







ATERRO SANITÁRIO DE BRUMADINHO

PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DA ETAPA 04 DA UNIDADE DE ATERRAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

VOLUME ÚNICO

Responsável p/ projeto:	Novo Meio Engenharia & Consultoria ltda
Empreendedor:	Prefeitura Municipal de Brumadinho (Município de Brumadinho)
Empreendimento:	Aterro Sanitário de Brumadinho

AGOSTO / 2025

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

ÍTEM / CONTEÚDO PÁG.

1 – INTRODUÇÃO 1

2 – DADOS GERAIS DO EMPREENDEDOR, EMPREENDIMENTO E RESPONSÁVEIS 2
2.1 – Empreendedor 2
2.2 – Empreendimento 3
2.3 – Responsabilidade pelos estudos, projetos e licenciamento ambiental 4
2.4 – Responsabilidade técnica pela supervisão e monitoramento do empreendimento 4

3 – CARACTERIZAÇÃO SUCINTA DO EMPREENDIMENTO 5
3.1 – Objetivo do empreendimento 5
3.2 – Alternativa tecnológica adotada 9
3.3 – Descrição geral do empreendimento 11

4 – ESPECIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS A SEREM REALIZADOS 13
4.1 – Serviços de terraplenagem em geral e sistema de impermeabilização 14
4.1.1 – Características geométricas das demais obras de terraplenagem 14
4.1.2 – Sistema de impermeabilização da Unidade de Aterragem de RSU 15
4.1.3 – Controle tecnológico de aterros compactados a 100% do Proctor Normal 24
4.1.3.1 – Definição de aterros compactados 24
4.1.3.2 – Execução dos aterros compactados a 100% do Proctor Normal 24
4.1.3.3 – Ensaios geotécnicos de campo requeridos 28
4.1.3.4 – Ensaios geotécnicos de laboratório requeridos 28
4.1.3.5 – Equipamentos operacionais necessários 29
4.1.3.6 – Critérios para aceitação e/ou rejeição dos serviços 30
4.1.4 – Serviços de fornecimento e instalação de geomembrana de PEAD 30
4.1.4.1 – Especificação dos materiais 31
4.1.4.2 – Especificação dos serviços de instalação 32
4.1.4.3 – Especificação dos documentos a serem apresentados 32
4.1.5 – Registros e georeferenciamentos 33
4.2 – Sistema de drenagem interna de efluentes (chorume e biogases) 33
4.3 – Sistema de coleta e transporte de efluentes líquidos 56
4.4 – Sistema de drenagem de águas pluviais 60
4.5 – Instalação de piezômetros tipo Vector 65
4.6 – Readequação geométrica e escavações em maciços de lixo já existentes 70
4.7 – Revegetação de taludes definitivos 72

5 – PROJETOS TÉCNICOS 75

6 – PLANILHA DE SERVIÇOS E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO 76

7 – ESTIMATIVA DE VIDA ÚTIL REMANESCENTE 78

8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS 81

ANEXOS
ANEXO 01 – ART DO CREA
ANEXO 02 – SONDAGENS SPT E ENSAIOS DE PERMEABILIDADE REALIZADOS JÁ REALIZADOS NA ÁREA
ANEXO 03 – PLANILHA ESTIMATIVA DE CUSTOS E CRONOGRAMA FÍSICO FINANCEIRO
ANEXO 04 – PROJETOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA

1 – INTRODUÇÃO

O presente relatório tem como objetivo apresentar o **MEMORIAL DESCRITIVO** do "***projeto de implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de Resíduos Sólidos Urbanos (RS) (aterro sanitário propriamente dito)***" do **ATERRO SANITÁRIO DE BRUMADINHO (AS BRUMADINHO)**.

Com o presente projeto, a **Prefeitura de Brumadinho (PREFEITURA)** pretende estender a vida útil do AS BRUMADINHO.

Vale informar que o presente projeto foi elaborado de forma a se alcançar uma adequada compatibilização das obras até então já executadas e dos maciços de lixo já conformados, conforme identificados no levantamento planialtimétrico e cadastral datado de 24/04/2025, com as premissas básicas do projeto original, porém apresentando proposições capazes de melhorar a vida útil, a segurança e a eficiência técnica, operacional e ambiental da referida Unidade de Aterragem, incluindo a especificações de dispositivos de controle mais adequados e atualizados para as finalidades requeridas.

Maiores informações estão apresentadas nos tópicos adiante.

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

2 – DADOS GERAIS DO EMPREENDEDOR, EMPREENDIMENTO E RESPONSÁVEIS

2.1 – Empreendedor

Razão social / nome: Prefeitura Municipal de Brumadinho
(Município de Brumadinho)

CNPJ: 18.363.929/0001-40

Responsáveis legais:

- Gabriel Augusto Parreiras (Prefeito Municipal)
- Carlos Augusto Karam (Secretário Municipal de Obras e Serviços Públicos)

Responsável pela gestão e coordenação:

- Milton Júnior de Souza (Coordenador do Aterro Sanitário)

Endereço: Rua Maria Maia, n.º 157, Bairro Grajaú
Brumadinho/MG, CEP: 35.460-000

Telefones: (31) 3571-3001 / 3571-6060
(31) 99546-7572 (Milton Júnior)

E-mail: aterrosanitario@brumadinho.mg.gov.br

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

2.2 – Empreendimento

Nome: Aterro Sanitário de Brumadinho (AS BRUMADINHO)

Atividades: Tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos através da seguinte atividade prevista na Deliberação Normativa (DN) COPAM n.º 217/2017:

- E-03-07-7 – Aterro Sanitário, inclusive Aterro Sanitário de Pequeno Porte (ASPP)

Endereço: Terreno localizado a margem esquerda da estrada de ligação entre a sede de Brumadinho e a localidade de Casa Branca, sem número, a uma distância de aproximadamente 7 km da mancha urbana da cidade, na sua zona rural. Pela referida estrada, percorre-se aproximadamente 6,5 km por estrada asfaltada e somente uns 500m em estrada com apenas pavimentação primária, ambas em ótimo estado de conservação.

Localização geográfica (coordenada UTM de um ponto interno da área / Datum oficial SIRGAS 2000):

- Latitude: E=589.040 m
- Longitude: N=7.771.214 m

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

2.3 – Responsabilidade pelos estudos, projetos e licenciamento ambiental

Empresa:	Novo Meio Engenharia & Consultoria Ltda. (NOVO MEIO ENGENHARIA)
CPNJ:	07.409.769/0001-07
Responsável:	Marcelo Batista Monteiro
Formação técnica:	Engenheiro civil / sanitarista
Registro profissional:	CREA/MG n.º 75.715/D
Endereço:	Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical Itaúna/MG, CEP: 35.680-542
Telefone/fax:	(31) 99764-4077
E-mail:	marcelo@novomeioengenharia.com.br

2.4 – Responsabilidade técnica pela supervisão e monitoramento do empreendimento

Empresa:	Novo Meio Engenharia & Consultoria Ltda. (NOVO MEIO ENGENHARIA)
CPNJ:	07.409.769/0001-07
Responsável:	Marcelo Batista Monteiro
Formação técnica:	Engenheiro civil / sanitarista
Registro profissional:	CREA/MG n.º 75.715/D
Endereço:	Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical Itaúna/MG, CEP: 35.680-542
Telefone/fax:	(31) 99764-4077
E-mail:	marcelo@novomeioengenharia.com.br

3 – CARACTERIZAÇÃO SUCINTA DO EMPREENDIMENTO

3.1 – Objetivo do empreendimento

Por muito tempo, supôs-se que o solo tivesse capacidade ilimitada de atenuação de substâncias nocivas e assim foi considerado receptor de materiais descartáveis diversos, tais como resíduos domésticos, hospitalares, comerciais, agrícolas, industriais, etc.. Porém, hoje é sabido que essa capacidade é limitada e somente a partir da década de 70 é que se começou a dar uma maior atenção à sua proteção.

Desde então, os aterros sanitários e industriais e/ou as unidades de triagem e compostagem têm se constituído como a melhor opção para disposição de resíduos, promovendo o aproveitamento dos recicláveis e compostáveis e confinando os rejeitos menor área e ao menor volume possíveis, mas sempre com a implementação de sistemas complementares de segurança ambiental e sob monitoramentos diversos e periódicos.

Entretanto, nota-se que a realidade de grande parte dos municípios brasileiros pouco melhorou até o presente momento, pois ainda prevalece a disposição final inadequada dos resíduos sólidos, sejam eles originários de atividades domésticas, comerciais ou industriais, através de descartes irregulares em lixões, logradouros públicos, terrenos baldios, encostas, grotas, cursos d'água e outros.

Por outro lado, a destinação final e o tratamento de resíduos vêm sendo motivos de crescente preocupação da sociedade civil, das empresas e dos órgãos ambientais governamentais.

Destaca-se aqui que, desde o início deste milênio, o Estado de Minas Gerais vem trabalhando de forma mais incisiva no sentido de se eliminar a disposição inadequada de resíduos sólidos. Em especial, criou-se o programa "Minas sem Lixões" com o objetivo de se eliminar a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos gerados pelos 853 municípios mineiros.

Neste sentido, vários dispositivos legais foram publicados com vistas a apresentar critérios e limites operacionais mínimos e a estabelecer prazos para a instalação e o

licenciamento ambiental de sistemas adequados de disposição final de resíduos por parte dos municípios e de empresas em geral. Acontece que vários dos prazos e critérios mínimos estipulados pelos dispositivos legais já existentes não vêm sendo devidamente cumpridos. Como exemplos destas não conformidades, têm-se:

- Grande parte dos municípios mineiros que deveriam ter licenciado, instalado e iniciado a operação de seus sistemas adequados de tratamento de resíduos sólidos urbanos (aterros sanitários, usinas de triagem e compostagem, etc.) não cumpriram as regras impostas pela legislação, tais como:
    - Todos os municípios com população urbana superior a 50.000 habitantes (num total de 47 municípios) foram convocados pela Deliberação Normativa – DN COPAM n.º 052/2001 a protocolarem processos de Licença de Operação – LO ou de Autorização Ambiental de Funcionamento – AAF para sistemas adequados de destinação final de resíduos sólidos urbanos (aterros sanitários, usinas de triagem e compostagem, etc.) até 01/11/2006, prazo este alterado várias vezes e, por último alterado para 31/10/2008;
    - Todos os municípios com população urbana entre 30.000 e 50.000 habitantes (Censo IBGE 2000) foram convocados pela DN COPAM n.º 075/2004 a protocolarem processos de Licença de Operação – LO ou de Autorização Ambiental de Funcionamento – AAF para sistemas adequados de destinação final de resíduos sólidos urbanos (aterros sanitários, usinas de triagem e compostagem, etc.) até 30/11/2007, prazo este alterado várias vezes e, por último alterado para 31/10/2009;
    - Todos os municípios com população urbana entre 20.000 e 30.000 habitantes (Censo IBGE 2000) foram convocados pela Deliberação Normativa – DN COPAM n.º 126/2008 a protocolarem processos de Licença de Operação – LO ou de Autorização Ambiental de Funcionamento – AAF para sistemas adequados de destinação final de resíduos sólidos urbanos (aterros sanitários, usinas de triagem e compostagem, etc.) até 31/12/2010.
- Todos os municípios mineiros, independente da sua população, já deveriam ter adotado procedimentos mínimos de controle e monitoramento operacional e ambiental (recobrimento adequado dos resíduos, instalação de dispositivos de drenagem pluvial,

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

proibição de catação de resíduos, etc.) segundo os critérios definidos pela DN COPAM n.º 052/2001 e, posteriormente, pela DN n.º 118/2008. Entretanto, o que se verifica é uma realidade muito diferente em muitos municípios, estando em muitos deles prevalecendo à disposição de lixo a céu aberto, ou seja, o despejo dos resíduos em lixões.

De forma a se fortalecer os dispositivos legais até então existentes, foram publicadas leis específicas que instituiram a "Política Estadual de Resíduos" (Lei n.º 18.031/2009) e a "Política Nacional de Resíduos" (Lei n.º12.305/2010), ambas voltadas para a busca de soluções adequadas para os resíduos sólidos de uma forma geral, nas quais se destacam a definição e instituição de metas e de ações em prol da redução, reciclagem e reuso de matéria prima, da logística reversa, da gestão integrada de resíduos e da instalação de sistemas adequados de tratamento e disposição final de resíduos. De imensurável importância, estas leis propiciaram o fortalecimento dos demais dispositivos legais já existentes para que os órgãos de controle ambiental, o ministério público e a própria sociedade possam fiscalizar os respectivos responsáveis pela geração, gestão, transporte e tratamento de resíduos e, se preciso, para que estes sejam devidamente penalizados.

Em se tratando da obrigatoriedade do tratamento e disposição final adequados dos resíduos sólidos, deve-se destacar a determinação da Lei Federal n.º 12.305 (art.º 54) de que "*...a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos...deverá ser implantada em até 4 (quatro) anos...*", ou seja, até agosto de 2014.

Desta forma, obedecidas ou não as determinações legais impostas pelos dispositivos legais existentes antes da Lei Federal n.º 12.305/2010, fica claro que todos os envolvidos nas cadeias produtivas de uma forma geral certamente terão que apresentar soluções e tomar atitudes realmente concretas para o atendimento da legislação ambiental vigente visando a solução dos problemas relacionados aos resíduos.

Por consequência, os municípios de todo o país terão que viabilizar soluções urgentes para o tratamento e disposição adequados dos resíduos sólidos urbanos gerados nos seus territórios, seja através de instalação de unidades próprias ou por meio do encaminhamento dos seus resíduos para tratamento e disposição final em empreendimentos privados devidamente licenciados para tal finalidade.

Na contramão da maioria dos municípios brasileiros, Brumadinho já vem tomando providências para o adequado tratamento dos seus resíduos sólidos urbanos desde o ano de o ano de 2005, a partir de quando obteve as Licenças Prévia – LP, de Instalação – LI e de Operação – LO.

O AS BRUMADINHO iniciou a sua operação no dia 09/01/2012 e operava até 17/12/2017 regularizado ambientalmente pelo Certificado de Licença de Operação – LO n.º 311/2011 expedido pela SUPRAM Central de Minas / COPAM datada do dia 17/12/2011.



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - SEMAD

CERTIFICADO LO Nº 311/2011 – SUPRAM CM

LICENÇA AMBIENTAL

O Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM, no uso de suas atribuições, e com base no artigo 9º inciso III do Decreto nº 44.844, de 25 de Junho de 2008, concede a PREFEITURA MUNICIPAL DE BRUMADINHO – CNPJ Nº 18.363.929/0001-40, Licença de Operação, para o funcionamento da atividade de tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos urbanos, autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos de controle da poluição, de acordo com o previsto nas Licenças Prévia e de Instalação, localizada no Município de Brumadinho, no Estado de Minas Gerais conforme processo administrativo de Nº 00049/2005/003/2011, e decisão da Unidade Regional Colegiada Rio Paraopeba, em reunião do dia 19 de dezembro de 2011.

[ ] Sem condicionantes

[X] Com condicionantes
(Válida somente acompanhada das condicionantes listadas no anexo)
(A concessão da Licença deverá atender ao art. 6º da DN COPAM 13/95, sob pena de revogação da mesma)
(A revalidação da licença dar-se-á com base nas DN COPAM 017/96 e 023/97)

Esta licença não dispensa, nem substitui a obtenção pelo requerente, de certidões, alvarás, licenças e autorizações de qualquer natureza, exigidos pela legislação federal, estadual e municipal.

Validade da Licença Ambiental: 06 (SEIS) ANOS, com vencimento em 19/12/2017.

Belo Horizonte, 19 de Dezembro de 2011.

SCHEILLA SAMARTIN GONÇALVES
Superintendente da Regional de Regularização Ambiental Central Metropolitana

FIGURA 01 *– Licença de Operação (LO) inicialmente expedida para o Aterro Sanitário de Brumadinho pela SUPRAM-CM/SEMAD/COPAM. (Fonte: Prefeitura de Brumadinho, 2020)*

Em 07/12/2017, foi expedido o atual e vigente Certificado de Licença de Operação – LO n.º 016/2017 pelo Conselho Municipal de Meio Ambiente (CODEMA) do município de Brumadinho/MG com validade para até 07/12/2025.

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br



PREFEITURA MUNICIPAL DE BRUMADINHO
SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CONSELHO MUNICIPAL DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE- CODEMA

LICENÇA AMBIENTAL DE OPERAÇÃO - LO

CERTIFICADO Nº: 016 /2017

REVALIDAÇÃO DA LICENÇA DE OPERAÇÃO
(LO anterior: 311/2011 – Processo COPAM nº 0049/2005)
ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL

O Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente de Brumadinho - CODEMA, no uso de suas atribuições, e com base na Lei Complementar n° 67/2012 e outras normas correlatas, concede à Prefeitura Municipal de Brumadinho a **REVALIDAÇÃO DA LICENÇA AMBIENTAL DE OPERAÇÃO – LO** para o empreendimento **ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL,** que realiza atividades de "Tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos urbanos" e "Aterro e/ou área de reciclagem de resíduos classe "A" da construção civil e/ou áreas de triagem, transbordo e armazenamento transitório de resíduos da construção civil e volumosos", localizado em Estrada Municipal de Brumadinho à Casa Branca, 07, Alberto Flores, Zona Rural, Brumadinho – MG, conforme decisão do plenário, em reunião Ordinária no dia 07 de Dezembro de 2017.

(x) Com condicionantes (Válida somente acompanhada das condicionantes do verso)

Validade: 07 de Dezembro de 2025.

Brumadinho, 07 de Dezembro de 2017.

Daniel Hilário de Lima Freitas
Secretário Municipal
Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

Daniel Hilário de Lima Freitas
Presidente do Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente - CODEMA

***FIGURA 02** – Licença de Operação (LO) atualmente vigente expedida para o Aterro Sanitário de Brumadinho pelo CODEMA do município de Brumadinho. (Fonte: Prefeitura de Brumadinho, 2020)*

3.2 – Alternativa tecnológica adotada

Pela norma NBR 10.004/2004 da ABNT, os resíduos são assim subclassificados e definidos:

- Resíduos Classe II-A – não perigosos e não inertes: apresentam propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Dentre esses resíduos podemos destacar o lixo comum e os resíduos orgânicos provenientes da produção industrial;
- Resíduos Classe II-B – não perigosos e inertes: são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa (norma NBR 10.007/2004 da ABNT) e submetidos a um contato dinâmico ou estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente (norma NBR 10.006/2004 da ABNT), não tiverem nenhum dos seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de

potabilidade de água, excetuando-se os parâmetros de aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10.004 da ABNT. Pedras e resíduos de construção civil são bons exemplos de resíduos Classe II-B.

Pela norma técnica NBR 8.419/1992 da ABNT, são apresentadas em seu item “3” as seguintes e principais definições sobre resíduos:

- Resíduos industriais perigosos (item “3.6”): são todos os resíduos sólidos, semissólidos e os líquidos não passíveis de tratamento convencional, resultantes da atividade industrial e do tratamento de seus efluentes que, por suas características, apresentam periculosidade efetiva ou potencial à saúde humana ou a meio ambiente, requerendo cuidados especiais quanto aos acondicionamentos coleta, transporte, armazenamento, de tratamento e disposição;
- ***Resíduos industriais comuns (item “3.7”) são todos os resíduos sólidos e semissólidos industriais que admitem destinação similar à dos resíduos sólidos urbanos***; (grifo nosso).
- Resíduos sólidos urbanos (item “3.12”) são todos os resíduos sólidos gerados num aglomerado urbano, excetuando-se os resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e de aeroportos e portos.

De acordo com as definições de norma acima apresentadas, pode-se afirmar que o tratamento dos resíduos classe II, sejam eles de origem industrial ou domiciliar/comercial, ambos classificados como não perigosos pela NBR 10.004/2004, podem ser realizados de forma análoga, pois tais resíduos não se distinguem pelas características físicas, químicas e biológicas, mas sim pela origem da sua geração.

Diante do exposto, o AS BRUMADINHO foi concebido utilizando-se, quando aplicáveis, as determinações normativas de empreendimentos classificados como Aterros de Resíduos Classe II.

Desta forma, em linhas gerais o empreendimento em questão foi projetado, por similaridade, em conformidade com as orientações e determinações apresentadas pelas seguintes normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT:

- NBR 8.419/1992 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos;
- NBR 13.896/1997 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação;
- NBR 10.004/2004 – Classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.

3.3 – Descrição geral do empreendimento

De forma geral, o AS BRUMADINHO é constituído basicamente pelas seguintes unidades operacionais:

- Unidade de Aterragem de RSU, neste estudo também denominado de “aterro sanitário”, cuja finalidade é o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos Classe II-A (não perigosos e não inertes) e Classe II-B (não perigosos e inertes);
- Área de triagem e de aterro / armazenamento de resíduos inertes de construção civil;
- Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), atualmente operando apenas com a finalidade de pré-tratamento e armazenamento temporário dos lixiviados/chorume e esgotos domésticos gerados no empreendimento;
- Prédio Administrativo, composto por salas de escritório, recepção, almoxarifado, cozinha/refeitório e banheiros masculino e feminino;
- Central de Controle de Resíduos, composta por portaria e balança rodoviária para controle da entrada de pessoas, veículos e equipamentos;
- Vestiários masculino e feminino para uso geral dos funcionários do empreendimento;
- Galpão para guarda e armazenamento de veículos, equipamentos e/ou insumos diversos;
- Pátio de compostagem de matéria orgânica que atualmente se encontra inoperante.

Por outro lado, fazem parte do presente memorial descritivo somente o projeto de implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO, com

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

exceção da previsão de instalação de dispositivos complementares de controle ambiental nos maciços de lixo já existentes e de uma cobertura metálica por sobre a área da Central de Controle de Resíduos.

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

4 – ESPECIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS A SEREM REALIZADOS

Basicamente, o projeto apresentado no presente memorial é composto pelos seguintes serviços:

- Execução da nova Etapa 04 da plataforma de base da Unidade de Aterragem de RSU e das novas estradas e plataformas projetadas para o seu entorno;
- Execução do sistema de impermeabilização de base e dos taludes internos da plataforma da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU, incluindo a sua interligação com a impermeabilização já existente;
- Execução do sistema de drenagem de águas pluviais projetado para o entorno da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU;
- Execução do sistema de drenagem interna de efluentes líquidos (lixiviados / chorume) e gasosos da base da plataforma da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU, incluindo a sua interligação com os dispositivos já existentes, quando pertinente;
- Execução de novos trechos da rede coletora de efluentes externa à Unidade de Aterragem de RSU para interligação com os sistemas e dispositivos de controle já existentes;
- Readequações, escavações e reaterragem de resíduos sólidos urbanos já aterrados para instalação de dispositivos de controle ambiental, em especial daqueles previstos para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU;
- Execução de dispositivos do sistema de drenagem interna de efluentes líquidos e gasosos que ainda não se encontram instalados nos maciços de lixo já existentes;
- Execução de dispositivos de drenagem de águas pluviais que ainda não se encontram instalados por sobre os maciços de lixo já existentes;
- Execução de sistema de cobertura final e de revegetação superficial dos taludes e topos dos maciços de lixo já existentes;
- Instalação de piezômetros do tipo Vector para monitoramento futuro do nível de efluentes líquidos (lixiviados / chorume) e da pressão dos biogases no interior dos maciços de lixo já existentes;

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

- Execução de uma cobertura metálica por sobre parte da área da Central de Controle de Resíduos, mais especificamente sobre a portaria e cancelas eletrônicas.

Os detalhes e especificações dos projetos técnicos de engenharia elaborados para os serviços acima relacionados estão apresentados nos anexos do presente memorial e de forma descritiva nos subitens adiante.

As especificações aqui apresentadas deverão ser fiscalizadas e acompanhadas pelos representantes da Prefeitura.

4.1 – Serviços de terraplenagem em geral e sistema de impermeabilização

Os serviços de terraplenagem em geral e a execução do sistema de impermeabilização deverão seguir as especificações apresentadas nos subitens adiante.

Vale ressaltar que os resultados dos ensaios geotécnicos de campo e de laboratório e os laudos de qualidade, garantia e de instalação das geomembranas de PEAD deverão ser apresentados ao órgão ambiental na fase de regularização ambiental do AS BRUMADINHO para fins de comprovação de que as especificações apresentadas nos estudos e projetos ambientais foram devidamente obedecidas.

4.1.1 – Características geométricas das demais obras de terraplenagem

Com exceção do sistema de impermeabilização de base da Unidade de Aterragem, as demais obras de terraplenagem deverão seguir as seguintes especificações:

- Aterros de maciços de lixo:
  - Declividade máxima dos taludes definitivos: 1:2,5 (V:H)
  - Declividade máxima dos taludes provisórios: 1:2 (V:H)
- Cortes em terreno natural:
  - Declividade máxima dos taludes: 2:3 (V:H)
- Aterros em solo compactado:

- Declividade máxima dos taludes: 1:2 (V:H)
- Energia de compactação: 100% do Proctor Normal

4.1.2 – Sistema de impermeabilização da Unidade de Aterragem de RSU

A impermeabilização da plataforma de base da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO será composta por sistema misto (solo argiloso compactado + geomembrana de PEAD) e deverá atender as seguintes especificações:

- Impermeabilização de base (*liner*) conformada da seguinte maneira, de baixo para cima:
  - Camada de impermeabilização em solo compactado a 100% do Proctor Normal (PN), na espessura total de 50 cm, a ser executada em 02 camadas de 25 cm;
  - Geomembrana de PEAD na espessura de 1,50mm, texturizada nas duas faces;
  - Camada de proteção mecânica em solo adensado com rolo compactador liso, sem controle de compactação (mas próxima da energia de 95% do Proctor Normal), na espessura total de 50 cm, a ser executada em 02 camadas de 25 cm.
- Impermeabilização de taludes internos:
  - Geomembranas em PEAD, na espessura de 1,50mm, texturizada nas duas faces, de forma contínua à geomembrana da base.

Ressalta-se que o sistema de impermeabilização acima especificado se apresenta como uma das melhores soluções técnicas atualmente existentes para proteção de solos e de mananciais subterrâneos contra vazamentos de chorume em aterros de resíduos não perigosos.

As figuras adiante ilustram a configuração básica de sistemas de impermeabilização de base e de taludes similares àquela especificada para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.



FIGURA 03 *– Sistema de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) sendo instalado em aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, Prefeitura de Brumadinho / Novo Meio Engenharia, 2020)*



FIGURA 04 – *Impermeabilização de base e taludes instalada na atual Etapa 03 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO, similar àquela que deverá ser instalada na sua Etapa 04. (Aterro Sanitário de Brumadinho, 2025)*



FIGURA 05 *– Sistema de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) sendo instalado em aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS Alfenas, VIASOLO, 2017).*

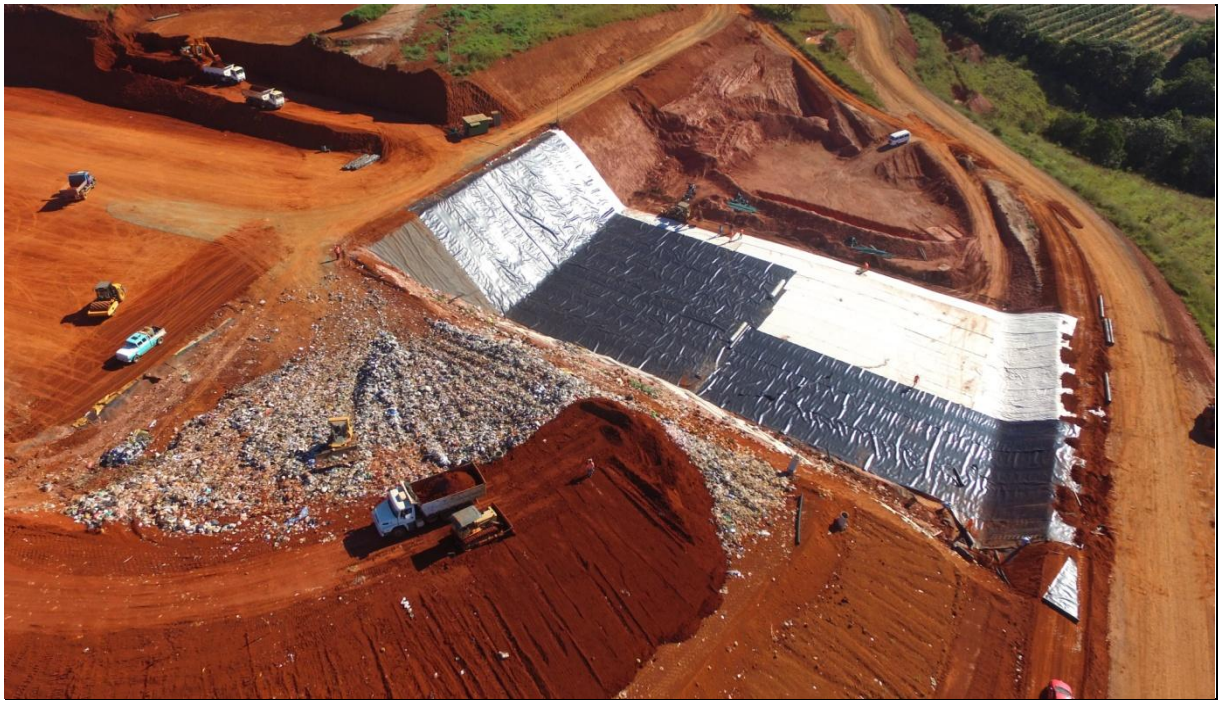


FIGURA 06 *– Sistema de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) sendo instalado em aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS Alfenas, VIASOLO, 2017).*



FIGURA 07 *– Sistema de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) sendo instalado em aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS Montes Claros, VIASOLO, 2017).*



FIGURA 08 – *Impermeabilização de base e taludes instalada no Aterro Sanitário de Paracatu, similar àquela projetada para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Prefeitura de Paracatu, 2018)*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br



FIGURA 09 – *Impermeabilização de base e taludes instalada no Aterro Sanitário de Paracatu, similar àquela projetada para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Prefeitura de Paracatu, 2018)*



FIGURA 10 – *Impermeabilização de base e taludes instalada no Aterro Sanitário de Uberlândia, similar àquela projetada para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Limpebras, 2012)*



FIGURA 11 – *Impermeabilização de base e taludes instalada no Aterro Sanitário de Uberlândia, similar àquela projetada para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Limpebras, 2012)*



FIGURA 12 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes instalados em aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: CTR Leopoldina, GRUPO UNIÃO, 2018).*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br



FIGURA 13 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes instalados em aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: CTR Leopoldina, GRUPO UNIÃO, 2018).*

Além das especificações acima listadas, também deverão ser obedecidas as seguintes:

- A geomembrana de PEAD da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU deverá ser unida / soldada à geomembrana já instalada numa faixa superior a 3m para transição e trespasse;
- Nos bordos da plataforma de base da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU a geomembrana deverá ser ancorada e, para tanto, foi considerada uma faixa adicional de 2m de largura além dos referidos limites no levantamento dos quantitativos;
- Para o levantamento do quantitativo total de geomembrana a ser adquirida, foi aplicado um percentual adicional de 10% a título de perdas com recortes e interferência inerentes aos serviços de sua instalação.

Para instalação da impermeabilização, foram consideradas as seguintes áreas superficiais (acabadas/instaladas) e volumes (geométricos):

- Faixa de transição (com largura variável e superior a 3m) na qual a impermeabilização de base e taludes deverá ser reexecutada (camadas de solo) e/ou trespassada (geomembrana), sobrepondo a nova impermeabilização àquele já existente;
- Impermeabilização de base e taludes aonde a mesma ainda não foi executada;
- Ancoragens laterais e de cristas de corte com largura adicional de 2,0m em relação ao seu perímetro de ancoragem.

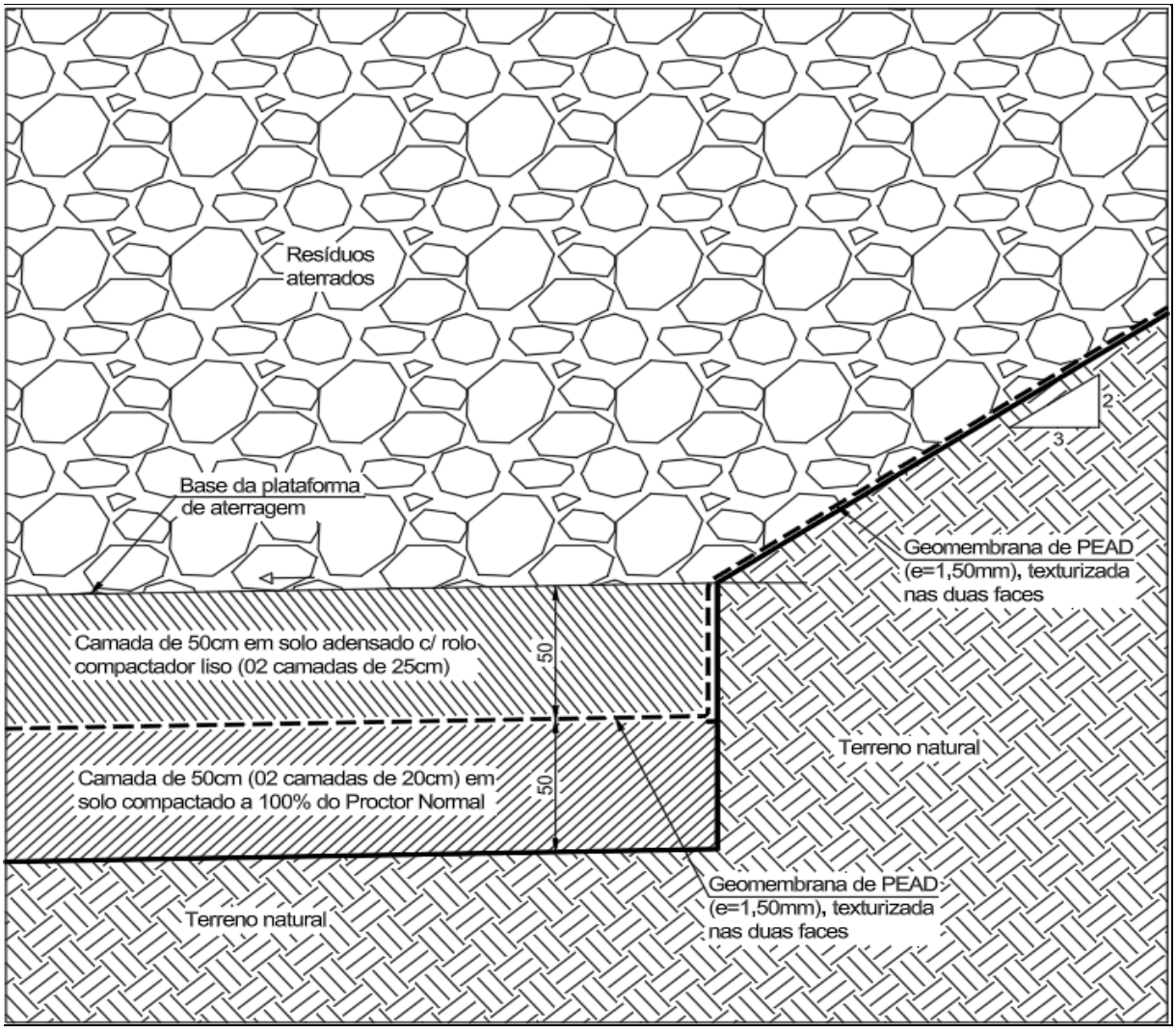


FIGURA 14 – *Detalhe típico do sistema de impermeabilização de base e taludes especificado para instalação na plataforma de base da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

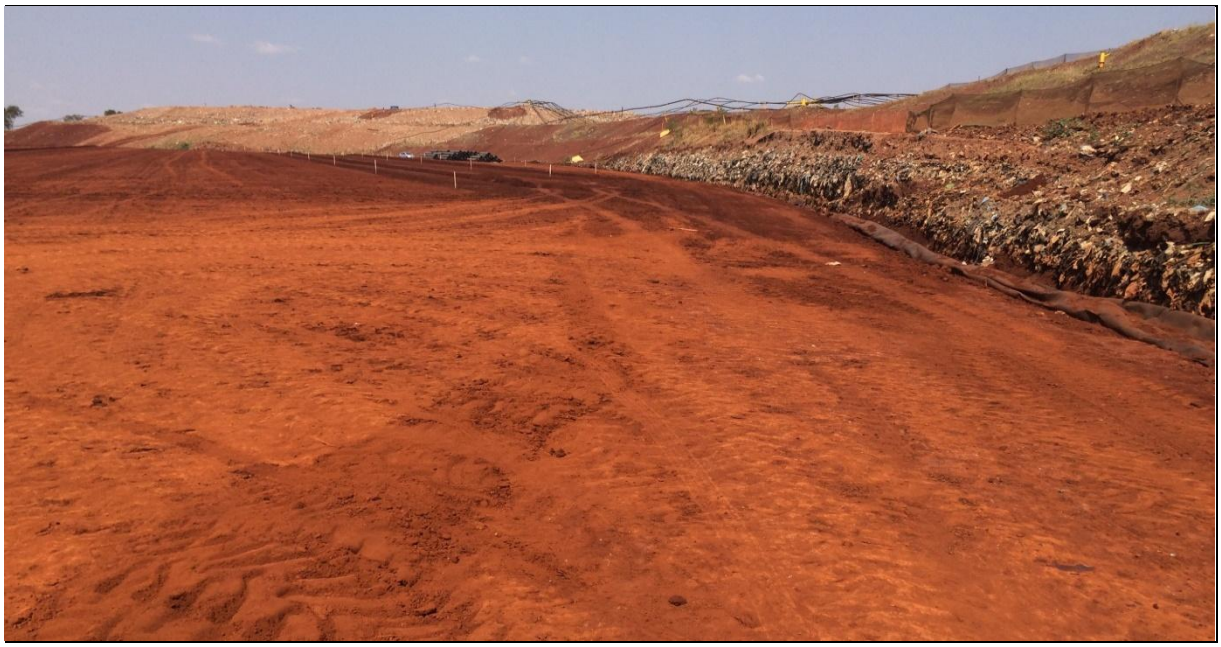


FIGURA 15 – *Obra de ampliação de um sistema de impermeabilização em aterro sanitário, similar à prevista para a implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. Nesta foto, vê-se a faixa de transição entre as etapas antiga e nova na qual foi realizada a união/solda e trespasse da geomembrana (Fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia, Limpebras, 2016). (continuação da foto anterior)*



FIGURA 16 – *Obra de ampliação de um sistema de impermeabilização em aterro sanitário, similar à prevista para a implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RS do AS BRUMADINHO. Nesta foto, vê-se a faixa de transição entre as etapas antiga e nova na qual foi realizada a união/solda e trespasse da geomembrana (Fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia, Limpebras, 2016). (continuação da foto anterior)*

4.1.3 – Controle tecnológico de aterros compactados a 100% do Proctor Normal

4.1.3.1 – Definição de aterros compactados

Define-se aterro compactado como um processo artificial de melhoramento do solo em termos das seguintes propriedades:

- Aumento da massa específica natural;
- Diminuição da permeabilidade e da percolação de água;
- Aumento da resistência mecânica.

4.1.3.2 – Execução dos aterros compactados a 100% do Proctor Normal

As operações de execução do aterro consistem em descarga, espalhamento, homogeneização, conveniente umedecimento ou aeração e compactação dos materiais selecionados procedentes de cortes ou empréstimos para a construção do corpo do aterro até a cota correspondente ao greide da terraplenagem.

O material proveniente das escavações deverá ser provisoriamente disposto de modo adequado, sem produzir impacto ambiental.

O aterro deverá ser compactado em camadas soltas de 25 cm de espessura, presumindo-se que haja redução de sua espessura para 20 cm após a compactação até o nível adequado. O controle geométrico da espessura das camadas deverá ser feito pelo alinhamento dos offsets, não se permitindo desvios de mais de 10%.

Todas as camadas do solo deverão ser convenientemente compactadas seguindo as seguintes especificações:

- Para o corpo dos aterros, a compactação deverá ser realizada na umidade ótima, aceitando-se variações de 2% para mais ou para menos, até se obter a massa específica aparente seca correspondente a 100% da massa específica aparente seca

máxima obtida em laboratório através do ensaio de compactação DNER-ME 129/94, aferida em campo através dos ensaios DNER-ME 092/94 (Frasco de Areia);

- Seguindo as demais especificações do parágrafo anterior, para as camadas de impermeabilização a massa específica aparente seca deve corresponder a 100% da massa específica aparente seca máxima. Complementarmente, esta parcela de solo deverá ser compactada até que se atinja um coeficiente de permeabilidade "k" igual ou inferior a 1,0 x 10^{-7} cm/s, aceitando-se no máximo 1,10 x 10^{-7} cm/s em 10% dos resultados;
- Os trechos que não atingirem as condições mínimas de compactação deverão ser escarificados, homogeneizados, levados à umidade adequada e novamente compactados de acordo com a massa específica aparente seca exigida.

Antes do lançamento de uma camada, a superfície do aterro deverá sofrer gradeamento ou escarificação superficial leves, independentemente do teor de umidade, de modo a garantir uma boa ligação entre as camadas. O material lançado e espalhado terá sua superfície nivelada e gradeada até que todo o material esteja homogeneizado na profundidade total da camada, antes da compactação.

Blocos e outros materiais com diâmetro superior a 50% da espessura final da camada compactada deverão ser removidos.

Recomenda-se que as dimensões da área a ser compactada não excedam 100 m de comprimento e 10 m de largura a fim de não prejudicar o teor de umidade adequado para a compactação.



FIGURA 17 – *Procedimento de correção da umidade do solo sendo realizado durante a execução de camadas de aterro compactado na obra de ampliação da unidade de aterragem de um aterro sanitário, similar à prevista para a implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia, Limpebras, 2016).*



FIGURA 18 – *Procedimento de correção da umidade do solo sendo realizado durante a execução de camadas de aterro compactado na obra de ampliação da unidade de aterragem de um aterro sanitário, similar à prevista para a implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia, Limpebras, 2016).*



FIGURA 19 – *Procedimento de correção da umidade do solo sendo realizado durante a execução de camadas de aterro compactado na obra de ampliação da unidade de aterragem de um aterro sanitário, similar à prevista para a implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia, Limpebras, 2016). (continuação da foto anterior)*



FIGURA 20 – *Procedimento de correção da umidade do solo sendo realizado durante a execução de camadas de aterro compactado na obra de ampliação da unidade de aterragem de um aterro sanitário, similar à prevista para a implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia, Limpebras, 2016). (continuação da foto anterior)*

4.1.3.3 – Ensaios geotécnicos de campo requeridos

Os ensaios geotécnicos de campo necessários para a implantação dos serviços de terraplenagem do empreendimento são os seguintes:

- A massa específica seca ou densidade de campo das camadas compactadas será obtida pelo método do frasco de areia, segundo a norma DNER-ME 092/94;
- A umidade de campo das camadas compactadas poderá ser obtida pelo método *speed test* (norma DNER-ME 092/94) ou pelo método da frigideira.

A empresa contratada deverá montar um laboratório de campo com condições de realizar os ensaios geotécnicos acima especificados.

4.1.3.4 – Ensaios geotécnicos de laboratório requeridos

Um ensaio de compactação, segundo o método de ensaio DNER-ME 129/94, deverá ser executado a cada 1.000 m³ de um mesmo material procedente de cortes e/ou empréstimos.

Para cada ensaio de compactação adicional, realizado durante a tomada de material de empréstimo, também deverá ser realizado um ensaio de permeabilidade a carga variável (norma NBR-14.545/2000), em laboratório, na mesma energia do ensaio de compactação. Caso o resultado obtido para o valor da permeabilidade “k” não atenda a especificação definida em projeto, dever-se-á aumentar a energia do ensaio para moldagem do corpo de prova e recalcular o valor correspondente da massa específica seca máxima de laboratório (usando-se como referência o aumento do grau de compactação em relação ao Proctor Normal – exemplo: 110% em relação ao PN). Tal alteração na energia do Proctor Normal deverá ser replicada na execução dos aterros em campo.

Deverão ser realizados 01 (um) ensaio de granulométrica (DNER-ME 080/94), 01 (um) ensaio de limite de liquidez – LL (DNER-ME 122/94) e 01 (um) ensaio de limite de plasticidade - LP (DNER-ME 082/94) para cada grupo de 10 (dez) amostras submetidas ao ensaio de compactação.

Deverão ser realizados 02 (dois) ensaios de permeabilidade a carga variável (NBR-14.545/2000) em amostras indeformadas para cada camada (de 25 cm, acabada) do aterro de impermeabilização da base da unidade de aterragem.

Todos os ensaios de campo e laboratório deverão ser acompanhados das suas respectivas anotações de responsabilidade técnica (ART's).

4.1.3.5 – Equipamentos operacionais necessários

A compactação será efetuada por rolos convencionais autopropelidos ou rebocáveis, exceto junto a superfícies subverticais e depressões, onde deverá ser executada por compactadores pneumáticos manuais ou mecânicos.

A eficiência dos equipamentos poderá ser testada nas primeiras camadas do aterro ou em aterros experimentais, podendo a PREFEITURA exigir modificações no peso, na pressão e na velocidade de operação, a seu critério.

Quando operados em série ou em paralelo em um mesmo material, os rolos deverão possuir as mesmas características de operação, forma, dimensões e pesos.

Para a execução dos trabalhos previstos, sugere-se que uma frota composta da seguinte forma:

- 01 trator de esteiras com lâmina frontal;
- 01 motoniveladora;
- 01 pá carregadeira;
- 02 caminhões basculantes com capacidade de 8,0 m³;
- 01 trator agrícola;
- 01 grade de disco;
- 01 rolo compactador "pé de carneiro" com massa mínima de 4,0 ton.;
- 01 caminhão tanque com capacidade de 6.000 litros, munido de barra espargidora.

4.1.3.6 – Critérios para aceitação e/ou rejeição dos serviços

Nenhuma camada compactada poderá ser liberada sem a comprovação de que os parâmetros de compactação estão em conformidade com as especificações de grau de compactação (GC) e umidade ótima (H_{ot}). As especificações iniciais a serem observadas para este caso são:

- GC ≥ 100% para corpo de aterro;
- GC ≥ 100% para camada de impermeabilização;
- Variação de H_{ot} = ± 2%.

Os parâmetros iniciais deverão ser obtidos através de ensaio de compactação em laboratório, segundo o método de ensaio DNER-ME 129/94, na área de empréstimo do material utilizado para compactação do aterro. Esses parâmetros deverão ser reajustados à medida que novos ensaios de compactação sejam feitos na área de empréstimo.

O acabamento da plataforma de aterro será procedido mecanicamente de forma a alcançar a conformação da seção transversal do projeto, admitidas as seguintes tolerâncias:

- Variação da altura máxima de ± 0,04m para o eixo e bordos;
- Variação máxima da largura de +0,30m para a plataforma, não sendo admitida variação negativa.

4.1.4 – Serviços de fornecimento e instalação de geomembrana de PEAD

Serão apresentadas, neste tópico, as especificações e orientações para a contratação e fiscalização dos serviços relativos à fase de instalação da geomembrana de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) na Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO, além da indicação dos documentos que deverão ser exigidos para a comprovação da eficiência do serviço em questão.

4.1.4.1 – Especificação dos materiais

A geomembrana de PEAD a ser utilizada deverá ser de polietileno “virgem” de alta densidade e alto peso molecular, texturizada nas duas faces, fabricada por processo de extrusão através de equipamento de matriz plana, na espessura de 1,50mm.

No quadro adiante estão apresentadas as principais e mais importantes características da geomembrana de PEAD especificada para o sistema de impermeabilização da plataforma de base da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO e que deverão ser respeitadas durante o processo de compra do produto.

***QUADRO 01** - Propriedades da geomembrana de PEAD especificada para a impermeabilização da plataforma de base da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.*

PROPRIEDADES	NORMA	UNIDADE	RESULTADO
Espessura	ASTM D 5994	mm	1,50
Densidade	ASTM 792	g/cm^3	0,94
Resistência à tração (escoamento)	ASTM D 6693	kN/m	22,00
Alongamento (escoamento)	ASTM D 6693	%	12,00
Resistência à tração (ruptura)	ASTM D 6693	kN/m	16,00
Alongamento (ruptura)	ASTM D 6693	%	100,00
Resistência ao rasgo	ASTM D 1004	N	187,00
Resistência ao puncionamento	ASTM D 4833	N	400,00
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

O fornecedor deverá informar ao comprador sobre as características do produto em relação à sua "não degradabilidade" aos raios UV, especialmente em relação ao tempo de exposição limite do produto sem perda de sua integridade funcional. E no ato da entrega do produto ao comprador, o fornecedor deverá fornecer um certificado de qualidade emitido na origem segundo os métodos de ensaio GM13 do GRI.

O fornecedor, no certificado de qualidade de fabricação, deverá especificar os ensaios realizados, os métodos utilizados, os resultados e a relação entre os valores obtidos nos ensaios e os valores de referência.

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

4.1.4.2 – Especificação dos serviços de instalação

Os serviços de instalação deverão ser executados por empresa qualificada e, de preferência, que atue como representante do fabricante.

A empresa contratada para os serviços de instalação deverá demonstrar sua capacidade técnica através de certidões fornecidas por outros clientes, correspondentes ao mesmo tipo de serviço.

A empresa contratada deverá verificar a conformidade do material argiloso compactado, a fim de que não haja problemas de perfuração da manta após a sua instalação, diante de eventual não conformidade, a empresa contratada deverá instruir a contratante sobre os procedimentos adequados.

Os serviços de instalação deverão ser feitos de acordo com os métodos da IGS-BR IGMT 01 – Instalação de Geomembranas Termoplásticas. Após a instalação, a empresa contratada deverá proceder aos testes obrigatórios de estanqueidade e emitir um certificado de qualidade ao adquirente.

O processo utilizado para a emenda das geomembranas deverá ser o de fusão térmica através de máquinas especiais de dois lados, sendo cunha quente para soldas lineares e extrusora para detalhes e uniões especiais.

4.1.4.3 – Especificação dos documentos a serem apresentados

A seguir, estão apresentadas as especificações dos documentos/certificados que deverão ser emitidos pelas empresas responsáveis pelo fornecimento e instalação das geomembranas na Unidade de Aterragem do AS BRUMADINHO:

- CERTIFICADO DE QUALIDADE DE FABRICAÇÃO: emitido pelo fabricante, dentro das normas indicadas;
- CERTIFICADO DE QUALIDADE QUANTO À ESTANQUEIDADE: emitido pelo instalador, dentro das normas indicadas.

4.1.5 – Registros e georeferenciamentos

Todos os ensaios (geotécnicos e/ou de instalação das geomembrana) aqui especificados deverão ter as suas execuções devidamente registradas por meio de memorial fotográfico.

Por fim, todos os pontos de monitoramento, de realização de ensaios e/ou de coleta de amostras deverão ser devidamente georeferenciados aos marcos topográficos já instalados no terreno do AS BRUMADINHO.

4.2 – Sistema de drenagem interna de efluentes (chorume e biogases)

Por sobre o sistema de impermeabilização de base da plataforma da Etapa 04 e na base do maciço 04 já conformado na Etapa 03 da Unidade de Aterragem de RSU, deverá ser instalado um sistema de drenagem de efluentes (percolados/chorume e biogases) gerados no interior da Unidade de Aterragem do AS BRUMADINHO formado pelos seguintes e principais dispositivos:

- DEH-T1 – Drenos de efluentes horizontais constituídos de geotêxtil não tecido, tipo BIDIM, material granular (brita gnaisse) e tubos drenos de PEAD que serão instalados na plataforma de base da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU;
- DEH-T2 – Drenos de efluentes horizontais constituídos de geotêxtil não tecido, tipo BIDIM e material granular (brita gnaisse) que serão instalados entre maciços de resíduos adjacentes;
- DEV – Drenos de efluentes verticais, para drenagem ascendente dos biogases e descendente de percolados/chorume, interligando os drenos DEH-T1 e DEH-T2 instalados em planos diferentes e que terão, ainda, a função de possibilitar o monitoramento do nível e da qualidade dos efluentes no interior da Unidade de Aterragem;
- CTE – Caixas de transição do sistema de drenagem de efluentes líquidos que terão a finalidade principal de funcionar como dispositivos de transição entre os drenos DEH-T1 e a rede coletora de efluentes (RCE) externa à Unidade de Aterragem, propiciando

o encaminhamento dos efluentes líquidos até a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do empreendimento. Além disto, as caixas CTE também funcionarão como pontos de inspeção do nível e da qualidade dos efluentes líquidos dentro da Unidade de Aterragem de RSU.

Ressalta-se que os drenos DEH-T1 e DEH-T2 deverão ser instalados numa distribuição espacial do tipo “malha quadrada” ou “espinha de peixe”, de forma similar ao ilustrado nas figuras adiante.



FIGURA 21 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes (drenos DEV e DEH-T1) instalados em um aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia, 2012)*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br



FIGURA 22 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes (drenos DEV e DEH-T1) instalados em um aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia, 2012)*



FIGURA 23 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes (drenos DEV e DEH-T1) instalados em um aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho – Etapa 01, Novo Meio Engenharia, 2011)*



FIGURA 24 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes (drenos DEV e DEH-T1) instalados em um aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: CTR Leopoldina, GRUPO UNIÃO, 2018).*



FIGURA 25 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes (drenos DEV e DEH-T1) instalados em um aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: CTR Leopoldina, GRUPO UNIÃO, 2018).*



FIGURA 26 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes (drenos DEV e DEH-T1) instalados em um aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho – Etapa 03, Novo Meio Engenharia, 2021)*



FIGURA 27 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes instalados em um aterro sanitário, em configuração similar à prevista para o ASR JANAÚBA. (Fonte: UVS Montes Claros, VIASOLO, 2017).*



FIGURA 28 *– Sistemas de impermeabilização de base e taludes (solo compactado + geomembrana de PEAD) e de drenagem interna de efluentes (drenos DEV e DEH-T1) instalados em um aterro sanitário, em configuração similar à prevista para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS MONTES CLAROS – VIASOLO, 2019).*

Os drenos DEH-T1 possuirão seção transversal de forma geométrica próxima a um triângulo, porém com o seu topo abaulado na forma de um semicírculo, tal como mostrado na figura adiante.

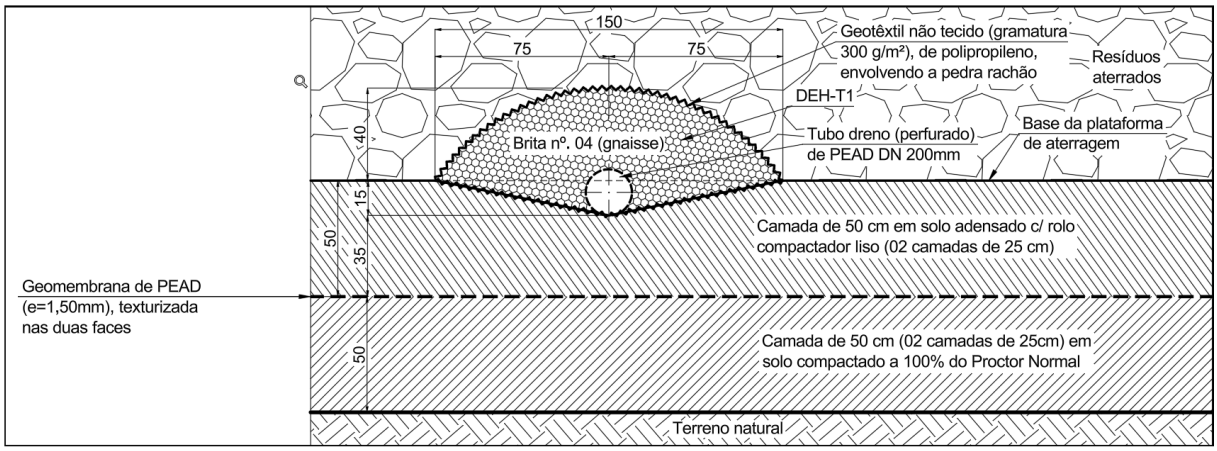


FIGURA 29 – *Detalhe típico da seção transversal do dreno DEH-T1 projetado para o AS BRUMADINHO.*

Os drenos DEH-T2 possuirão seção de forma retangular, porém com base triangular, tal como mostrado na figura adiante.

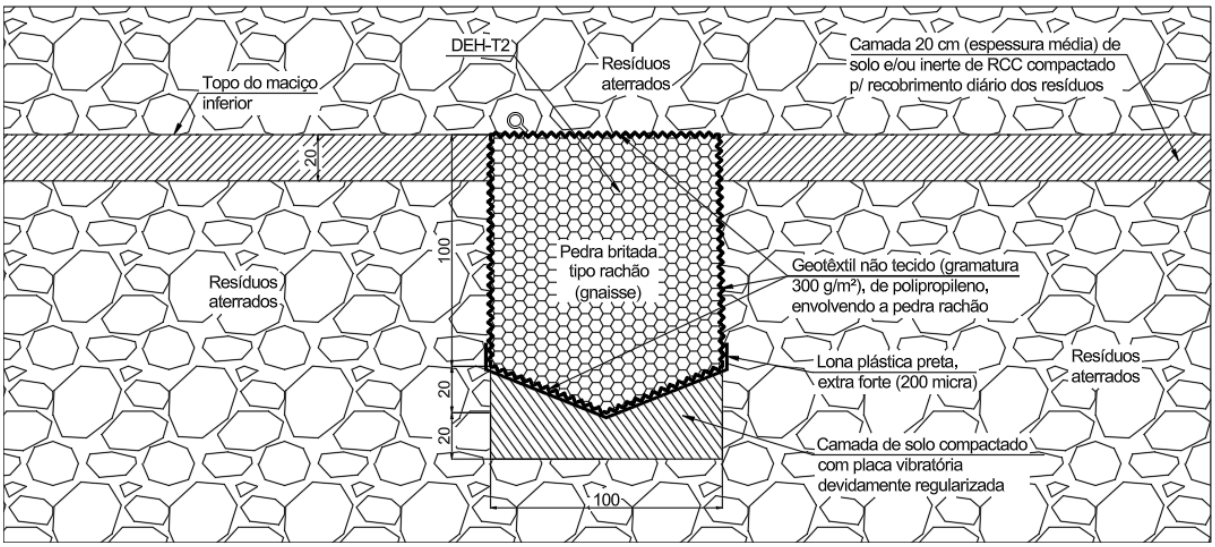


FIGURA 30 – *Detalhe típico da seção transversal do dreno DEH-T2 projetado para o AS BRUMADINHO.*

Nas bases dos drenos DEH-T1 serão instalados tubos drenos (perfurados) em PEAD, DN 200mm, sobrepostos e envoltos por pedra britada (gnaisse).

Os tubos drenos a serem utilizados nos drenos DEH-T1 e DEH-T2 deverão ser do tipo "TIGRE ADS DrenPro Infra" (ou similar) e obrigatoriamente atender à seguintes especificações:

- Ser fabricados a partir de composto de polietileno virgem de acordo com as normas AASHTO a ASTM D3350;
- Ser dotados de paredes interiores lisas e externas corrugas anulares;
- Ser dotados de juntas elásticas que cumpram com os requisitos da norma ASTM F477;
- Assegurar a estanqueidade de acordo com a norma ASTM D3212;
- Atendam aos testes, dimensões e especificações das normas AASHTO M294 - Tipo "S", ASTM F2306 ou DNIT 094/2014-EM.

Envolvendo os perímetros dos drenos DEH-T1 e DEH-T2 haverá a instalação de geotêxtil não tecido (do tipo BIDIM), na gramatura de 300 g/cm², que terá a finalidade de minimizar a possibilidade de colmatação do material granular e também do tubo dreno do DEH-T1.

Na base do DEH-T2, sob o geotêxtil não tecido, deverá ser instalada uma lona plástica preta, extraforte (200 micra).

Na especificação e detalhamento dos drenos DEH-T1 definiu-se, a favor da segurança, pelos seus dimensionamentos considerando somente a capacidade de transporte/coleta dos tubos drenos de PEAD neles contidos.



FIGURA 31 – *Tubos drenos de PEAD fabricados pela empresa TIGRE ADS que poderão ser utilizados nos drenos DEH-T1 previstos pelo projeto da Unidade de Aterragem de RSU – Etapa 04 do AS BRUMADINHNO. (Fonte: www.tigre-ads.com/br)*

Para tanto, o dimensionamento hidráulico dos tubos drenos em questão foi realizado a partir da fórmula de Manning utilizada para condutos operando em escoamento livre e uniforme, a saber:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} i^{1/2}$$

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

Onde:

- Q = Vazão (m³/s);
- A = Área da seção transversal (m²);
- R_h = Raio hidráulico (m);
- i = Declividade média (m/m);
- n = Coeficiente de rugosidade de *Manning* (adimensional).

Para o dimensionamento da rede coletora de efluentes será utilizada basicamente a fórmula de *Manning* apresentada a seguir:

$$Q = \frac{1}{n} A R_n^{2/3} i^{1/2}$$

Onde:

- Q = vazão (m³/s);
- A = área (m²);
- R_H = raio hidráulico (m);
- i = declividade (m/m);
- n = coeficiente de rugosidade de *Manning*.

Para seções circulares, o cálculo hidráulico é facilitado através do uso de tabelas auxiliares, tal como a mostrada adiante e também daquelas fornecidas pelos fabricantes dos tubos.

Ainda em relação aos condutos de seção circular operando no regime de escoamento livre, a fórmula de *Manning* pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Q_P = \frac{0,1}{n} .\pi .D^{8/3} i^{1/2}$$

QUADRO 02 *– Características de tubos circulares operando em escoamento livre*

h/D	Q_X / Q_P
0,10	0,02
0,20	0,09
0,30	0,19
0,40	0,32
0,50	0,49
0,60	0,66
0,70	0,83
0,80	0,98

Fonte: Fundamentos de Engenharia Hidráulica (Baptista et al, 2008).

Legenda:

h – altura da lâmina d´água

D – Diâmetro interno do tubo

Q_X – Vazão efetiva de trabalho, com o tubo operando numa determinada razão h/D

Q_P – Vazão máxima do tubo operando a seção plena

Para o caso em questão, foram adotadas as seguintes premissas de projeto:

- Definiu-se pelo dimensionamento dos tubos drenos (perfurados) que serão instalados nos novos drenos DEH-T1 e DEH-T2 (se fosse previsto) considerando-se a pior hipótese possível, ou seja, para a vazão máxima *maximorum* dos efluentes totais em final de plano e que considera todos os efluentes gerados na Unidade de Aterragem de RSU – Etapa 04 projetada;
- n = 0,015 (coeficiente de atrito interno adotado a favor da segurança e que usualmente é utilizado para tubos drenos de PEAD);
- Vazão mínima = 1,50 l/s = 0,0015 m³/s (ABNT-567);
- Declividade mínima sendo calculada pela tensão trativa;
- Declividade mínima adotada para os drenos = 0,50%
- Diâmetro nominal (DN) – Diâmetro útil (interno) mínimo dos tubos drenos = 200 mm
- h/D ≤ 0,50

Pelas informações constantes no quadro anterior em relação ao parâmetro h/D=0,50, encontrou-se um valor de Q_X/Q_P= *0,49* que, quando considerados em conjunto com a declividade mínima de 0,50%, indicou a seguinte vazão plena de operação dos tubos drenos (Q_P):

$$\frac{Q_X}{Q_P} = 0{,}490 \Rightarrow Q_P = \frac{Q_X}{0{,}49}$$

Consultando-se CRESPO (1997) e através da fórmula de *Manning*, concluiu-se que os tubos drenos dos drenos DEH-T1 e DEH-T2 deverão possuir diâmetros mínimos de trabalho de DN 150mm. Isto porque, pela fórmula de *Manning* (CRESPO, 1997), tubos de diâmetros internos de 150mm, operando por gravidade na declividade de 0,50% e a seção plena, possuem capacidade de escoamento de vazões até 9,46 l/s.

Entretanto, como o diâmetro nominal mínimo a ser adotado deverá ser de 200mm, os tubos drenos a serem utilizados deverão possuir DN 200mm.

Cabe salientar que os tubos drenos que serão instalados no AS BRUMADINHO poderão possuir diâmetros nominais diferentes, dependendo de cada fornecedor/fabricante, desde obedeçam ao diâmetro interno mínimo de 200 mm.

Os resultados do dimensionamento dos drenos DEH-T1 e DEH-T2 e as suas demais especificações encontram-se apresentadas diretamente nos projetos técnicos anexados ao presente relatório.

Os novos drenos DEV serão constituídos por colunas verticais de drenagem descendente de percolados/chorume e de drenagem ascendente de biogases constituídas por de tubos de concreto (tipo ponta e bolsa), DN 400 mm, sem preenchimento interno, sobrepostos e perfurados em toda a sua extensão e envolvidos por uma camada anelar de 30 cm de espessura de pedra rachão/britada (gnaisse) que, por sua vez, será conformada com o auxílio de uma forma permanente em tela de aço soldada (bitola de 4,2mm e malha de 10 cm x 10 cm), totalizando um diâmetro de 1,0 m.

Todos os novos drenos DEV deverão ter conexão / ligação com os novos drenos horizontais efluentes DEH-T1.

Nas plataformas de base, os drenos DEV se apoiarão em lajes circulares de concreto armado de espessura e diâmetro iguais a 15 e 200 cm, respectivamente, lajes estas que deverão ser executadas por sob os drenos DEH-T1 e por cima da camada de proteção do sistema de impermeabilização de base da Unidade de Aterragem de RSU.

A instalação destas lajes de concreto para apoio dos novos drenos DEV tem como finalidade distribuir a carga/peso dos respectivos drenos (colunas verticais de pedra britada e tubos de concreto) junto ao *liner* do aterro.

Ressalta-se que os drenos DEH-T1 longitudinais e os seus respectivos DEV-e já instalados na extremidade leste da plataforma de base da atual Etapa 03 deverão ser refeitos durante as obras de implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.

As figuras adiante apresentam detalhamentos e ilustram o dreno DEV previsto para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.



FIGURA 32 – *Dreno DEV instalado em um aterro sanitário, similar aos especificados pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, Prefeitura de Brumadinho / Novo Meio Engenharia, 2021)*



FIGURA 33 – *Drenos DEH-T1 e DEV instalados em um aterro sanitário, similares aos especificados pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, 2011)*



FIGURA 34 – *Topo definitivo de um dreno DEV instalado em aterro sanitário, similar aos especificados pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, Novo Meio Engenharia, 2025)*



FIGURA 35 – *Drenos DEH-T1 e DEV instalados em um aterro sanitário, similares aos especificados pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Classe II da Salto Soluções Ambientais, GRUPO LIMPEBRAS, Uberlândia, 2017)*



FIGURA 36 – *Drenos DEH-T1 e DEV instalados em um aterro sanitário, similares aos especificados pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia, LIMPEBRAS, 2011)*



FIGURA 37 – *Dreno DEV instalado em um aterro sanitário, similar aos especificados pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Paracatu, Prefeitura de Paracatu / Novo Meio Engenharia, 2021)*



FIGURA 38 – *Dreno DEV instalados em um aterro sanitário, similares aos especificados pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: CTR Leopoldina, GRUPO UNIÃO, 2020).*

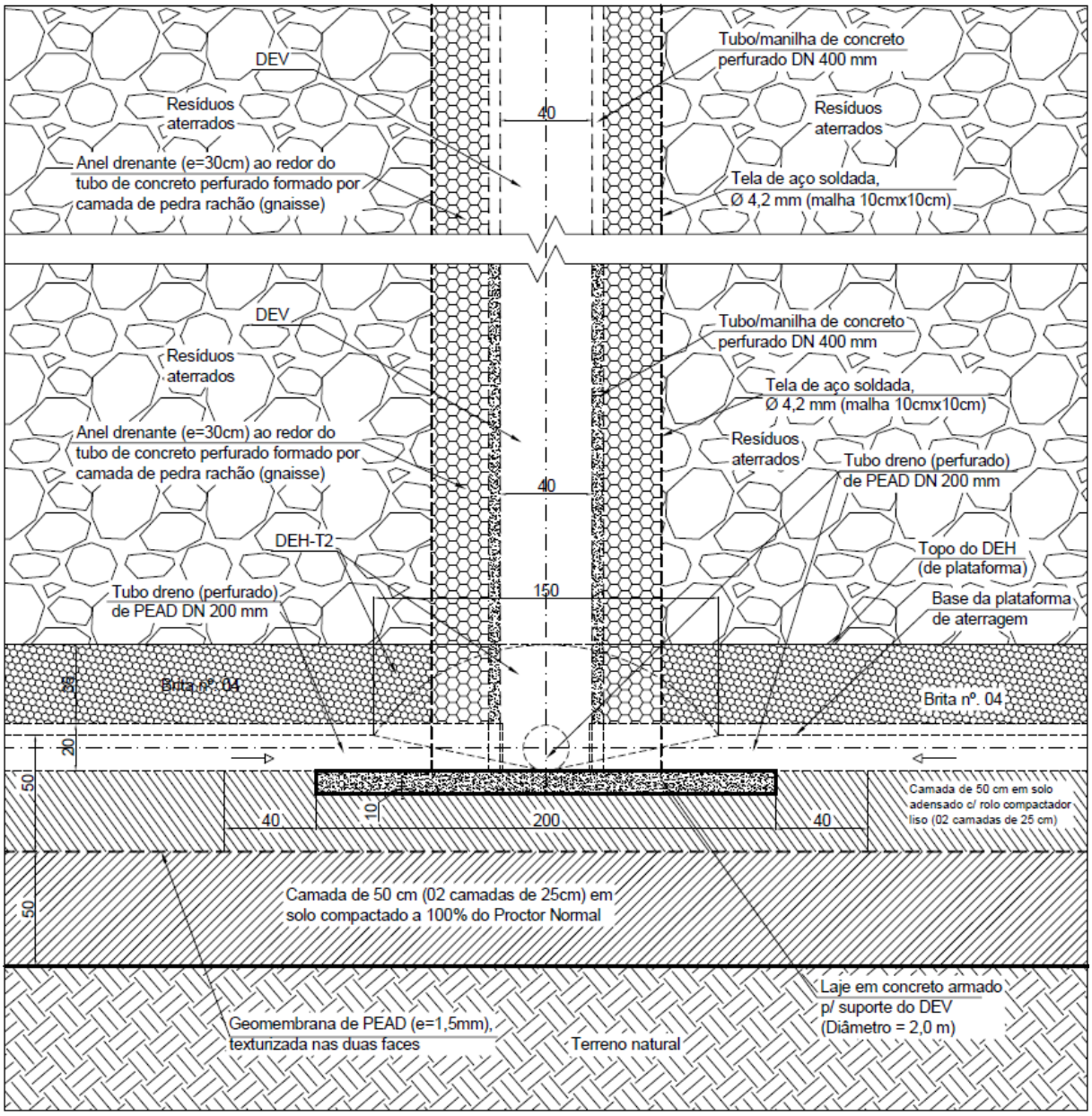


FIGURA 39 – *Detalhe típico da seção transversal do dreno DEV (junto à base da plataforma) projetado para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

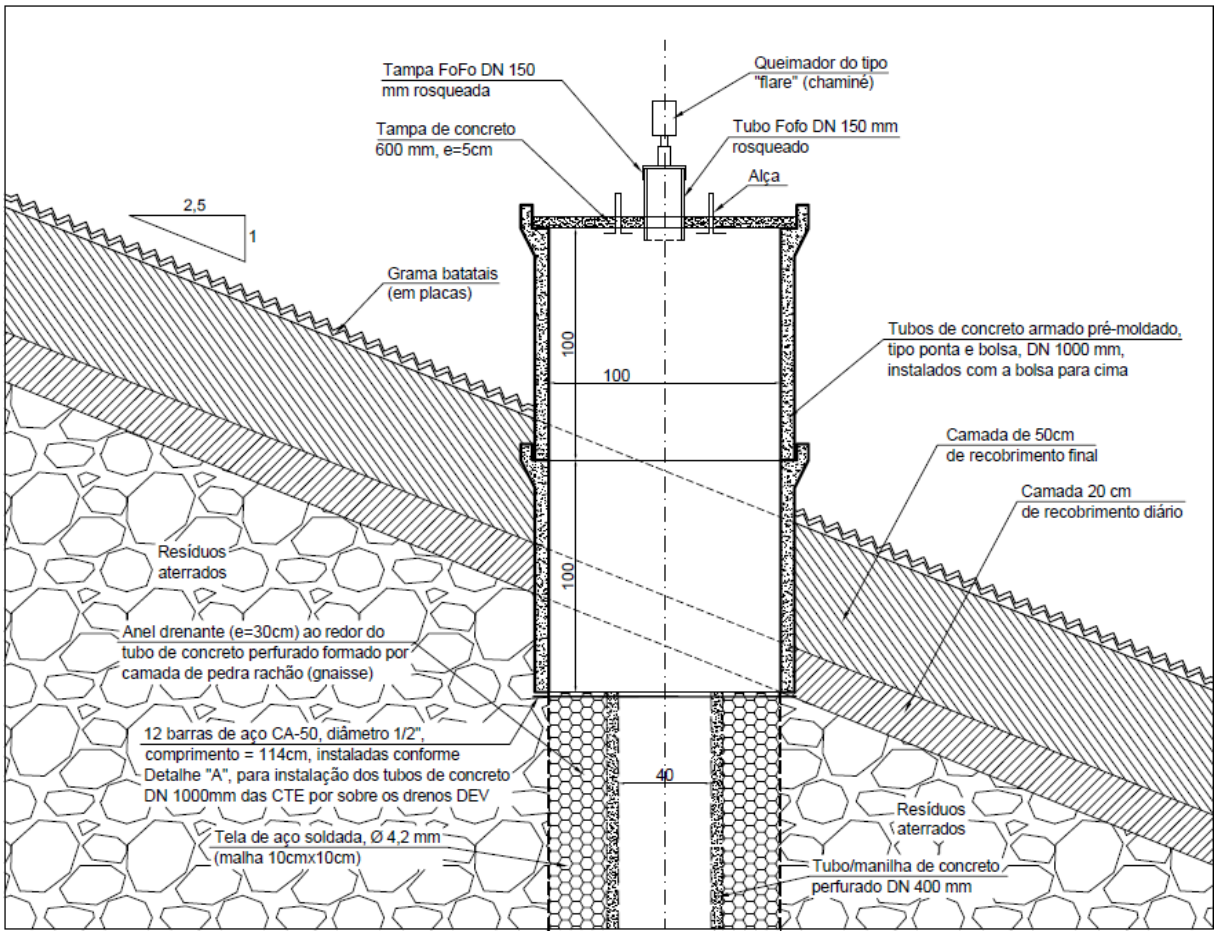


FIGURA 40 – *Detalhe típico da seção transversal do dreno DEV (topo do dreno) projetado para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU o AS BRUMADINHO.*

No topo dos drenos DEV deverão ser instalados queimadores de biogases do tipo "*flare*" similares ao mostrado em foto adiante.

Ressalta-se que estes dispositivos deverão ser instalados de forma que possam ser facilmente removíveis para monitoramento do nível dos efluentes líquidos no interior do aterro.

A execução dos drenos DEV se dará de forma gradativa e os seus alteamentos deverão ser feitos em conjunto (antecipadamente, é claro) com a elevação dos maciços de resíduos.

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

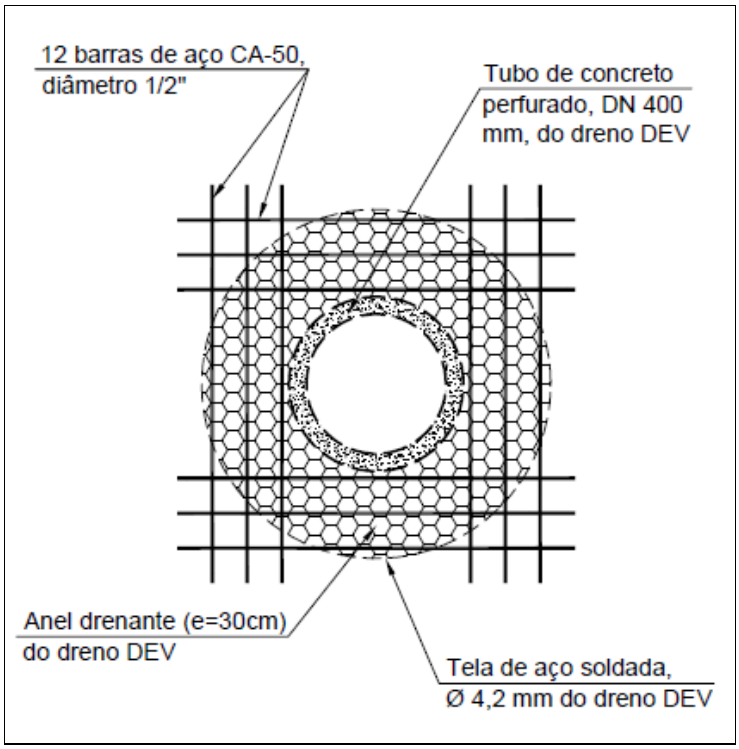


FIGURA 41 – *Detalhe típico do apoio do tubo de concreto a ser instalado na extremidade superior do dreno DEV (topo do dreno) projetado para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU o AS BRUMADINHO.*



FIGURA 42 *– Acabamento de topo de um dreno DEV instalado em um aterro sanitário, com o seu respectivo queimador do tipo "flare" instalado para queima do biogás gerado pela biodegradação dos resíduos aterrados, em configuração similar àquela prevista para o AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS Alfenas, VIASOLO, 2017).*



FIGURA 43 *– Queimador do tipo "flare" instalado na extremidade superior de um dreno DEV de aterro sanitário para queima do biogás gerado pela biodegradação dos resíduos aterrados, em configuração similar àquela prevista para o AS BRUMADINHO. (Fonte: CTR Leopoldina, GRUPO UNIÃO, 2018).*



FIGURA 44 *– Queimador do tipo "flare" instalado na extremidade superior de um dreno DEV de aterro sanitário para queima do biogás gerado pela biodegradação dos resíduos aterrados, em configuração similar àquela prevista para o AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS Montes Claros, VIASOLO, 2017).*



FIGURA 45 *– Acabamento de topo de um dreno DEV instalado em um aterro sanitário, com o seu respectivo queimador do tipo "flare" instalado para queima do biogás gerado pela biodegradação dos resíduos aterrados, em configuração similar àquela prevista para o AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS Alfenas, VIASOLO, 2017).*

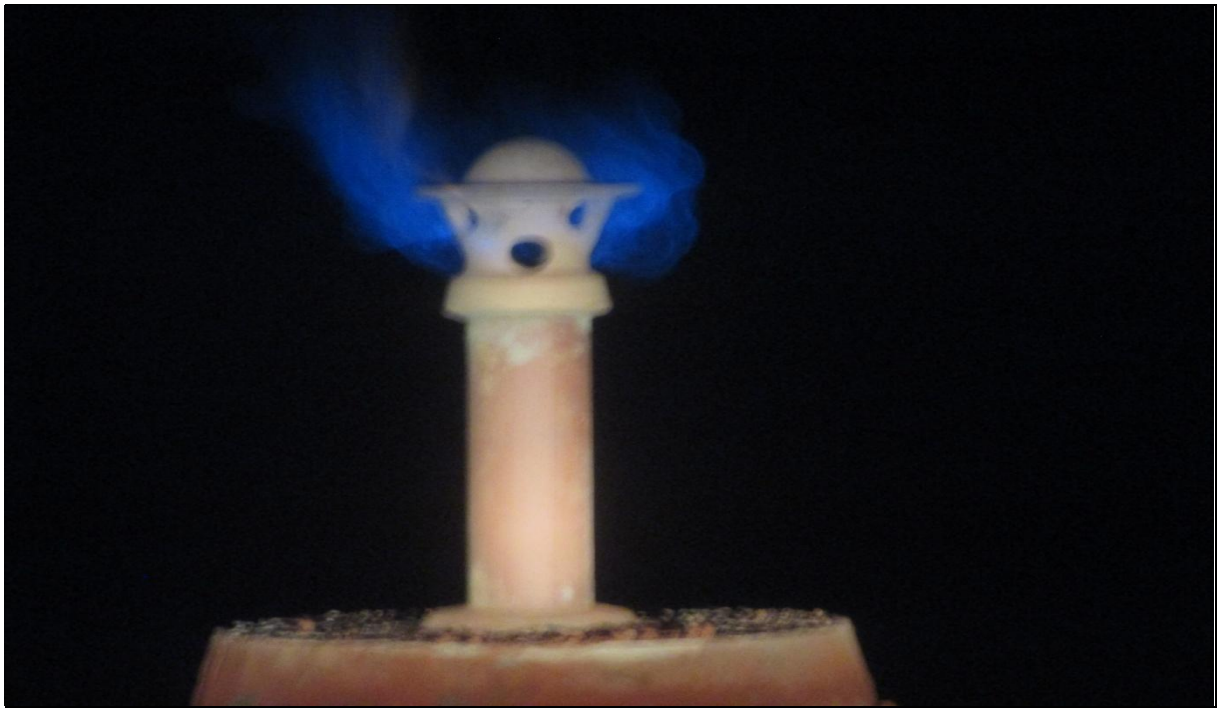


FIGURA 46 – *Queima do biogás sendo realizada no "flare" instalado na extremidade de um dreno DEV de um aterro sanitário, em procedimento similar àquele previsto para o AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS Montes Claros, VIASOLO, 2017).*

Para retirada dos efluentes líquidos gerados e drenados na Unidade de Aterragem, serão instaladas as caixas CTE que permitirão, além da inspeção e monitoramento dos percolados, a transição física entre os drenos DEH-T1 e as redes coletoras de efluentes externas à Unidade de Aterragem.

As caixas CTE serão constituídas por manilhas de concreto armado pré-moldadas DN 1500 mm nos moldes ilustrados em figuras adiante.



FIGURA 47 – *Caixas de transição de efluentes (CTE) instaladas em um aterro sanitário, similares àquelas especificadas pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, 2011)*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

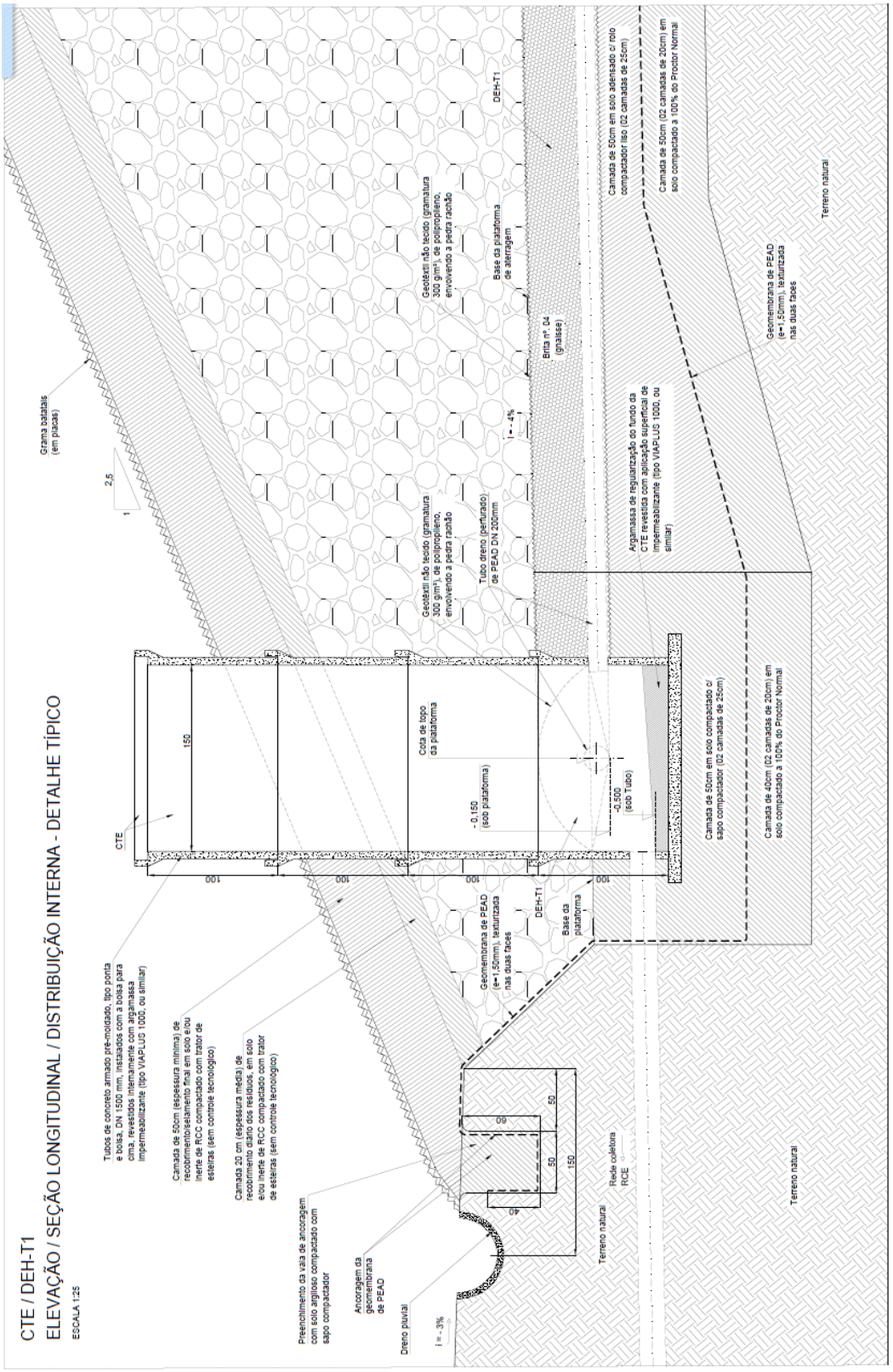


FIGURA 48 – *Detalhe típico, em elevação transversal, da intersecção da caixa CTE com os drenos DEH-T1 projetados para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

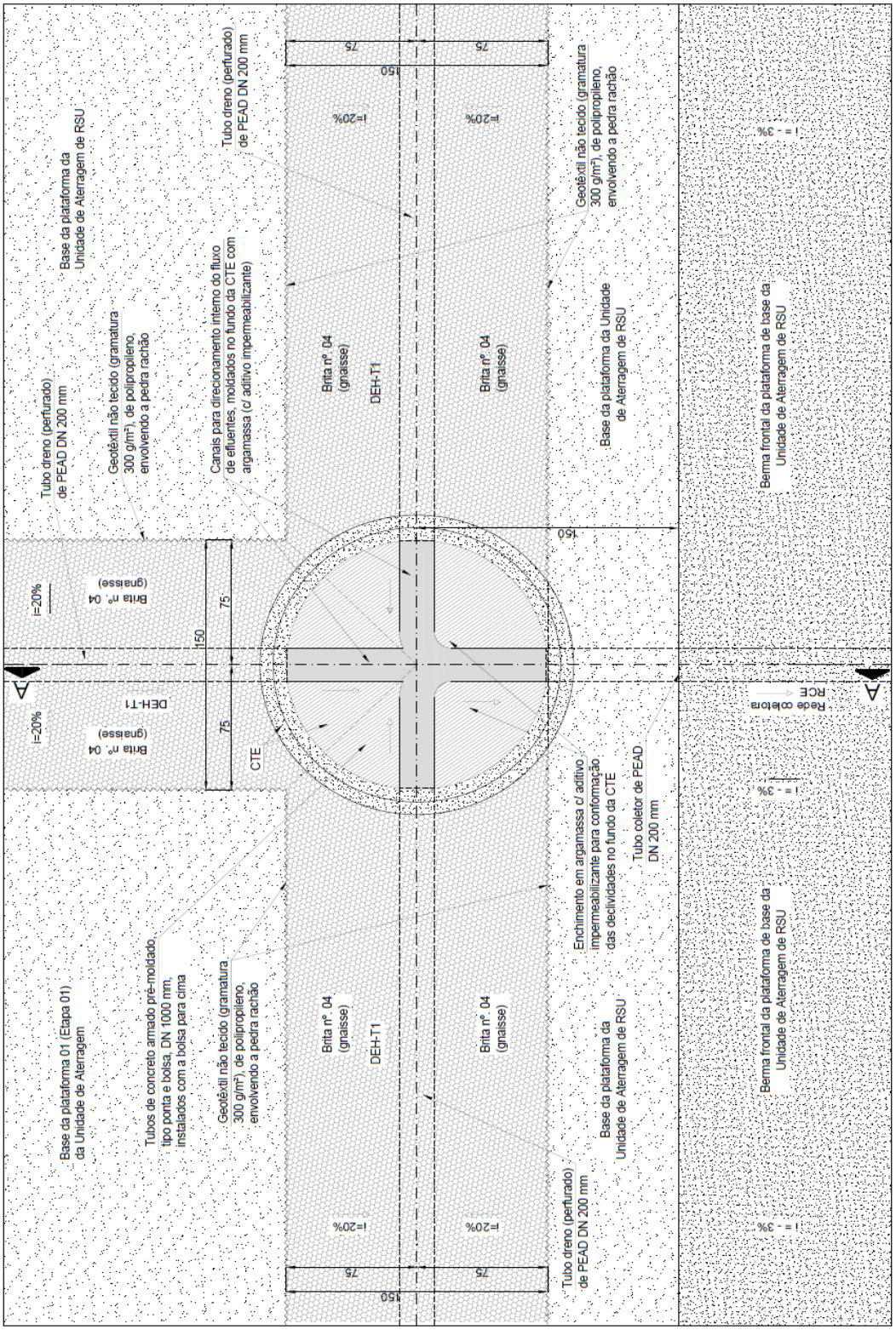


FIGURA 49 – *Detalhe típico, em planta, da intersecção da caixa CTE com os drenos DEH-T1 projetados para a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br



FIGURA 50 – *Caixas de transição de efluentes (CTE) instaladas em um aterro sanitário, similares àquelas especificadas pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, Novo Meio Engenharia, 2025)*

4.3 – Sistema de coleta e transporte de efluentes líquidos

Já existe um sistema de coleta e transporte de efluentes instalado no AS BRUMADINHO que deverá ser complementado por novos trechos de rede coletora RCE considerando a Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU prevista no presente projeto.

Tal como já acontece atualmente, os novos trechos da rede coletora RCE deverão operar por gravidade.

Como dispositivos da nova rede coletora, foram propostos os seguintes:

- Redes coletoras propriamente ditas em tubos de polietileno virgem de alta densidade – PEAD, denominadas pelo projeto de RCE;
- Poços de visita – PVE das redes coletoras RCE.

Os tubos coletores de PEAD a serem utilizados nas redes coletoras RCE deverão ser do tipo "TIGRE ADS DrenPro Infra" (ou similar) e obrigatoriamente atender à seguintes especificações (exceto quanto à capacidade de drenagem):

- Ser fabricados a partir de composto de polietileno virgem de acordo com as normas AASHTO a ASTM D3350;
- Ser dotados de paredes interiores lisas e externas corrugas anulares;
- Ser dotados de juntas elásticas que cumpram com os requisitos da norma ASTM F477;
- Assegurar a estanqueidade de acordo com a norma ASTM D3212;
- Atendam aos testes, dimensões e especificações das normas AASHTO M294 - Tipo "S", ASTM F2306 ou DNIT 094/2014-EM.

Cabe informar que a definição pela especificação dos tubos coletores de PEAD para os novos trechos da rede coletora RCE se justifica por este material ser mais resistente e adequado que o PVC para o escoamento e drenagem de efluentes com características similares aos percolados (chorume) de aterros sanitários.

Para o dimensionamento das novas redes coletoras RCE utilizou-se basicamente a fórmula de *Manning* apresentada a seguir:

$$Q = \frac{1}{n} A R_n^{2/3} i^{1/2}$$

Onde:

- Q = vazão (m³/s);
- A = área (m²);
- R_H = raio hidráulico (m);
- i = declividade (m/m);
- n = coeficiente de rugosidade de *Manning*.

Para seções circulares, o cálculo hidráulico é facilitado através do uso de tabelas auxiliares, tal como a mostrada adiante:

Ainda em relação aos condutos de seção circular operando no regime de escoamento livre, a fórmula de *Manning* pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Q_P = \frac{0,1}{n} . \pi . D^{8/3} i^{1/2}$$

QUADRO 03 *– Características de tubos circulares operando em escoamento livre*

h/D	Q_X / Q_P
0,10	0,02
0,20	0,09
0,30	0,19
0,40	0,32
0,50	0,49
0,60	0,66
0,70	0,83
0,80	0,98

Fonte: Fundamentos de Engenharia Hidráulica (Baptista et al, 2008).

Legenda:

h – altura da lâmina d´água

D – Diâmetro interno do tubo

Q_X – Vazão efetiva de trabalho, com o tubo operando numa determinada razão h/D

Q_P – Vazão máxima do tubo operando a seção plena

Para o caso em questão, foram adotadas as seguintes premissas de projeto:

- Definiu-se pelo dimensionamento dos novos trechos das redes coletoras RCE considerando-se a pior hipótese possível, ou seja, para a vazão máxima *maximorum* dos efluentes totais em final de plano;
- Coeficientes de atrito interno dos tubos coletores de PEAD: n = 0,015 (a favor da segurança)
- Vazão mínima = 1,50 l/s = 0,0015 m³/s (ABNT-567);
- Declividade mínima sendo calculada pela tensão trativa;

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

- Declividade mínima adotada para a rede coletora = 0,500%;
- Diâmetro nominal – DN mínimo para os tubos coletores de PEAD: = DN 200mm;
- h/D ≤ 0,50.



FIGURA 51 – *Tubos coletores de PEAD fabricados pela empresa Tigre/TDM que poderão ser utilizados nas novas redes coletoras RCE do AS BRUMADINHO. (Fonte: www.tigre-ads.com/br)*

Consultando-se CRESPO (1997) e através da fórmula de *Manning*, concluiu-se que os tubos coletores dos novos trechos da RCE deverão possuir diâmetros mínimos de trabalho de DN 150 mm. Isto porque, pela fórmula de *Manning* (CRESPO, 1997), tubos coletores de diâmetros internos de 150mm, operando por gravidade na declividade de 0,50% e a seção plena, possuem capacidade de escoamento de vazões até 9,46 l/s.

Entretanto, como o diâmetro nominal mínimo a ser adotado deverá ser de 200mm, os tubos coletores a serem utilizados deverão possuir DN 200mm.

Cabe salientar que os tubos coletores que serão instalados no AS BRUMADINHO poderão possuir diâmetros nominais diferentes, dependendo de cada fornecedor/fabricante, desde obedeçam ao diâmetro interno mínimo de 200 mm.

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

Os resultados do dimensionamento dos novos trechos da rede coletora de efluentes RCE e as suas demais especificações encontram-se apresentadas diretamente nos projetos técnicos anexados ao presente relatório.

4.4 – Sistema de drenagem de águas pluviais

Também foi projetada a complementação do sistema de drenagem de águas pluviais considerando a implantação da nova Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO e a instalação de dispositivos nos maciços de lixo readequados que ainda não foram executados, visando o controle e a minimização de processos erosivos e de carreamento de particulados/sólidos finos para os mananciais de água localizados a jusante do empreendimento e de forma a minimizar a entrada de água para o interior dos maciços de lixo aterrado.

Sempre que possível, deverão ser aproveitados os dispositivos de drenagem pluvial já existentes.

O sistema de drenagem de águas pluviais em questão foi proposto utilizando-se drenos e dispositivos definitivos e provisórios. Os drenos e dispositivos definitivos serão aqueles que permanecerão em uso mesmo após o término da vida útil do aterro. Por outro lado, os drenos e dispositivos provisórios serão aqueles que existirão apenas para proteger uma determinada etapa operacional ou executiva do empreendimento e serão executados ou eliminados conforme a necessidade observada pelos responsáveis pela operação e/ou implantação de etapas, unidades e/ou equipamentos.

A seguir são relacionados os principais dispositivos de drenagem superficial previstos pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO:

- DPS: Drenos em canaletas semicirculares pré-moldadas de concreto;
- BTC: Bueiros simples tubulares em tubos/manilhas de concreto;
- BTP: Bueiros simples tubulares em tubos de PEAD;
- BCS: Bacias de contenção de sólidos finos;
- DAP: Dissipadores de energia de águas pluviais/superficiais;

- CPP: Caixas de passagem de águas pluviais;
- CCP: Caixas coletoras de águas pluviais.



FIGURA 52 *– Caixas de passagem (CPP) e canaletas (DPS) de águas pluviais instaladas em um aterro sanitário, similares às especificadas pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem do RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, Novo Meio Engenharia, 2025)*

As vazões de projeto foram calculadas pelo método racional e utilizando-se da seguinte formulação:

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

Onde:

- Q = Vazão de drenagem;
- C = Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);
- i = Intensidade da precipitação para um período de retorno de 10 anos e duração igual ao tempo de concentração da microbacia delimitada para determinado dreno;
- A = Área de influência da microbacia delimitada para determinado dreno.



FIGURA 53 *– Caixas de passagem (CPP) e canaletas (DPS) de águas pluviais instaladas em um aterro sanitário, similares às especificadas pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem do RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, Novo Meio Engenharia, 2025)*



FIGURA 54 *– Caixas de passagem (CPP), caixas coletoras (CCP) e canaletas (DPS) de águas pluviais instaladas em um aterro sanitário, similares às especificadas pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem do RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, Novo Meio Engenharia, 2025)*



FIGURA 55 *– Caixas coletoras (CCP) e canaletas (DPS) de águas pluviais instaladas em um aterro sanitário, similares às especificadas pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem do RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, Novo Meio Engenharia, 2025)*



FIGURA 56 *– Canaletas (DPS) de águas pluviais instaladas em um aterro sanitário, similares às especificadas pelo projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem do RSU do AS BRUMADINHO. (Fonte: Aterro Sanitário de Brumadinho, Novo Meio Engenharia, 2025)*

A intensidade da precipitação foi estimada por meio da equação de Intensidade-Duração-Frequência - IDF mostrada adiante:

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

Onde:

- i = Intensidade da precipitação para um período de retorno de 10 anos e duração igual ao tempo de concentração da microbacia delimitada para determinado dreno (em mm/hora);
- t = Duração da precipitação (em minutos);
- T = Período de retorno (em anos), adotado como 10 anos.

O dimensionamento dos drenos foi realizado a partir da fórmula de *Manning* considerando-se a hipótese de escoamento uniforme em canal livre, a saber:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} i^{1/2}$$

Onde:

- Q = Vazão (m³/s);
- A = Área da seção transversal (m²);
- R_h = Raio hidráulico (m);
- i = Declividade média (m/m);
- n = Coeficiente de rugosidade de *Manning* (adimensional).

Foram adotados os diâmetros nominais (mm) comercialmente encontrados para o dimensionamento dos drenos (400, 600, 800, 1000, 1200, etc.), estando os resultados apresentados nos projetos técnicos anexados ao presente relatório.

4.5 – Instalação de piezômetros tipo Vector

Para determinação e monitoramento dos níveis de elevação dos lixiviados/chorume e da pressão exercida pelos biogases no interior dos maciços de lixo já existentes no Aterro Sanitário de Brumadinho, que possibilitarão melhores e mais assertivas avaliações e estudos quanto à saturação dos referidos maciços e, principalmente, quanto às seguranças e estabilidades geotécnicas, deverão ser executados (fornecimento e instalação) durante a implantação da Etapa 04 da sua Unidade de Aterragem de RSU piezômetros do tipo Vector, de câmara simples, conforme especificações adiante.

Cada instrumento será constituído por dois tubos concêntricos em PVC, com abertura no extremo do tubo interno, de maneira que o chorume afluente das variações piezométricas na câmara drenante dirija-se ao tubo interno por vasos comunicantes, e o gás afluente pela mesma câmara suba para o espaço intersticial entre o tubo externo e interno.

O topo do tubo interno é mantido aberto garantindo-se pressão atmosférica na superfície da coluna de chorume e o espaço anelar entre o externo e o interno é vedado no topo, com a instalação de registro no tubo externo permitindo a leitura das pressões de gás.

Desta maneira, na situação de registro fechado são possíveis os seguintes procedimentos e monitoramentos correspondentes à avaliação imediata da coluna e da pressão do sistema de chorume e gás:

- A instalação de manômetro no registro permite a leitura direta desta pressão de gás;
- A introdução do sensor elétrico (“*pi*”) permite a leitura da profundidade da lâmina de chorume no tubo interno.

Em determinadas regiões a dissipação da pressão de gás é lenta com o rebaixamento lento da coluna de chorume, em função das elevadas pressões do gás e da heterogênea condição de permeabilidade do maciço.

Ao final da instalação de cada equipamento, é elaborado um relatório com uma descrição técnica do perfil de perfuração e do perfil de instalação.

No topo de cada instrumento é instalada uma caixa de proteção em alvenaria de blocos de concreto, de forma de resguardar o equipamento contra eventuais ocorrências que possam vir a danificar o instrumento.

Em função das eventuais deformabilidades do maciço, os instrumentos instalados deverão ser rotineiramente verificados em termos de integridade, pois em decorrência da amplitude dos deslocamentos, poderá haver o seccionamento do aparelho ou perda de funcionalidade.



***FIGURA 57** – Piezômetro tipo Vector (em azul), instalado em um Aterro de Resíduos Classe II, de forma similar à prevista para o AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS Montes Claros, Viasolo, 2018)*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br



FIGURA 58 *– Piezômetro tipo Vector (em azul) instalado em um Aterro de Resíduos Classe II, de forma similar à prevista para o AS BRUMADINHO. (Fonte: UVS Montes Claros, Viasolo, 2018)*

A princípio, os piezômetros em duplo sifão mantêm-se íntegros em função dos tubos concêntricos permitirem o deslocamento relativo sem prejuízo ao funcionamento do sistema.

Uma medida importante a se levar em consideração é a necessidade de medida da altura saliente do piezômetro (“pescoço”) que, em realidade, deverá ir aumentado ao longo do tempo em função dos recalques do maciço. Esta medida deverá ser levada em consideração como correção dos cálculos de pressão, face à variação da altura da câmara.

A princípio estão previstas as instalações de 04 piezômetros Vector distribuídos pelos maciços de lixo já existentes no AS BRUMADINHO de acordo com as localizações indicadas nos projetos de engenharia em anexo, sendo 03 deles com profundidades de 6m e outro com profundidade de 11m, totalizando 20m de piezômetros executados.

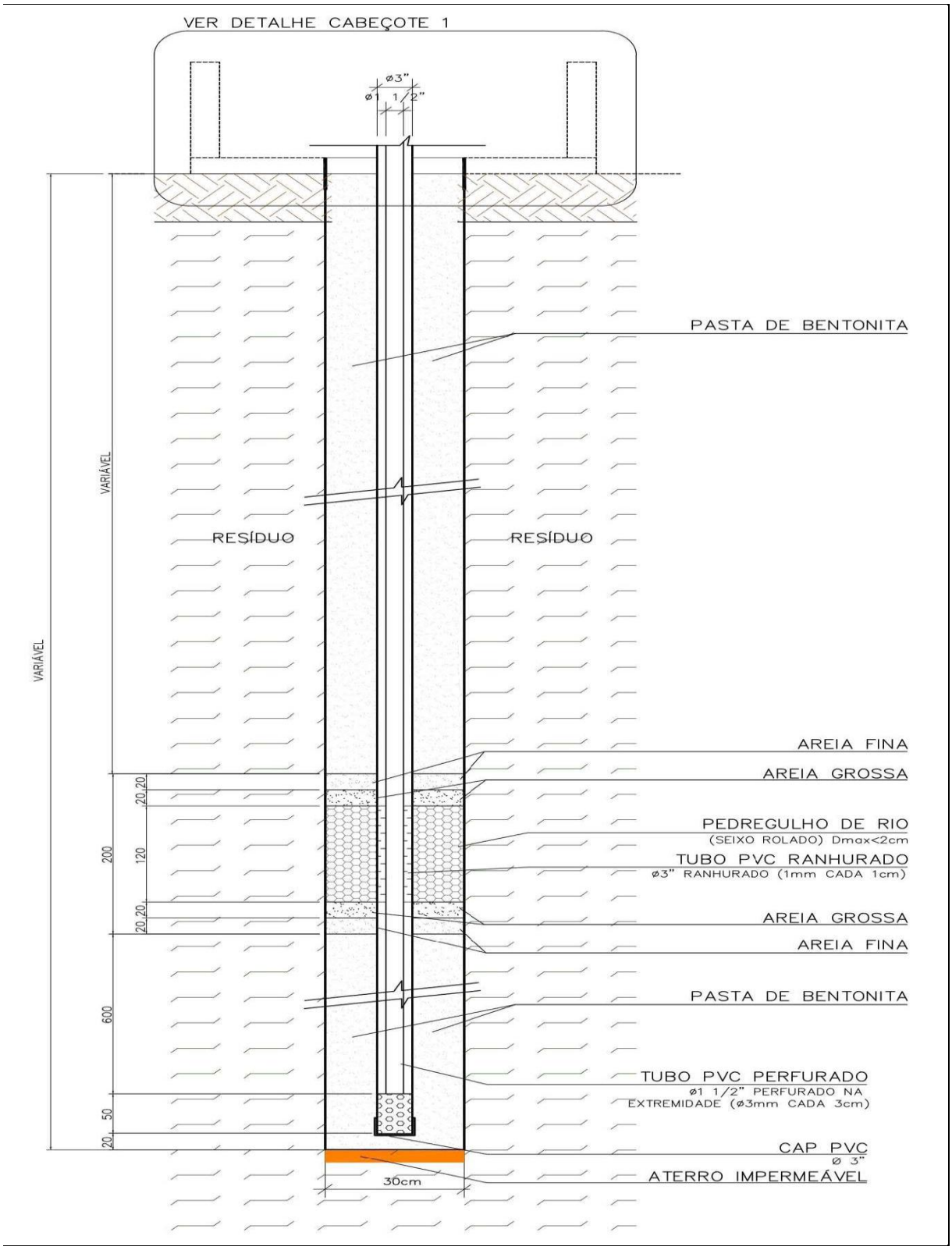


FIGURA 59 *– Detalhe típico, em corte/elevação, de piezômetro tipo Vector de câmara simples como os especificados para serem instalados no AS BRUMADINHO para seu monitoramento geotécnico.*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

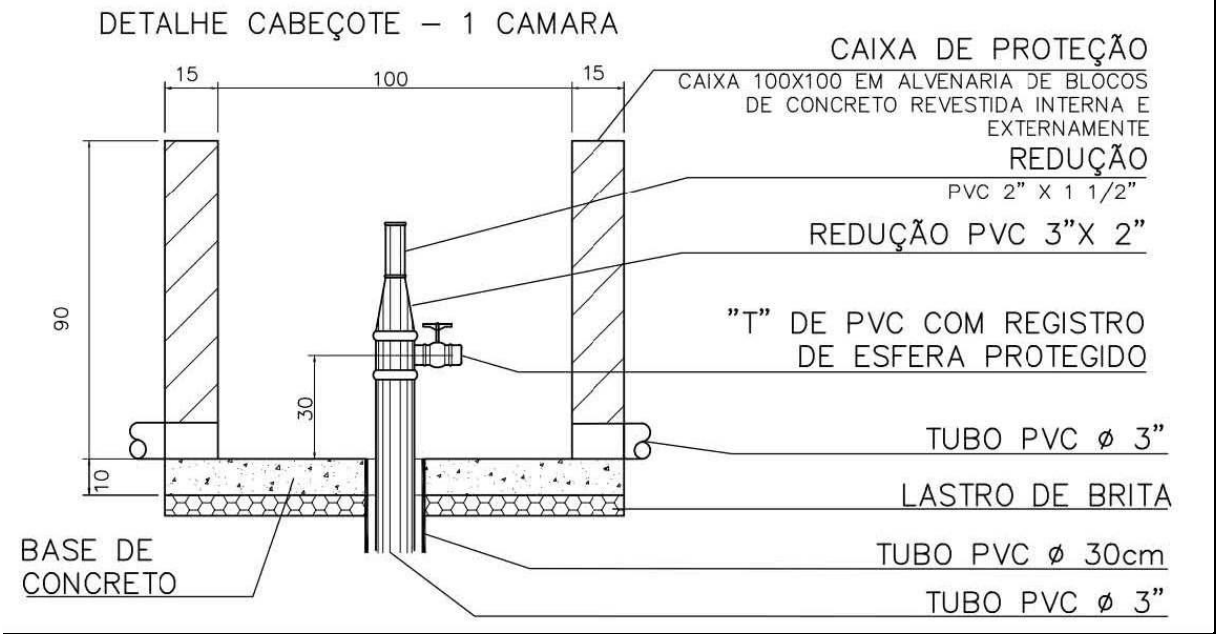


***FIGURA 60** – Detalhe típico do cabeçote, em corte/elevação, de piezômetro tipo Vector de câmara simples como os especificados para serem instalados no AS BRUMADINHO para seu monitoramento geotécnico.*

Entretanto, antes da mobilização dos equipamentos e equipe para execução dos serviços em campo, esta quantidade, profundidades e localizações dos piezômetros deverão ser reavaliadas com base na vistoria inicial de campo pela empresa responsável pelas suas instalações, que deverá emitir um "Relatório de especificação para instalação dos piezômetros".

Os serviços de execução dos piezômetros em questão deverão ser realizados de acordo com as seguintes etapas construtivas:

- Locação dos pontos de instalação dos piezômetros;
- Perfuração mecanizada a seco (sem utilização de circulação de água) nos maciços de lixo com equipamento de perfuração montado sobre esteira considerando um diâmetro de perfuração de 800mm e uma profundidade máxima de 15m. Será utilizada camisa metálica recuperável durante o processo de instalação dos drenos, propiciando assim a integridade das paredes durante todo este processo;
- Fornecimento, preparação e instalação dos revestimentos na perfuração, bem como o lançamento do preenchimento anelar e finalização dos revestimentos;

- Preparação e colocação do anel de concreto para proteção;
- Elaboração de relatório de caracterização visual e "*as built*" (perfil construtivo com dimensões e especificações pertinentes) contendo nome e local do empreendimento/empreendedor, nome da empresa que executou o serviço, período de execução, descrição do serviço realizado e dos materiais utilizados, croqui com a localização dos piezômetros e fotos da execução do serviço.

Para execução / instalação dos piezômetros Vector, a CONTRATADA deverá disponibilizar, também, os seguintes apoios dentro da área do empreendimento:

- Realizar o transporte de materiais dentro do empreendimento, principalmente até os pontos de execução dos piezômetros, utilizando-se dos equipamentos, veículos e máquinas utilizados na operação e manutenção diária do empreendimento (retroescavadeira, escavadeira hidráulica, trator de esteiras, caminhão, etc.).

Já a CONTRATANTE deverá disponibilizar à CONTRATADA deverá disponibilizar, também, os seguintes apoios dentro da área do empreendimento:

- Fornecer pontos de energia elétrica;
- Fornecer ponto de abastecimento de água para execução dos piezômetros;
- Fornecer locais para guarda segura de equipamentos e materiais utilizados;
- Garantir o livre acesso dos equipamentos utilizados para perfuração e instalação dos piezômetros até os seus locais execução.

4.6 – Readequação geométrica e escavações em maciços de lixo já existentes

Deverão ser realizadas readequações geométricas e/ou escavações em maciços de lixo já existentes apenas em pequenos trechos e de forma mais direcionada aos pontos de reinstalação de drenos DEH-T1, de instalação de drenos DEH-T2, de instalação de dispositivos de drenagem pluvial e de instalação do sistema de impermeabilização de base e de taludes previstos pelo projeto de implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.

Para tanto, deverão ser obedecidas as seguintes especificações:

- Os maciços de lixo definitivos deverão possuir alturas máximas individuais de 5m;
- Entre maciços sobrepostos deverão ser conformadas bermas de equilíbrio de largura igual a 5m;
- As declividades de topo dos maciços de lixo deverão ser 1% nos sentidos longitudinais indicado nos projetos técnicos;
- Os taludes dos maciços de lixo deverão ser conformados na declividade de 1:2,5 (V:H);
- Escavações em maciços de lixo já existentes deverão ser realizadas em taludes 1:1 (V:H), com alturas máximas de 5m;
- Valas a serem abertas para instalação de drenos DEH-T1 de DEH-T2 e para instalação de drenos pluviais somente poderão ser acessadas por funcionários / operadores das obras se possuírem altura/profundidade máxima de 1m. Acima desta altura/profundidade, os drenos somente poderão ser construídos com o auxílio de máquinas (em especial de escavadeira de esteiras para valas mais profundas e/ou retroescavadeira para profundidades menores) e sem o acesso de pessoas nos seus interiores;
- Os resíduos (lixo) removidos durante estas escavações deverão ser reaterrados na frente de aterragem diária do AS BRUMADINHO ou para fechamento das próprias valas escavadas para instalação dos drenos. Porém, para reaterragem dos resíduos nas próprias valas em que foram escavadas, antes deverão ser lançados resíduos RSU provenientes do recebimento diário no empreendimento, numa camada de 50cm de espessura mínima, com o objetivo de se evitar a colmatação (entupimento) dos drenos pelos materiais de cobertura que se encontram misturados aos resíduos escavados inicialmente;
- Para a reaterragem dos resíduos escavados nas próprias valas, a compactação deverá ser feita através de adensamento mecanizado utilizando-se as conchas e pás das carregadeiras de esteiras utilizadas para suas escavações;
- Para a reaterragem dos resíduos escavados na frente de aterragem, a compactação deverá ser feita utilizando-se de trator de esteiras seguindo-se os mesmos

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

procedimentos adotados na operação diária de aterragem de resíduos do AS BRUMADINHO.

Para selamento final dos topos, taludes e bermas reconformados deverá ser aplicada uma camada de recobrimento final de solo e/ou resíduos inertes de construção civil na espessura mínima de 50cm.

4.7 – Revegetação de taludes definitivos

Tanto os taludes definitivos de corte em terreno natural e/ou de aterro em solo compactado quanto os taludes definitivos dos maciços de lixo do AS BRUMADINHO deverão ser revegetados através do plantio de grama Batatais (*paspalum notatum*) obrigatoriamente em placas.

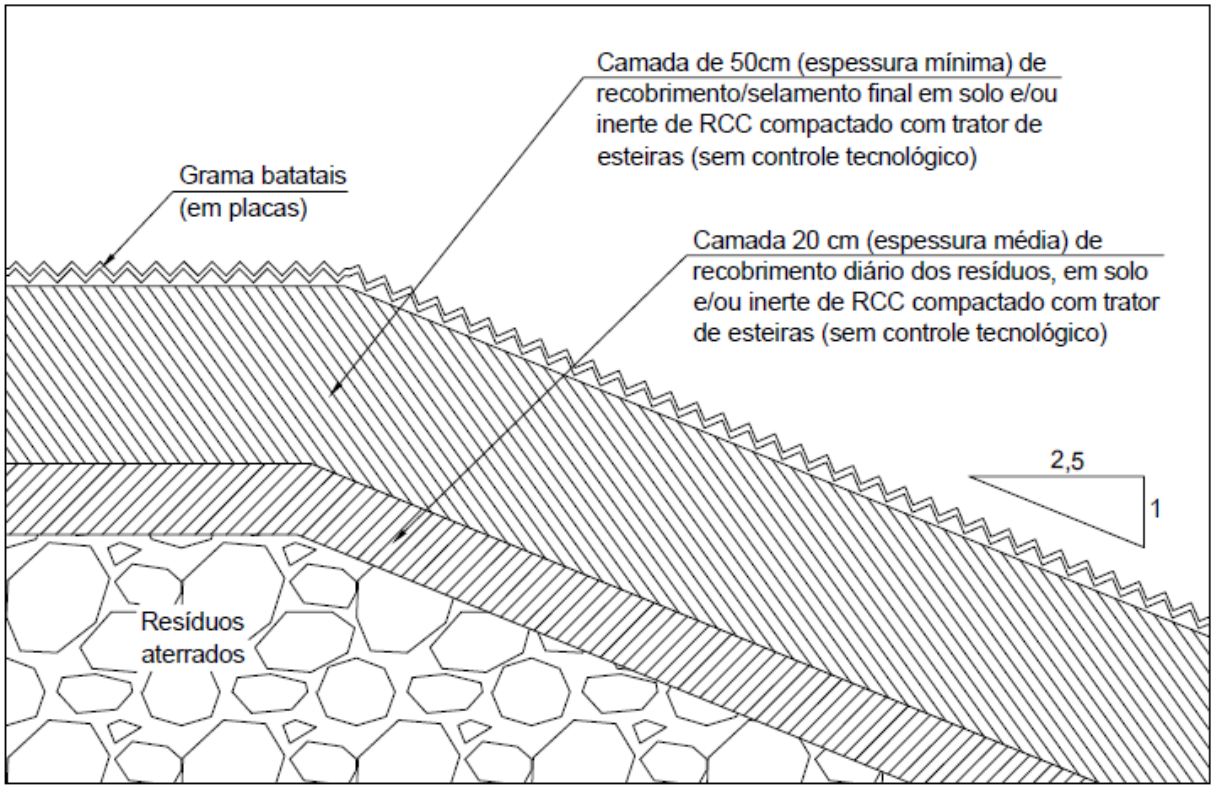


FIGURA 61 – *Configuração esquemática do sistema de cobertura superior do topo e taludes definitivos dos maciços de lixo da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO.*

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

Basicamente, na Etapa 04 descrita no presente relatório deverá haver a revegetação de áreas dos maciços 01, 03 e 04 já conformados, conforme ilustrado nos projetos técnicos de engenharia, sendo no maciço uma complementação da grama já existente, no maciço 03 o replantio de grama na área já revegetada preteritamente e no maciço 04 o plantio inicial nos taludes finalizados recentemente e/ou que serão finalizados durante as obras da Etapa 04.



FIGURA 62 – *Revegetação superficial de taludes definitivos de maciços de lixo em aterro sanitário com grama. (fonte: Aterro Sanitário de Montes Claros – UVS Montes Claros - VIASOLO, 2018)*



FIGURA 63 – *Revegetação superficial de taludes definitivos de maciços de lixo em aterro sanitário com grama. (fonte: Aterro Sanitário de Montes Claros – UVS Montes Claros - VIASOLO, 2018)*



FIGURA 64 – *Revegetação superficial de taludes definitivos de maciços de lixo em aterro sanitário com grama. (fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia - LIMPEBRAS, 2016)*



FIGURA 65 – *Revegetação superficial de taludes definitivos de maciços de lixo em aterro sanitário com grama. (fonte: Aterro Sanitário de Uberlândia - LIMPEBRAS, 2016)*

5 – PROJETOS TÉCNICOS

Os projetos técnicos detalhados previstos para implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO estão apresentados em pranchas plotadas em formatos e escalas adequadas e anexadas ao presente relatório.

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

6 – PLANILHA DE SERVIÇOS E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

Uma planilha de serviços contendo os quantitativos e os respectivos custos unitários e totais necessários à execução das obras de implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO, incluindo suas fontes, encontra-se apresentada nos anexos deste relatório.

Juntamente com a planilha de serviços, também está apresentado um correspondente cronograma físico-financeiro para execução da obra em questão.

Para entendimento dos quantitativos apresentados na planilha de serviços são necessárias as seguintes definições:

- Volumes geométricos de terraplenagem: são aqueles calculados diretamente nos cortes (sem empolamento na escavação) ou diretamente nos aterros projetados (sem a redução de volumes após procedimentos de compactação);
- Áreas superficiais acabadas: são aquelas que efetivamente foram calculadas após o serviço ter sido executado, excluindo-se as ancoragens e sem ainda considerar as perdas possíveis durante as obras.

Para os cálculos dos quantitativos previstos nas obras e indicados na planilha de custo para execução do projeto foram considerados os seguintes fatores de ajuste:

- Para os volumes de solos escavados e transportados será considerado um acréscimo de 30% sobre os volumes geométricos calculados para os respectivos cortes, a título de empolamento;
- Para os volumes de resíduos (lixo) escavados e transportados será considerado um acréscimo de 50% sobre os volumes geométricos calculados para os respectivos cortes, a título de empolamento;
- Para os volumes de solos compactados a 100% do PN será considerado um acréscimo de 20% sobre os volumes geométricos calculados para os respectivos aterros;
- Para os volumes de solos compactados na energia de 95% do PN não haverá acréscimo sobre os volumes geométricos calculados para os respectivos aterros;

- Para os volumes de solos utilizados para camadas de proteção mecânica da geomembrana, com solo adensado e em procedimento similar a aterros na energia de 95% do PN, não haverá acréscimo sobre os volumes geométricos calculados para os respectivos aterros;
- Para os volumes de resíduos reaterrados será considerado uma redução de 50% sobre os volumes geométricos calculados nas respectivas escavações, motivado pela compactação adequada dos resíduos durante os procedimentos de reaterragem;
- Para as áreas superficiais em taludes de corte em terreno natural deverá ser aplicado um fator de correção igual a 1,20 sobre as áreas de projeção horizontal medidas para ajustes às suas inclinações de 2:3 (V:H);
- Para as áreas superficiais em taludes de aterro em solo compactado deverá ser aplicado um fator de correção igual a 1,12 sobre as áreas de projeção horizontal medidas para ajustes às suas inclinações de 1:2 (V:H);
- Para as áreas superficiais em taludes definitivos de maciços de lixo finalizados deverá ser aplicado um fator de correção igual a 1,08 sobre as áreas de projeção medidas para ajustes às suas inclinações de 1:2,5 (V:H);
- Nos bordos da plataforma de base da Etapa 03 da Unidade de Aterragem de RSU a geomembrana deverá ser ancorada e, para tanto, foi considerada uma faixa adicional de 2m de largura além dos referidos limites no levantamento dos quantitativos;
- Na interface entre as etapas 03 (já instalada) e 04 (nova a ser instalada), deverá ser executada uma faixa de transição e trespasse da impermeabilização de base e de talude numa largura maior ou igual a 3m além do limite da geomembrana atualmente instalada, conforme locação indicada nos projetos de engenharia;
- Para as áreas superficiais de geomembrana será considerado um acréscimo de 10% sobre as áreas superficiais acabadas, sobre os trespasses e sobre as ancoragens a título de perdas devidas a recortes e/ou interferências construtivas.

Nos preços unitários considerados na planilha estimativa de custos para execução dos serviços de execução de aterros compactados já estão considerados os custos necessários ao controle tecnológico especificado mais adiante.

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

7 – ESTIMATIVA DE VIDA ÚTIL REMANESCENTE

Como consequência do projeto de implantação da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO, foi possível levantar as seguintes capacidade de aterragem remanescentes do empreendimento tomadas após o dia 24/04/2025 (dia do levantamento planialtimétrico e "*as built*" utilizado para o projeto em questão).

- Etapa 04 = 119.231,42 m³
- Total = 388.280,08 m³

Considerando-se os volumes médios diários "*per capita*" de resíduos aterrados entre os anos de 2016 e 2025 (até 30/06/2025) e as respectivas populações totais anuais estimadas para Brumadinho descritas em tópico anterior deste relatório e adotando-se o volume médio diário "*per capita*" de resíduos aterrados encontrado para os últimos 12 meses para os anos de 2025 em diante e aquele encontrado no de 2016 para os anos anteriores a 2016, foi possível elaborar uma atualização da projeção dos volumes de aterragem de resíduos no AS BRUMADINHO, tal como detalhado no quadro adiante e resumido a seguir:

- Ano de 2012 a 2015:
  - Volume médio diário "per capita" de resíduos aterrados = 0,001189270 m³/hab.dia (adotada como sendo igual ao resultado encontrado para o ano de 2016).
- Ano de 2016:
  - Volume médio diário "per capita" de resíduos aterrados = 0,001189270 m³/hab.dia
- Ano de 2017:
  - Volume médio diário "per capita" de resíduos aterrados = 0,001607713 m³/hab.dia
- Ano de 2018:
  - Volume médio diário "per capita" de resíduos aterrados = 0,001048302 m³/hab.dia
- Ano de 2019:
  - Volume médio diário "per capita" de resíduos aterrados = 0,000897979 m³/hab.dia
- Ano de 2020:

- Volume médio diário “per capita” de resíduos aterrados = 0,001651811 m³/hab.dia

- Ano de 2021:
  - Volume médio diário “per capita” de resíduos aterrados = 0,001599535 m³/hab.dia
- Ano de 2022:
  - Volume médio diário “per capita” de resíduos aterrados = 0,001145295 m³/hab.dia
- Ano de 2023:
  - Volume médio diário “per capita” de resíduos aterrados = 0,000985798 m³/hab.dia
- Ano de 2024:
  - Volume médio diário “per capita” de resíduos aterrados = 0,001350258 m³/hab.dia
- Ano de 2025 em diante:
  - Volume médio diário “per capita” de resíduos aterrados = 0,001500785 m³/hab.dia (adotada como sendo igual ao resultado encontrado para os últimos 12 meses).

Por outro lado, considerando-se as capacidades de aterragem remanescentes obtidas através do projeto de implantação da Etapa 04 e adotando-se para os anos de 2025 em diante um volume médio diário “*per capita*” de aterragem de resíduos igual ao registado nos nos últimos 12 meses igual a 0,001500785 m³/dia, foi possível elaborar a planilha estimativa de resíduos aterrados adiante pela qual foi possível estimar as seguintes vidas úteis remanescentes para a Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO a partir do dia 25/04/2025:

- Etapa 04 = 05 anos e 03 meses
- Total = 16 anos e 03 meses

De toda forma, vale ressaltar que a vida útil de um aterro sanitário é um parâmetro dinâmico e variável de acordo com as efetivas condições operacionais do empreendimento considerado, principalmente quanto aos seguintes aspectos:

- Quantidade de resíduos efetivamente recebidos para disposição final;
- Percentual real de material de recobrimento diário utilizado;

- Grau de compactação efetivamente alcançado durante a aterragem dos resíduos.

Portanto, recomenda-se que esta estimativa seja atualizada mensalmente no decorrer da operação do AS BRUMADINHO que, inclusive, poderá variar consideravelmente de um mês para o outro.

Sendo assim, não se deve avaliar estimativas pontuais mas sim as médias que se apresentarem ao longo do monitoramento ambiental e operacional do empreendimento.

QUADRO 04 *– Estimativas de quantidade de resíduos aterrados (lixo + recobrimentos) a partir de 25/04/2025 na Unidade de Aterragem de RSU no AS BRUMADINHO para os próximos 25 anos.*

Ano	População total (hab.)	Volumes de aterragem de resíduos (lixo + recobrimento) após 24/04/2025 (topografia considerada no projeto da Etapa 04)			
		Per capita (m³/hab.dia)	(m³/dia)	Anual (m³	Acumulado (m³)
Capacidades de aterragem (m³):	*Etapa 04 = 119.231,42* *Remanescente = 388.250,08*		Vida útil:	*Etapa 04 = 05 anos e 03 meses* *Remanescente = 16 anos e 03 meses*	
2025	40.144	0,001500785	60,25	15.122,75	15.122,75
2026	40.556	0,001500785	60,87	22.217,55	37.340,30
2027	40.967	0,001500785	61,48	22.440,20	59.780,50
2028	41.379	0,001500785	62,10	22.666,50	82.447,00
2029	*41.791*	*0,001500785*	*62,72*	*22.892,80*	*105.339,80*
2030	*42.203*	*0,001500785*	*63,34*	*23.119,10*	*128.458,90*
2031	42.615	0,001500785	63,96	23.345,40	151.804,30
2032	43.027	0,001500785	64,57	23.568,05	175.372,35
2033	43.438	0,001500785	65,19	23.794,35	199.166,70
2034	43.850	0,001500785	65,81	24.020,65	223.187,35
2035	44.262	0,001500785	66,43	24.246,95	247.434,30
2036	44.674	0,001500785	67,05	24.473,25	271.907,55
2037	45.086	0,001500785	67,66	24.695,90	296.603,45
2038	45.498	0,001500785	68,28	24.922,20	321.525,65
2039	45.909	0,001500785	68,90	25.148,50	346.674,15
2040	*46.321*	*0,001500785*	*69,52*	*25.374,80*	*372.048,95*
2041	*46.733*	*0,001500785*	*70,14*	*25.601,10*	*397.650,05*
2042	47.145	0,001500785	70,75	25.823,75	423.473,80
2043	47.557	0,001500785	71,37	26.050,05	449.523,85
2044	47.969	0,001500785	71,99	26.276,35	475.800,20
2045	48.380	0,001500785	72,61	26.502,65	502.302,85
2046	48.792	0,001500785	73,23	26.728,95	529.031,80
2047	49.204	0,001500785	73,84	26.951,60	555.983,40
2048	49.616	0,001500785	74,46	27.177,90	583.161,30
2049	50.028	0,001500785	75,08	27.404,20	610.565,50
2050	50.440	0,001500785	75,70	27.630,50	638.196,00

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como principal consequência da implantação do projeto da Etapa 04 da Unidade de Aterragem de RSU do AS BRUMADINHO, tem-se a viabilização da continuidade da disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Brumadinho por mais aproximadamente 05 anos a partir da sua execução.

Itaúna, agosto de 2025.



NOVO MEIO ENGENHARIA & CONSULTORIA LTDA
MARCELO BATISTA MONTEIRO
Eng.º civil/sanitarista – CREA/MG 75.715/D

Rua Adília da Silva Lima, 174, Bairro Tropical, CEP 35.680.542, Itaúna/MG
Contatos: (31) 99764-4077– marcelo@novomeioengenharia.com.br

ANEXOS

ANEXO 01 – ART DO CREA

ANEXO 02 – SONDAGENS SPT E ENSAIOS DE PERMEABILIDADE REALIZADOS JÁ REALIZADOS NA ÁREA

ANEXO 03 – PLANILHA ESTIMATIVA DE CUSTOS E CRONOGRAMA FÍSICO FINANCEIRO

ANEXO 04 – PROJETOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA

ANEXO 01 – ART DO CREA

ANEXO 02 – SONDAGENS SPT E ENSAIOS DE PERMEABILIDADE REALIZADOS JÁ REALIZADOS NA ÁREA

ANEXO 03 – PLANILHA ESTIMATIVA DE CUSTOS E CRONOGRAMA FÍSICO FINANCEIRO

ANEXO 04 – PROJETOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA