores, passam pela balança rodoviária existente para controle de peso do resíduo a ser processado.

Será instalado um local para recepção desses materiais a serem processados, com rebaixamento em relação à cota de piso externo. A alimentação da recepção se faz por basculamento ou manualmente, de acordo com o tipo de veículo que traz os resíduos.

b) Transferência

A transferência entre a recepção e a esteira de catação ocorre por meio de uma esteira transportadora como a do exemplo a seguir:

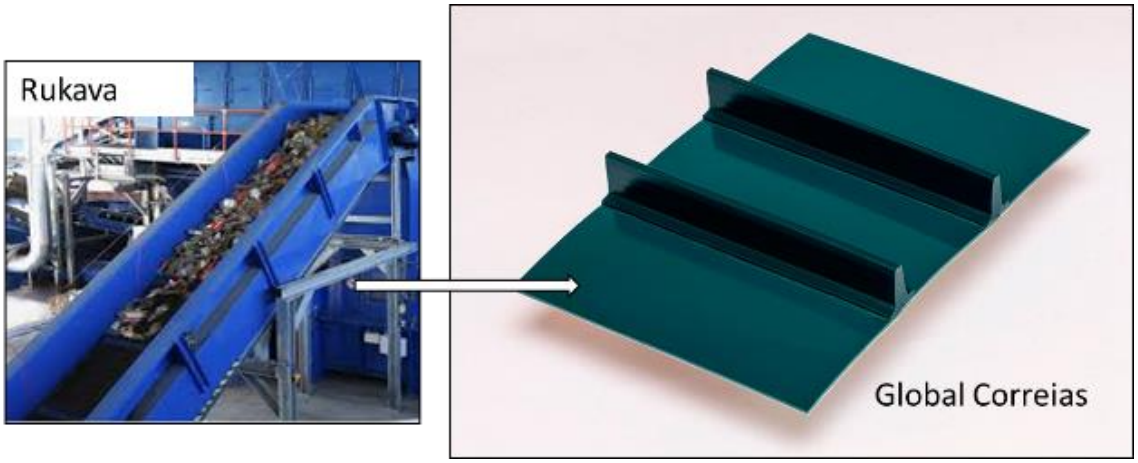



Figura 18. Esteira transportadora.

c) Separação

A partir da área recepção os materiais são encaminhados à etapa de separação, através do sistema alimentador, composto de um transportador mecânico contínuo de correia, onde o material percorre uma esteira de seleção manual, com até 10 colaboradores, para triagem de plásticos, papéis, alumínios e outros materiais economicamente viáveis.

d) Prensagem/enfardamento

Os materiais selecionados sob a esteira são encaminhados para uma prensa hidráulica que será utilizada para enfardamento de papel, papelão, plástico fino e PET e uma segunda prensa será utilizada para enfardamento de latas e alumínio, para posterior estocagem desses materiais para comercialização.

e) Rejeito

Qualquer matéria orgânica e/ou outro rejeito que venham a serem retirados do processo, serão considerados como rejeitos e serão recolhidos por caçamba estacionária e conduzida ao aterro sanitário.

## *4.16. Unidade de tratamento de resíduo sólidos de serviço de saúde – UTRSSS*

O Aterro de São Mateus contará com um sistema de tratamento de resíduo sólido de serviço de saúde – UTRSSS com por meio de autoclaves.

O sistema adotado será constituído por 01 (uma) autoclave com capacidade total de tratamento de 6 toneladas/dia de RSSS, com potencial e infraestrutura para aumentar a capacidade no futuro, de acordo com a demanda da região.

Após confirmarmos a demanda e o interesse da região pelo tratamento do RSSS, será instalada a autoclave com capacidade de 390kg/ciclo ou 500 kg/h cada, a qual trabalhará em regime de 2 turnos/diários, totalizando o limite diário de 16 horas de operação por dia, durante o período compreendido entre segunda-feira e sábado.

A seguir é apresentada uma imagem do equipamento utilizado pelo Grupo Solvi. As etapas do processo serão descritas no decorrer deste item.



Figura 19. Autoclave operada pelo grupo Solvi.

### *4.16.1. Acondicionamento*

O manejo dos RSSS é entendido como o conjunto de ações de gestão de resíduos desde a geração até a disposição final, incluindo as etapas de segregação, acondicionamento, identificação, transporte interno, armazenamento, coleta e transporte externos, tratamento, e disposição final.

Os estabelecimentos de serviços de saúde são os responsáveis pelo correto gerenciamento de todos RSSS por eles gerados, cabendo aos órgãos públicos, dentro de suas competências a gestão, regulamentação e fiscalização.

Os resíduos sólidos de serviço de saúde acondicionados em sacos de plásticos brancos leitosos serão transportados para locais específicos dentro da unidade geradora, onde permanecerão até que os veículos da coleta venham retirá-los.

Os instrumentos perfurocortantes tais como: bisturis, lâminas, agulhas, escalpelos, frascos e ampolas quebradas, deverão ser acondicionados em recipientes rígidos à prova de vazamentos e de perfurações.

No caso deste empreendimento, em que os RSSS serão destinados a uma unidade de esterilização por autoclave, os resíduos recebidos estarão acondicionados em sacos de plásticos brancos leitosos fabricados conforme ABNT NBR 9191/2008. Estes sacos plásticos permitem a passagem do calor sem se deteriorarem, mantendo o resíduo no seu interior e, evitando deste modo que os mesmos se libertem e se espalhem pelo interior da autoclave durante o ciclo de esterilização.

### *4.16.2. Transporte*

Os resíduos sólidos gerados nas unidades de serviços de saúde são nocivos ao meio ambiente em vista de suas propriedades patogênicas. A operação de coleta é necessária e deve ser realizada diariamente em todos os estabelecimentos de prestação de serviços de saúde, tais como: hospitais, farmácias, ambulatórios, clínicas, laboratórios e demais estabelecimentos congêneres.

O veículo de transporte deverá ter a sua carroceria estanque de tal forma que não sejam espalhados nas vias públicas, líquidos percolados dos resíduos. É importante que sejam cumpridas pelas transportadoras, que efetuam a retirada de RSSS de seus clientes, cumpram os critérios estabelecidos nas normas e legislações vigentes.

### *4.16.3. Unidade de tratamento de RSSS*

Os principais equipamentos de autoclavagem estarão abrigados em uma edificação denominada de Unidade de Tratamento de RSSS - UTRSSS. Esta unidade será construída em estrutura de concreto pré-moldado, piso impermeável e cobertura em fibrocimento.

A Unidade de Tratamento de RSSS terá a seguinte distribuição:

Prédio principal:

- Sala de recebimento, armazenamento e pesagem: Os resíduos sólidos de saúde chegarão a UTRSSS acondicionados em bombonas de 200 litros, produzidas em polietileno de alta densidade (PEAD), de cor azul. Este local, que terá capacidade para armazenar até 60 tambores, os resíduos serão armazenados temporariamente e pesados;
- Transferência: Após pesados, os resíduos serão transferidos das bombonas de 200 litros para carrinhos de quadro rodas em ferro modular;
- Autoclavagem: Os carrinhos transportarão os resíduos até a autoclave para esterilização;
- Sala de higienização das bombonas: as bombonas serão higienizadas, por meio de equipamento tipo lava jato, com água clorada. A água utilizada para higienização das bombonas será proveniente das chuvas precipitadas na cobertura da UTRSSS e armazenadas em reservatórios de 10 m³;
- Sala de armazenamento das bombonas higienizadas: após higienização, as bombonas serão armazenas em local próprio, para posterior devolução aos clientes da UTRSSS. Este local terá capacidade para armazenar até 48 bombonas;
- Almoxarifado: Local destinado para armazenamento de peças de reposição, materiais, produtos químicos etc.;
- Sala de controle: destinada ao controle e monitoramento das operações.

Prédio Anexo:

- Prédio anexo: este será construído em estrutura civil, piso impermeável e cobertura. No local serão instalados uma caldeira, um compressor e um tanque de GLP;
- Container refrigerado: para armazenamento temporário dos resíduos sólidos de saúde que necessitem refrigeração até o momento da esterilização;
- Caixas d'água: As águas de chuva precipitadas na cobertura da UTRSSS, serão armazenadas em duas caixas de água de 10m³ cada, para serem utilizadas na

higienização das bombonas. No prédio principal, no nível do mezanino, poderão ser instaladas novos reservatórios, conforme necessidade.

- Lagoa de armazenamento de efluentes líquidos: Os efluentes líquidos gerados na UTRSSS (higienização das bombonas, lavagem de pisos, eventuais vazamentos) serão conduzidos por gravidade até uma lagoa de armazenamento, para posterior tratamento externo;
- Área de descarga: Serão duas instaladas na parte externa da UTRSSS.

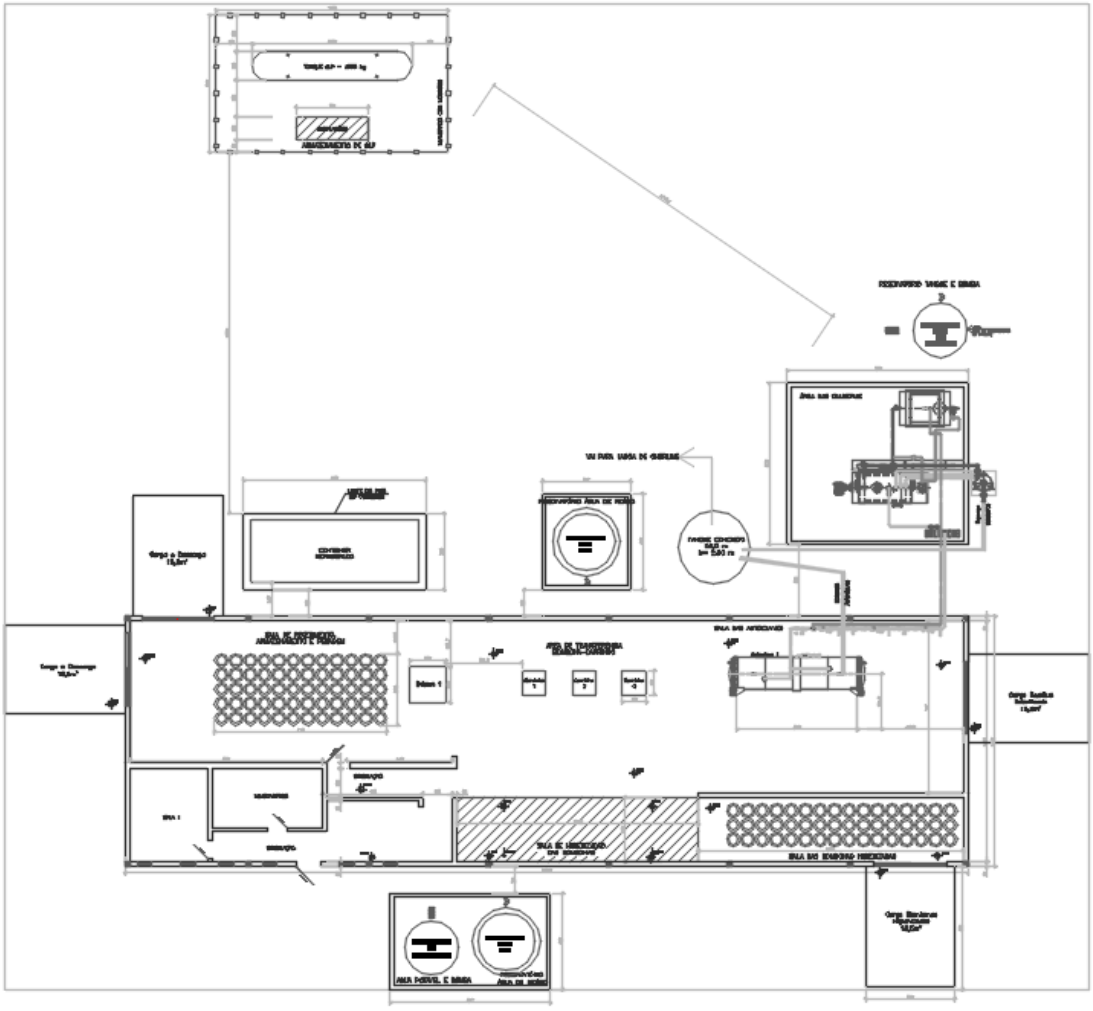


Figura 20. Layout geral.

### *4.16.4. Descrição da autoclave*

#### *4.16.4.1. Objeto*

Esterilização de resíduos sólidos infectantes (RSSS), resíduos sólidos de serviços de saúde, por injeção de vapor a temperatura de 150°C, em um ciclo médio de 40 minutos.

#### *4.16.4.2. Produção*

A produção será de 390 kg/ciclo ou 500 kg/hora, considerando a densidade dos RSSS média de 110 kg / m³, enquanto a câmara estiver pressurizada.



Figura 21. Vista frontal de uma autoclave.

#### *4.16.4.3. Características básicas de cálculo e fabricação da Autoclave*

- Autoclave para esterilização dos resíduos, de forma cilíndrica horizontal, medindo aproximadamente Ø 1200 x 5000 mm de comprimento total (externo), volume interno de 5,5 m³.

- Carrinhos para carregamento dos RSSS de aproximadamente 1 m³ cada, em aço inox AISI 304, chapa lisa sem furos, com rodeiro de quatro rodas em ferro nodular, e rolamentos blindados ZZ.

#### *4.16.4.4. Sistemas de segurança*

A Autoclave deverá possuir basicamente, os seguintes sistemas de segurança:

- Válvula de segurança, calibrada e certificada para a PMTA e então lacrada;
- Transdutores de pressão, para controle da pressão, com compensação de temperatura;
- Sensores de temperatura, tipo PT-100, junto ao dreno da autoclave;
- Manovacuômetro, para controle da pressão e do vácuo na câmara;
- Ambiental: filtro com retenção de 0,1micra, montado na exaustão da autoclave;

Cada autoclave comportará 3 carrinhos por ciclo de tratamento, sendo que haverá carrinhos reservas que estarão disponíveis para acondicionamento de RSSS e espera de tratamento. A fim de facilitar as manobras de carga e de descarga, os carrinhos terão rodízios e alças.



Figura 22. Exemplo de carrinho que fará o acondicionamento de RSSS no interior da autoclave.

### *4.16.5. Operação do sistema de esterilização*

O processo de tratamento de resíduos sólidos de serviços de saúde é complexo e não prevê a autoclavagem de resíduos diferentes do Tipo A (Infectantes) e do Tipo E (perfurocortantes ou escarificantes), tais como resíduos contendo citotóxicos ou produtos químicos tóxicos ou perigosos, - que possam emanar vapores ou se volatizar, inclusive tecidos, órgãos ou membros extraídos de pacientes submetidos à quimioterapia, que possam estar impregnados com citotóxicos, ou ainda produtos com baixo ponto de fusão como mercúrio de termômetros quebrados. Estes resíduos deverão ser incinerados. Assim sendo, faz-se necessário um bom trabalho de segregação diretamente nas fontes geradoras.

A alimentação da câmara é feita, como já descrito, por pessoa treinada que posicionará os carrinhos nos trilhos internos e os deslocará até o fundo da câmara. Cada cesto terá a capacidade de 1 m³ e a câmara terá capacidade interna para 3 carrinhos por ciclo, logo será possível a esterilização de 3 m³ de RSSS por ciclo. Colocados todos os carrinhos, a câmara será fechada e a porta travada (trava de segurança) para que seja iniciado o ciclo de esterilização. A câmara trabalhará com uma faixa operacional de temperatura interna que varia entre 70 °C a 150 °C e a pressão pode variar de 0 a 4,8 Bar.

Inicia-se então o processo, que consiste na injeção de vapor, por uma válvula que será aberta no interior da câmara, até que seja atingida a pressão de 3,4 Bar, então uma outra válvula se abrirá retirando o ar através de uma bomba de vácuo de 20 HP.

Após o pré-vácuo se inicia a fase propriamente dita de esterilização, que consiste em injeção direta de vapor até a máquina atingir a temperatura de esterilização de 145 °C e pressão de cerca de 4,0 Bar. Atingida a temperatura e a pressão determinada, começará a contagem o processo de esterilização.

Após o término da fase de esterilização, serão retirados o vapor e os condensados de dentro da câmara, iniciando a fase de secagem dos resíduos. Este processo consiste no funcionamento de uma bomba de vácuo que retirará o vapor condensado, os líquidos residuais e a umidade existente na carga da máquina, permitindo assim que os resíduos estejam secos e sejam retirados da máquina sem respingos.

Ao mesmo tempo em que se procede a secagem dos resíduos, a bomba de vácuo conduzirá os condensados para os trocadores de calor para esterilização e posterior resfriamento do condensado. O condensado será despejado e acumulado temporariamente na fossa séptica existente no local, como líquidos completamente inertes e esterilizados.

Posteriormente o acumulado será destinado às lagoas de acúmulo de percolado já existente no empreendimento para futuro tratamento e disposição final.

A esterilização dos resíduos é dada pelo calor que o vapor produz e não pela sua umidade, o que garante que todos os materiais, mesmo que estejam ensacados com sacos resistentes normatizados pela NBR 9.191, ou recipiente rígido, serão esterilizados.

Para possibilitar a abertura da porta da câmara, terá que ser eliminado o vácuo de dentro da mesma, isso acontecerá através da abertura de uma válvula automática que deixará penetrar o ar local preenchendo o vácuo dentro da câmara, equilibrando assim a pressão atmosférica da câmara com a pressão atmosférica do ambiente.

Terminado o processo de esterilização e secagem, a câmara será aberta, os cestos de aço retirados manualmente de dentro da câmara e transportados até o fosso de resíduos autoclavados.

## *4.17. Estação de Tratamento de Efluentes*

### *4.17.1. Introdução*

A atividade de disposição final de resíduos resulta na geração de um líquido percolado conhecido como chorume. Este percolado é proveniente da decomposição dos resíduos sólidos e também das águas pluviais que entram por lixiviação no maciço. Por conter características potencialmente poluidoras, este percolado precisa receber um eficaz tratamento para que seja disposto no meio ambiente em condições não poluentes. Com isso, caso não se consiga viabilizar o tratamento do percolado em um ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) externa, estamos projetando uma ETE no próprio aterro, para o tratamento do chorume gerado, o qual atenderá as normas vigentes, com eficiência no tratamento dos líquidos percolados/efluentes a níveis de reutilização e disposição final em corpo receptor.

O grupo Solvi possui amplo conhecimento com ETE's, contando com 8 projetos em andamento, dos quais 5 unidades estão em operação, possibilitando apoio entre profissionais relacionados com tratamento de efluentes, com troca de experiências, fornecedores, manutenção, além de fomentar a padronização dos processos e controles da Solví. A seguir alguns exemplos de ETE's do grupo:



**Figura 23.** ETE da UVS Minas do Leão – RS.



**Figura 24.** ETE na UVS Resíduo Zero – GO.

### *4.17.2. Rota Tecnológica*

A ETE da UVS de São Mateus-ES seguirá a sequência das operações e processos descritos a seguir.

#### *4.17.2.1. Fluxo de processo*

O cenário proposto na **Figura 25** segue a composição das Estações de Tratamento de Efluentes implantadas no Grupo Solví, com tratamento físico-químico para a fase sólida suspensa e metais em solução, extração gás-líquido para remoção de amônia, oxidação biológica subsequente e, se necessário, pós-tratamento para retenção de excedentes suspensos e solúveis:

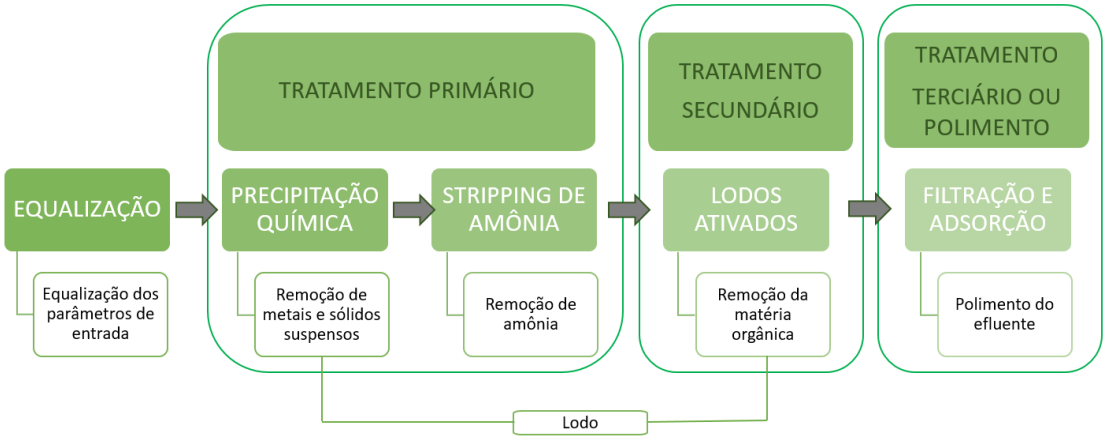



**Figura 25.** Sequência de operações e processos propostos para o sistema de tratamento.

#### *4.17.2.2. Equalização*

A equalização é um processo necessário para tornar a vazão e as cargas de entrada de um processo de tratamento de efluentes mais constantes, evitando picos de cargas nos processos, possibilitando maior controle operacional e proteção da microbiologia do processo biológico.

Nesta etapa o chorume é homogeneizado para garantir maior constância nas etapas posteriores, no que tange a dosagem de insumos químicos, constância na remoção de amônia e potência de aeração sejam suficientes para atingir a eficiência de tratamento projetada.

#### *4.17.2.3. Precipitação Química*

Nesta etapa são utilizados insumos químicos para a realização da remoção da carga poluidora do chorume, utilizando um agente alcalinizante, que realiza a elevação do pH, posteriormente o uso de um agente coagulante, o qual promove a coagulação do chorume e em seguida ocorre a adição de um floculante, o qual agrupa os coloides formados, permitindo a separação, onde neste processo, será realizada a partir da flotação.

A flotação química consiste em introduzir ar no efluente floculado, onde o a fração gasosa ficará agregada ao floco formado, reduzindo o peso do floco e o levando para a superfície, e assim realizando a remoção do lodo formado.

A partir da elevação do pH no meio, ocorre a espontânea formação de sólidos em suspensão. A flotação é empregada como processo inicial do sistema de tratamento de chorume, atuando na separação de fases para tratamento posterior dos componentes dissolvidos remanescentes. É necessária a operação com insumos químicos para correção de pH e coagulação de sólidos. Neste processo é produzido lodo, o qual é removido e destinado para posterior desague em decanter centrífugo.

Após este processo, o efluente clarificado segue para a etapa seguinte de tratamento, a extração de amônia através de air-stripping.

#### *4.17.2.4. Stripping de amônia*

O nitrogênio amoniacal, quando presente totalmente dissolvido, não é passível de remoção por precipitação química convencional. A característica de elevada solubilidade dificulta a extração da amônia quando mantido o líquido como fase contínua, observando-se reduções insignificantes nas concentrações em condições ambientais comuns.

O sistema de tratamento proposto inclui um processo exclusivo para a remoção de nitrogênio amoniacal através da operação unitária de extração gás-líquido em torres de air-stripping.

Este processo exige o deslocamento prévio da amônia para a forma livre (gasosa) através da elevação do pH no efluente. Assim, quando este é aspergido na parte mais alta da torre e encontra a contracorrente de ar, ocorre o arraste da amônia.

As figuras abaixo demostram módulos de stripping implantados em outras unidades do Grupo Solví.



Figura 26. Módulo de stripping de amônia no aterro do Grupo Solví CRVR Minas do Leão/ RS.



Figura 27. Módulo de stripping de amônia no aterro do Grupo Solví Resíduo Zero Guapó/GO.

#### *4.17.2.5. Lodos ativados*

O reator de lodos ativados destina-se à remoção da matéria orgânica solúvel e da amônia residual através da oxidação biológica. A partir do desenvolvimento da nitrificação, a operação dos reatores em condições alternadas aeróbica/anóxica permite a desnitrificação, com redução de nitrato e aproveitamento de fração do oxigênio liberado. Da conversão das espécies químicas resulta a produção de biomassa (bactérias), cujo excedente deve ser removido do processo através do descarte do decantador.

A adoção de volume extensivo com baixo f/m (food to microorganism ratio) decorre da característica recalcitrante dos compostos presentes. Deste modo, é assegurada a oxidação biológica da totalidade matéria orgânica passível de oxidação.

A caracterização da matéria orgânica total presente no chorume exige a separação das parcelas suspensa e solúvel e, para esta última, biodegradável e não biodegradável. A classificação decorre da evidência que a fração solúvel biodegradável é considerada como substrato orgânico para bactérias protagonistas do tratamento biológico.

Na instalação de reatores biológicos aeróbicos de lodos ativados pretende-se, portanto, a oxidação da matéria orgânica solúvel biodegradável, a adsorção de outros compostos

nas estruturas dos flocos biológicos (com ou sem hidrólise) e a oxidação biológica de amônia a nitrato, com reações de nitrificação.

Para o reator biológico, considera-se a condução das reações de oxidação de matéria orgânica e amônia em volumes submetidos à aeração. O fornecimento de oxigênio é realizado por sistema de aeração superficial de alta taxa, com controle de oferta por eletrodo de OD (oxigênio dissolvido) no segundo volume. Da leitura de OD, segue atuação em acionamento/interrupção de motores.

É prevista aeração superficial de alta taxa com funções de agitação e aeração dissociados. Com leitura de ORP (oxidation reduction potential), é possível o controle da oferta de oxigênio mantendo-se o meio agitador para o desenvolvimento da reação de desnitrificação. O escoamento através dos reatores é contínuo.



Figura 28. Reator de lodos ativados no aterro do Grupo Solví Essencis Joinville/SC



Figura 29. Reator de lodos ativados no aterro do Grupo Solví Resíduo Zero Guapó/GO.

A separação de fases pode ser feita através de membranas de Ultrafiltração (MBR - Membrane Bio Reactor) ou decantador secundário. Este projeto considera a utilização de decantador devido as dificuldades atreladas a manutenção de equipamentos importados, tais como demora de reposição de peças e escassez de mão-de-obra específica.

O decantador secundário permite o funcionamento do processo biológico aeróbio através da retenção da biomassa proveniente do reator. Tal biomassa refere-se às bactérias responsáveis por fazer a oxidação da matéria orgânica, por isso, é necessário que se retenha essa biomassa na saída do processo utilizando um método de separação de fases sólido-líquido (decantação) para que o efluente tratado passe para a próxima etapa e a maior parcela da biomassa retorne ao reator para continuar com o processo de tratamento por oxidação biológica até sua exaustão. O excesso de produção de bactérias é descartado através do desague (ver item 2.7).

É previsto o emprego de geometria circular, escoamento radial e fundo cônico com ponte raspadora no decantador secundário. A recirculação do lodo precipitado é destinada de volta ao reator e o excedente é descartado no tanque de condicionamento de lodo para desague juntamente com o lodo oriundo da precipitação química. O sobrenadante clarificado é destinado do decantador para o tanque de água decantada por ação gravitacional e segue para alimentação da filtração.

#### *4.17.2.6. Filtração e adsorção*

Constituído de uma coluna recheada, definido por um escoamento da fase líquida através de um meio poroso (areia), o filtro de areia deve ser utilizado como polimento da remoção de sólidos suspensos.

A água decantada proveniente do decantador secundário é armazenada para alimentação dos filtros de areia. A prevenção de formação de biofilmes nos leitos filtrantes é dada pela dosagem, junto à armazenagem, de hipoclorito de sódio. Dos filtros, o escoamento segue para armazenagem de água filtrada, onde a água filtrada servirá para a operação de retrolavagem.

No balanço de massa para a filtração, assume-se alimentação com concentração de sólidos de 100 mg/L excedente à estimativa da saída do decantador secundário. Porém, o filtro de areia é uma operação unitária com aspecto de segurança operacional, a fim de barrar desvios operacionais e proteger operações subsequentes.

Durante a filtração, é esperado acréscimo de perda de carga dos leitos filtrantes por conta do acúmulo de sólidos, impondo a necessidade de retrolavagem. A interrupção da filtração implica na interrupção das bombas de alimentação e acionamento das bombas para retrolavagem, que tem seu funcionamento vinculado ao sensor de nível do tanque de água filtrada. A operação é manual, com base na leitura das pressões manométricas de entrada e saída de cada coluna. O efluente da retrolavagem é retornado ao reator biológico.

A operação de filtração pode ser conduzida isoladamente em cada coluna, permitindo manutenção parcial. Do tanque de água filtrada, um extravasor leva o efluente ao pós-tratamento por oxidação química.

#### *4.17.2.7. Deságue de lodo / destinação de lodo*

A operação da estação de tratamento promove a geração de duas tipologias distintas de resíduos sólidos, a partir dos processos físico-químico e biológico.

Na etapa físico-química de precipitação, o lodo gerado com concentração de sólidos entre 3 e 4% é direcionado para o tanque de condicionamento de lodo e bombeado para a centrífuga subsequente. A centrífuga permite a separação das fases sólida e aquosa, com envio desta última de volta para o processo de tratamento.

Na etapa biológica, o lodo gerado com concentração de sólidos entre 0,5 e 1,5 % é direcionado para o mesmo tanque de condicionamento, seguindo-se o deságue conjunto. A torta sólida gerada representa cerca de 3% da capacidade da planta. Esta é armazenada em caçambas para destinação adequada e devidamente licenciada.

### *4.17.3. Projeto Conceitual*

As Estações de Tratamento do Grupo Solvi são modulares e a ETE será projetada para atender até 5,0m³/h, o que será suficiente para tratar a média máxima de chorume gerado no aterro que será de 4,8m³/h.

Na figura abaixo apresentada a área destinada ao projeto da ETE, a noroeste do empreendimento:

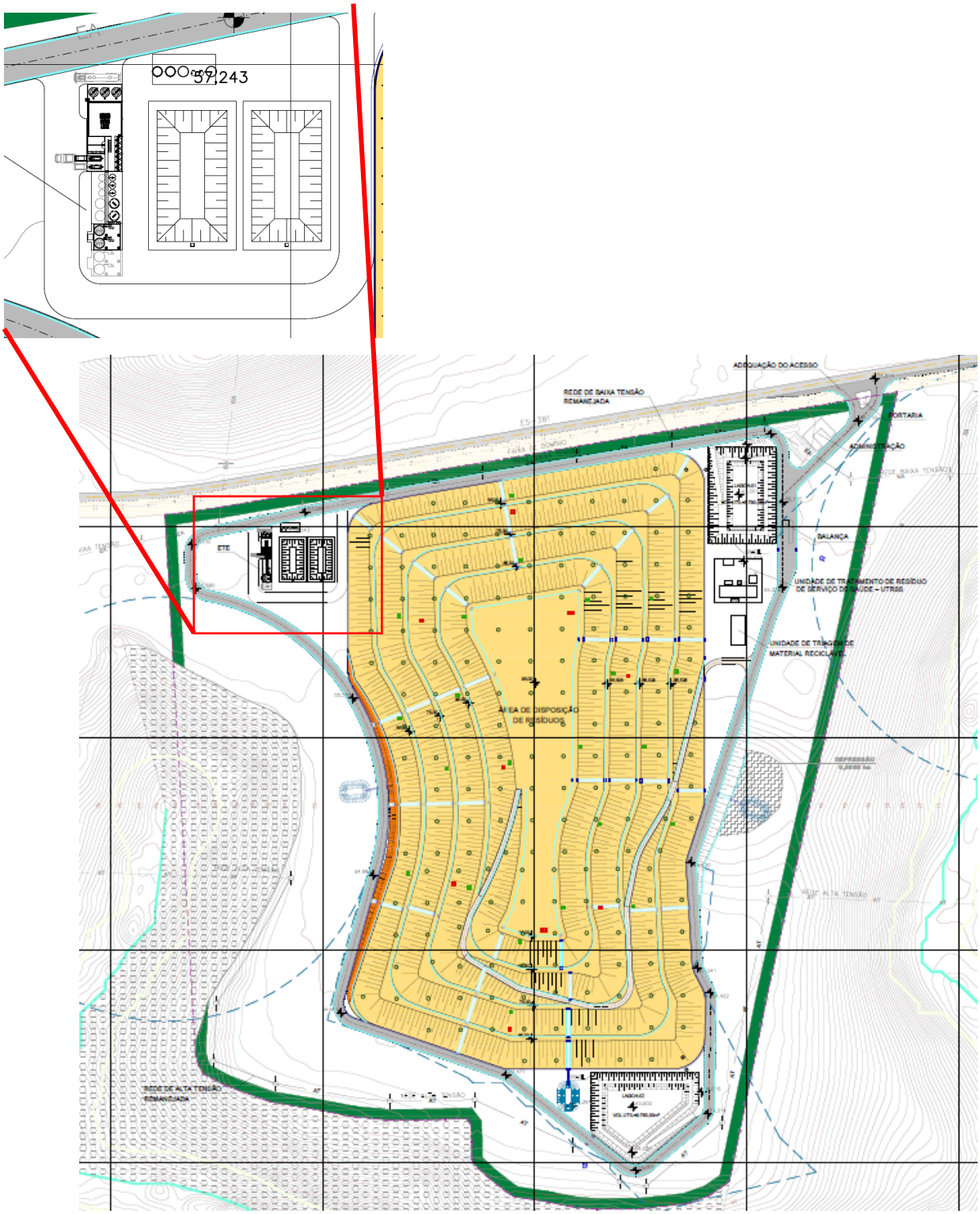



**Figura 30.** Localização da ETE no aterro de São Mateus.

#### *4.17.3.1. Controles operacionais*

O projeto de implantação da ETE, prevê o monitoramento da eficiência dos processos de tratamento, através de medições nos processos de equalização, coagulação físico-química, stripping de amônia, lodos ativados e filtração, dos parâmetros: DQO, cor, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, nitrogênio amoniacal, DBO e sólidos suspensos voláteis e totais (este último no processo biológico).

Os parâmetros como pH e oxigênio dissolvido serão monitorados de forma contínua através de medidores online e já os demais parâmetros serão controlados internamente de acordo com as necessidades operacionais.

Semestralmente, será realizada a análise do efluente tratado para lançamento no corpo d´água. Os parâmetros analíticos serão aqueles contemplados no artigo 16 da Resolução CONAMA Nº 430/2011.

Em relação corpo hídrico, está prevista a coleta semestral de amostra de água em três pontos:

- Jusante do ponto de lançamento do efluente tratado;
- No ponto do lançamento do efluente tratado;
- Montante do ponto de lançamento do efluente tratado.

Nessas amostras serão realizadas as análises segundo a Resolução CONAMA Nº 357/ 2005 – "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências."

As análises químicas serão realizadas por laboratório certificado pela NBR ISO/IEC 17025:2005 da ABNT.

#### *4.17.3.2. Efluente tratado*

O efluente tratado será utilizado na umidificação das vias internas de acesso do empreendimento, diminuindo a poeira provocada pelo tráfico de veículos e para irrigação das áreas com vegetações principalmente do cinturão verde a ser implementado. Esta

medida visa eliminar a utilização de água limpa, contribuindo assim para diminuição do uso dos recursos naturais, promovendo a preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente. Essa umidificação será controlada por poços de monitoramento dispostos no empreendimento.

O restante do efluente tratado e não utilizado internamente no aterro será lançado no córrego Bamburral.

#### *4.17.3.3. Condições e padrão de lançamento*

As condições e padrões de lançamento de efluentes atenderão as normas vigentes, o artigo 18 do Decreto nº 8.468/1976 - "Aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente" e artigo 16 Resolução CONAMA Nº 430/2011 - "Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA".

Visto que atualmente não temos normas vigentes que ditam padrões comparativos para o reuso de efluentes tratados no solo e usos desses em atividades de umidificação de vias, para tanto, utilizaremos como padrão de qualidade os mesmos parâmetros do CONAMA 430/2011, artigo 16.

#### *4.17.3.4. Corpo d'água próximo à área analisada*

Conforme Carta Topográfica do IBGE, escala 1:100.000, a área analisada está localizada próxima na bacia hidrográfica do córrego do Bamburral, um afluente direto do Rio São Mateus. A Figura 01 apresenta a delimitação da área sobreposta à carta topográfica.

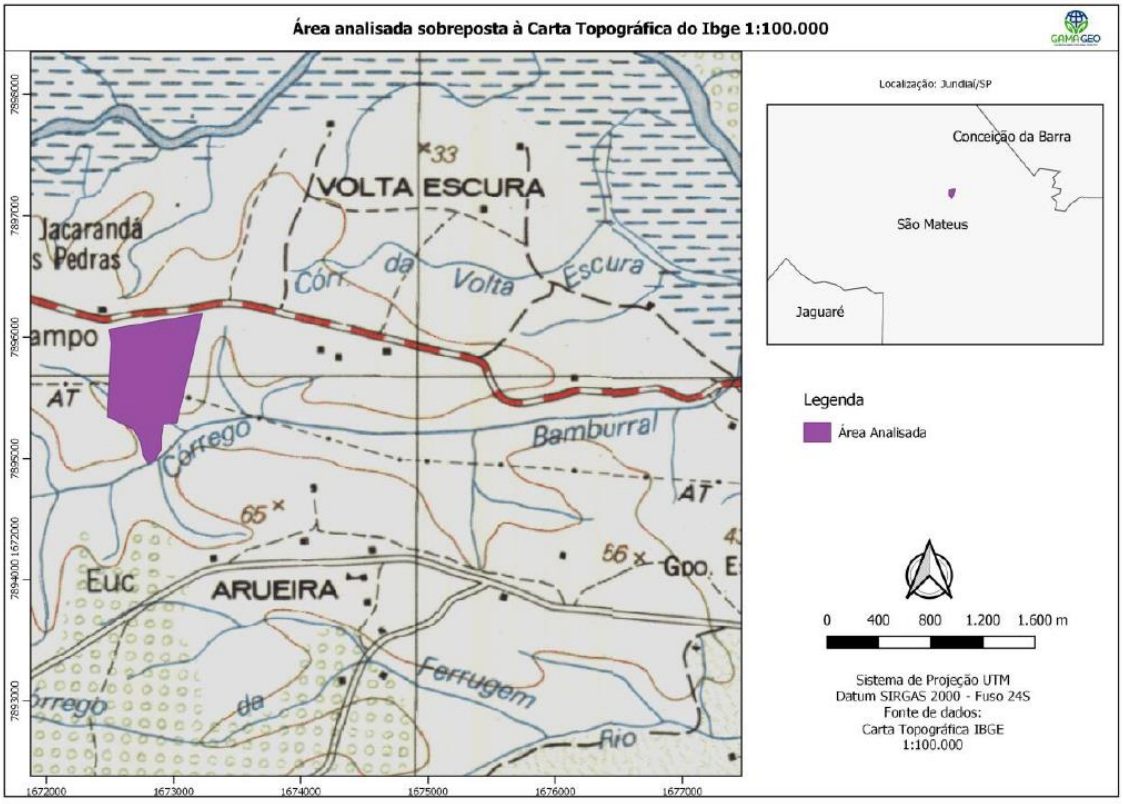



Figura 31. Área analisada e carta topográfica do IBGE 1:100.000.

### *4.17.3.5. Bacia de Contribuição*

A bacia de contribuição foi traçada considerando o local mais próximo da área analisada com o Córrego do Bamburral. Esta bacia de contribuição tem seu ponto de exutório localizado sob as coordenadas 24S; 402.046mE; 7.931.618mS. A bacia de contribuição traçada ocupa uma área de 93,51km2. A Figura 02 apresenta a localização da bacia de contribuição e o ponto proposta para lançamento do efluente.

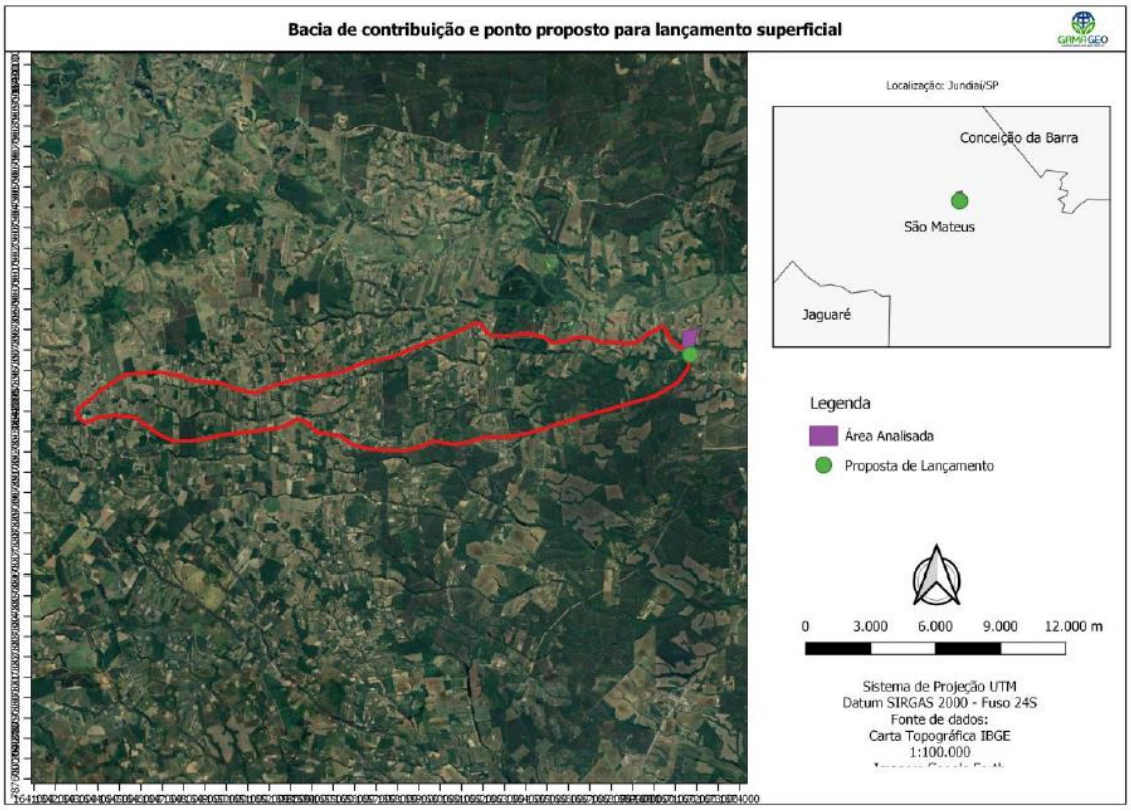



Figura 32. Bacia de contribuição e ponto proposta para lançamento do efluente.

### *4.17.3.6. Regionalização hidrológica*

Conforme o Relatório de Diagnóstico e Prognóstico do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus, a regionalização hídrica para esta bacia hidrográfica é dada pela equação:

$$Q_{MLT} = 8{,}6933x10^{-6} \times AD^{0{,}7865} \times P^{1{,}2268}$$

Em que:

- AD = área de drenagem em km2
- QMLT = Vazão média de longo termo, em m3/s
- P = Precipitação total anual, em mm.

Para a regionalização, serão considerados os seguintes valores:

- AD = 93,51km2
- P = 1.135 mm/ano (valores para o Município de São Mateus/ES)

Desta maneira, temos:

- $Q_{MLT}$ = 1,73 $m^3$/s ou 6.214,92 $m^3$/h

Considerando uma vazão para período de estiagem (Q90), temos:

- $Q_{90}$ = 0,19x$Q_{MLT}$ = 0,33$m^3$/s ou 1.180,83$m^3$/h.

#### *4.17.3.7. Qualidade das águas*

De acordo com o Relatório de Diagnóstico e Prognóstico do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus, o Córrego Bamburral, no ponto SM21 (24S; 406534mE; 79331912mS) apresenta parâmetros de qualidade da água Oxigênio Dissolvido e Partículas Totais com resultados equivalente a rios de Classe 4 e DBO como de classe 3.

Não foram encontradas captações de água superficiais à jusante da área analisada.

#### *4.17.3.8. Considerações do lançamento do efluente tratado*

Considerando o exposto nos itens acima onde a Vazão Média QMLT corresponde a 1,73m³/s ou 6.214,92 m³/h e a qualidade da água varia de classe 3 a 4, entendemos ser viável o lançamento do efluente tratado no local.

## 5. MEMORIAL DE CÁLCULO

### *5.1. Introdução*

A seguir serão apresentados os dimensionamentos dos sistemas a serem implantados na ampliação do aterro sanitário de São Mateus. Os detalhes encontram-se nos desenhos de projeto em anexo a este relatório.

## *5.2. Análises de Estabilidade*

### *5.2.1. Caracterização dos materiais*

Com relação aos resíduos sólidos, foram utilizados parâmetros recomendados pela literatura, com a utilização de uma coesão conservadora, desprezando parte do efeito fibra característico destes materiais.

Os solos foram baseados a partir das sondagens do local, assumindo os ensaios com os parâmetros mais fracos. Além disso, para o dique em solo compactado, foram assumidos valores padrões de projeto para solos compactados.

Para finalizar, foram adotados parâmetros de interface para o contato entre a geomembrana e a argila compactada. Este mesmo valor de interface vale para o contato entre a geomembrana e os geossintéticos (GCL ou geotêxtil não tecido). Como não foram realizados ensaios específicos, foram utilizados valores encontrados na literatura para ensaios de cisalhamento direto, assumindo o contato entre os materiais saturado. Os parâmetros de todos os materiais estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros adotados para as análises.

| Material | $\gamma_{nat}$ (kN/m³) | c (kPa) | $\phi$ (º) |
|---|---|---|---|
| Resíduos sólidos | 10 | 14 | 28º |
| Dique | 18 | 5 | 28º |
| Solo de fundação | 15 | 5 | 27º |
| Interface entre geotêxtil/geomembrana lisa | - | 0 | 12º |
| Interface entre geotêxtil/geomembrana texturizada | - | 0 | 20º |

### *5.2.2. Geometria*

Para a conformação final do aterro, buscou-se as seções que podem ser consideradas como as mais críticas, ou seja, em que os taludes apresentam uma maior altura, maior

inclinação, como também uma maior inclinação da base, sendo definidas as Seções de Estabilidades definida pela **Figura 33**.




**Figura 33.** Detalhe das seções de estabilidade na conformação final do aterro.

Para a realização das análises, foram utilizadas as seções apresentadas pela **Figura 34** referentes as seções de estabilidade 1 e 2, respectivamente. Como pode ser visto, a Seção 01 é a mais crítica, tanto com relação à altura, como também com relação a uma maior declividade da base. Desta forma, as análises serão realizadas considerando esta seção.

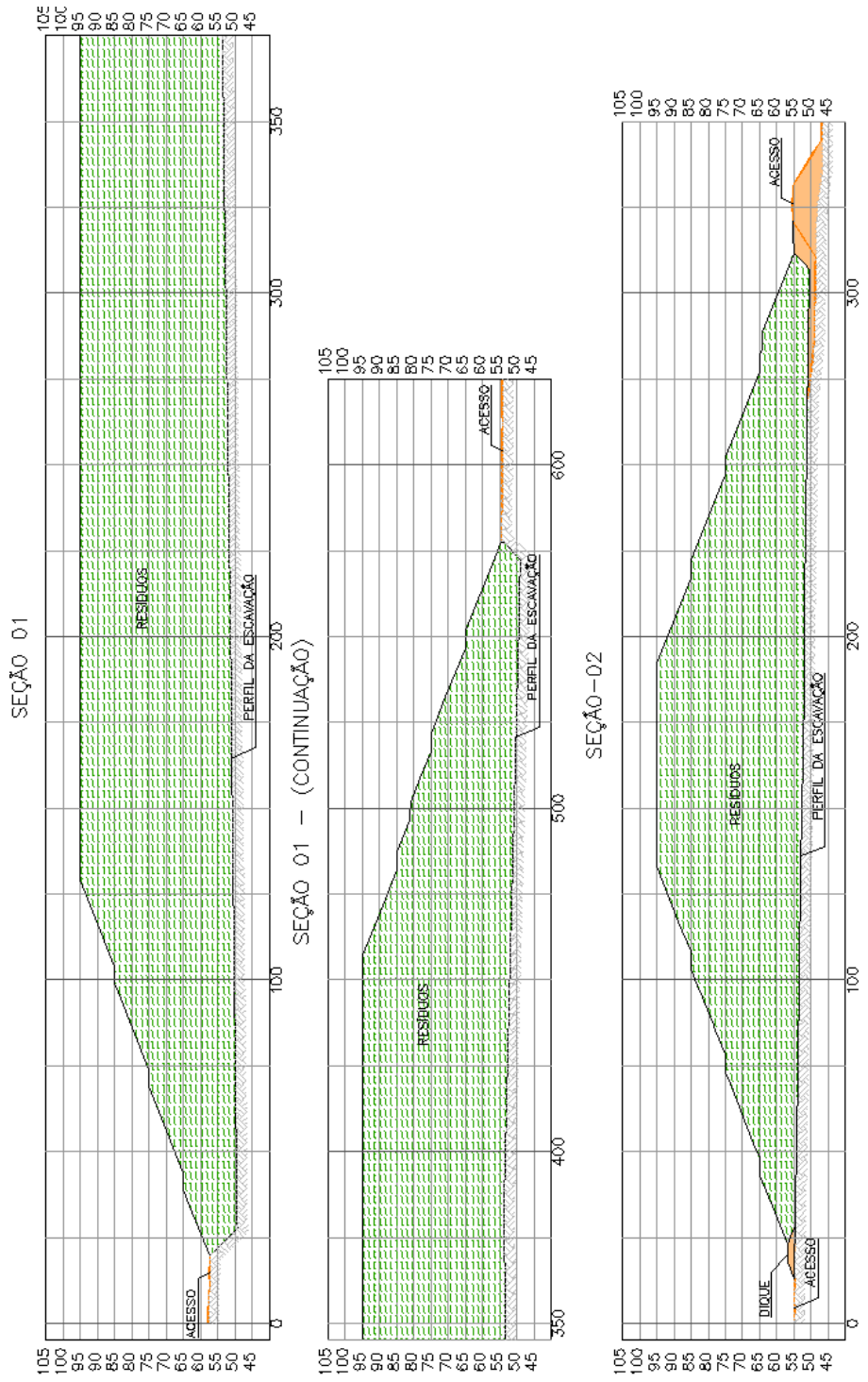



Figura 34. Geometria referente às seções de estabilidade.

### 5.2.3. Metodologia de cálculo

As análises de estabilidade foram processadas utilizando-se o método de equilíbrio limite de *Bishop*, utilizado para a determinação do coeficiente de segurança para taludes contra a ruptura em uma superfície de ruptura cilíndrica.

No caso do programa de cálculo utilizado (*Slope/W*), ele computa um coeficiente de segurança para o equilíbrio dos momentos (*Fm*) e um segundo com respeito ao equilíbrio das forças horizontais (*Ff*), realizando um processo interativo até que *Fm* e *Ff* sejam aproximadamente os mesmos. O polígono de forças neste método é praticamente perfeito, indicando que as forças aplicadas em cada lamela ajustam cada lamela em um quase-prefeito equilíbrio de forças.

Os resultados das análises foram expressos em coeficientes de segurança, que é a relação entre os esforços resistentes, proporcionados pela resistência ao cisalhamento dos materiais e os esforços instabilizantes, que impulsionam o talude ao escorregamento.

### 5.2.4. Poropressões

O desempenho do sistema de drenagem do aterro é o que realmente governa a estabilidade. Neste sentido, dentro das condições de projeto e operacionais a serem seguidas, optou-se por modelar a poropressão dos resíduos pela variação do fator *ru*, por não se ter conhecimento no momento de linhas freáticas dentro do resíduo. Com isso, os registros das instrumentações, através de piezômetros principalmente, é o que indicará a segurança do aterro em sua operação. Para questões de projeto, foi adotado um valor de *ru* igual a 0,3.

### 5.2.5. Resultados das análises

As figuras a seguir ilustram os resultados de estabilidade para a seção crítica utilizando os parâmetros de resistência ao cisalhamento apresentados pela Tabela 7. Foram realizadas análises de estabilidade global, pela fundação, como também pela interface entre os geossintéticos.

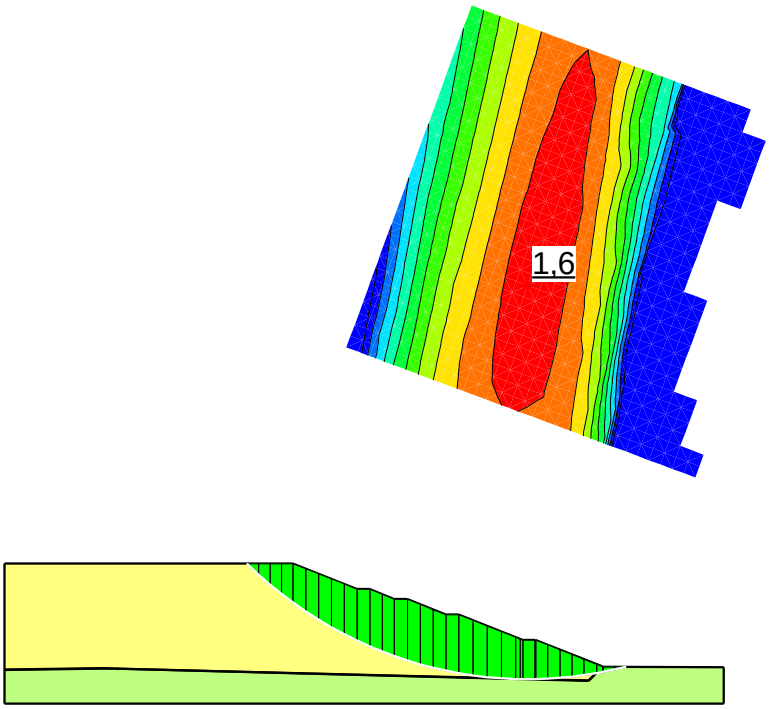



Figura 35. Análise de estabilidade global para a Seção de estabilidade 01.

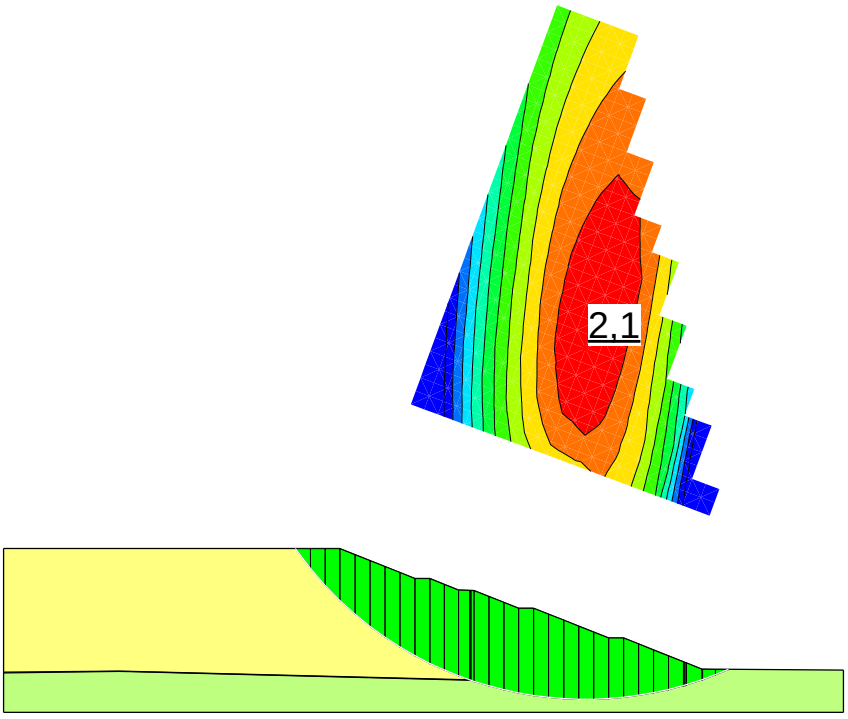



Figura 36. Análise de estabilidade da fundação para a Seção de estabilidade 01.

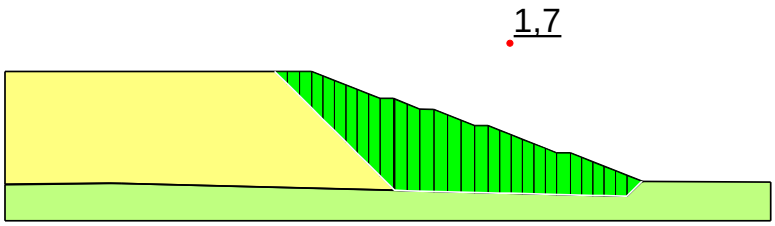



**Figura 37.** Análise de estabilidade pela interface considerando geomembrana texturizada para a Seção de estabilidade 01.

Conforme pode ser visto, o fator de segurança mínimo com relação à estabilidade global como também pela fundação, igual a 1,5, é atendido, assegurando com isso que o aterro apresenta condições de segurança.

### *5.3. Terraplenagem*

O volume da terraplenagem foi obtido através de software apropriado.

Neste projeto os taludes de corte foram concebidos na proporção 1V:1H e o maior corte tem aproximadamente 9m de altura. A terraplenagem da área de implantação do aterro sanitário resultará no total de escavação de 755.085 m³ e de um aterro da ordem 10.162 m³ resultando em 744.923 m³ de solo para ser utilizado na cobertura diária e final do aterro sanitário, aterro de proteção, acessos, diques e na construção da base do aterro sanitário. A **Figura 38** a seguir ilustra uma seção da terraplanagem da área e a **Figura 8** , apresentada anteriormente, podemos visualizar área total da terraplenagem.




**Figura 38.** Seções de escavação do aterro.

Para a construção do dique será necessário um volume de 6.829 m³ de solo.

Além do dique de partida também foi calculado o volume de solo a ser utilizado para a camada de regularização do aterro, totalizando um volume de 32.224 m³. Todo o volume excedente da terraplanagem será utilizado durante a operação do aterro como diques de

células, cobertura diária e/ou definitiva, não tendo sobras ou necessidade de material de jazidas externas.

### *5.4. Estimativa de Geração de Percolados / Lixiviados*

Os resíduos sólidos se decompõem dando origem aos líquidos percolados, que constituem um problema sério relativo à degradação ambiental. Dentro da realidade dos fatos, a questão de maior preocupação é a geração de percolado (lixiviado ou chorume) que é uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, nas suas formas dissolvidas e coloidais, formado durante a decomposição química dos resíduos, sendo um problema em potencial de contaminação das águas superficiais e principalmente subterrâneas. O percolado, lixiviado ou chorume pode ser caracterizado como a parte líquida da massa de resíduos, que percola através desta, carreando materiais dissolvidos ou suspensos, que constituirão cargas poluidoras ao meio ambiente. O chorume é composto pelo líquido que entra na massa de resíduos, proveniente de fontes externas, tais como sistema de drenagem superficial, chuvas, lençóis freáticos, nascentes e aqueles resultantes da decomposição dos resíduos sólidos.

A NBR 8.419 define percolado como “líquido que passou através de um meio poroso”. Em outro ponto da norma, também é definido o conceito de “sumeiro” ou “chorume”, que é: “líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada demanda bioquímica de oxigênio. Além disso, a mesma norma conceitua o termo lixiviação, que representa “o deslocamento ou arraste, por meio líquido, de certas substâncias contidas nos resíduos sólidos urbanos”.

Para a estimativa destes líquidos percolados utilizaremos 3 metodologias diferentes para uma análise final de qual vazão será utilizada para os dimensionamentos das drenagens de lixiviados internas do aterro.

#### *5.4.1. Método Suíço*

É um método simples e amplamente utilizado no meio acadêmico e de projetos que associa a geração da vazão de percolado mais intrinsecamente à compactação dos resíduos sólidos e ao índice pluviométrico. Foi desenvolvido pelo suíço Hans Jurgen Ehrig,

ao estudar a influência da precipitação e os tipos de máquinas empregadas na operação de aterros.

Para efeito de projeto são empregados coeficientes empíricos que correlacionem a produção de percolado com a pluviometria. A fórmula para estimar a vazão de percolado, é apresentada por ROCCA et al. (1981):

$$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times k$$

Onde:

- Q = vazão média de percolados (L/s);
- t = número de segundos no mês (s);
- P = precipitação média mensal (mm);
- A = área do aterro (m²);
- K = constante de compactação dos resíduos obtidos pela Tabela 8.

**Tabela 8.** Valores de k para Método Suíço (ROCCA *e al.*, 1981).

| INTENSIDADE DA COMPACTAÇAO DOS RESÍDUOS | VALORES DE K |
|---|---|
| Aterros fracamente compactados com peso específico 0,4t/m³ a 0,7t/m³ | 0,25 a 0,50 |
| Aterros fortemente compactados com peso específico igual ou superior a 0,7t/m³ | 0,15 a 0,25 |

Portando considerando-se:

- K = 0,20 para um aterro fortemente compactado (peso específico do resíduo de 0,9 t/m³);
- P = precipitação média mensal (mm);
- A = 111.803 m² área da Fase 1 do aterro (m²);
- A = 59.466 m² área da Fase 2 do aterro (m²);

Para as precipitações conforme o item 2.5 é apresentado a vazão média no final de vida útil do aterro e a máxima para a maior vazão mensal no período estudado.

Tabela 9. Vazões obtidas pelo Método Suíço.

| Precipitação (mm) | | Fase 1 | | Fase 2 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Vazão (L/s) | Vazão (m³/dia) | Vazão (L/s) | Vazão (m³/dia) |
| Máxima Mensal | 344,0 | 3,04 | 262,7 | 1,51 | 130,1 |
| Mensal Média | 100,3 | 0,89 | 76,6 | 0,44 | 37,9 |

### *5.4.2. Método Racional*

É um método utilizado na hidrologia, também de aplicação simples, que estima a vazão de escoamento máximo de uma intensidade máxima de precipitação em uma determinada área, em geral menor que 500ha.

O método leva em consideração três parâmetros, conforme equação a seguir:

$$Q = C \times i \times A$$

Em que:

- Q = vazão superficial máxima (m³/s);
- C = coeficiente de escoamento superficial ou runoff;
- i = intensidade média da chuva (m³);
- A = área da bacia receptora da chuva.

Com objetivo de se calcular a parcela da precipitação que infiltra, é preciso subtrair o volume escoado do volume total do precipitado que incide sobre o aterro, para o mesmo intervalo de tempo, além de subtrair a parcela de água evapotranspirada:

$$Q = \{[(P - ES) - EP]/t\} \times A$$

Em que:

- Q = vazão do percolado;
- P = precipitação média mensal;
- EP = evaporação potencial;

- A = área de contribuição;
- t = número de segundos no mês (s);
- ES = (P x C) = escoamento superficial;
- C = coeficiente de escoamento superficial ou runoff.

O coeficiente de escoamento superficial utilizado foi definido com base nos coeficientes sugeridos pela CETESB (1979), conforme apresentado na **Tabela 10**.

**Tabela 10.** Coeficientes de escoamento superficial (CETESB, 1979).

| Tipo de solo | Declividade % | Coeficiente C | |
|---|---|---|---|
| | | Estação Seca | Estação Úmida |
| Arenoso | 0 a 2 | 0,17 | 0,34 |
| | 2 a 7 | 0,34 | 0,50 |
| Argiloso | 0 a 2 | 0,33 | 0,43 |
| | 2 a 7 | 0,45 | 0,55 |

Para o cálculo foram utilizados os dados de pluviometria conforme item 2.5, e a evaporação potencial foi obtida pelo método de Thornthwaite (1948) para evapotranspiração. Foi considerado um solo de matriz argilosa como cobertura para o escoamento superficial. Na **Tabela 12** são apresentadas as vazões médias no final de vida útil do aterro e a máxima para a maior vazão mensal no período estudado.

Portanto:

**Tabela 11.** Cálculo de P-ES-EP.

| Meses | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Precipitação | 105,3 | 94,0 | 105,7 | 80,9 | 85,1 | 71,9 | 70,7 | 89,8 | 40,3 | 129,7 | 190,9 | 139,2 |
| Escoamento superficial | 45,3 | 40,4 | 45,5 | 26,7 | 28,1 | 23,7 | 23,3 | 29,6 | 0,0 | 55,8 | 82,1 | 59,8 |
| Evapotranspiração Potencial | 134,3 | 126,5 | 110,9 | 85,3 | 58,5 | 39,4 | 41,0 | 53,0 | 60,0 | 81,1 | 94,3 | 121,9 |
| $(P - ES) - EP$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 8,8 | 6,3 | 7,2 | 0,0 | 0,0 | 14,5 | 0,0 |

Temos:

Tabela 12.Vazões obtidas pelo método racional.

| $(P - ES) - EP$ (em mm) | | Fase 1 | | Fase 2 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Vazão (L/s) | Vazão (m³/dia) | Vazão (L/s) | Vazão (m³/dia) |
| Máxima Mensal | 14,5 | 0,64 | 55,4 | 0,32 | 27,4 |
| Mensal Média | 3,1 | 0,14 | 11,7 | 0,07 | 5,8 |

### *5.4.3. Método do Maior Excedente Hídrico*

É um método onde a vazão é calculada em função de um coeficiente de infiltração, o percolado e a área, sendo o percolado a somatório da precipitação menos a evaporação para do mês de maior excedente hídrico, conforme observado abaixo:

$$Q = (K \times P_{erc} \times A)/\Delta t$$

Onde:

- Q = vazão média de percolado;
- K = coeficiente de infiltração em função das características do solo de cobertura;
- Perc = Σ(P-EP) para o mês de maior excedente hídrico;
- P = altura pluviométrica (média mensal);
- EP= evapotranspiração potencial (média histórica mensal).

Para o cálculo foram utilizados os dados de pluviometria conforme item 2.5, bem como os dados de evapotranspiração pelo método de Thornthwaite (1948). Foi considerado um solo de matriz argilosa como cobertura, adotando-se o coeficiente de infiltração de 0,65, obtido através do percentual que infiltra subtraindo-se os coeficientes de escoamento superficial (CETESB, 1979). Portanto:

Tabela 13. Cálculo do maior excedente hídrico.

| Meses | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Precipitação | 105,3 | 94,0 | 105,7 | 80,9 | 85,1 | 71,9 | 70,7 | 89,8 | 40,3 | 129,7 | 190,9 | 139,2 |
| Evapotranspiração Potencial | 134,3 | 126,5 | 110,9 | 85,3 | 58,5 | 39,4 | 41,0 | 53,0 | 60,0 | 81,1 | 94,3 | 121,9 |
| Perc | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 26,6 | 32,5 | 29,6 | 36,8 | 0,0 | 48,5 | 96,6 | 17,3 |

Temos:

Tabela 14. Vazões obtidas pelo método de maior excedente hídrico.

| $P - EP$ (em mm) | | Fase 1 | | Fase 2 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Vazão (L/s) | Vazão (m³/dia) | Vazão (L/s) | Vazão (m³/dia) |
| Máxima Mensal | 96,6 | 2,76 | 238,7 | 1,37 | 118,3 |
| Mensal Média | 24,0 | 0,69 | 59,3 | 0,34 | 29,4 |

### *5.4.4. Comparativo das estimativas de geração de percolados / lixiviados*

Na Tabela 15 é apresentado um comparativo dos resultados dos métodos utilizados para estimar o percolado / lixiviado que será gerado no aterro.

Tabela 15. Comparativo das estimativas de vazão percolado.

| Método | Fase 1 | | Fase 2 | |
|---|---|---|---|---|
| | Vazão Máxima (L/s) | Vazão Média (L/s) | Vazão Máxima (L/s) | Vazão Média (L/s) |
| Suíço | 3,04 | 0,89 | 1,51 | 0,44 |
| Racional | 0,64 | 0,14 | 0,32 | 0,07 |
| Maior Excedente Hídrico | 2,76 | 0,69 | 1,37 | 0,34 |

Para efeito do dimensionamento das drenagens de percolados / lixiviados utilizaremos os resultados do Método Suíço que é mais conservador e a favor da segurança.

### *5.5. Sistema de drenagem de percolados / lixiviados*

A drenagem de base será realizada através de um sistema de espinha de peixe com drenos principais constituído por rachão com um tubo de PEAD corrugado e drenos secundários constituído apenas com rachão. Os drenos das camadas de alteamento do aterro serão executados apenas com rachão e serão interligados nos drenos verticais que conduzirão o lixiviado ao dreno principal de base e consequentemente à lagoa. A proposta pode ser visualizada nos desenhos de projetos em anexo.

Os parâmetros hidráulicos dos materiais utilizados para drenagem de lixiviados e descritos na literatura estão sugeridos nas Tabela 16 e

Tabela 17, tanto para condutividade hidráulica e raio hidráulico.

Tabela 16. Condutividade hidráulica para materiais drenantes.

| Tipo de Material | Granulometria (cm) | K (cm/s) |
|---|---|---|
| Brita 5 | 7,5 a 10,0 | 100 |
| Brita 4 | 5,0 a 7,5 | 80 |
| Brita 3 | 2,5 a 5,0 | 45 |
| Brita 2 | 2,0 a 2,5 | 25 |
| Brita 1 | 1,0 a 2,0 | 15 |
| Brita 0 | 0,5 a 1,0 | 5 |
| Areia Grossa | 0,2 a 0,5 | 0,1 |
| Areia Fina | 0,005 a 0,04 | $10^{-3}$ |
| Silte | 0,0005 a 0,005 | $10^{-5}$ |
| Argila | menor que 0,0005 | $10^{-8}$ |

Tabela 17. Valores de Rh (Raio hidráulico) para britas.

| Brita ou Cascalho | Diâmetro Nominal (cm) | Diâmetro Equivalente (cm) | Porosidade | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Rh (cm) | | |
| | | | 0,40 | 0,45 | 0,50 |
| 2 | 2,0 | 1,52 | 0,17 | 0,21 | 0,25 |
| 3 | 2,5 | 1,91 | 0,21 | 0,26 | 0,32 |
| 4 | 5,0 | 3,8 | 0,42 | 0,52 | 0,63 |
| 5 | 7,5 | 5,46 | 0,61 | 0,74 | 0,91 |

### *5.5.1. Verificação da capacidade do tubo da base do aterro*

Para a verificação da capacidade do tubo drenante do dreno principal, central e periférico responsável pela coleta e direcionamento do lixiviado, foi utilizado a metodologia de cálculo de conduto livre utilizando a *Equação de Manning* que apresenta a formulação a seguir:

$$Q = (1/n) \times RH\text{^}(2/3) \times (i\text{^}0{,}5) \times Am$$

Em que:

- Q – vazão ($m^3/s$);
- n – coeficiente de *Manning*;
- RH – raio hidráulico (m);

- I – Declividade do trecho (m/m);
- Am – Área molhada ($m^2$).

Para a verificação da capacidade de drenagem do sistema proposto, foi considerada a vazão máxima para o mês mais crítico do período estudado de 3,04 L/s num tubo de PEAD perfurado de 200 mm de diâmetro, com toda a vazão do sistema passando num único dreno. Como o sistema de drenagem de percolados está divido em fases e é independente, é apresentado apenas o caso mais crítico que é o da fase 1.

A capacidade máxima de vazão do tubo de PEAD calculada, conforme Tabela 18, é de 32,88 L/s, vazão que está acima da vazão máxima prevista, gerando um fator de segurança de 10,8. Esse fator de segurança é importante pois pode cobrir eventuais colmatações dos tubos durante a vida útil do aterro.

Tabela 18. Dimensionamento e verificação hidráulica dos tubos dos drenos principais.

| Capacidade da vazão do tubo drenante | | |
|---|---|---|
| **Item** | **Quantidade** | **Unidade** |
| **Vazão prevista** | 3,04 | L/s |
| **Tubo de PEAD perfurado** | 200 | mm |
| **Declividade mínima do sistema** | 1,5 | % |
| **Coeficiente de Manning (tubo PEAD perfurado)** | 0,016 | m/s |
| **Capacidade da vazão máxima do sistema** | 32,88 | L/s |
| **Fator de Segurança** | 10,8 | L/s |

### *5.5.2. Verificação dos drenos em meio poroso*

Com relação à capacidade do meio poroso do dreno principal, secundário e de camada a serem executados no aterro utilizou-se a *Lei de Darcy* utilizados para meios porosos que segue a formulação a seguir:

$$Q = K \times A \times i$$

Em que:

- Q- Vazão ($m^3/s$);
- K – Coeficiente de permeabilidade (m/s);

- A – Área de seção de escoamento (m²);
- i – Gradiente hidráulico (declividade do terreno);

Nas Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21 são apresentadas as verificações da capacidade de vazão do meio poroso das drenagens principais, secundarias e de camadas do aterro. Para todas as verificações considerou-se o pior caso em que apenas 1 dreno é responsável por toda vazão máxima de 3,04 L/s. Foram considerados como meio poroso brita 4 (rachão) e as declividades mínimas de projeto. Podemos concluir que os drenos estão com fatores de segurança satisfatórios sendo capazes de suportar contribuições maiores que as previstas em projeto.

Tabela 19. Capacidade da vazão do meio poroso do dreno principal.

| Capacidade da vazão do meio poroso do dreno principal | | |
|---|---|---|
| item | Quantidade | Unidade |
| Vazão Prevista | 3,04 | L/s |
| Largura da Seção do dreno | 1,0 | m |
| Altura da Seção do dreno | 0,5 | m |
| Declividade mínima do sistema | 1,5 | % |
| Coeficiente de condutividade hidráulica | 80 | cm/s |
| Porosidade do Meio Drenante | 0,45 | |
| Capacidade da vazão máxima do sistema | 5,62 | L/s |
| Fator de segurança | 1,8 | |

Tabela 20. Capacidade da vazão do meio poroso do dreno secundário.

| Capacidade da vazão do meio poroso do dreno secundário | | |
|---|---|---|
| item | Quantidade | Unidade |
| Vazão Prevista | 3,04 | L/s |
| Largura da Seção do dreno | 0,5 | m |
| Altura da Seção do dreno | 0,5 | m |
| Declividade mínima do sistema | 1,5 | % |
| Coeficiente de condutividade hidráulica | 80 | cm/s |
| Porosidade do Meio Drenante | 0,45 | |
| Capacidade da vazão máxima do sistema | 6,00 | L/s |
| Fator de segurança | 2,0 | |

Tabela 21. Capacidade da vazão do meio poroso do dreno de camada.

| Capacidade da vazão do meio poroso do dreno de camada | | |
|---|---|---|
| item | Quantidade | Unidade |
| Vazão Prevista | 3,04 | L/s |
| Largura da Seção do dreno | 0,8 | m |
| Altura da Seção do dreno | 1,9 | m |
| Declividade mínima do sistema | 1,0 | % |
| Coeficiente de condutividade hidráulica | 80 | cm/s |
| Porosidade do Meio Drenante | 0,45 | |
| Capacidade da vazão máxima do sistema | 12,16 | L/s |
| Fator de segurança | 4,0 | |

### *5.5.3. Verificação dos tubos de lançamento nas lagoas*

O sistema de escoamento proposto contempla dois tubos de PEAD de 200 mm de diâmetro interno que trabalham independentes. São previstos dois tubos caso algum deles precise de manutenção.

Para a verificação da capacidade do tubo de drenagem também foi utilizada a metodologia de cálculo de conduto livre utilizando a *Equação de Manning*, para a vazão máxima de 3,04 l/s que é a vazão máxima calculada para a fase 1 do aterro passando por apenas um tubo. E a inclinação mínima sugerida foi de 1% para um tubo de 200 mm.

A capacidade máxima para o tubo proposto será de 46,31 L/s, vazão que está acima da vazão máxima prevista total.

Tabela 22. Dimensionamento e verificação hidráulica do tubo de condução para a lagoa.

| Capacidade da vazão do tubo de condução | | |
|---|---|---|
| Item | Quantidade | Unidade |
| Vazão prevista | 3,04 | L/s |
| Tubo de PEAD | 200 | mm |
| Declividade mínima do sistema | 1,0 | % |
| Coeficiente de Manning (tubo PEAD liso) | 0,009 | m/s |
| Capacidade da vazão máxima do sistema | 46,31 | L/s |
| Fator de Segurança | 15,2 | |

### *5.5.4. Cálculo do Sistema de Armazenamento de Lixiviados*

No aterro de São Mateus os lixiviados serão conduzidas para duas lagoas de contenção localizada a nordeste e a sul do aterro. A lagoa a nordeste atenderá a 1 fase do aterro e a lagoa ao sul atenderá a 2 fase.

Para a vazão média de geração de lixiviados da 1 fase de 0,89 l/s ou 76,6 m³/dia e um volume útil de 5.792 m³ da lagoa teremos uma capacidade de detenção de 75 dias aproximadamente. Já para a fase 2 temos a vazão média de 0,44 l/s ou 37,9 m³/dia e um volume útil de 9.760 m³ da lagoa com uma capacidade de detenção de 256 dias aproximadamente.

## *5.6. Sistema de drenagem superficial*

### *5.6.1. Concepção do sistema*

A concepção do sistema de drenagem de águas pluviais do aterro sanitário consiste na captação e direcionamento das águas pluviais de modo que haja um mínimo de infiltração no maciço do aterro para evitar condições que possam desestabilizar os taludes.

Para que seja eficiente esta captação e condução das águas pluviais há a necessidade da implantação de dispositivos que devem ser implantados em pontos específicos para proporcionar o encaminhamento das águas para o ponto de lançamento.

As redes de drenagens superficiais do aterro sanitário serão compostas por canaletas de bermas, descidas d'águas, travessias de bermas, travessia de viários e canaletas de contornos.

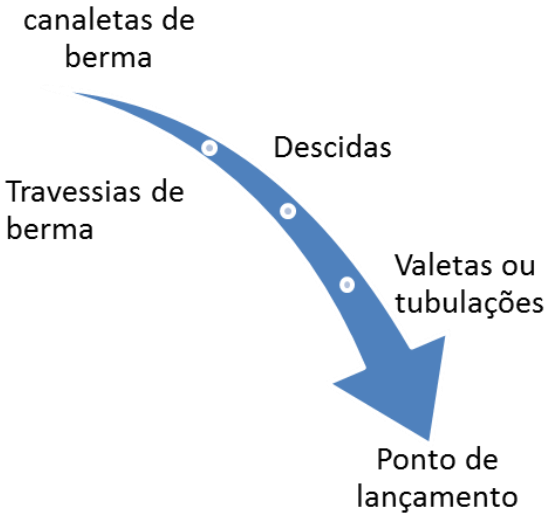



Figura 39. Fluxograma dos elementos de drenagem no aterro.

#### *5.6.1.1. Canaleta de berma*

Segundo o Fluxograma os elementos de drenagem devem ser implantados no aterro da seguinte forma: quando a célula estiver em processo de enchimento as canaletas de bermas devem ser executadas em sarjetas trigulares revestidas com bica corrida, conforme ilustrado pela Figura 40. Este procedimento deve ser realizado pois sua implantação é simples de custo baixo e facil manutenção.

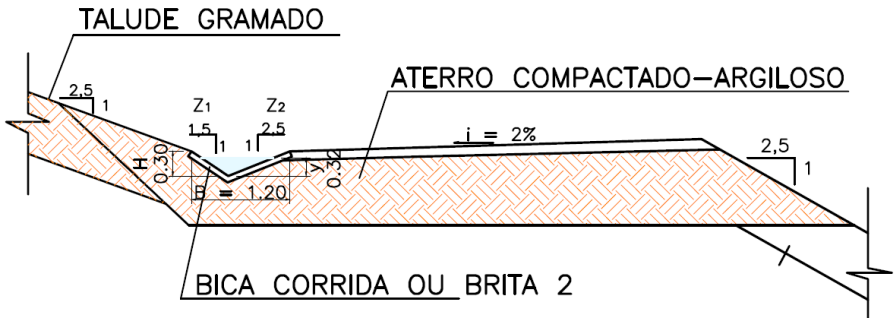



Figura 40. Canaleta de berma em bica corrida.

Nas camadas já conformadas são recomendadas a implantação de canaletas tipo meia cana, devido à facil instalação e se comportam bem com as movimentações do terreno

oriundas da decomposição da matéria orgânica no interior do maciço, conforme detalhe da Figura 41 .

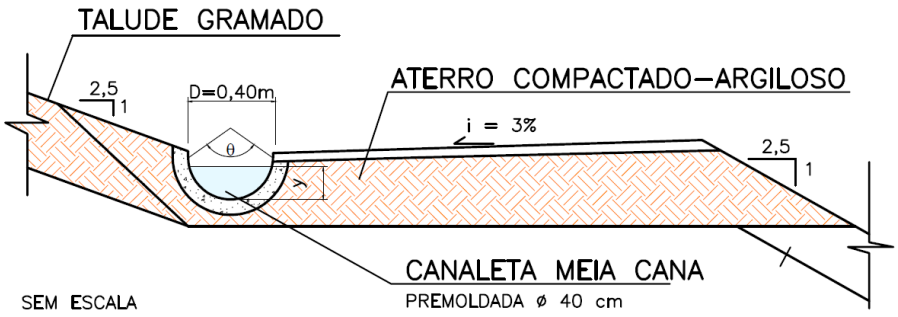



Figura 41. Canaleta de berma tipo meia cana de concreto.

### *5.6.1.2. Descida d'água*

As descidas d'água nas áreas de operação do aterro poderem ser implantadas provisoriamente. Este tipo de drenagem é formado por uma canaleta, em formato trapezoidal, revestido com geomembrana PEAD de 1 mm, conforme Figura 42 .

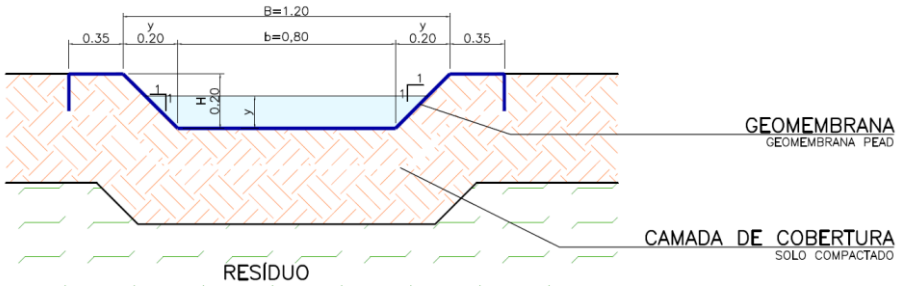



Figura 42. Descida d'água provisória.

As descidas d'águas definitivas deverão ser executadas na face dos taludes em gabião colchão em formato trapezoidal, conforme pode ser visto pela Figura 43. As implantações das descidas d'águas são executadas sobre a camada de cobertura dos resíduos por onde escoa grande volume d'água. O grande volume de escoamento d'água sobre as descidas d'águas torna o sistema vulnerável com possibilidade de infiltração no maciço do aterro. Desta forma é recomendado a instalação de Geomembrana PEAD de 1 mm sob o sistema.

Na face do talude, onde serão instaladas as descidas d'águas, deverá ser escavada uma vala. Na vala escavada deverá ser executada uma camada de solo compactado e instalada uma camada de geomembrana e geotêxtil não tecido. Sobre a camada de geotêxtil, o gabião colchão deverá ser executando em escalonamento em degraus para a "quebra" de energia do escoamento das águas superficiais quando necessário.

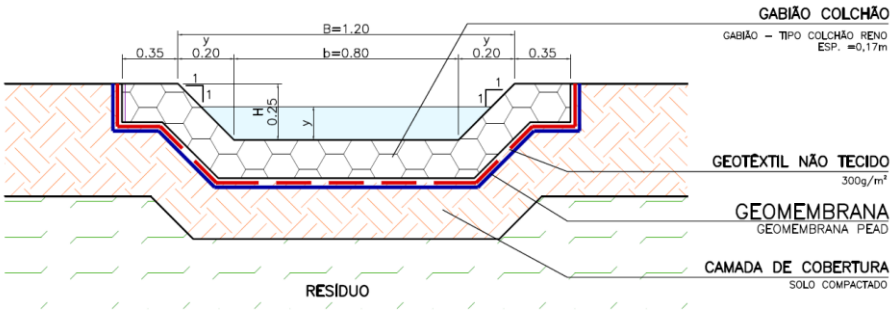



Figura 43. Descida d'água em gabião colchão

### *5.6.1.3. Travessias de bermas e viários*

Nas descidas d'águas que chegam de encontro com bermas e viários, a transposição deverá ser feita por travessias em tubulação de concreto armado. O tubo deverá estar implantado sob a berma ou viário, para possibilitar o tráfego de máquinas e veículos que executarão das manutenções necessárias no aterro.

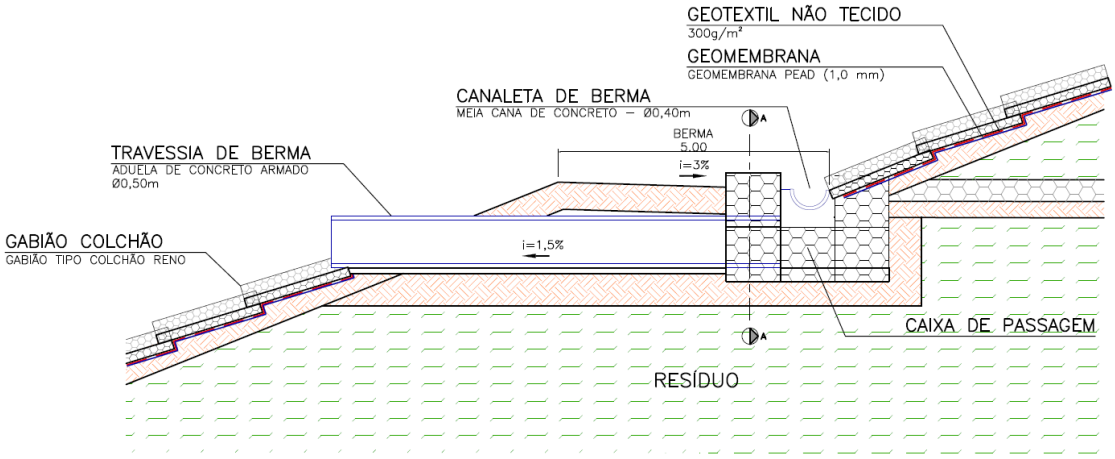



Figura 44. Travessia de berma e viários.

### *5.6.1.4. Canaleta de contorno*

Toda a água captada pela rede de drenagem superficial será conduzida paras as canaletas de contorno. Após a captação de toda a vazão das canaletas de contorno, a água pluvial será encaminhada para um ponto de lançamento adequado, numa bacia de sedimentação para posterior envio num curso de água ou algum ponto preparado do terreno que não causem problemas de nenhuma ordem.

As canaletas de contorno terão o formato retangular e serão implantadas em valas escavadas com base em concreto de 7,5 cm de espessura, paredes em alvenaria revestida com argamassa. Estão previstas armadura a cada 3m.

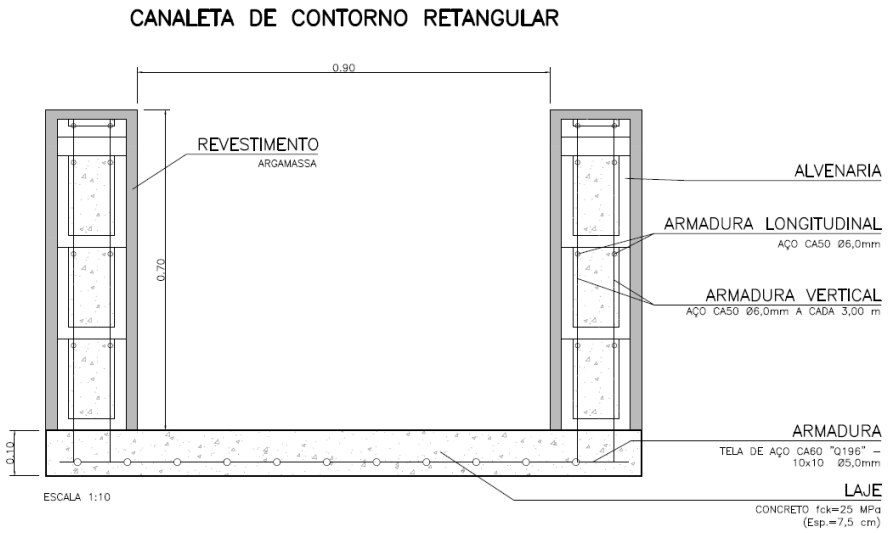



Figura 45. Canaleta de contorno.

### *5.6.2. Estudos hidrológicos*

Os estudos hidrológicos são normalmente desenvolvidos para subsidiar a elaboração de projeto executivo das estruturas hidráulicas a serem construídas, bem como para permitir o diagnóstico dos dispositivos existentes.

### *5.6.2.1. Intensidade de chuva crítica*

A área do aterro fica na cidade de São Mateus e a equação foi obtida por meio do software *Pluvio 2.1*, especializado em dados de chuvas intensas pelo método do inverso da quinta potência da distância, por ser esta uma das 28 combinações entre formas de interpolação que apresentaram melhores resultados na estimativa da intensidade máxima média de precipitação. Este software permite a obtenção dos parâmetros K, a, b, c da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação (*SILVA et al., 2006*).

Para o cálculo da intensidade de chuva em função do período de retorno é necessário utilizar a expressão na sua forma mais ampla que se apresenta a seguir:

$$I = \frac{k * T^a}{(t+b)^c}$$

Em que:

- I – intensidade de chuva (mm/h);
- t – duração de precipitação, mim;
- T – período de retorno (anos);
- K,a,b,c – constantes de ajustes locais.


Plúvio 2.1
Copyright (2005) © GPRH
RELATÓRIO
Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação

LOCALIZAÇÃO:

**Localidade:** São Mateus **Estado:** Espírito Santo
**Latitude:** 18°42'58"
**Longitude:** 39°51'32"

PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:

**K:** 4999,380
**a:** 0,191
**b:** 49,999
**c:** 0,983

Figura 46. Coeficientes para a equação de chuva de Luiz Alves (Blumenau).

Para:

- t = 20 min;

- T = 5 anos;

Temos:

- Ic= 1,740 mm/min.

#### *5.6.2.2. Análise das vazões de pico da bacia*

As vazões críticas utilizadas no dimensionamento dos elementos de drenagem superficial foram determinadas pelo Método Racional, utilizado para áreas de drenagem inferiores a 2,5km², onde a área de drenagem é limitada pelo próprio elemento e pela linha do divisor de águas. As vazões de pico foram dimensionadas através da seguinte expressão:

$$Q = A \,.\, Ic \,.\, C$$

Em que:

- Q - Vazão de Pico;
- A - Área de contribuição;
- $I_c$ - Intensidade de chuva crítica;
- C - Coeficiente de escoamento superficial.

Tabela 23. Coeficientes de escoamento superficial (C) (Cetesb, 1979).

| Tipo de cobertura | Solo Arenoso | | Solo argiloso | |
|---|---|---|---|---|
| | Declividades | | Declividades | |
| | <7% | >7% | <7% | >7% |
| Áreas com matas | 0,2 | 0,25 | 0,25 | 0,3 |
| Campos cultivados | 0,3 | 0,35 | 0,35 | 0,4 |
| Áreas gramadas | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| Solos sem cobertura vegetal | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |

Para a fase de projeto básico levamos em consideração os casos mais críticos e a capacidade de vazão levaram-se em consideração uma previsão para a bacia futura, conforme os cálculos apresentados na Tabela 24 a seguir, e considerando a fase de construção do aterro, em solo argiloso descoberto, e fase definita em grama.

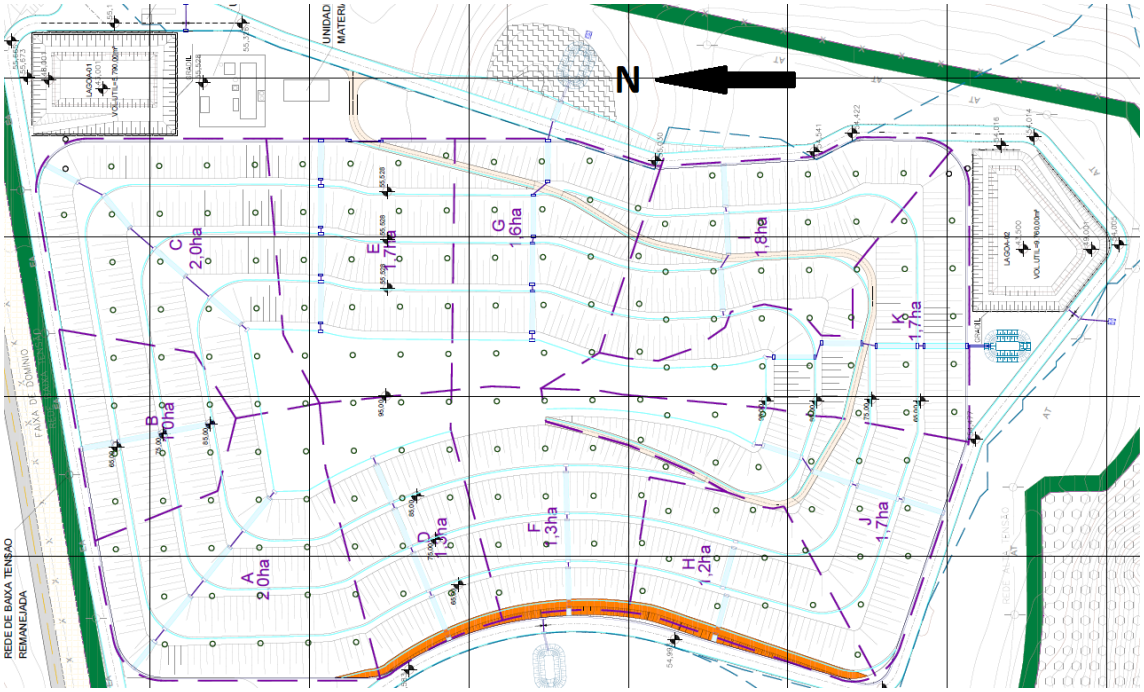



Figura 47. Croqui das áreas de contribuição final.

Tabela 24. Quantificação das vazões.

| Sub-bacia | A (m2) | C | Q (m3/s) | Q (L/s) |
|---|---|---|---|---|
| I - Dimensionamento de canaletas de berma provisórias - triangular de bica corrida ou brita | 3.000 | 0,7 | 0,061 | 60,9 |
| II - Dimensionamento de canaletas de berma fase final - meia-cana de concreto | 3.000 | 0,5 | 0,043 | 43,5 |
| III - Dimensionamento de descida d'água provisória - geomembrana de PEAD | 20.000 | 0,7 | 0,406 | 406,0 |
| IV - Dimensionamento de descida d'água fase final - gabião colchão ou Geocélula | 20.000 | 0,5 | 0,290 | 290,0 |
| V - Dimensionamento de travessia de berma - tubo de concreto | 20.000 | 0,7 | 0,406 | 406,0 |
| VI - Dimensionamento de canaletas de contorno definitiva / Bacia crítica | 64.000 | 0,5 | 0,928 | 928,0 |

### *5.6.3. Dimensionamento hidráulico dos elementos do sistema de drenagem superficial*

Os elementos de drenagem superficial são apresentados e detalhados nas folhas de projeto em anexo a este relatório. O dimensionamento é apresentado a seguir e foi elaborado tomando-se em conta o projeto estar em fase de projeto básico.

Os elementos de drenagem foram dimensionados através da equação de *Manning*, apresentada a seguir:

$$Q = \frac{1}{\eta} S_h R_h^{2/3} I_o^{0,5}$$

Em que:

- $\eta$ - Coeficiente de rugosidade de Manning;
- $I_o$ - Declividade do canal;
- $S_h$ - Área molhada;
- $P_h$ - Perímetro molhado.
- $R_h$ - Raio hidráulico: $R_h = S_h / P_h$

Devem ser respeitadas também as seguintes condições:

- Altura livre mínima igual a 20% da lâmina líquida;
- Velocidade máxima de acordo com o material do canal conforme a Tabela 25.

Tabela 25. Velocidade máxima de escoamento (*Porto, 1998*).

| Velocidade (m/s) | | | Tipo de Material |
|---|---|---|---|
| 0,23 | a | 0,3 | Areia muito fina |
| 0,3 | a | 0,46 | Areia solta média |
| 0,46 | a | 0,61 | Areia grossa |
| 0,61 | a | 0,76 | Terreno arenoso comum |
| 0,76 | a | 0,84 | Terreno silte argiloso |
| 0,84 | a | 0,91 | Terreno de aluvião |
| 0,91 | a | 1,14 | Terreno argiloso compacto |
| 1,14 | a | 1,22 | Terreno argiloso duro |
| 1,22 | a | 1,52 | Solo cascalhado |
| 1,52 | a | 1,83 | Cascalho grosso, pedregulho, pirraça |
| 1,83 | a | 2,44 | Rochas sedimentares moles-xistos |
| 2,44 | a | 3,05 | Alvenaria |
| 3,05 | a | 4 | Rochas compactas |
| 4 | a | 6 | Concreto |

#### *5.6.3.1. Canaletas de berma provisória*

Para canaleta triangular tem-se a seguinte equação para determinação da área molhada e do raio hidráulico:

$$S_h = \frac{y^2}{2}(z_1 + z_2) \quad \text{e} \quad P_h = y\left(\sqrt{1+z_1^2} + \sqrt{1+z_2^2}\right)$$

Em que:

- y = altura da lâmina d'água;
- $z_1$ e $z_2$: inclinação de cada face da base da canaleta triangular.

Abaixo são apresentados os parâmetros adotados, bem como os resultados e dimensões adotadas para as canaletas de berma fases intermediárias.

Para:

- $z_1$ = 1,5
- $z_2$ = 2,5

- Declividade da canaleta = 1%;

Tabela 26. Resultado do dimensionamento das canaletas de berma provisória.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Altura da canaleta adotada | H= | 0,3 | m |
| Largura da canaleta adotada | B= | 1,2 | m |
| Vazão Requerida | Q= | 60,9 | l/s |
| Vazão Calculada | Q= | 64,8 | l/s |
| Fator de segurança | FS= | 1,06 | |

### *5.6.3.2. Canaletas de berma definitiva*

Para canaleta meia-cana (circular) tem-se a seguinte equação para determinação da área molhada e do raio hidráulico:

$$S_h = D^2 \frac{(\theta - sen\theta)}{8} \quad \text{e} \quad R_h = D\frac{\left(1 - \text{sen}\,\theta/\theta\right)}{4}$$

Em que:

- D = diâmetro do tubo (canaleta);
- θ = ângulo que define a altura da lâmina d'água.

Abaixo são apresentados os parâmetros adotados, bem como os resultados e dimensões adotada para as canaletas meia-cana de berma fase final. Foi calculada a vazão para os diâmetros comerciais das canaletas e adotado a que melhor atende à vazão de contribuição.

Para:

- Declividade da canaleta = 1%;

Tabela 27. Dimensionamento da canaleta de berma definitiva.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Diâmetro da canaleta adotado | D= | 0,4 | m |
| Vazão Requerida | Q= | 43,5 | l/s |
| Vazão Calculada | Q= | 60,8 | l/s |
| Fator de segurança | FS= | 1,40 | |

### *5.6.3.3. Descida d'água provisória em geomembrana*

As descidas d'água têm como objetivo conduzir as águas captadas pelos outros dispositivos de drenagem, assim como do platô superior e taludes do aterro.

Neste projeto foi considerada a utilização de geomembrana nas descidas d'água nos taludes onde não estiverem na conformação final, sem o plantio de grama.

Com isso, considerando que as descidas neste momento, se darão por canaletas em geomembrana em formato trapezoidal, sendo seu dimensionamento pode ser feito através da Equação de *Manning* através das seguintes fórmulas:

$$S_h = y(b + yz) \quad \text{e} \quad P_h = b + 2y\sqrt{1+z^2}$$

Em que:

- b = largura da base;
- y = altura da lâmina d'água;
- z = inclinação das paredes.

Abaixo são apresentados os parâmetros adotados, bem como os resultados e dimensões adotadas para as descidas d´água provisórias. Foram adotadas dimensões conforme será executada a descida definitiva, para não precisa de retrabalho futuro.

Para:

- z = 1,0;
- Declividade da canaleta = 40%.

Temos:

Tabela 28. Dimensionamento da descida d'água provisória.

| | | |
|---|---|---|
| Altura da canaleta adotada | H= | 0,20 m |
| Largura da canaleta adotada | B= | 1,2 m |
| Largura da base da canaleta adotada | b= | 0,8 m |
| Vazão Requerida | Q= | 406,0 l/s |
| Vazão Calculada | Q= | 2397,8 l/s |
| Fator de segurança | FS= | 5,9 |

#### *5.6.3.4. Descida d'água definitiva*

Foi considerada a utilização de gabiões colchões nas descidas definitivas. Seu dimensionamento também foi feito através da Equação de *Manning* conforme a canaleta provisória.

Para:

- z = 1,0;
- Declividade da canaleta = 40%.

Tabela 29. Dimensionamento da descida d'água definitiva.

| | | |
|---|---|---|
| Altura da canaleta adotada | H= | 0,2 m |
| Largura da canaleta adotada | B= | 1,2 m |
| Largura da base da canaleta adotada | B= | 0,8 m |
| Vazão Requerida | Q= | 290,0 l/s |
| Vazão Calculada | Q= | 599,4 l/s |
| Fator de segurança | FS= | 2,1 |

#### *5.6.3.5. Travessia de berma e viários com tubulação de concreto*

Para a travessia de berma com tubulação de concreto armado tem-se a seguinte equação para determinação da área molhada e do raio hidráulico:

$$S_h = D^2 \frac{(\theta - sen\theta)}{8} \quad \text{e} \quad R_h = D\frac{\left(1 - \text{sen}\,\theta/\theta\right)}{4}$$

Em que:

- D = diâmetro do tubo;
- θ = ângulo que define a altura da lâmina d'água;

Abaixo são apresentados os parâmetros adotados, bem como os resultados e dimensão adotada para os tubos de travessia das bermas. Foi calculada a vazão para os diâmetros comerciais dos tubos e adotado a que melhor atende a vazão de contribuição.

Para:

- Declividade mínima da instalação do tubo = 1,5%;

**Tabela 30.** Dimensionamento do tubo das travessias de Berma e viários.

| | | |
|---|---|---|
| **Diâmetro da do tubo adotado** | D= | 0,5 m |
| **Vazão Requerida** | **Q=** | 406,0 l/s |
| **Vazão Calculada** | **Q=** | 452,0 l/s |
| **Fator de segurança** | **FS=** | 1,11 |

### *5.6.3.6. Canaletas de contorno retangular*

Para o cálculo das canaletas de contorno de concreto a serem construídas na borda do aterro utilizamos as seguintes fórmulas:

$$S_h = yb \quad \text{e} \quad P_h = b + 2y$$

Em que:

- B = largura da base;
- y = altura da lâmina d'água;

Abaixo são apresentados os parâmetros adotados, bem como os resultados e dimensões adotadas para as canaletas de contorno em concreto considerando a área de contribuição mais crítica.

Para:

- Declividade mínima da canaleta = 0,5%.

Tabela 31. Dimensionamento das canaletas de contorno.

| | | |
|---|---|---|
| Altura da canaleta adotada | H= | 0,7 m |
| Largura da canaleta adotada | B= | 0,9 m |
| Vazão Requerida | Q= | 928,0 l/s |
| Vazão Calculada | Q= | 1008,8 l/s |
| Fator de segurança | FS= | 1,1 |

## 6. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

### *6.1. Limpeza do Terreno*

Deve ser executada a limpeza do terreno através da raspagem de 20 cm do solo superficial. Uma parte deste solo poderá ser utilizada como substrato para cobertura vegetal nos taludes dos aterros, sendo adequadamente armazenado no formato de leiras com seção de 2m de altura máxima e base de 6m.

### *6.2. Sistema de controle da entrada dos caminhões*

O aterro deverá contar com um sistema de controle de entradas e saídas de caminhão, com balanças e sistema eletrônico instalados, e o mesmo deverá ser mantido durante todo o período de operação do aterro.

### *6.3. Implantação dos acessos*

Os acessos deverão atender os seguintes critérios:

- Raio mínimo de curvas: 20 m;
- Declividade longitudinal máxima: 10%;

Para garantia da capacidade suporte e boas condições de rolamento os acessos deverão possuir subleito compactado e reforçado com camadas de material granular na seguinte configuração:

- Compactação do subleito através de rolo compactador tipo liso vibratório ou pata curta;
- Utilização de Revestimento Primário com espessura de 25 cm;
- Aplicação de camada de 5 cm de materiais como bica corrida ou saibro;
- Abaulamento transversal da pista com 3% de declividade do eixo para as laterais, de forma impedir que as águas corram diretamente sobre elas.

O Revestimento Primário deverá ser executado através da compactação de uma mistura de material argiloso, com a função de ligante, com materiais granulares na proporção de 1:2,5.

### *6.3.1. Corte de meia encosta para abertura de acessos provisórios e definitivos*

Recomenda-se o uso de trator de esteiras ou moto niveladora para o corte do tipo "meia-encosta", se necessário, sendo que a própria máquina, ao executar a plataforma na qual ela trabalha, promove simultaneamente sua compactação. A direção do corte deverá ocorrer no sentido paralelo ao talude da plataforma, conforme apresentado na Figura 48. Este tipo de corte deverá ser feito somente para abertura de acessos, em trechos de alta declividade e na ocorrência de materiais mais compactados.

Os taludes de corte resultantes deverão possuir declividade de 1V:2H, sendo que o acabamento dos taludes não deverá ser feito através do uso de inclinação lateral das lâminas.

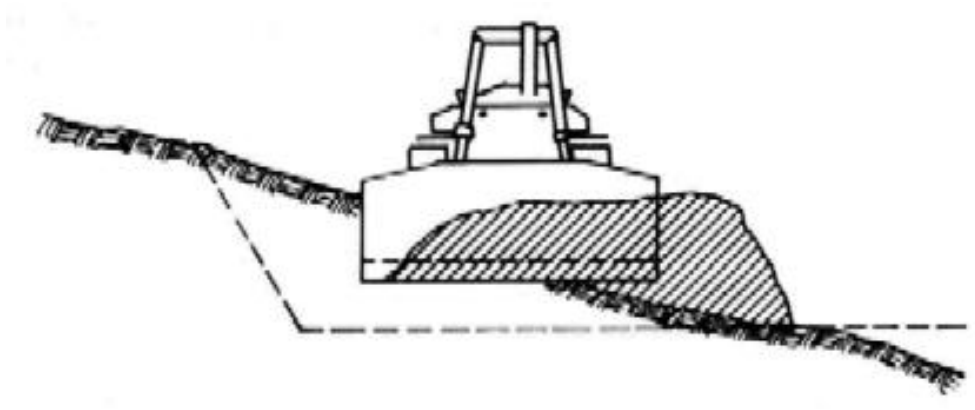


Figura 48. Corte de meia encosta.

### *6.4. Sistema de impermeabilização de base*

Para o controle da percolação de lixiviado gerado no Aterro de Resíduos, será utilizada uma barreira dupla composta na base do aterro sanitário. Como mecanismo primário de impermeabilização, será utilizada uma geomembrana de PEAD texturizada com 2,0 mm de espessura, que será a responsável para evitar a migração de líquidos para o subsolo.

Para a proteção da geomembrana será utilizado um geotêxtil não tecido para a proteção mecânica. O geotêxtil deverá ser de polipropileno não tecido e possuir uma gramatura de 400 g/m² e resistência mínima de 21 kN/m.

Como segunda barreira será utilizado o geocomposto bentonítico (GCL) de 3,6 kg/m², que também tem função de barreira hidráulica. O GCL pode ter um coeficiente de permeabilidade da ordem de $10^{-11}$ m/s e tem uma característica importante que é o fenômeno conhecido como auto cicatrização, que ocorre na camada de bentonita devido a sua capacidade de expandir e vedar pequenos furos que possam surgir durante o processo construtivo ou durante vida útil da obra, garantindo a estanqueidade.

A geomembrana de PEAD utilizada para a impermeabilização da base deverá apresentar especificações de acordo com a Tabela 32.

Tabela 32. Especificações da Geomembrana PEAD 2,0 mm texturizada.

| PROPRIEDADES | NORMA | UNIDADE | RESULTADO |
|---|---|---|---|
| Espessura | ASTM D 5994 | mm | 2,00 |
| Densidade | ASTM 792 | $g/cm^3$ | 0,94 |
| Resistência à tração (escoamento) | ASTM D 6693 | kN/m | 29,00 |
| Alongamento (escoamento) | ASTM D 6693 | % | 12,00 |
| Resistência à tração (ruptura) | ASTM D 6693 | kN/m | 53,00 |
| Alongamento (ruptura) | ASTM D 6693 | % | 700,00 |
| Resistência ao rasgo | ASTM D 1004 | N | 249,00 |
| Resistência ao puncionamento | ASTM D 4833 | N | 640,00 |
| Dispensão de negro de fumo | ASTM D 5596 | categoria | 1 ou 2 |
| Teor de negro de fumo | ASTM D 4218 | % | 2 a 3 |
| Tempo de oxidação | ASTM D 3895 | 1 atm/200° C min | 100 min |
| Resistência ao tensofissuramento | ASTM D 5397 | h | > 500 |

Os geotêxteis não tecidos utilizados para a proteção mecânica das geomembranas deverão apresentar especificações de acordo com a Tabela 33.

Tabela 33. Especificações do Geotêxtil não tecido de 400 g/m².

| GEOTÊXTIL NÃOTECIDO 100% POLIPROPILENO | | | |
|---|---|---|---|
| **PROPRIEDADES** | **NORMA** | **UNIDADE** | **RESULTADO** |
| Gramatura | ABNT NBR 12568 | $g/m^2$ | > 400 |
| Resistência à tração | ABNT NBR 12824 | kN/m | 21 |
| Alongamento na ruptura | | % | > 70 |

** valor no menor sentido*

### *6.5. Sistema de drenagem de lixiviados*

O sistema de drenagem de lixiviado será composto por:

- Dreno principal
- Dreno secundário
- Dreno de camadas

### *6.5.1. Dreno Principal e secundário*

O dreno principal, será composto por rachão/brita 4 e tubo de PEAD corrugado de diâmetro de 200 mm. O formato do dreno deverá ser executado em semi vala escavada, com 0,50 m de profundidade, 1,0 m de largura de base inferior e superior, e no meio com 1,8 m. Os drenos secundários serão similares aos principais, porém sem o uso dos tubos dreno.

A brita 4 deve ter preferencialmente diâmetro entre 32 e 76 mm deve atender satisfazer a faixa granulométrica da Tabela 34.

Tabela 34. Faixas granulométricas do material de enchimento.

| Peneira de Malha Quadrada | % em Massa, Retida |
|---|---|
| mm | % |
| 76 | 0 |
| 64 | 0-30 |
| 50 | 75-100 |
| 38 | 90-100 |
| 32 | 95-100 |

### *6.5.2. Dreno de camadas*

Os drenos horizontais de cada camada de resíduos de 5,0 m deverão ser executados interligados diretamente aos drenos verticais, que por gravidade conduz o lixiviado das células até a drenagem de base do aterro e o biogás para o topo do aterro. Este sistema será composto por uma malha de drenos horizontais espaçados de aproximadamente 30 m entre drenos.

Estes drenos serão implantados pela escavação de uma vala e posteriormente preenchida com rachão. A inclinação de fundo longitudinal mínima recomendada é de 1%. Eles devem ser executados junto com a operação do aterro, após conclusão de cada camada de resíduo (de 5,0 m) e devem, obrigatoriamente, estar conectados em, pelo menos, 02 drenos verticais de cada camada. Estes drenos serão preenchidos com rachão / brita 4 conforme especificação já apresentada.

### *6.6. Tubos de lançamento nas lagoas*

O lixiviado deverá ser conduzido por um tubo até a lagoa de contenção provisórias. O tubo especificado deverá ser de PEAD e ter um diâmetro externo (*DE*) de 200 mm, Pressão Nominal Interna (*PN*) de 12,5 kgf/cm$^2$, espessura (*e*) igual a 14,7 mm e SDR (*DE/e*) = 13,6.

### *6.7. Sistema de drenagem superficial*

projeto de drenagem das águas pluviais do aterro de resíduos deve ser orientado pelos seguintes objetivos principais:

- Preservar as várzeas numa condição que minimize as interferências com o escoamento das vazões de cheias, com a sua capacidade de armazenamento, com os ecossistemas aquáticos;
- Minimizar os problemas de erosão e sedimentação;
- Evitar acúmulo de água sobre a superfície do aterro de resíduos, pois esta água acumulada aumenta a vazão de lixiviado;
- Evitar o afluxo de água nas áreas em operação;
- Evitar a contaminação do Escoamento Superficial Direto;
- Proteger a qualidade ambiental e o bem-estar social.

A seguir serão apresentadas as especificações técnicas dos materiais a serem utilizados nas drenagens superficiais.

#### *6.7.1. Geomembrana de PEAD*

A geomembrana de PEAD utilizada para as drenagens definitivas e provisórias deverá apresentar especificações de acordo com a Tabela 35.

Tabela 35. Especificações da Geomembrana PEAD 1 mm.

| GEOMEMBRANA PEAD 1 mm | | | |
|---|---|---|---|
| PROPRIEDADES | NORMA | UNIDADE | RESULTADO |
| Espessura | ASTM D 5994 | mm | 1,00 |
| Densidade | ASTM 792 | g/cm$^3$ | 0,94 |
| Resistência à tração (escoamento) | ASTM D 6693 | kN/m | 15,00 |
| Alongamento (escoamento) | ASTM D 6693 | % | 12,00 |
| Resistência à tração (ruptura) | ASTM D 6693 | kN/m | 27,00 |
| Alongamento (ruptura) | ASTM D 6693 | % | 700,00 |
| Resistência ao rasgo | ASTM D 1004 | N | 125,00 |
| Resistência ao puncionamento | ASTM D 4833 | N | 320,00 |
| Dispersão de negro de fumo | ASTM D 5596 | Categoria | 1 ou 2 |
| Teor de negro de fumo | ASTM D 4218 | % | 2 a 3 |

### *6.7.2. Canaleta meia cana*

As canaletas de berma deverão ser em meia cana, não armados, para conduzir as águas captadas para as tubulações fechadas ou enterradas. Estas tubulações deverão ter diâmetro mínimo de 40 cm, tipo PS1.

### *6.7.3. Tubos de travessia de berma*

As travessias serão executadas com tubulações de concreto com 50 cm de diâmetro, classe PA1, instaladas onde for previsto o tráfego de caminhões coletores e carretas sobre as bermas do aterro.

Após a escavação, a base de cada vala deverá ser preparada de forma a garantir um fundo uniforme e com a declividade indicada nos desenhos de projeto. Após a regularização do fundo, deverá ser feito o berço da tubulação com brita. A seguir serão lançados os tubos de concreto armado e executado o reaterro da vala com solo compactado.

### *6.7.4. Gabião tipo colchão*

Com o objetivo de conduzir as águas pluviais coletadas deverão ser utilizados nas descidas d'águas, gabiões colchão com 23 cm de altura. Este material é indicado devido à sua característica em absorver os recalques do aterro sem sofrer degradação, como também dissipar de forma eficiente à energia das águas pluviais.

O Gabião Colchão deverá ser confeccionado com malha hexagonal de dupla torção tipo 6x8 produzidos a partir de arames de aço revestidos com PVC. A malha da estrutura do gabião colchão deverá ser produzida com diâmetro de 2,0 mm e a tampa reforçada deverá possuir diâmetro de 2,7 mm. Para as operações de montagem (amarração e atirantamento) dos colchões, são necessários dispositivos contínuos de conexão.

Os requisitos qualitativos do gabião colchão deverá ser produzidos de acordo com as Normas NBR 8964 e EN 10223-3 e ter as seguintes caraterísticas da

Tabela 36.

Tabela 36. Especificações da malha do gabião colchão

| PROPRIEDADES | NORMA | UNIDADE | RESULTADO |
|---|---|---|---|
| Resistência à tração da malha da estrutura | EN 10223-3 | kN/m | 32 |
| Resistência à tração da tampa reforçada | EN 10223-3 | kN/m | 55 |
| Resistência da conexão na borda da tampa reforçada | EN 10223-3 | kN/m | 37 |

O agregado graúdo deve atender ao seguinte requisito: diâmetro máximo do agregado deve estar compreendido entre 1/2 e 2/3 da espessura final da camada. No entanto devido ao processo de obtenção da pedra rachão, admite-se um percentual de até 10% de agregado com granulometria entre 4" e 6". O agregado graúdo deve satisfazer a faixa granulométrica da Tabela 37.

Tabela 37. Faixas granulométricas do material de enchimento.

| Peneira de Malha Quadrada | | % em Massa, Passando |
|---|---|---|
| ASTM | mm | % |
| 6” | 152,4 | 100 |
| 4” | 101,6 | 90 – 100 |
| 3” | 76,2 | 65 – 80 |
| 2” | 50,8 | 15 – 55 |
| 1” | 25,4 | 5 – 30 |
| ½” | 12,7 | 2 – 18 |
| nº4 | 4,8 | 0 – 15 |

Fonte: *DER-SP* – Sub-base de macadame seco – Rachão.

### *6.7.5. Geotêxtil não tecido*

Os geotêxteis não tecidos utilizados nas drenagens superficiais definitivas e provisórias (como nas descidas d’água) deverão apresentar especificações de acordo com a Tabela 38.

Tabela 38. Especificações do Geotêxtil não tecido de 300 g/m².

| GEOTÊXTIL NÃOTECIDO 100% POLIPROPILENO | | | |
|---|---|---|---|
| PROPRIEDADES | NORMA | UNIDADE | RESULTADO |
| Gramatura | ABNT NBR 12568 | g/m² | > 300 |
| Resistência à tração * | ABNT NBR 12824 | kN/m | > 14 |
| Alongamento na ruptura | | % | > 70 |
| Resistência ao rasgo * | ASTM D-4533 | N | 340,00 |
| Resistência ao puncionamento - CBR | ABNT NBR 13359 | kN | 2,60 |

** valor no menor sentido*

### *6.8. Cobertura diária e definitiva*

Em aterros sanitários as coberturas diária e definitiva são necessárias para prevenir a proliferação de moscas e roedores, dentre outros vetores transmissores de doenças, evitando também o arraste de resíduos pelo vento e chuva, incêndios e reduzindo impactos visuais, além de minimizar a geração de lixiviado.

Durante os horários de pico de recepção de resíduos as dimensões da frente de trabalho aumentam significativamente. No intuito de se evitar a emissão de substâncias odoríferas que venham a ocorrer na área de lixo a céu aberto, deve-se trabalhar com a frentes com as menores dimensões possíveis, para evitar os possíveis impactos citados acima.

Para alcançar uma frente operacional reduzida, faz-se planejar a disponibilidade de material de cobertura com o objetivo de aumentar o rendimento deste serviço nos horários de pico.

A espessura desta cobertura deve levar em consideração o tempo entre a conclusão de cada fase e o início da nova fase acima desta. Nos trechos onde haverá reinício das operações em períodos relativamente curtos, uma espessura de 15 cm é suficiente. Quando o reinício for feito em prazos mais longos, aproximadamente 1 ano, a espessura a ser utilizada deverá ser de, no mínimo, 30 cm. Nas áreas onde a conformação do aterro for final e definitiva, a cobertura deverá ter no mínimo 60 cm de espessura.

Caso exista a dificuldade em se utilizar solo como material de cobertura provisória, um geossintético poderá ser utilizado. Essa cobertura deve ser utilizada em áreas internas e platôs que terão continuidade operacional em curto período.

Para a maximização do uso dessa manta, é crucial adotar alguns cuidados, como por exemplo, efetuar um acabamento com solo adequado, para evitar puncionamento, como também realizar a ancorarem adequada, para evitar o deslocamento do material devido ao vento.

### *6.9. Cobertura temporária*

Essa cobertura será aplicada em bermas e taludes externos (ou finais), visando cessar de imediato a percolação/contribuição por esses locais. Distingue-se da definitiva apenas por não receber os demais elementos de imediato. Consiste na aplicação de uma

geomembrana de PEAD ou PVC ou outras mantas sintéticas aprovadas pela operação do aterro.

A ancoragem nessa fase será feita de forma provisória, para permitir a implantação dos drenos de pé de talude/reinjeção, as correções de declividade em bermas, as leiras na crista dos taludes, promovendo o fluxo para as descidas de água que serão construídas.

Mesmo de forma provisória, essa cobertura permite de imediato, uma redução significativa na geração de chorume.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- ABNT NBR 13896, 1997. Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro – RJ.
- ABNT NBR 841, 1984. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro – RJ.
- ABNT, 2004. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004/2004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro.
- Azevedo Netto, J.M., Alvarez, Guillermo a Costa - “Manual de Hidráulica”, 7ª Ed., Ed. Edgard Blücher Ltda., 1982
- BRASIL. (2006). Manual de Drenagem de Rodovias. 2. ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro-RJ. 333p. (IPR. Publ., 724).
- BUENO, B.S.; VILAR, O.M. (1979). MECÂNICA DOS SOLOS Vol. 1 (1979).
- CAMARGO, A.P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1971. 28p. (Boletim Técnico, 116).
- CAMARGO, M.B.P.; CAMARGO, A.P., 1993. Representação gráfica informatizada do extrato do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather. Bragantia, Campinas, v.52, p.169-172.
- CETESB, 1979. Drenagem em Aterros Sanitários. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo - SP.
- CPRM, 2010. Mapa da Geodiversidade do Estado do Espírito Santo – Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil.

- CPRM, 2014. Geodiversidade do Estado do Espírito Santo. Programa Geologia do Brasil - Levantamento da Geodiversidade. Organização: Organização Sandra Fernandes da Silva [e] Marcely Ferreira Machado – Belo Horizonte: 120 p.
- CPRM, 2015. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais. Organização: Valter Salino Vieira, Ricardo Gallart de Menezes - Belo Horizonte;
- CPRM, 2018. Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo – Escala 1: 400.000.
- CUNHA, A. de M. *et al.*, 2016. Mapa de Reconhecimento de Solos do Estado do Espírito Santo: uma atualização da legenda – Escala 1:400.000.
- https://geoportal.cprm.gov.br/geosgb/
- https://rigeo.cprm.gov.br
- https://www.agencia.cnptia.embrapa.br
- ROCCA, A. C. C. et al. Drenagem subsuperficial em aterros sanitários. Associação Brasileira de Limpeza Pública, São Paulo, v. Ano VIII, n. 19, p. 42, 1981.
- ORTH, M. H. D. A. Aterros Sanitários. Associação Brasileira de Limpeza Pública, São Paulo, v. Ano VIII, n. 20, p. 42, 1981.
- http://www.cidades.ibge.gov.br/
- http://www.inmet.gov.br/portal/
- Ker, J. C., 1997. Latossolos do Brasil: uma revisão.
- KOERNER, R.M. (1990). Designing with geosynthetics. 2ª edição. Prentice-Hall Inc. New Jersey. USA.
- MANUAL DE DRENAGEM DE RODOVIAS (1990). DNIT/ENGESUR;
- RIGHETO, A. M.. (1998). Hidrologia e Recursos Hídricos. 1ª edição. Projeto REENGE. EESC-USP. São Carlos, SP.

# ANEXO 1 – BOLETIM DE SONDAGENS

# ANEXO 2 –PLANILHAS DE QUANTIDADES

| QUANTITATIVO - ATERRO SANITÁRIO | | |
|---|---|---|
| **DESCRIÇÃO** | **UNIDADE** | **QUANTIDADE** |
| **ATERRO RESÍDUOS** | | |
| Volume total do aterro | m³ | 4.190.118,00 |
| Vida útil | anos | 33,5 |
| **TERRAPLENAGEM** | | |
| A - Escavação - Terraplenagem | m³ | 755.085,00 |
| B - Escavação - Acesso | m³ | 1.708,00 |
| C - Aterro (solo compactado) - Terraplenagem | m³ | 10.162,00 |
| D - Aterro (solo compactado) - Acesso/Dique/Aterro de proteção | m³ | 76.566,00 |
| E- Impermeabilização/Cobertura diária - solo compactado (esp. = 0,30m)/Dique de Célula/Cobertura final - solo compactado (esp. = 0,60m) | m³ | 670.065,00 |
| Balanço terraplenagem (A+B-C-D-E) | m³ | 0,00 |
| Camada de regularização em solo compactado (espessura = 0,30 m) | m³ | 32.398,80 |
| Movimento de terra (A+B+C+D+E) | m³ | 1.513.586,00 |
| **IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE** | | |
| Camada de impermeabilização - Geocomposto bentonita GCL (3,6 kg/m²) | m² | 177.669,00 |
| Manta de impermeabilização Geomembrana PEAD texturizada em ambas as faces 2,0 mm) | m² | 177.669,00 |
| Manta Geotêxtil polipropilento não tecido (400 g/m²) | m² | 177.669,00 |
| **DRENAGEM DE LIXIVIADO** | | |
| Dreno principal (DP) - tubo PEAD corrugado (Ø200 mm) | m | 6.482,00 |
| DP - rachão | m³ | 4.213,30 |
| Dreno secundário - rachão | m³ | 5.462,10 |
| Dreno vertical (DV) - Tubo de CONCRETO perfurado (Ø600 mm) | m | 4.945,00 |
| DV - rachão | m³ | 7.318,60 |
| DV - tela metálica (tela de aço "Q196 - 10x10 cm - Ø5 mm) | kg | 76.894,75 |
| DV - queimador (conjunto tampo + tubo galvanizado + chaminé) | unid | 185 |
| DV - laje de apoio na base (concreto armado) | unid | 185 |
| Emissário - tubo PEAD ( Ø200 mm) | m | 124,00 |
| Poço de visita | unid | 4 |
| **LAGOAS DE LIXIVIADO** | | |
| Lagoa de contenção de lixiviado - capacidade volumétrica (Lagoa 01 + Lagoa 02) | m³ | 15.550,00 |
| Manta de impermeabilização da lagoa -Geomebrana PEAD (espessura = 2 mm) | m² | 6.786,00 |
| Camada de impermeabilização - Geocomposto bentoníta GCL (3,6 kg/m²) | m² | 2.634 |
| **DRENAGEM SUPERFICIAL** | | |
| Canaleta de berma - meia-cana de concreto (Ø 0,40m) | m | 9.087,00 |
| Descida d'água (DA) - geomembrana PEAD (1 mm) | m² | 1.948,76 |
| DA - geotêxtil não tecido (300 g/m²) | m² | 1.949 |
| DA - gabião colchão (tela - quantidade em planta) | m² | 1.948,76 |
| DA - brita | m³ | 331,29 |
| Travessias de bermas - tubo de concreto armado (Ø0,50 m) | m | 221,00 |
| Travessias do viário perimetral (TV) - tubo de concreto armado (Ø0,50 m) | m | 83,00 |
| Canaleta de contorno (CC) - comprimento total | m | 1.570,00 |
| CC - alvenaria estrutural (0,45 x 0,40 m) | m² | 1.256,00 |
| Bacia de sedimentação | unid | 3 |
| Dissipador de energia (DE) | unid | 4 |
| DE - pedra de mão fixada com concreto (40% de vazios) | m³ | 5,64 |
| DE - concreto | m³ | 7,32 |
| **REVESTIMENTO DE PROTEÇÃO** | | |
| Grama | m² | 151.119,00 |
| **MONITORAMENTO - INSTRUMENTOS** | | |
| Marco Superficial (MS) | unid | 22 |
| MS - forma madeira | m² | 4,40 |
| MS - concreto | m³ | 7 |
| MS - armadura (aço CA-50 Ø6,3mm) | m | 88,00 |
| MS - pino metal | unid | 22 |
| Piezômetro câmara simples (conjunto completo) | unid | 7 |
| Piezômetro câmara dupla (conjunto completo) | unid | 2 |

# ANEXO 03 – LISTA DE DESENHOS

| FOLHA | DESCRIÇÃO | FORMATO | REVISÃO |
|---|---|---|---|
| 01 | BASE TOPOGRÁFICA - PLANTA | A1 | Ø |
| 02 | IMPLANTAÇÃO GERAL - PLANTA | A1 | Ø |
| 03 | ACESSO - PLANTA | A1 | Ø |
| 04 | TERRAPLENAGEM - PLANTA | A1 | Ø |
| 05 | TERRAPLENAGEM - SEÇÕES | A1 | Ø |
| 06 | LAYOUT FINAL - PLANTA | A1 | Ø |
| 07 | LAYOUT FINAL - SEÇÕES | A1 | Ø |
| 08 | DIQUE - PLANTA | A1 | Ø |
| 09 | IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE - PLANTA | A1 | Ø |
| 10 | PROTEÇÃO TERMOMECÂNICA - PLANTA | A1 | Ø |
| 11 | DRENAGEM DE LIXIVIADOS - PLANTA | A1 | Ø |
| 12 | DRENAGEM DE LIXIVIADOS - DETALHES | A1 | Ø |
| 13 | DRENAGEM DE LIXIVIADOS - DETALHES | A1 | Ø |
| 14 | DRENAGEM SUPERFICIAL - PLANTA | A1 | Ø |
| 15 | DRENAGEM SUPERFICIAL - DETALHES | A1 | Ø |
| 16 | DRENAGEM SUPERFICIAL - DETALHES | A1 | Ø |
| 17 | MONITORAMENTO GEOTÉCNICO - PLANTA | A1 | Ø |
| 18 | MONITORAMENTO GEOTÉCNICO - DETALHES | A1 | Ø |
| 19 | DRENAGEM DE CAMADAS - CAMADA 65 - PLANTA | A1 | Ø |
| 20 | DRENAGEM DE CAMADAS - CAMADA 75 - PLANTA | A1 | Ø |
| 21 | DRENAGEM DE CAMADAS - CAMADA 85 - PLANTA | A1 | Ø |
| 22 | RESERVA LEGAL - PLANTA | A1 | 1 |
| 23 | LAYOUT FINAL 1ªFASE - PLANTA | A1 | Ø |
| 24 | LAYOUT FINAL 1ªFASE - SEÇÕES | A1 | Ø |
| 25 | ADMINISTRAÇÃO - PLANTA | A1 | Ø |
| 26 | BALANÇA / PORTARIA - PLANTA E VISTAS | A1 | Ø |
| 27 | TRIAGEM - PLANTA | A1 | Ø |
| 28 | AUTOCLAVE - PLANTA | A1 | Ø |
| 29 | ETE - PLANTA | A1 | Ø |

# ANEXO 04 - ART