



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

Análise Crítica do Projeto Básico e do Processo Construtivo do
Aterro Sanitário de Brasília.

BÁRBARA MAGALHÃES DO NASCIMENTO E
MYLLENA CARDOSO COUTO MAIA

ORIENTADOR: PROF. ANDRÉ LUÍS BRASIL
CAVALCANTE, D.Sc.

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA
AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: 1º DE NOVEMBRO DE 2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**Análise Crítica do Projeto Básico e do Processo Construtivo do
Aterro Sanitário de Brasília.**

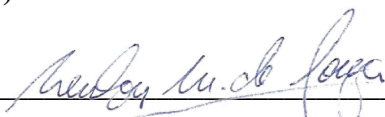
**BÁRBARA MAGALHÃES DO NASCIMENTO E
MYLLENA CARDOSO COUTO MAIA**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

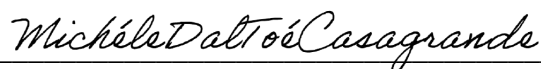
APROVADA POR:



**PROF. ANDRÉ LUÍS BRASIL CAVALCANTE, D.Sc. (ENC/FT/UnB)
(ORIENTADOR)**



**PROF. NEWTON MOREIRA DE SOUZA, D.Sc. (ENC/FT/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**PROF. MICHELE DAL TOE CASAGRANDE, D.Sc. (ENC/FT/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 01 DE NOVEMBRO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

MAGALHÃES DO NASCIMENTO, BÁRBARA E CARDOSO COUTO MAIA,
MYLLENA

Análise Crítica do Projeto Básico e do Processo Construtivo do Aterro Sanitário de Brasília.

xiv, 81 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2021)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. ATERRO SANITÁRIO 2. MELHORIAS

3. BRASÍLIA 4. RESÍDUOS

I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NASCIMENTO, B.M. E MAIA, M.C.C. (2021). *ANÁLISE CRÍTICA DO PROJETO BÁSICO E DO PROCESSO CONSTRUTIVO DO ATERRO SANITÁRIO DE BRASÍLIA*.

Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 81p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: BÁRBARA MAGALHÃES DO NASCIMENTO E MYLLENA CARDOSO COUTO MAIA

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: ANÁLISE CRÍTICA DO PROJETO BÁSICO E DO PROCESSO CONSTRUTIVO DO ATERRO SANITÁRIO DE BRASÍLIA.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Bárbara Magalhães do Nascimento

Bárbara Magalhães do Nascimento
barbaramagalhaesdn@gmail.com

Myllena Cardoso Couto Maia

Myllena Cardoso Couto Maia
myllenacardoso96@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu pai, Gilson Nei Lima do Nascimento, in memoriam, que durante toda a sua jornada física me incentivou e me inspirou a seguir o ofício da engenharia assim como ele, sempre sendo exemplo de profissional empenhado, ético e humano. Na sua jornada em outro plano sei que continua me guardando e me guiando pelos melhores caminhos, para que eu tenha discernimento para realizar o sonho da graduação e também dos próximos passos. Agradeço pelos dias de dedicação ao trabalho, que executava com louvor e com o objetivo de me proporcionar as melhores estruturas e possibilidades para que eu pudesse ter a melhor formação como estudante e como ser humano, para trilhar os meus caminhos.

Agradeço à minha mãe, Mary Kátia Lira Magalhães do Nascimento, por ser para mim exemplo de mulher aguerrida e forte, que com seu exemplo me ensinou a não desistir dos próprios objetivos, e a valorizar e priorizar a formação acadêmica, mesmo diante dos acontecimentos da vida. O seu exemplo de ter concluído a sua graduação me carregando em seu ventre sempre foi motivo de orgulho e força para mim. Agradeço por todas as horas dedicadas ao estudo junto comigo na infância, me passando confiança e motivação para seguir, me fazendo acreditar que sou capaz sempre de mais.

Agradeço à minha irmã, Beatriz Magalhães do Nascimento, por toda a parceria e incentivo em todo o processo da graduação, e a todos os meus familiares e amigos que me forneceram palavras de força e de incentivo sempre que precisei. Obrigada por terem fé em mim e na minha capacidade, e por demonstrarem orgulho da trajetória que escolhi percorrer.

Agradeço às minhas amigas e companheiras de curso Amanda, Bruna Karla e Bruna Nascimento, Larissa, Natália, Nayana, Mariana, e em especial à minha dupla neste trabalho, Myllena pela troca e pelo tempo juntas nessa árdua, mas tão gratificante jornada. Muito obrigada pela amizade, e por toda a ajuda tanto com palavras de incentivo quanto com a troca de saberes. Me orgulho e me espelho na dedicação de cada uma de vocês.

Agradeço a todos os professores que já passaram pela minha vida, me formando academicamente, mas principalmente como ser humano, e em especial a todo o corpo docente do curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Brasília. Vocês são fonte inesgotável de conhecimento técnico, e acima de tudo de esmero e compromisso com a educação pública e de qualidade nesse país.

Agradeço ao grupo Geofluxo e à Johanna pela dedicação constante no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, e principalmente ao professor orientador, André Luís Brasil Cavalcante. Serei eternamente grata pela orientação, paciência, apoio e atenção dedicados a mim. Sem o seu enorme incentivo, ajuda e reconhecimento nada disso teria sido possível.

Bárbara Magalhães do Nascimento

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter abençoado toda trajetória, me guiado ao longo de toda a minha vida e me sustentado em todas as dificuldades encontradas por todo caminho percorrido até então.

Agradeço à minha mãe, Arlete, e meu pai, Elismar, por terem me proporcionado tudo que podiam para meu crescimento acadêmico e pessoal, por todo amor e carinho, por terem me dado a vida, por serem fontes de inspiração, sem vocês não seria nada. Ao meu irmão, Pedro, por todo o incentivo e vibrações com minhas conquistas. À toda a minha família por todos esses anos de apoio e compreensão, alegrias e tristezas.

Ao meu orientador, André Brasil, por acreditar no meu potencial, abraçar as ideias, disponibilizar de vários momentos para me aconselhar e me acalmar no desespero. Aos alunos do Geofluxo, em especial a Johanna, pelas dicas, orientações e todo apoio durante toda a escrita do projeto. À minha dupla, Bárbara, pelas trocas de conhecimentos.

Aos amigos de graduação, em especial ao Ivanilson e a Thaíssa, por proporcionarem momentos únicos e inesquecíveis e escutarem minhas inúmeras lamentações durante toda a graduação, serão sempre lembrados com enorme carinho.

À todas as pessoas que fizeram parte da minha vida e desse momento especial, meu mais sincero agradecimento, pelas alegrias e tristezas, vibrações positivas, tudo de especial que me proporcionaram foi essencial para mais essa vitória.

Myllena Cardoso Couto Maia

Análise Crítica do Projeto Básico e do Processo Construtivo do Aterro Sanitário de Brasília.

Resumo: Uma das grandes preocupações atuais é a destinação final dos resíduos gerados pela população. A fim de evitar prejuízos ambientais e enfermidades ocasionadas pela situação de insalubridade dos lixões e vetores, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, institui como dever a destinação final ambientalmente correta a partir do ano de 2014. Com isso, o Distrito Federal, por meio do SLU-DF, promoveu o encerramento das atividades do Lixão da Estrutural, em funcionamento por 6 décadas, e implantou o Aterro Sanitário de Brasília. Em 2017, o ASB começou sua operacionalização com capacidade de comportar 8.130.000 toneladas de resíduos, com vida útil de 13,3 anos, dividido em 4 etapas. Entretanto, no início de 2019, ocorreu entupimento no sistema de drenagem de lixiviado (chorume) e gás na célula de resíduos, devido às chuvas intensas, ocasionando três vazamentos de chorume no maciço. Dessa forma, o IBRAM, por meio de parecer técnico, solicitou a realização de um relatório de estudo das causas para essa eventualidade. Sendo assim, foram propostos alguns aspectos como justificativas para o episódio como a baixa declividade no projeto do sistema de drenagem de lixiviado, subdimensionamento da seção transversal dos drenos e distância inadequada entre os drenos principais e os secundários. Com intuito de proporcionar melhorias nas estruturas para futuros aterros, fez-se uma comparação dos projetos do ASB com os aterros de Maringá e Intermunicipal de Conceição do Mato Dentro, Alvorado de Minas e Dom Joaquim. Constatou-se que, as camadas de resíduos mais espessas geram um aumento da quantidade de lixiviado e gás, além de proporcionar um aumento nos recalques, fazendo com que seja necessário um sistema de drenagem de lixiviado eficiente, para evitar a sobrecarga do sistema. A camada de solo de impermeabilização, no sistema de impermeabilização, possui uma maior espessura para evitar a ocorrência de contaminação das águas subterrâneas, já que o DF possui grande área com águas subterrâneas. Já no sistema de drenagem do lixiviado, pode ser resolvido com a diminuição da distância entre os drenos. Dessa forma, propõe-se a análise crítica comparativa do projeto realizado, com outros projetos de aterramento sanitário para identificação de possíveis causas para as falhas ocorridas.

Palavras-chave: Aterro Sanitário, resíduos sólidos, disposição final, geotecnia.

Critical Analysis of the Basic Design and Construction Process of the Sanitary Landfill in Brasília.

Abstract: One of the major current concerns is the final destination of waste generated by the population. In order to avoid environmental damage and illnesses caused by the unhealthy situation of dumps and vectors, the National Policy on Solid Waste (PNRS), Law No. 12,305/2010, establishes as a duty the environmentally correct final disposal from the year 2014. Therefore, through the SLU-DF, the Federal District promoted the closure of the activities of the Dump of Structural, in operation for 6 decades. Also, the Federal District implemented the Sanitary Landfill of Brasília. In 2017, the ASB began its operations with the capacity to hold 8,130,000 tons of waste, with a useful life of 13.3 years, divided into 4 stages. However, in early 2019, there was a blockage in the leachate (slurry) drainage system and gas in the waste cell, causing three leachate leaks in the massif due to heavy rains. Thus, IBRAM, through a technical opinion, requested the preparation of a study report on the causes for this eventuality. Thus, some aspects were proposed as a justification for the episode, such as the low slope in the design of the leachate drainage system, under-dimensioning of the cross-section of the drains, and inadequate distance between the main and secondary drains. In order to provide improvements in structures for future landfills, ASB projects were compared with the Maringá and Intermunicipal landfills of Conceição do Mato Dentro, Alvorado de Minas, and Dom Joaquim. It was found that thicker waste layers generate an increase in the amount of leachate and gas. It also provides an increase in settlements, making an efficient leachate drainage system necessary to avoid overloading the system. In the waterproofing system, the waterproofing soil layer has a greater thickness to avoid groundwater contamination since the DF has a large area with groundwater. In the leachate drainage system, it can be solved by reducing the distance between drains. Thus, a critical comparative analysis of the project carried out with other sanitary landfill projects is proposed to identify possible causes for the failures that have occurred.

Keywords: Sanitary landfill, solid waste, final disposal, geotechnics.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	2
2.1.	OBJETIVO GERAL	2
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1.	PANORAMA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL.....	3
3.1.1.	Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)	4
3.1.2.	Lixão, Aterro Controlado e Aterro Sanitário	5
3.1.3.	Metas de disposição de resíduos em aterros sanitários	8
3.1.4.	Problemáticas encontradas em aterramento de RSU – riscos de contaminação em lixões e aterro controlado	9
3.2.	SITUAÇÃO DO DISTRITO FEDERAL	12
3.2.1.	Como era a disposição final dos resíduos – histórico do antigo Lixão e Aterro Controlado do Jockey Clube de Brasília	13
3.3.	ATERRO SANITÁRIO DE BRASÍLIA	17
3.3.1.	Projeto.....	17
3.3.1.1.	Caracterização da área de implantação.....	20
3.3.1.2.	Implantação dos sistemas de proteção ambiental	20
3.3.1.3.	Sistema de drenagem subsuperficial.....	22
3.3.1.4.	Sistema de impermeabilização da fundação	24
3.3.1.5.	Execução de diques em aterro compactado.....	25
3.3.1.6.	Sistema de drenagem de lixiviado (chorume) na fundação.....	26
3.3.1.7.	Execução das células de resíduos e camada de cobertura	27
3.3.1.8.	Sistema de drenagem de lixiviado (chorume) e gás nas células de resíduos 28	
3.3.1.9.	Sistema de drenagem das águas pluviais.....	30
3.3.2.	Metas.....	31
4.	METODOLOGIA.....	33
4.1.	REVISÃO DE TRABALHOS	33
4.2.	SEPARAÇÃO EM ÁREAS DE ENFOQUE.....	34
4.2.1.	Sistemas de drenagens.....	34

4.2.2.	Sistema de proteção ambiental e fundação	34
4.2.3.	Execução das células de resíduos e camada de cobertura	34
4.3.	MELHORIAS	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1.	SEPARAÇÃO EM ÁREAS DE ENFOQUE.....	36
5.1.1.	Sistemas de drenagens.....	36
5.1.2.	Sistema de proteção ambiental e fundação	41
5.1.3.	Execução das células de resíduos e camada de cobertura	41
5.2.	MELHORIAS	46
5.2.1.	Projeto Geotécnico Aterro Sanitário de Maringá	46
5.2.1.1.	Caracterização da área de implantação.....	46
5.2.1.2.	Sistema de Impermeabilização	47
5.2.1.3.	Sistema de drenagem de lixiviado (Chorume) na Fundação	47
5.2.1.4.	Sistema de drenagem das águas pluviais.....	50
5.2.1.5.	Sistema de drenagem de gás nas células de resíduos	50
5.2.2.	Projeto do Aterro Sanitário Intermunicipal para os Municípios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim.....	51
5.2.2.1.	Caracterização da área de implantação.....	51
5.2.2.2.	Sistema de Impermeabilização	52
5.2.2.3.	Sistema de drenagem de lixiviado (chorume) na Fundação	52
5.2.2.4.	Sistema de drenagem das águas pluviais.....	54
5.2.2.5.	Sistema de drenagem de gás nas células	54
5.2.3.	Comparação entre os Projetos Geotécnicos do Aterro Sanitário de Maringá, de Brasília e Intermunicipal para os municípios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim.....	55
6.	CONCLUSÃO.....	58
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Execução de um aterro controlado (Regional News, 2015).	7
Figura 3.2 - Estruturação de um aterro sanitário (Polzer, 2013).	8
Figura 3.3 - Lixão da Estrutural (cedida por SLU-DF, 2015).	10
Figura 3.4 - Catador no Lixão da Estrutural (cedida por SLU-DF, 2017).	11
Figura 3.5 - Problemáticas de Lixões (Comares UCV, 2019).	11
Figura 3.6 – Mapa da localização do Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília (Cavalcanti, 2013).	14
Figura 3.7 - Catadores correndo riscos de acidentes (cedida por SLU-DF, 2016).	15
Figura 3.8 - Drenos do ACJ (cedida por SLU-DF, 2016).	15
Figura 3.9 - Aterro Sanitário de Brasília (cedida por SLU-DF, 2019).	16
Figura 3.10 – Etapas Construtivas do Aterro Sanitário de Brasília (Consórcio Samambaia Ambiental, 2019).	17
Figura 3.11 – Maciço da primeira etapa concluído (cedida por SLU-DF, 2019).	18
Figura 3.12 - Planta do Aterro (Empresa Cepollina, 2012).	19
Figura 3.13 - Execução do Dique de Disparo (Empresa Cepollina, 2012).	21
Figura 3.14 - Construção do sistema de drenagem (cedida por SLU-DF, 2017).	21
Figura 3.15 – Sistema de Drenagem Subsuperficial realizado (Empresa Cepollina, 2012).	22
Figura 3.16 - Sistema de proteção pela manta geotêxtil (cedida por SLU-DF, 2019).	24
Figura 3.17 - Lagoas de Lixiviado (cedida por SLU-DF, 2019).	28
Figura 3.18 – Poços de Drenagem Vertical (cedida por SLU-DF, 2019).	29
Figura 3.19 – Processo Construtivo do Sistema de Drenagem Horizontal (Pinto, 2019). ..	30
Figura 4.1 - Esquematização da metodologia utilizada.	33
Figura 5.1 – Amostra retirada do sistema de drenagem de lixiviado (Carvalho & Pfeiffer, 2019).	36
Figura 5.2 – Material presente na tubulação perfurada (Carvalho & Pfeiffer , 2019).	37
Figura 5.3 – Obstrução presente no sistema de drenagem de lixiviado (Carvalho & Pfeiffer , 2019).	38
Figura 5.4 – Sistema de drenagem tipo "espinha de peixe" (Carvalho & Pfeiffer, 2019)...	39
Figura 5.5 – Planta sistema de drenagem tipo "colchão drenante" (Carvalho & Pfeiffer, 2019).	39
Figura 5.6 – Colchão Drenante (Consórcio Samambaia Ambiental, 2019).	40
Figura 5.7 – Detalhes do sistema de drenagem da base do maciço (Consórcio Samambaia Ambiental, 2019).	40
Figura 5.8 – Afloramento de lixiviado no talude do aterro (Carvalho & Pfeiffer, 2019)...	41

Figura 5.9 – Deslocamento horizontal da camada de cobertura (Carvalho & Pfeiffer, 2019).	42
Figura 5.10 – Execução da camada de cobertura (Doré Engenharia, 2016).	46
Figura 5.11 – a) Camada de Solo Compactado. b) Geomembrana da PEAD. c) Camada de Solo sobre a Geomembrana. (Doré Engenharia, 2016).	47
Figura 5.12 – Dreno principal do sistema de drenagem de percolado (Doré Engenharia, 2016).	48
Figura 5.13 – Dreno secundário do sistema de drenagem de percolado (Doré Engenharia, 2016).	49
Figura 5.14 – Dreno coletor do sistema de drenagem de percolado (Doré Engenharia, 2016).	49
Figura 5.15 – Caixa de recepção do sistema de drenagem (Doré Engenharia, 2016).	50
Figura 5.16 – Sistema de drenagem de gás (Doré Engenharia, 2016).	51
Figura 5.17 - Material de 1ª categoria (Rossi, 2018).	51
Figura 5.18 - Sistema de drenagem de lixiviado (Ambconsult Ltda, 2020a).	52
Figura 5.19 - Manta geotêxtil não tecido, tubo e material drenante (Diprotec, 2021).	53
Figura 5.20 - Sistema de drenagem de águas pluviais (Ambconsult Ltda, 2020c).	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Disposição final de RSU no Brasil, por tipo de destinação (t/ano) (adaptado de ABRELPE, 2020a).....	3
Tabela 3.2 – Algumas Legislações Distritais.	12
Tabela 3.3 – Resumo de Áreas, Capacidade de Disposição de Resíduos e Vida Útil para cada Etapa (SLU-DF, 2018).	32
Tabela 5.1 – Total mensal dos resíduos destinados para o ASB (SLU-DF, 2018; 2019; 2020 e 2021).	43
Tabela 5.2 – Comparação das metas iniciais traçadas no projeto da Etapa 1 e projeto da Etapa 2 (adaptado de SLU-DF, 2018 e Consórcio Samambaia Ambiental, 2019).....	44
Tabela 5.3 – Metas para a eficiência da coleta seletiva até 2022 (SLU-DF, 2017).	45
Tabela 5.4 - Comparação entre os projetos dos aterros.	57

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACJ	- Aterro Controlado do Jockey Clube de Brasília
ANA	- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ASB/ASO	- Aterro Sanitário de Brasília ou Aterro Sanitário Oeste
CAESB	- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
cm	- Centímetros
cm/s	- Centímetros por segundos
CTRS/DF	- Central de Tratamento de Resíduos Sólidos do Distrito Federal
DF	- Distrito Federal
E	- Leste
H	- Horizontal
IN	- Instrução Normativa
IBRAM	- Instituto Brasília Ambiental
kN/m ³	- Quilonewtons por metro cúbico
m	- Metros
mm	- Milímetros
NBR	- Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas
N	- Norte
ONU	- Organização das Nações Unidas
PDGIRS	- Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	- Política Nacional de Resíduos Sólidos
PEAD	- Polietileno de Alta Densidade
RCC	- Resíduos de Construção Civil
Ride	- Região Integrada de Desenvolvimento
RM	- Região Metropolitana
S	- Sul
SLU-DF	- Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal

SMRSU	- Serviço público de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos
SPT	- <i>Standart Penetration Test</i>
t	- Toneladas
t/dia	- Toneladas por dia
UFG	- Universidade Federal de Goiás
V	- Vertical
W	- Oeste

1. INTRODUÇÃO

Como se sabe, a boa gestão de resíduos sólidos é fator fundamental para a promoção de um correto desenvolvimento urbano, para a preservação do meio ambiente e proteção da saúde pública. Ao longo da última década, todo o mundo vem observando o grande crescimento na geração de resíduos sólidos urbanos, e estudando alternativas para vencer os desafios cada vez mais complexos que surgem no âmbito da gestão dos RSU. A busca de melhorias ligadas às problemáticas atuais também pode ser observada no Brasil, principalmente, após a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos no ano de 2010, que possui princípios e diretrizes inovadores relacionados à esta temática (ABRELPE, 2020a).

Segundo a ONU Brasil (2018), são produzidas mais de 2 bilhões de toneladas de resíduos por ano em todo o mundo, e seria necessário mais 70% dos recursos que o planeta Terra possui para atender a velocidade de uso empregada na atualidade e degradar o lixo gerado por todos os habitantes. Diante da situação de pandemia iniciada no ano de 2019, e que se mantém até o ano de 2021, inclusive de maneira mais acentuada no Brasil, é sabido que o volume de resíduos sólidos produzidos sofreu uma elevação diante da maior necessidade de compra e venda de produtos alimentícios e outros produtos em geral por meio do sistema de delivery (ABRELPE, 2020b).

Sabe-se também, que no Distrito Federal, no período inicial da situação de pandemia, todos os resíduos gerados foram diretamente encaminhados para o Aterro Sanitário de Brasília, sem passar por separação prévia (EUFRÁSIO; BERNARDES, 2020). Tal medida foi tomada a fim de evitar a exposição ao coronavírus por parte dos catadores de material reciclável cooperados responsáveis pelo processo de triagem. Esse panorama apresentado no Distrito Federal contribuiu ainda mais com o processo de diminuição da vida útil do aterro, dado esse que inicialmente já foi definido no projeto por um número bem próximo ao mínimo de 10 anos recomendado pela NBR 13896 (ABNT, 1997).

A realização do estudo foi motivada pela grande importância da destinação final ambientalmente adequada dos RSUs em forma de Aterro Sanitário, conforme preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010b). Para assim, evitar riscos de contaminação já presenciados no DF, evidenciados no antigo Lixão da Estrutural. Portanto, o presente trabalho foi desenvolvido devido a necessidade de aprimorar os conhecimentos, a fim de garantir a eficácia e otimização dos processos construtivos e operacionais de aterros sanitários no Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a experiência de execução do Projeto Básico do Aterro Sanitário de Brasília (ASB), a fim de detectar pontos passíveis de melhorias, com base nos Projetos Geotécnicos dos Aterros de Maringá e Intermunicipal de Conceição Do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma revisão bibliográfica acerca dos Aterros Sanitários do Brasil, fazendo um paralelo com a situação do DF;
- Levantar pontos críticos no Projeto do Aterro Sanitário de Brasília;
- Identificar causas das eventuais problemáticas levantadas no Projeto do ASB;
- Elaborar comparativo entre as metas e realizações;
- Fazer comparativo entre as técnicas construtivas utilizadas no ASB e em outros Aterros Sanitários do Brasil;
- Selecionar técnicas construtivas que se adequem à realidade dos resíduos sólidos urbanos do DF para as etapas subsequentes do ASB.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PANORAMA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

De acordo com Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2020 (ABRELPE, 2020a), publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no ano de 2019 mais de 43 milhões de toneladas de resíduos foram dispostos em aterros sanitários no país, entretanto mais de 29 milhões de toneladas ainda foram dispostas em aterros controlados ou lixões, significando um percentual de 40,5 % do total de resíduos gerados naquele ano que não receberam a destinação final ambientalmente adequada conforme estabelecido na Política Nacional de Resíduos Sólidos. Pode-se observar a comparação desses dados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Disposição final de RSU no Brasil, por tipo de destinação (t/ano) (adaptado de ABRELPE, 2020a).

DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU (t/ano)					
2010			2019		
Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão
33.406.260	14.037.535	11.351.865	43.300.315	16.727.950	12.720.250

Na NBR 10.004 (ABNT, 2004), é colocado que os resíduos sólidos são produzidos por meio das atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços (públicos e privados) e de varrição. De acordo com a norma, os resíduos podem pertencer à duas classes, sendo elas: Classe I (Perigosos) e Classe II (Não perigosos), que se divide entre não inertes (II A) e inertes (II B).

Atualmente, o Brasil possui vasta legislação como a Lei 12.305 (BRASIL, 2010a), com o intuito de que ocorra uma melhor destinação dos resíduos gerados. Entretanto, a maior dificuldade é fazer com que a população se conscientize, auxilie na coleta seletiva e que haja efetivamente uma destinação correta dos resíduos.

Outro ponto a se analisar é a, ainda não alcançada, universalização da prestação de serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. Isso ocorre devido à falta de viabilidade econômica, financeira e técnica do tratamento e gerenciamento de

alguns tipos de materiais em determinadas regiões do país, em consequência, à diversidade de cenários econômicos, educacionais e políticos existentes. Entretanto, a ANA está realizando consulta pública para a primeira norma de referência para o saneamento, a qual tem como tema: a regulação do serviço público de manejo de resíduos sólidos urbanos (SMRSU), para a instituição de instrumentos de cobrança nos municípios brasileiros (BRASIL, 2021).

Nesse âmbito, pode-se destacar algumas leis como:

- A Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010a) que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS);
- A Resolução CONAMA 275 (CONAMA, 2001) que estabelece cores para os diferentes tipos de resíduos gerados;
- O Decreto Federal nº 7.404 (BRASIL, 2010b), que regulamenta a Lei nº 12.305, e cria o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa.

3.1.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A PNRS integra a Política Nacional do Meio Ambiente, foi instituída pela Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010a), e dispõe sobre os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes do bom gerenciamento de resíduos sólidos. Além disso, ela trata sobre a sua integração às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis no âmbito do Governo Federal e, também, nas camadas inferiores do poder público, além do que diz respeito a particulares.

Logo no capítulo inicial de seu primeiro título, é colocado que pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis direta ou indiretamente pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvem ações ligadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos têm a responsabilidade da observância da lei. O que ocorre motivado pela ideia de que um eficaz gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil somente é possível quando envolve engajamento e participação das mais diversas camadas da sociedade.

A PNRS (BRASIL, 2010a) coloca claramente que a disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos se dá pelo método de aterramento, sendo que

este deve ocorrer apenas para os materiais enquadrados como rejeitos. Entretanto, isso só ocorre, após uma ordem de prioridade na gestão e gerenciamento dos resíduos, que consiste em: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos. Cumpridas tais diretrizes, procede-se o transporte de rejeitos restantes aos aterros sanitários.

Com os objetivos finais de diminuir os danos ambientais causados pelo consumo desenfreado e a conseqüente alta produção de resíduos sólidos, e, também de aumentar ao máximo a vida útil dos empreendimentos de aterramento sanitário, a PNRS (BRASIL, 2010a) aborda em seu conteúdo a diretriz da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Tal diretriz prevê a abrangência da participação de consumidores, importadores, fabricantes, comerciantes e responsáveis pelo manejo dos resíduos sólidos e pelos serviços públicos de limpeza urbana.

O documento em questão procura diminuir os resíduos gerados, por meio de medidas como: o estímulo ao uso de produtos que sejam reutilizáveis ou recicláveis após o uso pelo consumidor, ou, ainda que, tenham como fim viável a destinação final ambientalmente adequada; utilização preferencial de produtos, os quais a produção e uso gerem a menor quantidade de resíduos sólidos; incentivo ao consumidor à escolhas mais conscientes por meio da informação; além do recolhimento feito pelas empresas dos produtos e de seus respectivos resíduos após o uso, por meio de um eficiente sistema de logística reversa.

3.1.2. Lixão, Aterro Controlado e Aterro Sanitário

Nascimento (2007) define lixões como uma forma de disposição final dos RSU, na qual estes são lançados sobre o solo, sem qualquer medida de proteção ao meio ambiente ou a saúde pública. Segundo o autor, não existem controles sobre tipo, volume ou grau de periculosidade dos resíduos depositados. Os resíduos são simplesmente lançados sobre o solo natural sem receber qualquer tipo de tratamento mecânico para a redução de seu volume. O autor também salienta que esta forma de disposição facilita a proliferação de inúmeros vetores (moscas, ratos, mosquitos), geração de maus odores e principalmente a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, pela infiltração dos líquidos gerados pela decomposição dos RSU.

De acordo com Carvalho (1997), aterro controlado é um termo utilizado para denominar os aterros não sanitários, é um método que aplica a cobertura de terra sobre o lixo para evitar a proliferação de odores e de vetores. Segundo o autor, neste método é também utilizado a instalação de queimadores de gás, que são produzidos pela decomposição do lixo e o controle de acesso de pessoas na área. O controle da infiltração e geração do percolato (chorume) e seu tratamento não é aplicado neste tipo de aterro.

Monteiro *et al.* (2001) coloca que os aterros controlados são técnicas de disposição final de resíduos sólidos urbanos, com uso do solo onde são acumulados e ao longo da jornada diária e recobertos com materiais inertes, podendo ser utilizado o próprio solo e ou resíduos de construção civil, são ações primárias para minimizar os impactos gerados para o descarte de lixo urbano. Quando comparado ao lixão, torna-se uma técnica mais apropriada, pois não ficam expostos, evitando o contato de animais que podem ser vetores de diversas doenças, além da dispersão pela ação do vento onde pode provocar entupimento de bueiros, podendo ocasionar enchentes, e, também poluição do solo, corpos hídricos e circunvizinhos.

Monteiro *et al.* (2001) ainda discorre que os aterros controlados em geral produzem contaminação localizada e difusa, pois não possuem impermeabilização de base, podendo acarretar a percolação do chorume no próprio solo e lençol freático onde não contam com sistemas de tratamento ou recirculação, já a dispersão dos gases gerados pela decomposição do material acarreta emissões à atmosfera sem nenhum tipo de tratamento adequado.

Dessa maneira, percebe-se que as técnicas adotadas de gerenciamento e manejo dos resíduos sólidos e dos produtos gerados têm uma grande variabilidade de um empreendimento de aterro controlado para outro. Na Figura 3.1, ilustra-se um exemplo de esquema de execução de um aterro controlado.

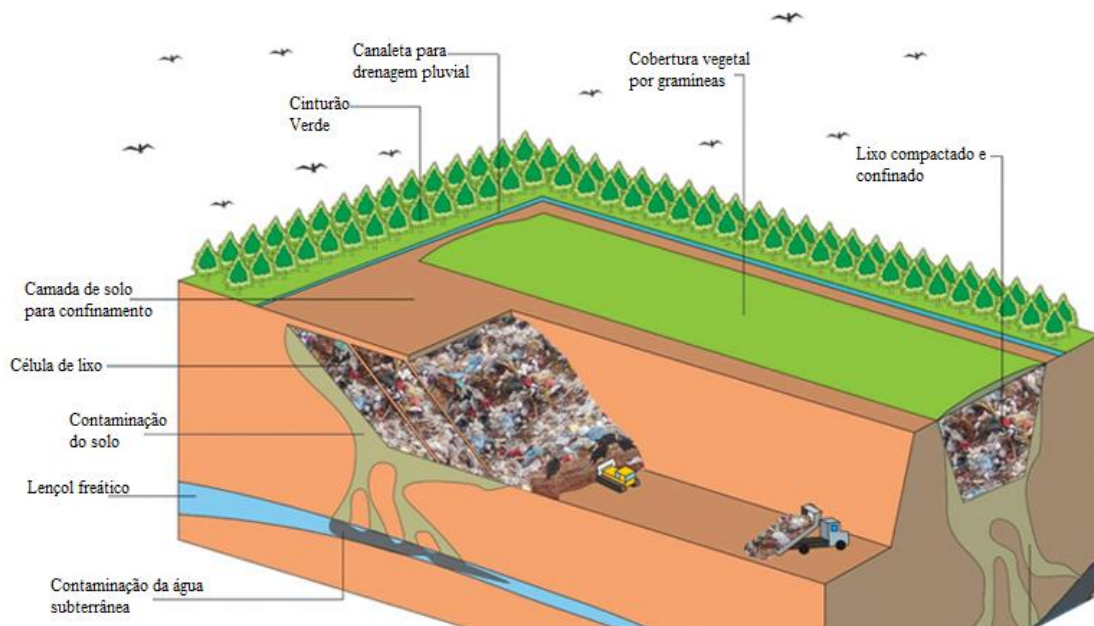


Figura 3.1 - Execução de um aterro controlado (Regional News, 2015).

Segundo NBR 8419 (ABNT, 1992), aterro sanitário consiste numa técnica de disposição final dos resíduos sólidos urbanos que possuem a finalidade de ocupar as menores áreas e volumes possíveis, considerando a importância da preservação da qualidade da saúde pública e do meio ambiente natural, utilizando-se de princípios da engenharia. Os empreendimentos de aterramento sanitário se utilizam de maquinários para executar atividades de preparação do terreno, escavações, corte de material de cobertura e movimentação, espalhamento e recobrimento dos resíduos (Obladen *et al.*, 2009).

Em adição, a fim de evitar a proliferação de vetores e contaminação do meio ambiente físico, o empreendimento de aterramento sanitário deve ter sua área delimitada e cercada; deverá ser estabelecido um controle de acesso de pessoas; a cobertura dos resíduos deve ser feita diariamente; deve ser executada a drenagem de águas pluviais e do chorume gerado nas células, além do tratamento desse percolato e dos gases produzidos; e ao final da disposição dos resíduos na área do aterro, deve-se executar planos de fechamento e de monitoramento pós fechamento, previamente elaborados (Obladen *et al.*, 2009). Na Figura 3.2, ilustra-se um esquema básico da estruturação de um aterro sanitário.

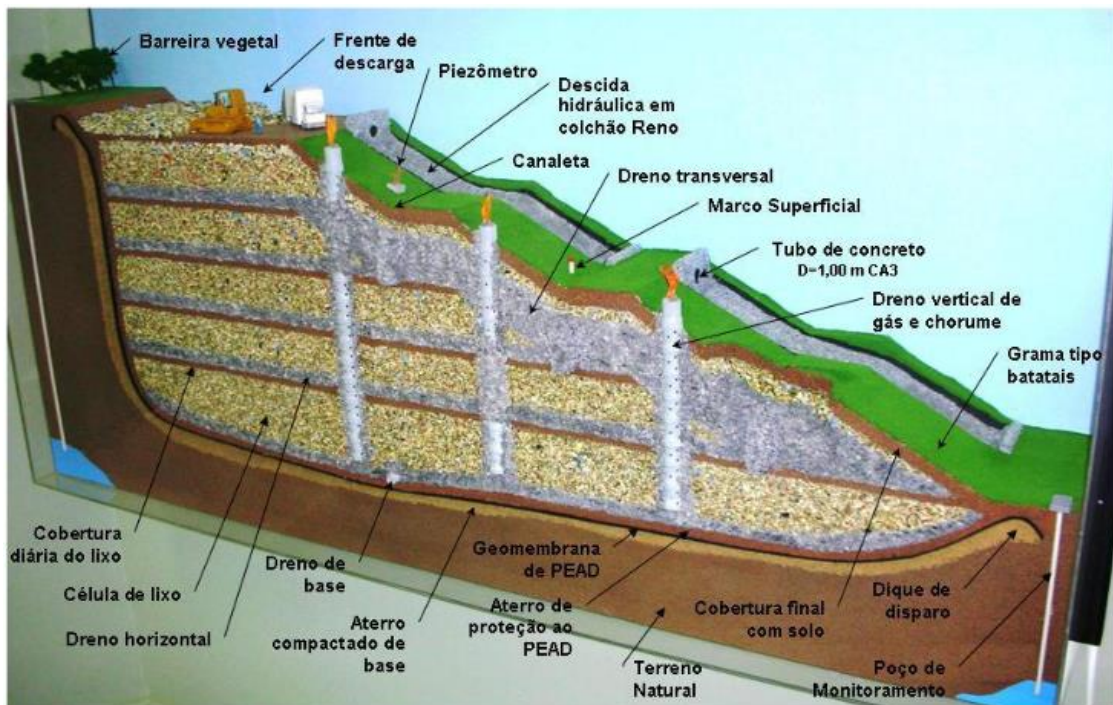


Figura 3.2 - Estruturação de um aterro sanitário (Polzer, 2013).

3.1.3. Metas de disposição de resíduos em aterros sanitários

O artigo 54 da PNRS (BRASIL, 2010a), que trata das “Disposições Transitórias e Finais”, primeiramente estabelecia o prazo de até quatro anos após a data de publicação da Lei (até o ano de 2014) para a erradicação dos lixões no país, por meio da implementação da disposição final ambientalmente adequada em forma de aterros sanitários. Tal meta não foi cumprida, sendo o artigo alterado pela Lei nº 14.026 (BRASIL, 2020c), que estabeleceu:

“A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os Municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, nos termos do art. 29 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para os quais ficam definidos os seguintes prazos:

I - até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;

[...]"

No âmbito do Distrito Federal, foi elaborado em março do ano de 2018 um Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS), o qual apresenta em seu conteúdo uma análise da sustentabilidade econômico-financeira dos serviços públicos prestados acerca dos resíduos sólidos urbanos (GDF, 2018).

Dessa maneira, como o funcionamento do Aterro Sanitário de Brasília (ASB) se iniciou no ano de 2017 (Pádua, 2017), o Distrito Federal se encaixa dentro das características colocadas no item I (citado acima) do artigo 54 da PNRS (BRASIL, 2010b), verifica-se que o DF está adequado quanto ao prazo, estabelecido nesse item, para a disposição final ambientalmente adequada de seus rejeitos, datada para até 2 de agosto de 2021.

3.1.4. Problemáticas encontradas em aterramento de RSU – riscos de contaminação em lixões e aterro controlado

Como sabe-se, o lixiviado (chorume) gerado a partir da decomposição dos resíduos sólidos urbanos tem alto potencial poluente. Na situação em que os RSU não recebem uma destinação final ambientalmente adequada, como no caso de lixões, são altíssimas as chances deste líquido infiltrar pelo solo até que alcance lençóis freáticos, ou então que seja carregado pela água das chuvas, contaminando assim solo e corpos d'água superficiais (CORREIA, 2020). Outro fator importante é a poluição atmosférica e o risco de ocorrência de explosões e incêndios espontâneos, devido à geração natural de metano e à geração de gás carbônico decorrente da queima dos resíduos (Possamai *et al.*, 2007). Na Figura 3.3, ilustra-se o lixão da Estrutural em operação.



Figura 3.3 - Lixão da Estrutural (cedida por SLU-DF, 2015).

Além disso, a disposição dos resíduos a céu aberto e sem nenhum tipo de barreira física protetiva atrai a presença de animais e vetores de doenças, tais como ratos, baratas, mosquitos e moscas, o que acarreta riscos para a saúde pública. Em adição, em lixões é comum que ocorra a criação doméstica de animais tais como cachorros, porcos, galinhas e cavalos. Estes animais geralmente buscam fonte de alimento em meio ao lixo, e o contato posterior das famílias com eles gera grande risco de transmissão de doenças (Mendonça; Zang; Zang, 2017). Na Figura 3.4, pode-se observar um catador sem equipamentos de segurança em meio aos resíduos.



Figura 3.4 - Catador no Lixão da Estrutural (cedida por SLU-DF, 2017).

Ainda acerca dos lixões, um importante problema a ser colocado é a questão da vulnerabilidade social em que vivem os catadores neste ambiente, visto que estes não têm acesso a adequadas condições de trabalho, como a utilização de equipamentos de proteção individual, e trabalham em situações extremamente insalubres, vivendo, assim, em circunstâncias de marginalidade social. É muito comum também observar a ocorrência de trabalho infantil nesses ambientes. Na Figura 3.5, ilustram-se os riscos e problemáticas discutidos.



Figura 3.5 - Problemáticas de Lixões (Comares UCV, 2019).

No que diz respeito aos aterros controlados, apesar de ser uma solução mitigadora de impactos ambientais quando comparados a lixões, essa técnica de disposição final

continua por oferecer grandes riscos de poluição de solo e águas subterrâneas. Visto que, em muitos casos, a impermeabilização do solo, assim como a coleta e tratamento de gases, são feitos de maneira inadequada ou nem chegam a serem feitos, e o tratamento de chorume é muito básico. Por esse motivo, essa técnica de disposição final não contempla o cumprimento de normas ambientais brasileiras e nem o que preconiza a PNRS (Gimenes & Hising, 2017; Montagner, 2021).

3.2. SITUAÇÃO DO DISTRITO FEDERAL

O Distrito Federal possui algumas legislações específicas para que haja uma disposição correta dos resíduos. Dessa forma, pôde-se destacar algumas legislações sendo assim apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Algumas Legislações Distritais.

Legislação	Data	Objetivo
Lei nº 4.329 ¹	05 de junho de 2009	Dispõe sobre a proibição da queima de restos vegetais e lixo no território de Distrito Federal.
Lei nº 4.518 ²	05 de novembro de 2010	Dispõe sobre a denominação, a finalidade, as competências e a reestruturação administrativa do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal - SLU/DF e dá outras providências.
Lei nº 4.818 ³	27 de abril de 2012	Dispõe sobre a proibição de descartar resíduos sólidos em área não destinada a depósito ou coleta, no âmbito do Distrito Federal, e dá outras providências.
Lei nº 5.312 ⁴	18 de fevereiro de 2014	Dispõe sobre a utilização obrigatória de papel reciclado pelos órgãos e entidades da Administração Pública Direta e Indireta do Distrito Federal.
Lei nº 5.418 ⁵	24 de novembro de 2014	Dispõe sobre a Política Distrital de Resíduos Sólidos e dá outras providências.
Lei nº 6.484 ⁶	14 de janeiro de 2020	Altera a Lei nº 5.610/2016, que dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências.
Lei nº 6.615 ⁷	04 de junho de 2020	Dispõe sobre a coleta de resíduos sólidos nos condomínios horizontais pelo Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal – SLU e dá outras providências.
Lei nº 6.518 ⁸	12 de março de 2020	Dispõe sobre a obrigatoriedade de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos no Distrito Federal por processos biológicos.

Dec. nº 32.922 ⁹	10 de maio de 2011	Institui o Comitê Intersetorial para elaborar e acompanhar a implantação das ações destinadas a execução dos planos de resíduos sólidos no âmbito do Distrito Federal e entorno, e dá outras providências.
Dec. nº 37.568 ¹⁰	24 de agosto de 2016	Regulamenta a Lei nº 5.610, de 16 de fevereiro de 2016, que dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos, altera o Decreto nº 35.816, de 16 de setembro de 2014, e dá outras providências.
Dec. nº 37.130 ¹¹	19 de fevereiro de 2016	Aprova o Plano de Intervenção para encerramento das atividades irregulares no Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília elaborado pelo Grupo de Trabalho instituído pelo Decreto nº 36.437, de 02 de abril de 2015, e institui Subgrupos de Trabalho para acompanharem a execução das ações estabelecidas no Plano de Intervenção e dá outras providências.
IN SLU nº 36 ¹²	25 de maio de 2015	Dispõe sobre o acesso à área do lixão do Jóquei.
IN SLU nº 22 ¹³	26 de novembro de 2020	Altera a Instrução Normativa nº 89, de 23 de setembro de 2016, que regulamenta os procedimentos no âmbito do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal e dispõe sobre as normas a serem observadas pelos grandes geradores de resíduos sólidos e prestadores de serviços de transporte e coleta, bem como pelos responsáveis pela realização de eventos em áreas, vias e logradouros públicos.

¹ GDF, 2009; ² GDF, 2010; ³ GDF, 2012; ⁴ GDF, 2014a; ⁵ GDF, 2014b; ⁶ GDF, 2020b; ⁷ GDF, 2020d; ⁸ GDF, 2020c; ⁹ GDF, 2011; ¹⁰ GDF, 2016b; ¹¹ GDF, 2016a; ¹² GDF, 2015; ¹³ GDF, 2020a.

Com isso, pode-se observar que o DF tem tentado, ao longo dos anos, realizar melhorias com relação a disposição de resíduos sólidos. Apesar de ter um longo histórico de disposição final inadequada ambientalmente, primeiramente com o lixão da Estrutural e, posteriormente, com o Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília.

3.2.1. Como era a disposição final dos resíduos – histórico do antigo Lixão e Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília

De acordo com os Relatórios Anuais de Atividades do SLU-DF (SLU-DF, 2018, 2019), desde a década de 1950, o Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília (ACJ),

antigo Lixão da Estrutural, tem sido utilizado como área para disposição final dos resíduos sólidos no DF. Na Figura 3.6, é possível observar a localização do ACJ.

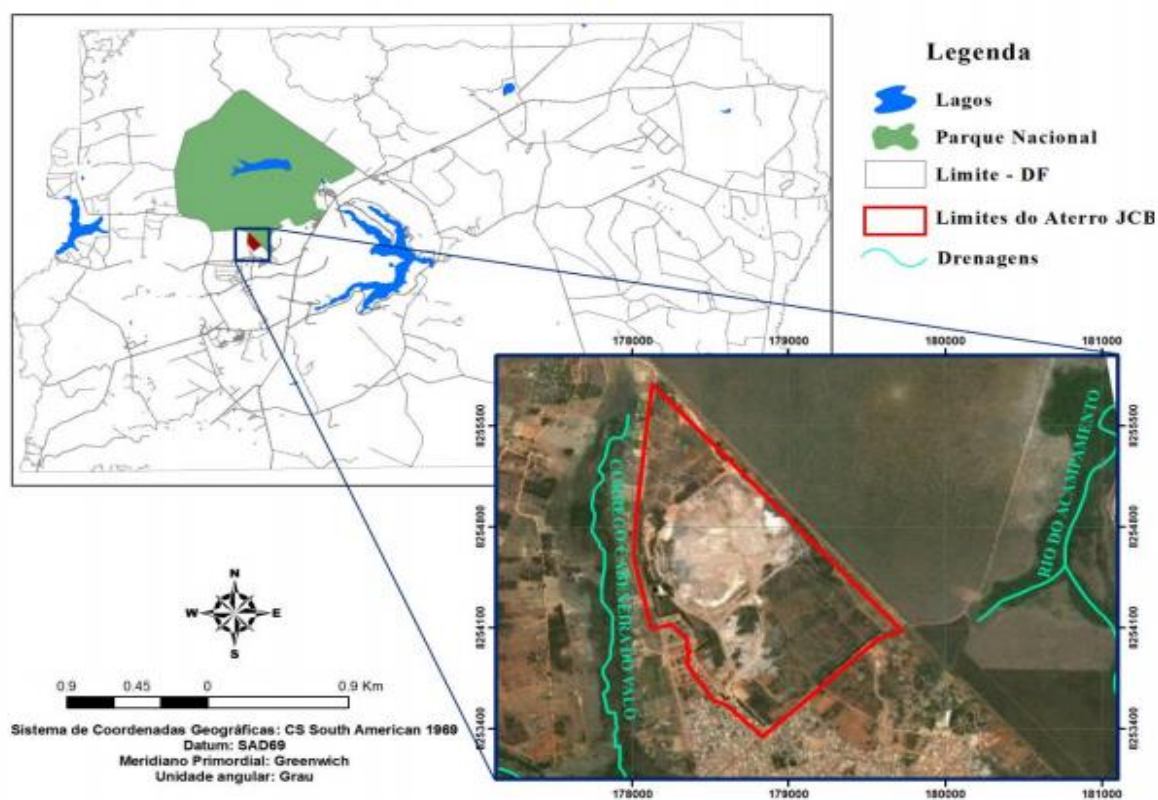


Figura 3.6 – Mapa da localização do Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília (Cavalcanti, 2013).

O Aterro se localiza apenas a 15 km do Congresso Nacional, 500 m do Parque Nacional de Brasília e se situa entre duas bacias que desaguam no Lago Paranoá: o córrego do Acampamento, no Lago Norte; e o córrego Cabeceira do Valo, no Lago Sul. Com uma área de, aproximadamente, 200 hectares, o ACJ tornou-se um grande foco de degradação ambiental e um centro de conflito social, devido a ocupação em seu entorno por moradias precárias habitadas por catadores de materiais recicláveis, além de ser considerado o maior da América Latina e o segundo do mundo.

Também deve se atentar aos vários acidentes com os catadores de materiais recicláveis, os quais trabalhavam no maciço do antigo Lixão, sem possuir relação empregatícia com o SLU ou qualquer outra instituição que lhes fornecesse condições adequadas de trabalho. Na Figura 3.7, ilustra-se o caminhão disposto os resíduos e os catadores em volta.



Figura 3.7 - Catadores correndo riscos de acidentes (cedida por SLU-DF, 2016).

O ACJ possuía uma central de beneficiamento de resíduos sólidos da construção civil (RCC), que se encontrava desativada, e, atualmente, se encontra em funcionamento e dispõe cerca de 6.000 toneladas/dia de RCC. Possui sistemas de drenagem dos líquidos percolados, os quais circulavam no maciço. São 149 drenos e queimadores de gás realizando a combustão dos gases liberados para a atmosfera. Na Figura 3.8, ilustra-se os drenos e queimadores de gás do Aterro Controlado do Jockey Clube de Brasília.



Figura 3.8 - Drenos do ACJ (cedida por SLU-DF, 2016).

Em 17 de Janeiro de 2017, o Aterro Sanitário de Brasília (ASB) foi inaugurado com capacidade para atender todo o DF e até mesmo receber rejeitos de municípios vizinhos. No mesmo ano, recebeu cerca de 808 toneladas/dia. Na Figura 3.9, pode-se observar o projeto do aterro com vista por meio de Drone.



Figura 3.9 - Aterro Sanitário de Brasília (cedida por SLU-DF, 2019).

A sua extensão total é de, aproximadamente, 760.000 m², contudo a área de interferência para implantação do ASB é de cerca de 490.000 m², contemplando as áreas de disposição de rejeitos, de apoio administrativo e operacional, o poço de recalque de chorume e a área para disposição emergencial de resíduos sólidos de serviços de saúde. Próximo ao ASB, existe um terreno previsto para a ampliação do aterro de, aproximadamente, 600.000 m². Englobando essa área, a dimensão total do Aterro Sanitário de Brasília poderá ser de cerca de 1.360.000 m².

3.3. ATERRO SANITÁRIO DE BRASÍLIA

3.3.1. Projeto

Essa seção foi desenvolvida de acordo com o Relatório Final para elaboração do projeto Executivo de Implantação da Primeira Etapa e Projeto Básico das demais infraestruturas de apoio da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos do Distrito Federal - CTRS/DF (Empresa Cepollina, 2012), e o Projeto Básico disponibilizado pelo Serviço de Limpeza Urbana - SLU.

O Projeto foi realizado a partir do levantamento planialtimétrico do terreno, com curvas de nível de metro em metro. Foram identificadas a cobertura vegetal, os limites da área, os acessos e a distância de curso d'água. Foi dividido em 4 etapas sequenciais para disposição de resíduos sólidos. Na Figura 3.10, ilustram-se as etapas construtivas do aterro.

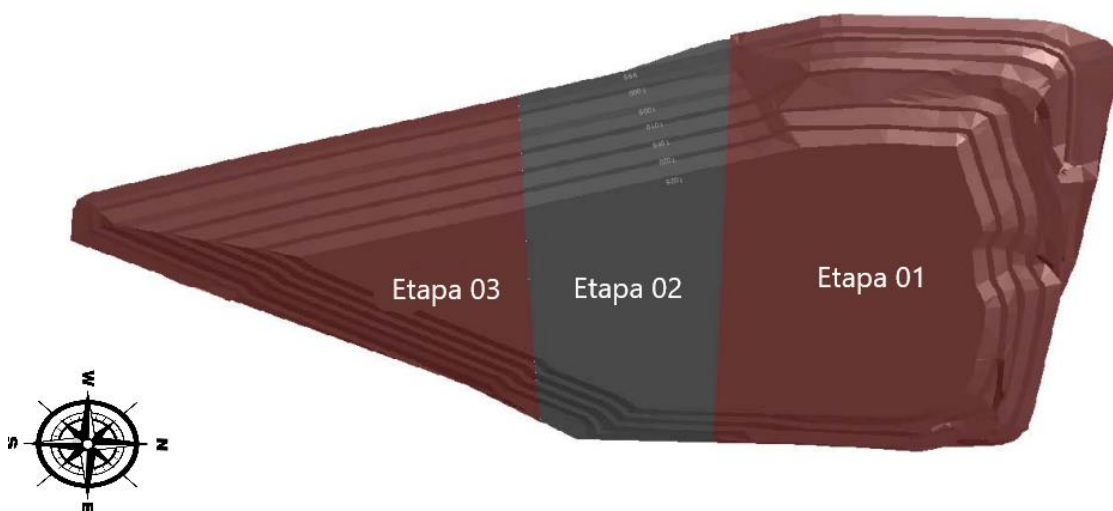


Figura 3. 10 – Etapas Construtivas do Aterro Sanitário de Brasília (Consórcio Samambaia Ambiental, 2019).

A etapa 1 consiste na implantação da área inicial de aproximadamente 110.000 m², localizada na região leste da área de disposição de resíduos. A etapa 2 se situa na porção central. Já a etapa 3 fica na região sudoeste, que também foi utilizada como área de estocagem de solos durante a implantação e operação das etapas anteriores. A etapa 4 será executada sobre as demais etapas. Nas Figuras 3.11 e 3.12, retrata-se o projeto do maciço de resíduos.



Figura 3. 11 – Maciço da primeira etapa concluído (cedida por SLU-DF, 2019).

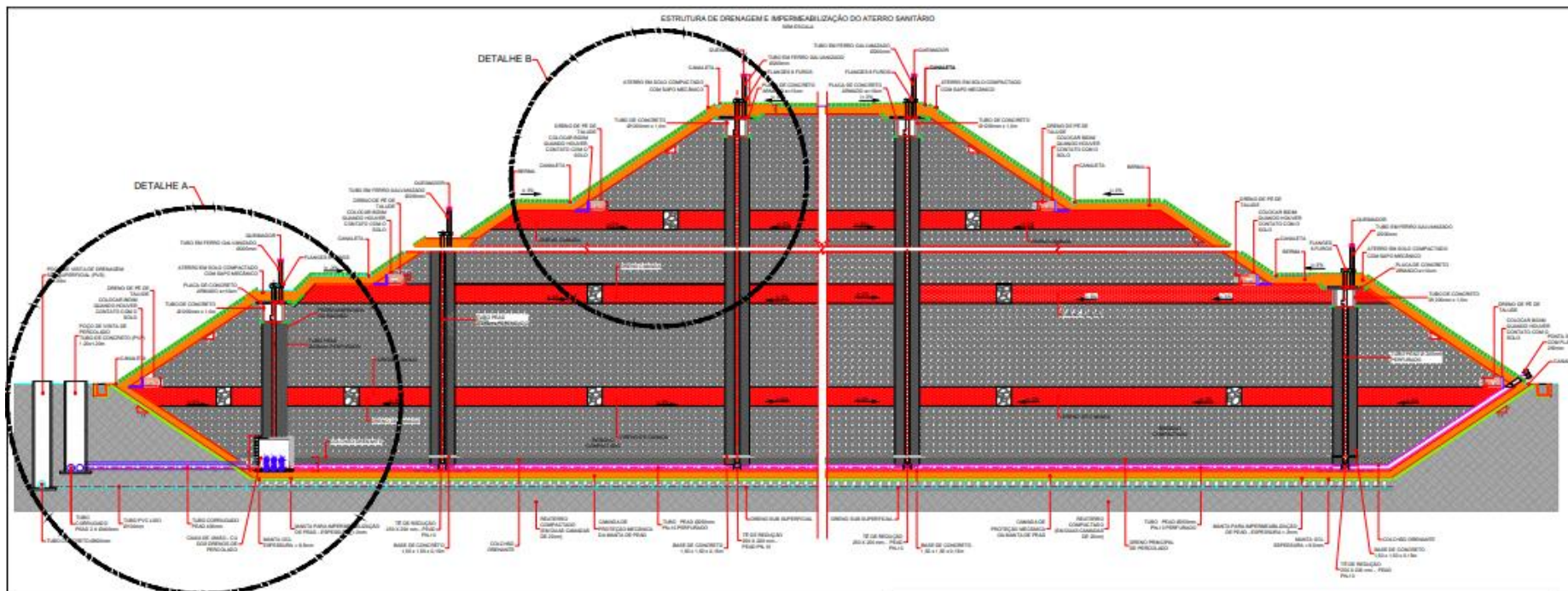


Figura 3.12 – Planta do Aterro (Empresa Cepollina, 2012).

3.3.1.1. Caracterização da área de implantação

A caracterização da área de implantação foi executada com fundamento em campanha de investigação geotécnica com 23 sondagens à percussão (SPT) sendo que 7 foram executadas na área de implantação. Esse tipo de sondagem é um método de investigação dos solos consistindo em ensaio executado a cada metro do terreno ao longo de todo percurso de subsolo. Quando se fez necessário, houve a complementação por investigações geotécnicas adicionais, específicas, nas demais áreas de interesse.

As sondagens foram efetuadas com profundidade de 10,45 m e identificaram uma camada superior de argila arenosa, seguida de uma camada de silte arenoso sobre a uma camada de silte argiloso até o final da prospecção. O nível d'água variou entre 3,36 m e 7,35 m, abaixo dos níveis de escavação preconizados.

3.3.1.2. Implantação dos sistemas de proteção ambiental

A implantação da área de disposição de resíduos se iniciou com a execução dos serviços de escavação, com profundidade média de 3,0 m, e reconformação da plataforma de fundação. De forma a garantir declividades de fundo de 3,5% para a porção norte e de 0,7% para a porção oeste, para facilitar o escoamento lixiviado (chorume) por gravidade, com direcionamento das vazões para as lagoas de acumulação e pré-tratamento.

Após a escavação, se iniciou a implantação do sistema de drenagem subsuperficial, contendo drenos “cegos”, basicamente granulares e com drenos associados a tubos de diâmetro de 200 mm e 400 mm, perfurados.

Em seguida, foi implantado o sistema de impermeabilização de fundação junto a região norte e ao trecho da porção leste, consistindo em uma camada de aterro com solo compactado, seguido pela execução do dique de disparo, com função de garantir o confinamento dos rejeitos depositados, proporcionando a estabilidade do maciço do aterro que foi alteado. Na Figura 3.13, ilustra-se a execução do dique de disparo.

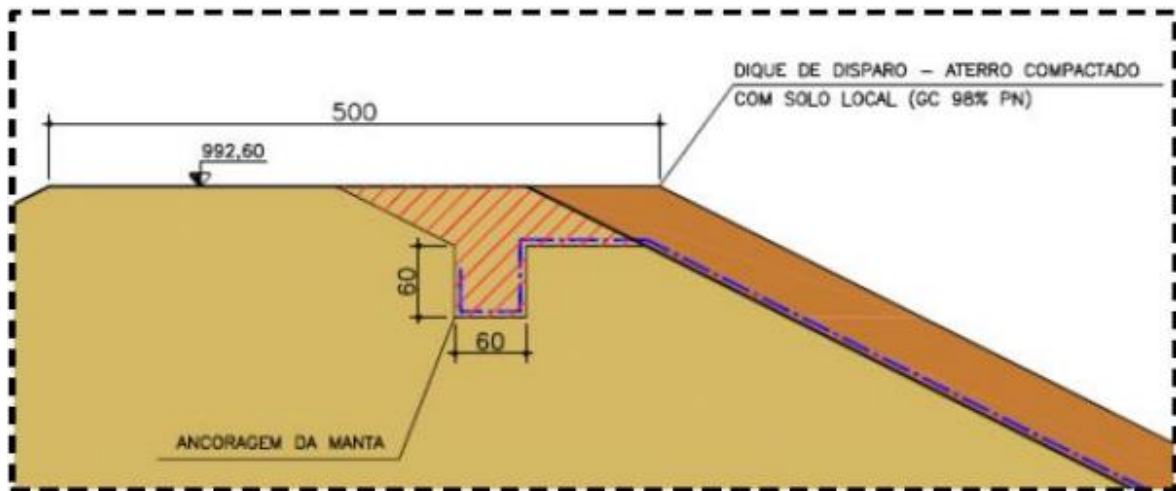


Figura 3. 13 - Execução do Dique de Disparo (Empresa Cepollina, 2012).

Posteriormente à camada de aterro compactado e execução do dique de disparo, foi instalada a geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) de 2,0 mm de espessura, texturizada nas duas faces, recobrendo toda a área onde ocorre a disposição de resíduos, se estendendo sobre os taludes internos resultantes da escavação e do dique de disparo.

Como parte do sistema de proteção ambiental, foi implantado o sistema de drenagem de chorume na fundação e o emissário de encaminhamento das vazões coletadas para o devido tratamento. Na Figura 3.14, ilustra-se a construção do sistema de drenagem e proteção ambiental.



Figura 3.14 - Construção do sistema de drenagem (cedida por SLU-DF, 2017).

3.3.1.3. Sistema de drenagem subsuperficial

O sistema de drenagem subsuperficial é composto por drenos principais, drenos secundários, drenos coletores, emissário e caixa de recepção. Na Figura 3.15, exemplifica-se o sistema de drenagem subsuperficial executado.

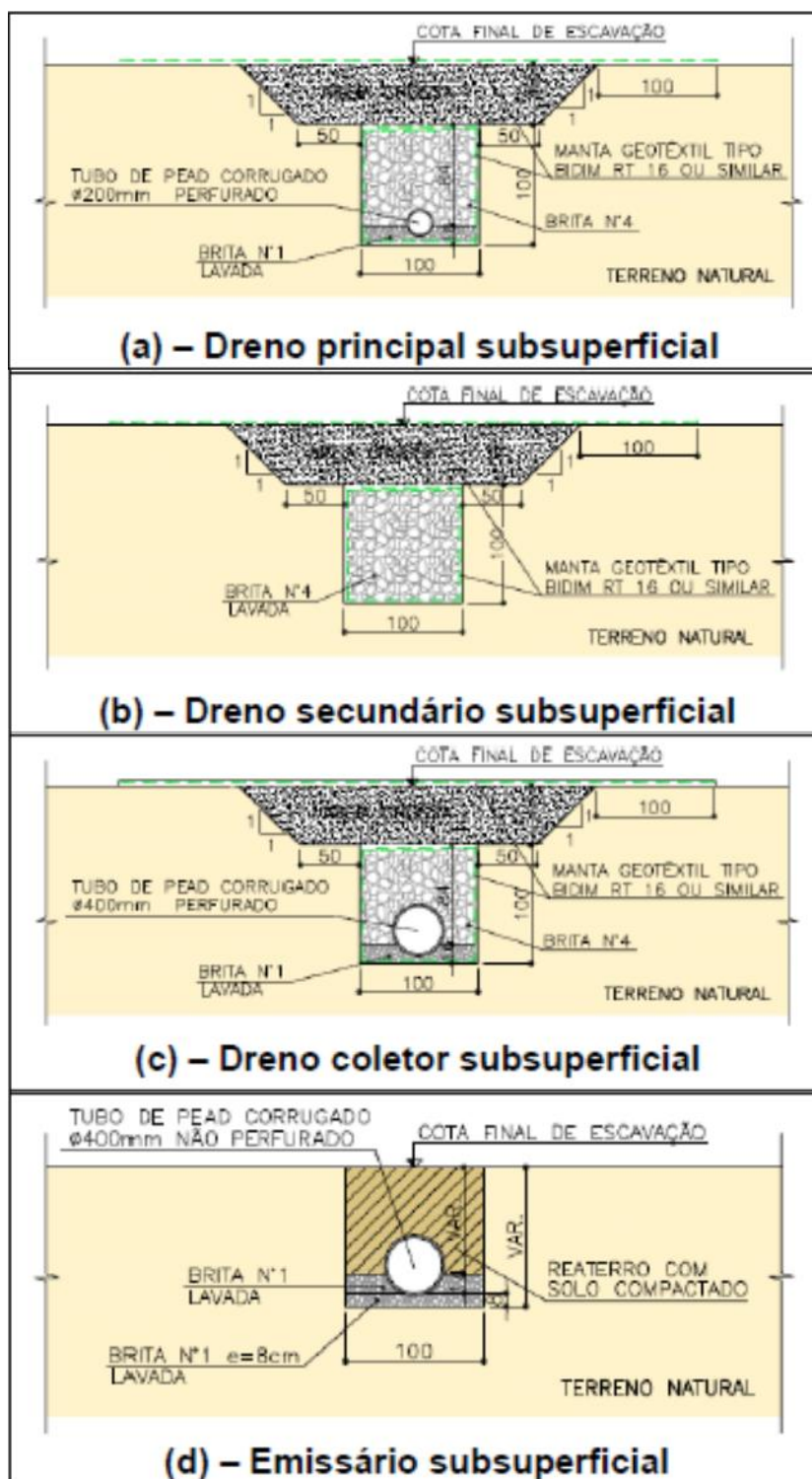


Figura 3.15 – Sistema de Drenagem Subsuperficial realizado (Empresa Cepollina, 2012).

Os drenos principais são valas escavadas mecanicamente a partir das cotas finais de escavação. As valas possuem seção transversal retangular de 1,0 m x 1,5 m com alargamento na parte superior. Os drenos são compostos por tubo de PEAD corrugado, ou similar, de diâmetro de 200 mm, perfurado, apoiados sobre lastro de brita nº 1, lavada, e envolto por brita nº 4, contando com revestimento de manta geotêxtil tipo Bidim RT-16, ou similar, configurando uma seção drenante de 1,0 m x 1,0 m. Acima da seção do dreno principal foi executada uma camada drenante com areia grossa, de 2,0 m x 0,50 m. Segundo o projeto original (Empresa Cepollina, 2012), a manta geotêxtil reveste as bases da vala e não envolve toda a seção do dreno evitando o aterramento e a má funcionalidade.

Os drenos secundários, foram feitos da mesma maneira dos drenos principais, são valas escavadas mecanicamente a partir das cotas finais de escavação. As valas possuem seção transversal retangular de 1,0 m x 1,5 m com alargamento na parte superior. Preenchidos por brita nº 4, revestidos por manta geotêxtil tipo Bidim RT-16, ou similar, configurando uma seção drenante de 1,0 m x 1,0 m. Acima da seção do dreno secundário foi executada camada drenante com areia grossa, com 2,0 m x 0,50 m.

Os drenos coletores, da mesma forma que os demais, são valas escavadas mecanicamente a partir das cotas finais de escavação. As valas possuem seção transversal retangular de 1,0 m x 1,5 m com alargamento na parte superior. Esses drenos são compostos por tubo de PEAD corrugado, ou similar, de diâmetro de 400 mm, perfurado, apoiados sobre lastro de brita nº 1, lavada, e preenchidos por brita nº 4, revestidas por manta geotêxtil tipo Bidim RT-16, ou similar, configurando uma seção drenante de 1,0 m x 1,0 m. Acima da seção do dreno secundário foi executada camada drenante com areia grossa, de 2,0 m x 0,50 m.

O emissário da drenagem subsuperficial é composto por valas, escavadas mecanicamente, de seção transversal retangular de 1,0 m de largura e altura variável. Compostos por tubo de PEAD corrugado, ou similar, de diâmetro de 400 mm, não perfurado, apoiados sobre lastro de brita nº 1, lavada, seguindo com o reaterro da vala com solo compactado.

O sistema de drenagem subsuperficial vai para a caixa de recepção das águas subsuperficiais, sendo a caixa executada em concreto armado, onde são realizadas as

coletas de amostras das águas para análise periódica em laboratório. Os laudos devem ser encaminhados ao órgão de controle ambiental.

3.3.1.4. Sistema de impermeabilização da fundação

O sistema de impermeabilização da fundação é composto por múltiplas barreiras, iniciando pela camada de impermeabilização de 1,50 m de espessura, com solo compactado e coeficiente de permeabilidade igual ou inferior a 10^{-9} m/s. As camadas inferiores, com espessura de 0,20 m, foram executadas revolvendo e posteriormente compactando o próprio solo local, o qual possui característica geotécnica, que permite atingir a permeabilidade exigida. As camadas superiores foram executadas com o lançamento, espalhamento e compactação do solo em camadas de cerca de 0,20 m de espessura até atingir a cota do projeto do aterro de impermeabilização.

Em seguida foi instalada a geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) de 2,0 mm de espessura, texturizada nas 2 faces, recobrimdo toda a área de disposição dos resíduos e os taludes internos resultantes da escavação realizada. A proteção mecânica da geomembrana foi executada por meio da camada de solo com espessura de 0,50 m. Na Figura 3.16, ilustra-se o sistema de proteção pela manta geotêxtil.



Figura 3.16 - Sistema de proteção pela manta geotêxtil (cedida por SLU-DF, 2019).

A camada de proteção mecânica da manta foi executada por meio de compactação com tratores de esteira, devido às elevadas declividades dos taludes dos diques, sendo assim, realizou-se essa camada apenas com solo lançado antes da disposição dos resíduos e avançou-se sobre o talude simultaneamente ao elevamento da célula de resíduos. Porém, foi necessário garantir a espessura de 50 cm de solo entre a manta de PEAD e os resíduos.

A fim de se preparar a camada a receber os resíduos, utilizou-se solos argilosos. O grau de compactação mínimo exigido para cada camada foi de 98% referente ao ensaio de compactação Proctor Normal. O teor de umidade gravimétrica variou entre 0,95 e 1,10 do teor de umidade ótimo referido à energia normal de compactação, assim, possibilitando a execução de corpo compactado com condições adequadas.

Precedentemente ao lançamento dos solos do aterro a serem compactados, deve-se fazer os serviços de limpeza, escavação e drenagem construtiva, além da drenagem subsuperficial. Após a limpeza superficial e a drenagem, a superfície natural exposta foi compactada por meio de rolo compactador, sem vibração.

O solo foi descarregado, espalhado, nivelado em camadas com no máximo 0,25 m, formando superfície plana e de espessura uniforme. Em seguida, foi tratado, por meio de grade de discos, assegurando que fosse obtido um material homogêneo ao longo da sua espessura, quanto ao teor de umidade e textura, proporcionando as medidas de umedecimento por irrigação ou aeração para corrigir a umidade. Por meio do rolo compactador do tipo *tamping* realizou-se a compactação.

Para uma nova camada de disposição sobre uma já estruturada, se executou a escarificação superficial da camada existente, assegurando uma boa ligação entre as camadas. A espessura da camada, o tipo e o número de compactações poderiam ser alterados de acordo com ensaios realizados no início do projeto. Dessa forma, durante a execução do projeto do aterro, a praça de compactação foi mantida com declividade mínima de 0,5% para permitir o escoamento rápido das águas de chuva.

3.3.1.5. Execução de diques em aterro compactado

A execução de diques em aterro compactado consiste em diques de disparo, intermediários e provisórios com solo selecionado e compactado. Os solos utilizados foram os mesmos provenientes da escavação e, também, descarregados, espalhados e nivelados em camadas com no máximo 0,25 m.

Em seguida, o solo foi submetido ao preparo por meio de aração por discos, assegurando-se que fosse obtido um material homogêneo, de acordo com o teor de umidade e textura, ao longo da sua espessura. Além da aração, executou-se o

umedecimento por irrigação ou aeração para corrigir a umidade. Por meio do rolo compactador do tipo *tamping* realizou-se a compactação.

Para uma nova camada de disposição sobre uma já estruturada, se executou a escarificação superficial da camada existente, assegurando uma boa ligação entre as camadas. A espessura da camada, o tipo e o número de compactações foram alterados de acordo com ensaios realizados no início do projeto, da mesma maneira como no sistema de impermeabilização da fundação. Assim sendo, durante a execução do projeto do aterro, a praça de compactação foi mantida com declividade mínima de 2% para permitir o escoamento rápido das águas de chuva.

3.3.1.6. Sistema de drenagem de lixiviado (chorume) na fundação

O sistema de drenagem de lixiviado (chorume) foi implantado acima da camada de solo de proteção mecânica da geomembrana de PEAD e seguindo as declividades impostas nos serviços de escavação, de cerca de 3,5% no sentido S-N e 0,7% no sentido E-W. O sistema de drenagem de lixiviado consiste em drenos principais, drenos secundários, drenos coletores e emissário de lixiviado que é encaminhado para as lagoas de acumulação.

Os drenos principais são instalados nos poços drenantes verticais, com geometria trapezoidal de dimensões de base de 3,10 m, topo de 1,50 m e altura de 0,80 m, composto por tubo de PEAD de 400 mm de diâmetro, perfurado, assentado sobre base de brita nº 1, envolvido por brita nº 4 e rachão e envolvido por manta geotêxtil do tipo Bidim RT-16 ou similar.

Os drenos secundários são instalados com geometria trapezoidal de dimensões de base de 2,0 m, topo de 0,80 m e altura de 0,80 m, com material granular (rachão) envolto por manta geotêxtil do tipo Bidim RT-16 ou similar.

Os drenos coletores Tipo 1 possuem geometria trapezoidal de dimensões de base de 2,00 m, topo de 2,50 m e altura de 0,80 m, com tubo de PEAD de 400 mm de diâmetro, perfurado, assentado sobre base de brita nº 1, envolvido por brita nº 4 e rachão e revestido por manta geotêxtil do tipo Bidim RT-16, ou similar. Os drenos coletores Tipo 2 podem ser executados da mesma maneira do Tipo 1, entretanto com largura maior em razão do afastamento dos taludes do dique intermediário.

A manta geotêxtil deve proteger os drenos, até imediatamente antes da operação de disposição de resíduos junto aos drenos, quando deve ser desdobrada de forma que os resíduos fiquem diretamente em contato com o material granular.

O emissário de chorume é composto por 2 tubos de PEAD de 400 mm de diâmetro, não perfurados, arranjados em vala de seção retangular de 1,5 m de largura e altura mínima de 1,0 m, envolvido por geomembrana dupla de PEAD de 2,0 m de espessura. O fechamento é realizado por solo compactado.

De acordo com a execução da primeira fase de implantação dos drenos de chorume na fundação, foram executados diques provisórios de desvio de águas pluviais, com objetivo de impedir que as vazões pluviais escoem para as regiões anteriores às áreas de disposição de resíduos. Os drenos têm 0,5 m de altura, são posicionados estrategicamente próximos aos limites de operação das fases 1-2, 2-3, e 3-4 e, de acordo com o projeto (Empresa Cepollina, 2012), foram retirados antes da implantação do sistema de drenagem de chorume das fases subsequentes. Entretanto, na implantação da fase 2, foi retirada apenas o dique provisório que se encontra entre as fases 1 e 2, mantendo os demais. Fazendo da mesma maneira nas fases 3 e 4.

3.3.1.7. Execução das células de resíduos e camada de cobertura

A organização das células de resíduos deve obedecer aos critérios de execução de aterros sanitários estabelecidos pela norma técnica NBR 13896 “Aterro de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação” (ABNT, 1997). Nessa norma determina-se a sobreposição de camadas de 0,30 a 0,60 m de resíduos, seguidas da deposição da camada de cobertura sanitária diária, constituída de solo ou material inerte com espessura superior a 0,20 m.

Na finalização de cada célula gerada deve-se implantar os sistemas de drenagem interna de líquidos e gases, além dos poços de drenagem verticais de chorume e gás, imprescindíveis para a continuidade de operação do aterro.

A camada de recobrimento final de taludes e das bermas definitivas devem ter espessura mínima de 0,50 m de solo compactado. Além do mais, deve-se haver a proteção superficial dos taludes e releixo definidas por meio de plantio de grama, e, também,

implantação de sistema de drenagem de águas pluviais sobre o maciço de resíduos em todo seu entorno.

3.3.1.8. Sistema de drenagem de lixiviado (chorume) e gás nas células de resíduos

O sistema de drenagem de lixiviado (chorume) e gás, implantado no interior das células de resíduos, é composto por dreno horizontal de célula. Esses drenos são interligados ao sistema de drenagem de chorume na fundação, por meio dos poços drenantes verticais, os quais devem ser instalados de acordo com o alteamento das células de resíduos, desde a fundação até o topo do maciço sanitário. Na Figura 3.17, ilustram-se as lagoas de lixiviado as quais recebem o chorume resultante do sistema de drenagem horizontal.



Figura 3. 17 - Lagoas de Lixiviado (cedida por SLU-DF, 2019).

Os poços drenantes verticais são constituídos por tubos de concreto armado de 400 mm de diâmetro, perfurados, envolvidos por material granular e por tela metálica. Os poços são interligados pelos drenos horizontais, que encaminham as vazões de chorume captadas no maciço para o sistema de drenagem de chorume implantado na fundação do aterro. Os drenos horizontais fazem também a drenagem dos gases gerados pela decomposição anaeróbica dos resíduos, promovendo a queima diretamente na extremidade do poço. De acordo com o projeto (Empresa Cepollina, 2012), devem-se ter sido adaptados e conectados à rede de captação de biogás para encaminhamento, eventualmente, a usina de queima centralizada e/ou gerando energia. Na Figura 3.18, apresenta-se o poço de drenagem vertical.



Figura 3. 18 – Poços de Drenagem Vertical (cedida por SLU-DF, 2019).

O dreno horizontal é constituído por material granular, com seção retangular nas dimensões de 0,80 m de largura e 1,40 m de altura, foi escavado com o início da camada de cobertura da célula. As laterais do dreno, onde ocorre o contato com o solo, foram protegidas com manta geotêxtil tipo Bidim RT-16 ou similar, se prolongando até o topo. O

fundo da vala contempla uma camada de solo compactado de 0,20 m de espessura. Na Figura 3.19, apresenta-se o processo construtivo do sistema de drenagem horizontal.



Figura 3. 19 – Processo Construtivo do Sistema de Drenagem Horizontal (Pinto, 2019).

Depois da disposição da célula de resíduos, a manta geotêxtil instalada no topo foi aberta para implantar o dreno, consistindo na realização de uma seção trapezoidal de material granular, de 0,40 m de altura, com inclinação nas laterais de 1 (V): 1,5 (H).

3.3.1.9. Sistema de drenagem das águas pluviais

O sistema de drenagem superficial de águas pluviais é composto por canaletas de pé de talude, descidas hidráulicas em colchão Reno, canaletas triangulares em grama no platô superior, canais retangulares de concreto e alvenaria, caixas de passagem e de dissipação em concreto e tubulações enterradas de concreto armado.

As canaletas de pé de talude foram efetivadas com seção triangular de 1,0 m de largura por 0,25 m de profundidade, com inclinações laterais de 1 (V): 1,5 (H) e 1 (V): 2,5 (H), com revestimento em camada de brita nº 2 agulhada, de 0,07 m de espessura, diretamente sobre as camadas de cobertura em cada berma. Então, devido às declividades impostas nas células de resíduos, as canaletas acompanharam recalques evitando a formação de bacias e o acúmulo de águas pluviais sobre o maciço.

Nos taludes resultantes houve implantação de descidas d'água em colchões tipo Reno, ou similar, de forma a possibilitar a absorção das movimentações de recalques e possíveis deslocamentos nos maciços, a partir da simples reconformação de apoio sobre a

superfície, sem perda de continuidade, formação de deslocamentos, entre outros. As descidas sobre os taludes foram implantadas, a contar da superposição de colchões sucessivos, assim, garantindo a formação de degraus, provocando a dissipação gradual da energia cinética e controle das velocidades. Nas bermas instalou-se travessias com tubulações de concreto armado.

Na plataforma superior implantou-se canaletas triangulares com inclinação nas laterais de 1 (V): 2,5 (H), fazendo com que o material oriundo da operação seja depositado ao lado, o que evita a formação de leiras e impede o retorno da água para a canaleta. Toda a superfície das canaletas foi protegida com grama de forma a possibilitar condições de resistência à erosão superficial. Antes da implantação, regularizou-se a área com solo compactado, a fim de correção de eventuais depressões oriundas de recalques.

As caixas de passagem são implantadas nos pontos onde se verificam mudanças de direção dos elementos de drenagem para adequação das vazões coletadas. Os elementos hidráulicos foram produzidos em concreto e alvenaria estrutural.

As travessias de águas pluviais dos acessos foram executadas por tubulações de concreto, implantadas em valas escavadas preparadas de maneira a garantir um fundo uniforme e com uma declividade mínima de 1%. Com a regularização do fundo, foi feito o berço da tubulação com brita. Em seguida, foram implantados os tubos de concreto armado, acompanhando a execução do rejuntamento e do reaterro da vala com solo compactado.

3.3.2. Metas

De acordo com o Plano de Avanço, definiu-se 4 fases operacionais para apresentar a execução da implantação e operação da etapa 1. A primeira célula da etapa 1 foi planejada para ter uma área de ordem de 110.000 m², na cota 990 - 1005 m, com o tempo de 8,1 meses e capacidade para dispor cerca de 1.872.000 toneladas de resíduos, considerando divisão de 4 células. A segunda célula da primeira etapa, com cerca de 122.000 m², cota 995 - 1015 m, com o tempo de 12,5 meses e capacidade para disposição de, cerca de, 1.990.000 toneladas. A terceira célula, com dimensão de 88.000 m², cota 1000 - 1021 m, com o tempo de 9,3 meses e capacidade de disposição de, aproximadamente, 1.596.000 toneladas de resíduos. Por fim, a quarta célula da etapa 1, representando o

coroamento do aterro sanitário, cota 1002 - 1025 m, com o tempo de 7,0 meses e capacidade de 2.671.000 toneladas com alteamento de 5 células de resíduos.

Para realizar a estimativa da vida útil das etapas, considerou-se a demanda mensal média da ordem de 51.000 toneladas de resíduos, esperando que ocorresse a redução da demanda inicial de 55.000 toneladas/mês ao longo dos anos de operação do aterro, por meio da implantação de políticas de reciclagem, as quais auxiliam na redução dos volumes encaminhados para disposição no aterro sanitário.

Além disso, determinou-se recalques conservadores da ordem de 20% e peso específico médio dos resíduos de 9,81 kN/m³, resultando em uma vida útil inicial do ASB de, aproximadamente, 13,3 anos.

Na Tabela 3.3, apresentam-se a área, a capacidade de disposição de resíduos e a vida útil para as etapas do Aterro Sanitário.

Tabela 3.3 – Resumo de Áreas, Capacidade de Disposição de Resíduos e Vida Útil para cada Etapa (SLU-DF, 2018).

ETAPA	Área (m²)	Capacidade (T)	Vida Útil (anos)
Etapa 1	110.000	1.872.000	3,1
Etapa 2	122.000	1.990.000	3,2
Etapa 3	88.000	1.596.000	2,6
Etapa 4 - Coroamento		2.672.000	4,4
TOTAL	320.000	8.130.000	13,3

4. METODOLOGIA

Na Figura 4.1, apresenta-se uma esquematização da metodologia proposta para esse projeto.



Figura 4.1 - Esquematização da metodologia utilizada.

Os itens 4.1 e 4.2, alinhados no topo da Figura 4.1 retratam a seleção de trabalhos para escolha das melhorias na fase seguinte (item 4.3). Assim, essas fases da metodologia empregada consistem em um levantamento bibliográfico. Já os itens seguintes, abarcam a comparação com outros projetos executados para melhoria da qualidade do projeto realizado no Aterro Sanitário de Brasília, podendo ser utilizados na melhoria das próximas etapas do ASB, aterros futuros ou para controle ambiental.

4.1. REVISÃO DE TRABALHOS

Realizaram-se diversas pesquisas nas áreas de interesse, obtendo alguns documentos como o relatório do projeto inicial do Aterro, relatórios anuais do SLU-DF (SLU-DF, 2018, 2019), dentre outros contidos neste estudo. Outros trabalhos selecionados, como o Estudo das Causas do Entupimento do Sistema de Drenagem de Lixiviados do Aterro Sanitário de Brasília foram analisados para encontrar problemáticas na continuação deste Projeto Final.

4.2. SEPARAÇÃO EM ÁREAS DE ENFOQUE

Definiram-se três áreas para possibilitar um melhor estudo das propostas: Sistemas de drenagens, Sistema de proteção ambiental e fundação; e Execução das células de resíduos e camada de cobertura. Tais áreas serão detalhadas nos subtópicos 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3.

4.2.1. Sistemas de drenagens

Nos sistemas de drenagens, tratam-se das problemáticas encontradas no projeto para os sistemas de drenagem subsuperficial, de lixiviado (chorume) na fundação, das águas pluviais e de lixiviado (chorume) e gás na célula de resíduos

No início de 2019 (Fuzeira, 2019), o ASB apresentou entupimento no sistema de drenagem de lixiviado (chorume) e gás na célula de resíduos, devido às chuvas intensas, ocasionando três vazamentos de chorume, sendo que, em um deles o córrego Melchior foi atingido.

4.2.2. Sistema de proteção ambiental e fundação

No sistema de proteção ambiental e fundação será discutida a elaboração da implantação dos sistemas de proteção ambiental, do sistema de impermeabilização da fundação e da execução de diques em aterro compactado.

4.2.3. Execução das células de resíduos e camada de cobertura

Já na execução das células de resíduos e camada de cobertura serão feitos questionamentos sobre o planejamento da execução das células de resíduos e camada de cobertura, além da análise das metas propostas no início do projeto do ASB.

4.3. MELHORIAS

Nessa etapa busca-se comparar o projeto do ASB com projetos de Aterros Sanitários de outras cidades, como de Maringá, localizado no Paraná. A fim de proporcionar melhorias para as problemáticas encontradas, seja nas próximas etapas do

Aterro Sanitário de Brasília, em aterros futuros em Brasília ou, ainda, para controle ambiental e evitar que problemas similares ocorram.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. SEPARAÇÃO EM ÁREAS DE ENFOQUE

5.1.1. Sistemas de drenagens

Após o acidente de entupimentos dos drenos, os órgãos fiscalizadores foram comunicados, fazendo com que o Instituto Brasília Ambiental (IBRAM), por meio do Parecer Técnico nº 93 de 2019, solicitasse algumas ações imediatas como identificação da causa da obstrução da tubulação de chorume, disponibilidade de materiais para contenção de vazamentos e transporte até o local de armazenado adequado, além da apresentação de relatório técnico sobre as ações de limpeza, transporte e disposição final dos resíduos. Na Figura 5.1, ilustra-se uma amostra retirada do sistema de drenagem de lixiviado, a qual expressa o problema descrito. Já na Figura 5.2, é apresentado o material encrustado retirado.



Figura 5.1 – Amostra retirada do sistema de drenagem de lixiviado (Carvalho & Pfeiffer, 2019).



Figura 5.2 – Material presente na tubulação perfurada ((Carvalho & Pfeiffer, 2019).

No Relatório Anual de 2019 (SLU-DF, 2019), o Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal, responsável pela operacionalização do Aterro Sanitário de Oeste, construiu sistemas de passagens alternativos, fez-se o bombeamento do chorume diretamente do maciço para a lagoa de contenção, além de intervenções no maciço para controlar o afloramento ocorrido, provavelmente pela porosidade das pedras usadas nos drenos. Entretanto, acredita-se que o material dos drenos não seja passível de tal reação química capaz de ocasionar na calcificação do chorume gerado.

Já no Relatório de Estudo das Causas do Entupimento do Sistema de Drenagem (Carvalho & Pfeiffer, 2019), observou-se que o material não possuía odor significativo e apresentou resistência à força feita com a pá, caracterizando como, possivelmente, material orgânico. Ainda, o material incrustado apresentava ser composto por pequenos grãos com diâmetros compatíveis às aberturas das tubulações perfuradas utilizadas no sistema de drenagem, o que reforça de o entupimento ter como motivo cátions inorgânicos. Na Figura 5.3, expressa-se a proporção causada pelo entupimento do sistema.

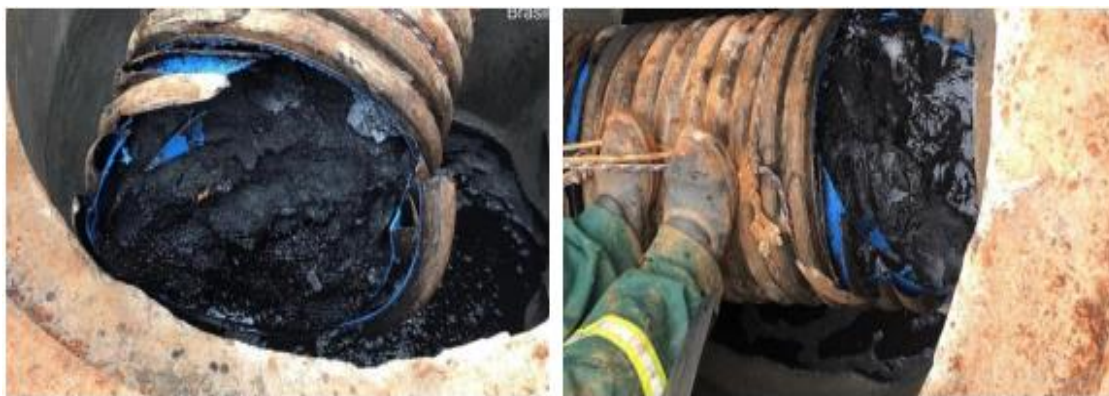


Figura 5.3 – Obstrução presente no sistema de drenagem de lixiviado (Carvalho & Pfeiffer, 2019).

Ressaltou-se também alguns aspectos envolvidos nas áreas para justificativa do acontecimento como:

- Baixa declividade no projeto do sistema de drenagem de lixiviado;
- Subdimensionamento da seção transversal dos drenos;
- Distância inadequada entre os drenos principais e os secundários;
- Especificação inadequada do material de enchimento dos drenos;
- Sistema em desacordo com as orientações técnicas propostas no projeto;
- Falhas no controle dos resíduos recebidos no aterro;
- Utilização inadequada de material de estruturação dos acessos internos ao maciço.

Dessa forma, possíveis consequências também foram levadas em consideração, apesar de que, o problema apresentado, pode ocorrer devido a combinação de vários aspectos. Sendo necessária uma avaliação mais aprofundada de cada hipótese apresentada, com base no princípio da exclusão. Pode se destacar algumas das consequências apresentadas pelo Relatório de Estudo das Causas do Entupimento do Sistema de Drenagem (Carvalho & Pfeiffer, 2019):

- Redução da capacidade de transporte do lixiviado com consequente elevação do nível desse na base do aterro;
- Formação de precipitados inorgânicos, biofilmes e/ou sedimentação de finos resultando na obstrução da camada de drenante;
- Lixiviação de finos que poderão causar entupimentos ou incrustações devido à reação com o lixiviado.

Para evitar novos incidentes como o descrito, houve a solicitação pelo órgão fiscalizador de algumas mudanças para o próximo Projeto Técnico da Etapa 2 (Consórcio Samambaia Ambiental, 2019), fazendo com que o sistema de drenagem fosse alterado. Sendo assim, verificou-se que o sistema adotado conhecido como espinha de peixe, ilustrado na Figura 5.4, se mostrou inadequado para a efetividade da operação, com isso, na segunda etapa, o sistema implantado foi o de colchão drenante, impedindo novos episódios de vazamento. O novo sistema adotado é ilustrado na Figura 5.5.

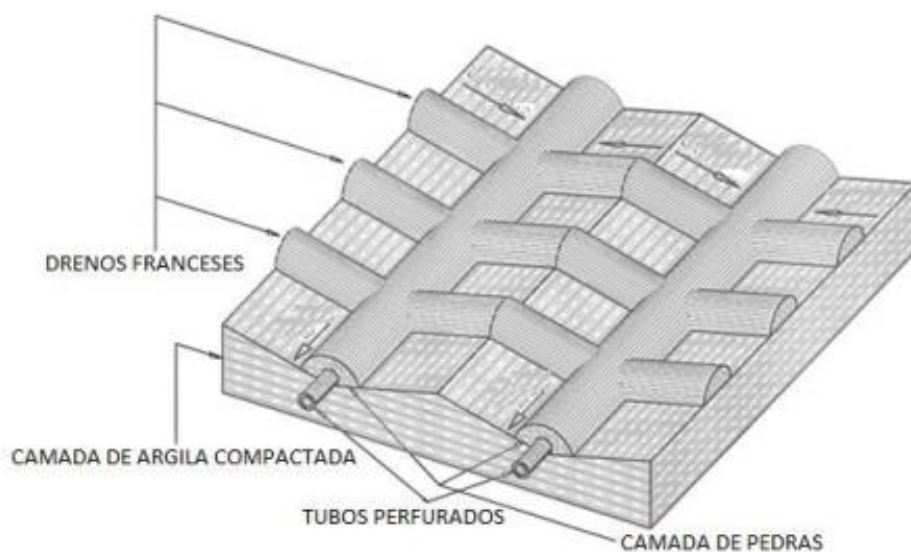


Figura 5.4 – Sistema de drenagem tipo "espinha de peixe" ((Carvalho & Pfeiffer, 2019).

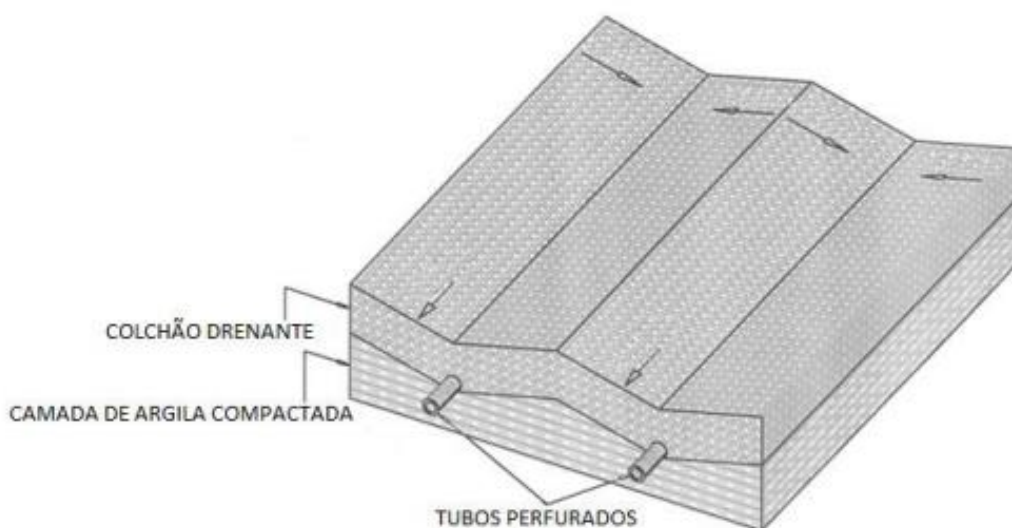


Figura 5.5 – Planta sistema de drenagem tipo "colchão drenante" (Carvalho & Pfeiffer, 2019).

O novo sistema de drenagem chamado de colchão drenante, expresso na Figura 5.6, consiste no sistema de dreno horizontal de percolado na base do maciço com tubos coletores principais em PEAD perfurado com diâmetro de 250 mm, furos de diâmetro de 16 mm, espaçados a cada 10 cm, com oito furos por seção, com declividade de 3,23% (sentido Sul/Norte) acompanhando a declividade do fundo da trincheira, como apresentado na Figura 5.7. Sendo implantado com uma camada de brita 4 de 40 cm, acima da camada de solo de proteção da geomembrana de PEAD, possibilitando uma maior distância do lençol freático e, resultando em uma menor possibilidade de contaminação do lençol.

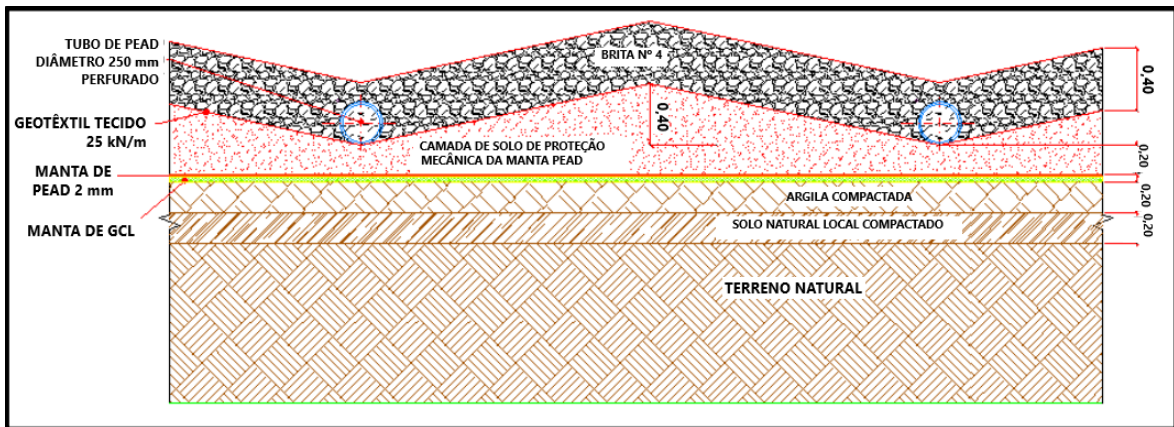


Figura 5.6 – Colchão Drenante (Consórcio Samambaia Ambiental, 2019).



Figura 5.7 – Detalhes do sistema de drenagem da base do maciço (Consórcio Samambaia Ambiental, 2019).

Outro episódio preocupante foi a interrupção do recebimento, pela Caesb, do chorume gerado diariamente no Aterro, sendo justificado pelo comprometimento das

estações de tratamento, as quais não foram projetadas para recebimento do contaminante gerado. Dessa maneira, o Serviço de Limpeza Urbana construiu diversas lagoas provisórias para armazenamento do chorume até que fosse contratada a empresa capaz de tratar o material gerado dentro das dependências do ASB. A empresa contratada, em caráter emergencial, recebeu todas as licenças previstas para realização do procedimento, tendo sido autorizada à lançar o efluente tratado diretamente no córrego Melchior.

5.1.2. Sistema de proteção ambiental e fundação

O sistema de proteção ambiental e fundação abrange a implantação dos sistemas de proteção ambiental, o sistema de impermeabilização da fundação e a execução de diques em aterro compactado. Esses sistemas não sofreram alteração até a presente etapa do projeto, fazendo com que tenha sido mantido as características estruturais do Projeto da Etapa 1 nas seguintes etapas.

5.1.3. Execução das células de resíduos e camada de cobertura

Com o entupimento do sistema de drenagem, o maciço apresentou pontos de vazamento de lixiviado em seus taludes, fazendo com que houvesse uma preocupação com o rompimento do talude, sendo ilustrado na Figura 5.8. Os pontos, os quais se situavam esse vazamento, se localizam na segunda célula sanitária, ou seja, a mais de 5 m de altura da base do aterro.



Figura 5.8 – Afloramento de lixiviado no talude do aterro ((Carvalho & Pfeiffer, 2019).

Além disso, em alguns desses pontos, observou-se possível deslocamento horizontal do maciço, ilustrado na Figura 5.9, sendo, possivelmente, consequência do acúmulo do lixiviado na base do talude.

Com todas essas problemáticas apresentadas, houve o questionamento quanto à descarga de algum resíduo atípico no aterro, o qual pudesse ocasionar tais adversidades, e em resposta, os operadores, disseram não terem presenciado tal situação. Entretanto, no início da operação do aterro, as primeiras camadas de resíduos tinham uma proporcionalidade maior de rejeitos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB – e da usina de compostagem de Ceilândia comparado a deposição atual.



Figura 5.9 – Deslocamento horizontal da camada de cobertura (Carvalho & Pfeiffer, 2019).

A princípio, as metas para o projeto inicial do Aterro consistiam em uma vida útil de 13,3 anos com a demanda mensal média da ordem de 51.000 toneladas de resíduos, esperando que ocorresse a redução da demanda inicial de 55.000 toneladas/mês ao longo dos anos de operação do aterro. Entretanto, para a Etapa 2, a demanda mensal média considerada foi de 68.000 toneladas/mês, significando um aumento expressivo considerado a meta inicial. Na Tabela 5.1, observam-se que os dados mensais desde 2018 são maiores que os projetados como demanda inicial.

Tabela 5.1 – Total mensal dos resíduos destinados para o ASB (SLU-DF, 2018; 2019; 2020 e 2021).

	2018	2019	2020	2021
Janeiro	37.520,00	70.409,79	73.866,60	69.011,00
Fevereiro	65.330,00	62.190,26	65.125,20	63.260,85
Março	69.412,00	65.944,91	71.286,00	68.443,54
Abril	64.630,00	66.150,00	68.334,80	62.181,06
Mai	60.444,00	71.906,08	67.378,90	58.102,92
Junho	60.735,00	58.059,67	64.268,50	59.215,02
Julho	58.377,00	62.077,85	66.967,20	
Agosto	63.978,00	61.523,71	64.983,20	
Setembro	60.072,00	59.637,45	64.360,50	
Outubro	67.930,00	75.145,02	69.188,30	
Novembro	68.462,00	69.970,03	66.864,20	
Dezembro	72.717,00	77.867,59	77.377,60	
Média Mensal	62.467,25	66.740,20	68.333,42	63.369,07

Tal aumento resultou na diminuição da vida útil do aterro, podendo ser observada na Tabela 5.2, em cinza mais claro representa as metas traçadas no Projeto da Etapa 1 e em cinza mais escuro as metas traçadas no Projeto da Etapa 2. Analisando a tabela, observa-se que a área da Etapa 2 sofreu ligeira diminuição, assim como, também a Capacidade da Etapa 1. Com isso, para atingir a meta de 3.944.000 toneladas de resíduos nas duas etapas iniciais, a Etapa 2 sofreu aumento passando de, aproximadamente, 2 toneladas para 2,5 toneladas.

Entre as causas para as mudanças das metas propostas, podemos destacar o fato de que, no começo da pandemia, pelo fato de não se ter conhecimento sobre o vírus, os resíduos recicláveis foram destinados para o aterro sanitário para evitar que os catadores tivessem contato com os materiais e ocorresse uma contaminação ainda maior. Além disso, ocorreu grande expectativa para a coleta seletiva e recuperação de recicláveis, como observa-se na Tabela 5.3, sabe-se que, para obter sucesso na separação de recicláveis, tem-se grandes obstáculos devido a resistência da população. Dessa forma, houve sobrecarga no ASB, fazendo com que houvesse a diminuição da vida útil de 0,6 anos.

Tabela 5.2 – Comparação das metas iniciais traçadas no projeto da Etapa 1 e projeto da Etapa 2 (adaptado de SLU-DF, 2018 e Consórcio Samambaia Ambiental, 2019)

	Projeto proposto na Etapa 1			Projeto proposto na Etapa 2		
ETAPA	Área (m ²)	Capacidade (T)	Vida Útil (anos)	Área (m ²)	Capacidade (T)	Vida Útil (anos)
Etapa 1	110.000	1.872.000	3,1	110.000	1.468.000	2,5
Etapa 2	122.000	1.990.000	3,2	121.850	2.476.000	3,03
Etapa 3	88.000	1.596.000	2,6	88.000	1.596.000	2,6
Etapa 4 - Coroamento		2.672.000	4,4		2.672.000	4,4
TOTAL	320.000	8.130.000	13,3	320.000	8.130.000	12,54

Regiões Administrativas Distrito Federal	Classificação de renda	População estimada para 2015	Coleta Convencional (t/mês)	Coleta Seletiva em dez/2015 (t/mês)	Total Resíduos (t/mês)	% de Coleta Seletiva em dez/2015	Índice de recicláveis no total de resíduos (%)	Qte de recicláveis estimada em dez/2015 (t/mês)	Metas para coleta seletiva e recuperação de recicláveis em 2022						
									Acréscimo em relação a dez/2015 (%)	Metas propostas para coleta seletiva em 2022 (%)	Qtde prevista coleta seletiva (t/mês)	Percentual de coleta seletiva sobre o total de recicláveis (%)	Estima tiva de rejeito (%)	Qtde a ser recuperada (t/mês)	Percentual de material recuperado sobre o total de recicláveis (%)
Plano Piloto (V)	alta	231.894	10.165	1.522	11.687	13,0	25,5	2.976	2,0%	15%	1.753	59%	40%	1.052	35%
Taguatinga	média/alta	224.618	8.162	408	8.570	4,8	30,0	2.569	5,2%	10%	857	33%		514	20%
Ceilândia	média/baixa	471.279	10.601	414	11.015	3,8	21,2	2.334	1,2%	5%	551	24%		330	14%
Samambaia (S)	média/baixa	231.457	3.918	0	3.918	0,0	52,5	2.057	5,0%	5%	196	10%		118	6%
Gama (S)	média/baixa	139.716	3.081	0	3.081	0,0	34,1	1.051	5,0%	5%	154	15%		92	9%
SCIA/Estrutural	baixa	37.528	1.510	32	1.542	2,0	30,0	462	5,0%	5%	77	17%		46	10%
Águas Claras (V)	média/alta	127.716	2.016	284	2.300	12,3	42,4	975	7,7%	20%	460	47%		276	28%
Guará	média/alta	131.877	2.543	198	2.742	7,2	26,5	726	2,8%	10%	274	38%		165	23%
Planaltina (S)	média/baixa	189.571	3.087	0	3.087	0,0	23,0	710	7,9%	7,9%	244	34%		146	21%
Recanto das Emas (S)	baixa	139.968	2.204	0	2.204	0,0	30,0	661	5,0%	5%	110	17%		66	10%
Santa Maria (S)	média/baixa	128.007	2.130	0	2.130	0,0	30,0	639	5,0%	5%	106	17%		64	10%
Sobradinho II	média/alta	102.709	1.793	143	1.936	7,4	30,0	581	2,6%	10%	194	33%		116	20%
São Sebastião (S)	média/baixa	102.703	1.913	0	1.913	0,0	30,0	574	5,0%	5%	96	17%		57	10%
Sudoeste/Octogonal (V)	alta	55.282	1.535	162	1.697	9,6	25,0	424	5,4%	15%	255	60%		153	36%
Lago Sula	alta	32.711	1.416	89	1.505	5,9	25,7	387	4,1%	10%	150	39%		90	23%
Jardim Botânico	alta	27.168	1.176	74	1.250	5,9	25,0	312	4,1%	10%	125	40%		75	24%
Riacho Fundo I (S)	média/baixa	39.076	777	0	777	0,0	43,0	334	5,0%	5%	39	12%		23	7%
Itapõa (S)	média/baixa	63.234	1.033	0	1.033	0,0	30,0	310	5,0%	5%	52	17%		31	10%
Vicente Pires	média/alta	76.836	905	63	968	6,5	30,0	290	3,5%	10%	97	33%		58	20%
Brazlândia (S)	média/baixa	53.175	1.251	0	1.251	0,0	16,7	209	9,0%	9%	113	54%		68	32%
SIA	média/alta	1.874	766	87	854	10,2	30,0	256	10,2%	10%	87	34%		52	20%
Sobradinho I	média/alta	66.788	1.166	93	1.259	7,4	19,4	244	2,6%	10%	126	52%		76	31%
Cruzeiro (V)	média/alta	32.963	678	101	779	13,0	30,0	234	2,0%	15%	117	50%		70	30%
Paranoá (S)	média/baixa	47.813	771	0	771	0,0	30,0	231	5,0%	5%	39	17%		23	10%
Núcleo Bandeirante (S)	média/baixa	24.858	708	0	708	0,0	30,0	212	7,1%	7%	50	24%		30	14%
Park Way (S)	alta	20.712	683	0	683	0,0	25,0	171	5,0%	5%	34	20%		20	12%
Riacho Fundo II	média/baixa	40.979	736	69	805	8,6	24,8	200	1,4%	10%	81	40%		48	24%
Lago Norte	alta	36.059	985	136	1.121	12,1	16,9	190	0,9%	13%	146	77%	87	46%	
Candangolândia (S)	média/baixa	17.609	592	0	592	0,0	30,0	178	5,0%	5%	30	17%	18	10%	
Varjão	baixa	9.700	265	37	301	12,1	30,0	90	0,9%	13%	39	43%	24	26%	
Fercal (S)	baixa	8.948	156	0	156	0,0	30,0	47	7,0%	7%	11	23%	7	14%	
TOTAIS		2.914.828	68.725	3.910	72.635	5,30%	28,4	20.635		9%	6.660	32		3.996	19%
(S) = Coleta Suspensa	(V) = Área Verticalizada				73.358	(total de resíduos em dez/2015)									

Tabela 5.3 – Metas para a eficiência da coleta seletiva até 2022 (SLU-DF, 2017).

5.2. MELHORIAS

Para o estudo em questão, se considerou o Projeto de Ampliação do Aterro Sanitário de Maringá (Doré Engenharia, 2016), localizado no Paraná, o qual tem como área prevista de 148 mil m², quantidade requerida de 400 t/dia e vida útil projetada de 22 anos.

E, também, o Projeto do Aterro Sanitário Intermunicipal para os Municípios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim (Ambconsult Ltda, 2020b), localizado em Minas Gerais, com área prevista de 106 mil m², quantidade requerida de 17,5 t/dia e vida útil projetada de 20,8 anos.

5.2.1. Projeto Geotécnico Aterro Sanitário de Maringá

5.2.1.1. Caracterização da área de implantação

Houve a realização de escavações para a caracterização da área do projeto. Os taludes de corte do terreno foram projetados com inclinação 1,0 (H):1,0 (V). Os drenos de percolados e gases escolhidos foram de PEAD, com diâmetro de 450 mm. As camadas de resíduos são de 0,30 a 0,40 m de espessura, as quais são recobertas com uma camada de, aproximadamente, 0,30m de solo compactado. Na Figura 5.10, ilustra-se o sistema da camada de cobertura realizado no Aterro de Maringá.



Figura 5. 10 – Execução da camada de cobertura (Doré Engenharia, 2016).

5.2.1.2. Sistema de Impermeabilização

No sistema de impermeabilização do solo foi implantado em toda base do aterro, sendo composto por um conjunto de camadas com utilização de 0,60 m de solo compactado com baixa permeabilidade, coberto pela geomembrana de PEAD de 2,0 mm de espessura e 0,50 m de solo compactado sobre a geomembrana. Na Figura 5.11, ilustra-se como o sistema de impermeabilização é constituído.

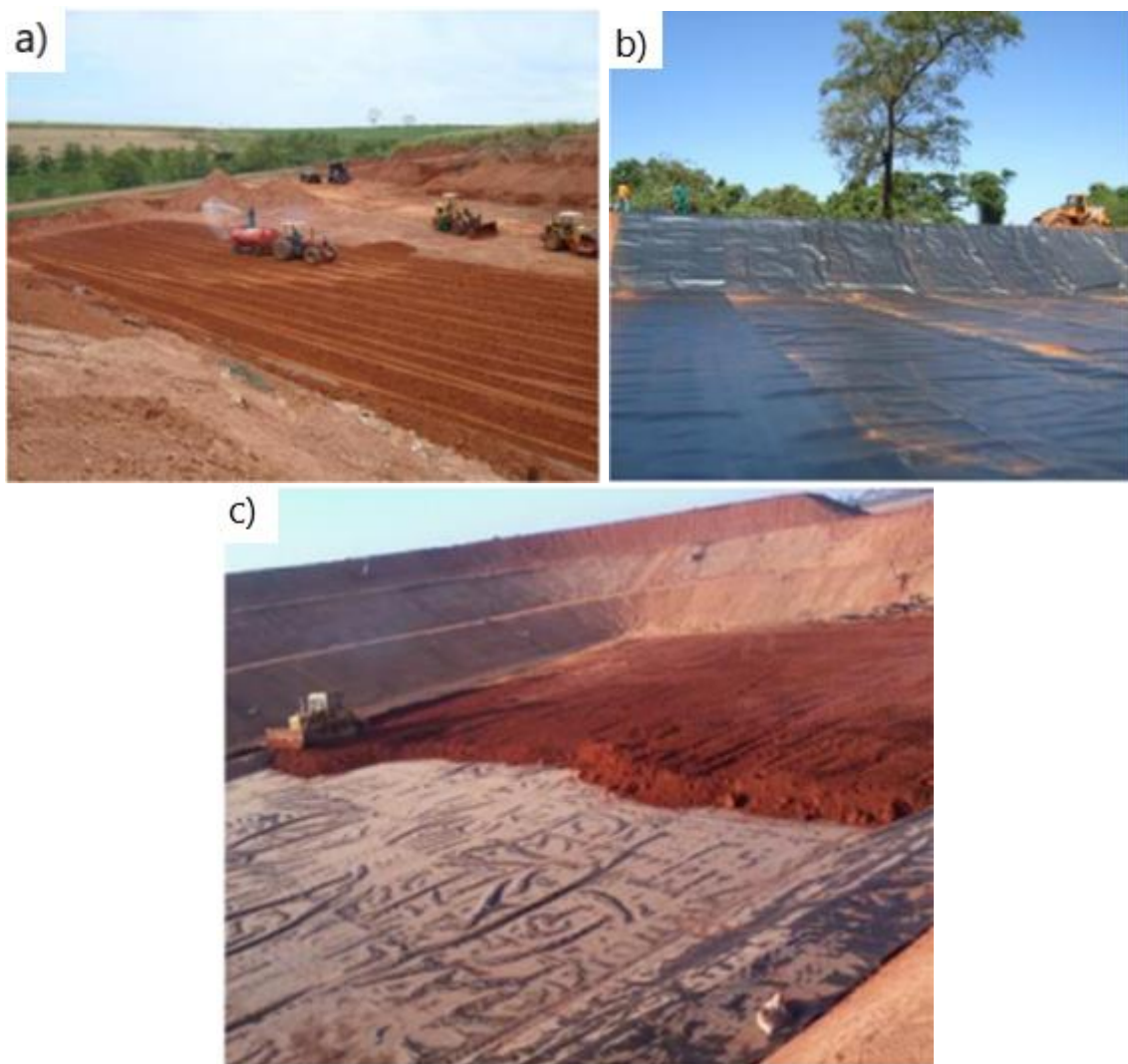


Figura 5.11 – **a)** Camada de Solo Compactado. **b)** Geomembrana da PEAD. **c)** Camada de Solo sobre a Geomembrana. (Doré Engenharia, 2016).

5.2.1.3. Sistema de drenagem de lixiviado (Chorume) na Fundação

O sistema de drenagem de lixiviado foi implantado na forma de malha tipo espinha de peixe, com linhas de drenos principais que recebem contribuições de drenos secundários que encaminha o líquido para dois (02) tanques de armazenamento temporário. Os drenos possuem declividade longitudinal mínima de 2%. Sendo dividido em drenos principais, drenos secundários, coletores e caixa de recepção.

Os drenos principais são constituídos por tubo de dreno de PEAD com diâmetro de 160 mm, envolvido com brita nº 4 e geotêxtil do tipo Bidim ou similar, podendo ser observado na Figura 5.12. Os drenos secundários compostos por brita nº 4 e geotêxtil do tipo Bidim ou similar, ilustrado na Figura 5.13. Já os drenos coletores são formados por dois (02) tubos de dreno de PEAD com diâmetro de 160 mm, envolvido por brita nº 4 e geotêxtil do tipo Bidim ou similar, podendo ser visto na Figura 5.14.

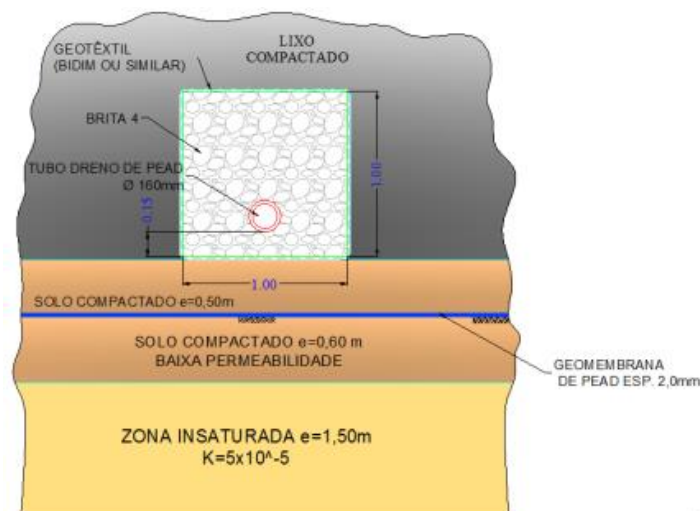


Figura 5.12 – Dreno principal do sistema de drenagem de percolado (Doré Engenharia, 2016).

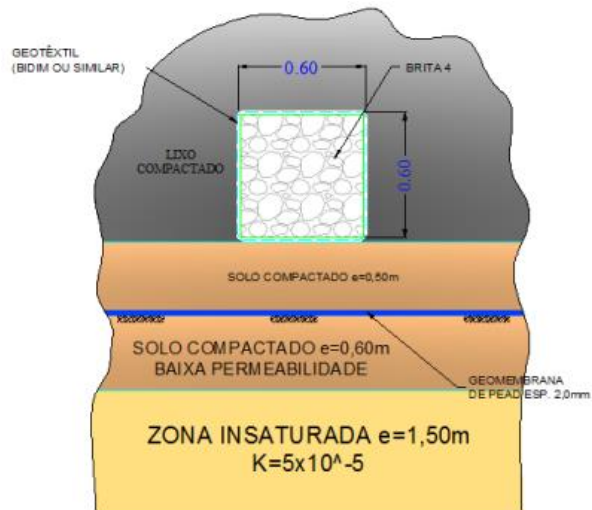


Figura 5.13 – Dreno secundário do sistema de drenagem de percolado (Doré Engenharia, 2016).

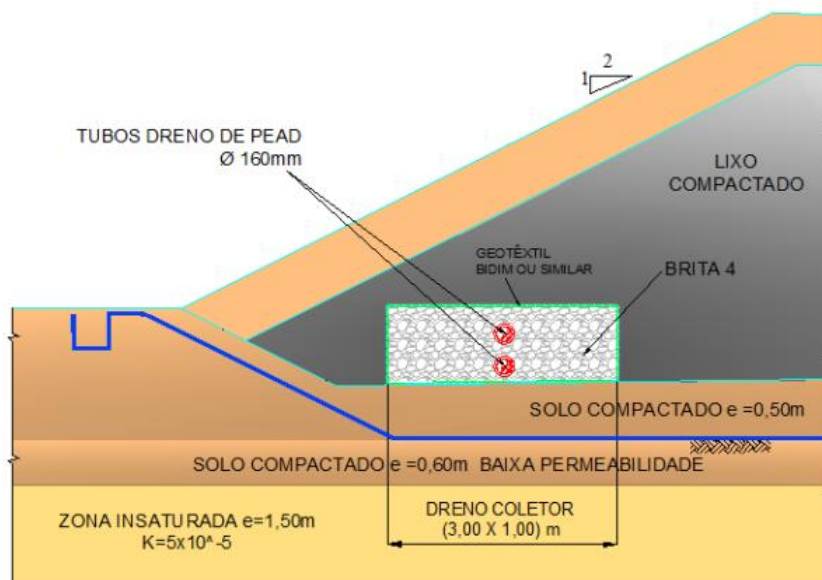


Figura 5.14 – Dreno coletor do sistema de drenagem de percolado (Doré Engenharia, 2016).

A caixa de recepção é constituída por brita nº 4 e Geotêtil do tipo Bidim ou similar com 0,60 m de altura, 0,60 m de largura e extensão definida em projeto, a qual capta os líquidos percolador de todo o sistema. Sabe-se também que os drenos são construídos antes da construção de uma nova camada de resíduos, fazendo com que se tenha drenos entre as camadas, interligado com os drenos de gases. Na Figura 5.15, ilustra-se a caixa de recepção do percolado.

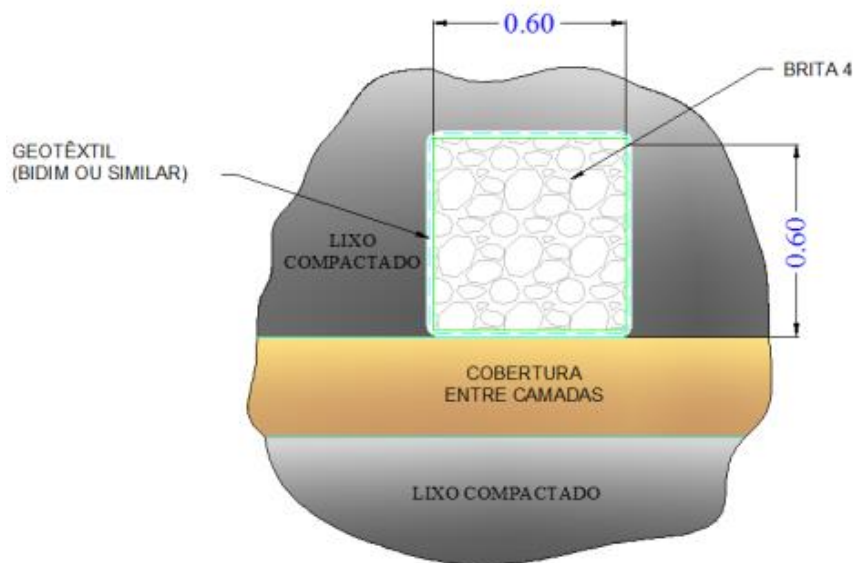


Figura 5.15 – Caixa de recepção do sistema de drenagem (Doré Engenharia, 2016).

5.2.1.4. Sistema de drenagem das águas pluviais

É realizado por drenagem sobre as camadas de resíduos em operação, proteção de bermas e taludes, dispositivo de descida, canais receptores e caixa de dissipação e sedimentação. Esse sistema é responsável por coletar as águas pluviais precipitadas na área do aterro.

5.2.1.5. Sistema de drenagem de gás nas células de resíduos

O sistema de drenagem de gás é constituído por tubos de PEAD com diâmetro de 160 mm perfurados envoltos por brita nº 4 ou de rachão contida por uma tela metálica atravessando verticalmente todo o aterro, desde a base até acima da cota da camada de cobertura. Os drenos verticais foram dispostos cerca de 50 m de distância uns dos outros e interligados pelos drenos de drenagem de lixiviado, na base do aterro e em cada camada de forma a estabelecer caminhos alternativos à remoção dos gases gerados no maciço.

A eficiência de coleta do biogás gerado pode chegar a 80% do total gerado. Nas terminações dos drenos verticais, foram instalados dispositivos de queima para os gases coletados, evitam que esses sejam lançados para a atmosfera. Esse dispositivo tem eficiência de queima de 98 a 99% do metano. Na Figura 5.16, ilustra-se o dreno vertical capaz de realizar a captação dos gases gerados pelos resíduos depositados no aterro sanitário de Maringá.



Figura 5.16 – Sistema de drenagem de gás (Doré Engenharia, 2016).

5.2.2. Projeto do Aterro Sanitário Intermunicipal para os Municípios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim

5.2.2.1. Caracterização da área de implantação

Foram realizadas 16 sondagens SPT, em seguida, para regularização da base do aterro foram realizadas escavações. O corte realizado do solo local tem material predominantemente siltoso de 1ª categoria, o qual está ilustrado na Figura 5.17. Os taludes internos, perimetrais a vala, terão altura variável entre 10 metros e 7 metros e inclinação 1,0 (H):1,0 (V). A base da escavação tem declividade mínima de 2%. O talude externo tem inclinação 2,0 (H):1,0 (V) entre bermas de 5 metros de largura. A espessura da camada de resíduos compactada é de, no máximo, 0,20 m (Ambconsult Ltda, 2020b).



Figura 5.17 - Material de 1ª categoria (Rossi, 2018).

5.2.2.2. Sistema de Impermeabilização

O sistema de impermeabilização do solo é implantado em toda base do aterro, sendo composto por um conjunto de camadas com utilização de 0,60 m de espessura de solo compactado com baixa permeabilidade, sendo coberto pela geomembrana de PEAD de 2,0 mm de espessura, texturizada em ambas as faces e 0,50 m de solo compactado implantada sobre a geomembrana.

5.2.2.3. Sistema de drenagem de lixiviado (chorume) na Fundação

Assim como nos projetos anteriores, o lixiviado gerado é drenado por meio de um sistema composto de drenos instalados na base do aterro e, drenos verticais, drenos horizontais e drenos subsuperficiais, instalados na massa de resíduos.

Os drenos subsuperficiais têm configuração tipo espinha de peixe, os quais são implantados com declividade de 2%, sobre a camada do sistema de impermeabilização. Em seguida, os drenos verticais foram executados, os quais promoveram a interligação entre os drenos horizontais e drenos de base, fazendo assim, a coleta de gás e percolato transportando-os aos drenos verticais. Na Figura 5.18, expõe-se o projeto do sistema de drenagem de lixiviado na fundação.

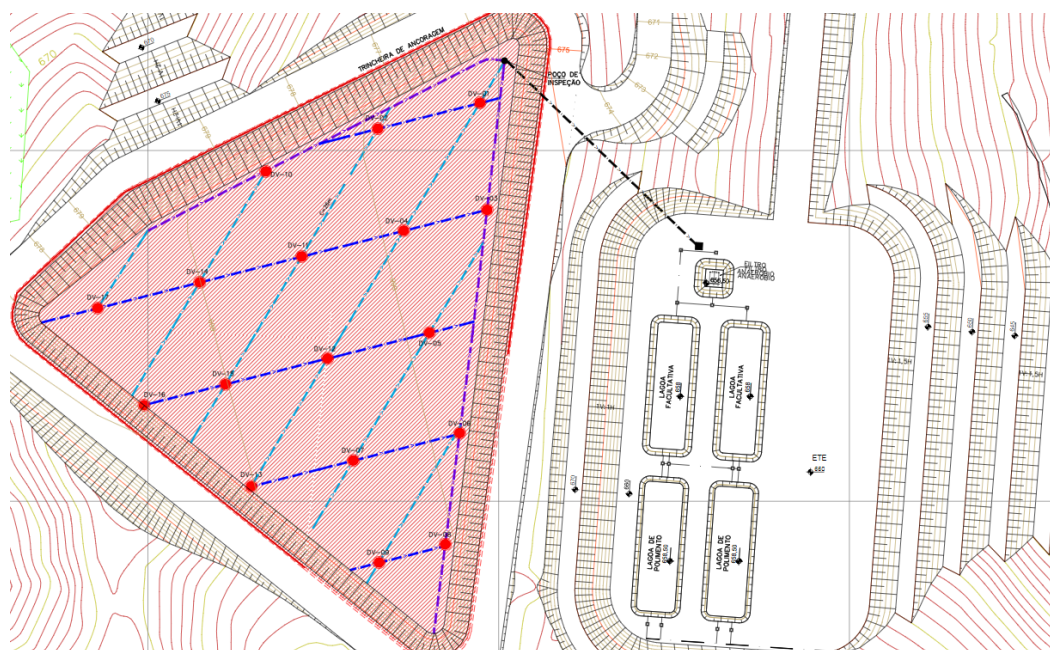


Figura 5.18 - Sistema de drenagem de lixiviado (Ambconsult Ltda, 2020a).

Os drenos principais são constituídos de um tubo envolvido por material drenante envolto por geotêxtil não tecido, instalado sobre o solo de proteção mecânica. O material drenante realizado em brita nº 4, envolto por geotêxtil de poliéster, não tecido. O tubo de dreno é de polietileno de alta densidade, com exterior corrugado e parede interior lisa, com diâmetro de 150 mm. Na Figura 5.19, ilustra-se o geotêxtil de poliéster não tecido, assim como o tubo utilizado, e o material drenante que o envolve.



Figura 5.19 - Manta geotêxtil não tecido, tubo e material drenante (Diprotec, 2021).

Os drenos secundários são interligados aos drenos principais e drenos coletores, constituídos de material drenante em brita nº 4, envolvido por geotêxtil de poliéster, não tecido, instalados sobre o sistema de impermeabilização.

Os drenos coletores constituídos por tubo de dreno PEAD de diâmetro 200 mm com exterior corrugado e parede interior lisa, envolto por brita nº 4 e envolvida por geotêxtil de poliéster instalado sobre o sistema de impermeabilização.

A caixa de passagem foi implantada no interior do aterro, no ponto baixo da base impermeabilizada, é feita com concreto armado e anéis com diâmetro 1500 mm, além de ser envolvida por trincheira de brita na parte inferior. O emissário foi instalado com tubos

maciços de parede lisa, de PEAD PN-12,5, com diâmetro de 215 mm, com declividade mínima de 2%.

5.2.2.4. Sistema de drenagem das águas pluviais

O sistema de drenagem é composto por elementos hidráulicos capazes de promover a captação, o encaminhamento e a descarga adequada das águas pluviais que incide na área do projeto. Esses elementos consistem, em especial, nos taludes de corte ou de aterro de solo compactado, compostos por canaletas meia cana, pré-moldadas em concreto para drenagem dos taludes e bermas, assim como descidas revestidas com manta de gabião. Na Figura 5.20, expressa-se o sistema de drenagem das águas pluviais projetado.

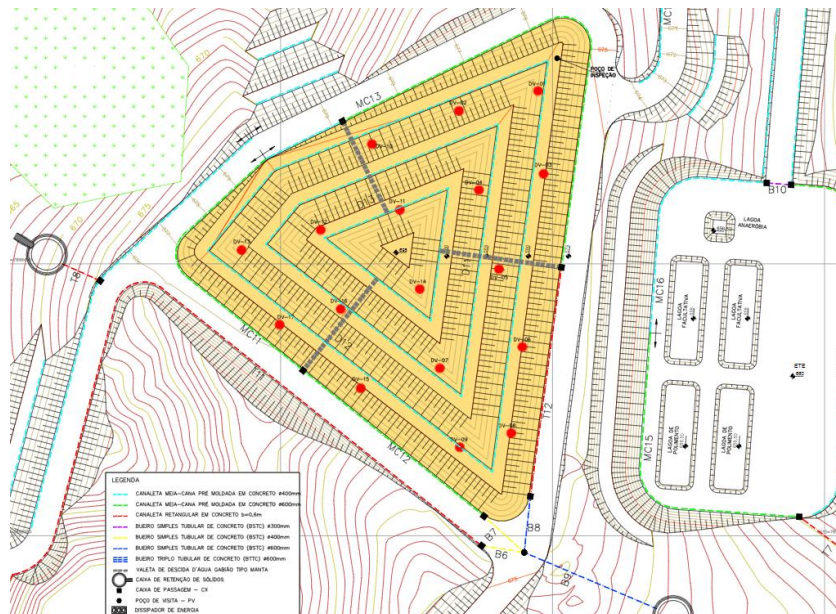


Figura 5. 20 - Sistema de drenagem de águas pluviais (Ambconsult Ltda, 2020c).

5.2.2.5. Sistema de drenagem de gás nas células

O sistema de drenagem de gás é constituído por tubos de rachão contida por uma tela metálica tipo Telcom com diâmetro de 1,2 m atravessando verticalmente todo o aterro, desde a base até acima da cota da camada de cobertura. No interior dos tubos de rachão existem tubulações perfuradas, de concreto tipo PA2 com diâmetro de 400 mm.

5.2.3. Comparação entre os Projetos Geotécnicos do Aterro Sanitário de Maringá, de Brasília e Intermunicipal para os municípios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim

A fim de realizar um melhor estudo do Aterro Sanitário de Brasília, fez-se comparações entre os projetos geotécnicos dos aterros de Maringá e intermunicipal para os municípios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim. Sendo assim, a camada de resíduos do ASB é de, aproximadamente, 0,30 a 0,60 m de espessura e a camada de solo para cobertura de, aproximadamente, 0,20 m de espessura. Já no Aterro de Maringá, as camadas de resíduos são de 0,30 a 0,40 m de espessura, as quais são recobertas com uma camada de, aproximadamente, 0,30 m de solo compactado. Entretanto, o Aterro Intermunicipal tem sua camada de resíduos compactada de espessura, no máximo, 0,20 m. Acredita-se que, para camadas de resíduos com maior espessura, ocorra uma maior geração de lixiviado e gases provenientes da degradação dos resíduos, além de proporcionar um aumento nos recalques, fazendo com que seja necessário um sistema de drenagem desse composto muito eficiente para a não ocorrência de acúmulo de percolado no maciço.

No sistema de impermeabilização, no aterro de Maringá e Intermunicipal, temos as mesmas estruturas com geomembrana PEAD sobreposta em uma camada de solo compactado e sobre a geomembrana tem-se uma camada de solo de 0,60 m de solo compactado. Entretanto, no Aterro de Brasília, a camada de solo compactado abaixo da manta possui uma espessura maior que nos outros aterros analisados, sendo de 1,50 m. Esse fato pode ser explicado devido à existência de grande quantidade de águas subterrâneas no DF. Uma maior espessura da camada de solo auxilia na impermeabilização, evitando a ocorrência de contaminação das águas subterrâneas caso ocorra vazamentos do percolado.

O sistema de drenagem dos aterros intermunicipal e de Maringá tem-se a mesma configuração do tipo “espinha de peixe”, já o Aterro Sanitário Oeste, na primeira etapa tem sua configuração do tipo “espinha de peixe”, entretanto, devido ao entupimento dos drenos teve sua configuração mudada para o tipo “colchão drenante”. Acredita-se que a configuração “espinha de peixe” teve seu entupimento devido a distância entre os drenos ou dimensionamento inadequado, sendo assim, acredita-se que o tipo de configuração não está associado à obstrução dos drenos.

Em relação ao sistema de águas pluviais, não foi possível realizar comparações devido a insuficiência de informações dos projetos dos aterros de Maringá e intermunicipal de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim.

No sistema de drenagem de gás nas células do aterro intermunicipal, têm-se estruturas tubulares com diâmetro de 1,2 m, de material rachão, envoltos por tela metálica tipo Telcom, e em seu interior possui tubulação perfurada de concreto do tipo PA2 com diâmetro de 400 mm. No aterro de Maringá, o sistema é constituído por tubos de PEAD com diâmetro de 160 mm perfurados envoltos por brita nº 4 ou de rachão envolvido por tela metálica. Já no Aterro Sanitário de Brasília tem-se tubos de concreto armado de 400 mm de diâmetro, perfurados, envoltos por material granular e por tela metálica, com diâmetro final de 1,60 m. Em todos os projetos de sistema de drenagem vertical atravessa todas as camadas do aterro, desde a base até acima da cota da camada de cobertura. Acredita-se que, as características encontradas em cada projeto estão de acordo com a escolha de cada projetista e, portanto, adequadas aos casos específicos.

Ressalta-se que, a renda per capita e a população de cada cidade influenciam, diretamente, na composição dos resíduos. Sendo assim, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a população estimada para Brasília em 2021 é de 3.094.325 habitantes, Maringá é de 436.472 habitantes e, juntas, Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim, é de 25.479 habitantes. Possibilitando características específicas para cada aterro sanitário.

Na Tabela 5.4, expressam-se comparações entre os projetos dos aterros de Brasília, Maringá e Intermunicipal.

Tabela 5.4 - Comparação entre os projetos dos aterros.

		Aterro Brasília	Aterro Maringá	Aterro Intermunicipal
Estimativa da População (2021)	(habitantes)	3.094.325	436.472	25.479
Caracterização da área de implantação	Camada de Resíduos (espessura)	0,30 a 0,60 m	0,30 a 0,40 m	0,20 m
	Inclinação do corte do terreno	Não informado	1,0 (H):1,0 (V)	1,0 (H):1,0 (V)
Sistema de impermeabilização	Solo compactado (espessura)	1,50 m	0,60 m	0,60 m
	Geomembrana de PEAD (espessura)	2 mm	2 mm	2 mm
	Solo sobre a Geomembrana (espessura)	0,50 m	0,50 m	0,50 m
Sistema de drenagem de percolado	Configuração drenos de base	Etapa 1: Espinha de Peixe Etapa 2: Colchão Drenante	Espinha de Peixe	Espinha de Peixe
	Declividade	3,5% S-N e 0,7% E-W	2%	2%
Sistema de drenagem de gás nas células	Tubulação	Tubos de concreto armado com diâmetro de 400 mm	Tubos de PEAD com diâmetro de 160 mm	Tubos de concreto tipo PA2 diâmetro de 400 mm
	Características	Tubos envolvidos por material granular e por tela metálica com diâmetro de 1,60 m	Tubos envoltos por brita nº 4 ou de rachão envolto com tela metálica	Tubos de rachão envolto de tela metálica com diâmetro de 1,2 m

6. CONCLUSÃO

Em meados de 1960, houve a criação do Lixão da Estrutural, responsável pela destinação dos resíduos gerados em todo o Distrito Federal. Esse local, durante vários anos, recebeu todo tipo de resíduo, como recicláveis, de construções civil e orgânicos. Além disso, vários acidentes com catadores de materiais recicláveis foram constatados e, também, a situação de insalubridade causada por grande quantidade de animais vetores de doenças e deposição inadequada de resíduos hospitalares no local.

Ainda que os prejuízos causados aos seres humanos sejam de grande proporção, há, também, os danos ambientais causados pelo lixiviado produzido pela degradação dos resíduos, ocasionando a contaminação do solo e das águas subterrâneas, decorrente do despreparo do local destinado ao armazenamento desses resíduos, fazendo com que houvesse grande preocupação por parte dos órgãos responsáveis.

A desativação do Lixão da Estrutural tornou a implantação do Aterro Sanitário de Brasília um grande marco para a história do Distrito Federal, devido o sancionamento da Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 e, além de, ser localizado em capital nacional. Dessa forma, os resíduos gerados pela população do DF passaram a ter uma destinação final ambientalmente adequada e os catadores a terem condições melhores para execução da coleta, evitando doenças decorrentes do trabalho realizado. Essas tratativas fizeram com que as expectativas fossem as melhores e maiores possíveis, trazendo grandes esperanças quanto a redução de resíduos gerados.

Entretanto, as expectativas foram reduzidas após o acidente de vazamento de lixiviado do aterro. Constatou-se que, possivelmente, ocorreram erros no projeto, como baixa declividade no sistema de drenagem de lixiviado, subdimensionamento da seção transversal dos drenos, distância inadequada entre os drenos principais e os secundários, entre outros. Além de, uma possível deposição de material atípico no aterro, ocorrendo deslocamento horizontal do maciço e vazamento de lixiviado no talude da segunda camada, com possível acúmulo do lixiviado na base do talude. Ressalta-se, também, as metas para redução dos resíduos não atingidas.

Ao constatar a eventualidade do ASB, tal evento pode ser utilizado como exemplo para evitar futuras ocorrências, e, desta forma, comparou-se os projetos dos aterros de Maringá, Brasília e Intermunicipal dos municípios de Conceição do Mato Dentro,

Alvorada de Minas e Dom Joaquim. Sendo assim, as principais diferenças encontradas nos aterros foram na camada de resíduos, sistema de impermeabilização, de drenagem de lixiviado e de gás nas células.

Na camada de resíduos, as diferenças encontradas são relativas à espessura das camadas para cada aterro sanitário. Acredita-se que, camadas de resíduos muito espessas gerem uma maior quantidade de lixiviado, fazendo com que seja necessário um sistema de drenagem desse composto muito eficiente para a não ocorrência de acúmulo de percolato no maciço.

No sistema de impermeabilização, o ASB possui espessura da camada de solo da impermeabilização maior do que comparado aos outros aterros. A maior espessura da camada de solo auxilia na impermeabilização, evitando a ocorrência de contaminação das águas subterrâneas, caso ocorra vazamentos do percolato. Sabe-se que, a região do DF possui grande área de águas subterrâneas, fazendo assim válida a maior espessura.

Já no sistema de drenagem de lixiviado, o projeto do Aterro de Brasília teve o tipo de configuração alterado, na primeira etapa foi utilizado o tipo espinha de peixe, assim como nos outros aterros, para as próximas etapas do ASB passou a ser do tipo colchão drenante, devido ao entupimento dos drenos. Entretanto, considera-se que a obstrução foi ocasionada pela distância entre os drenos ou dimensionamento inadequado, não tendo relação com o tipo de configuração.

As distinções encontradas no sistema de drenagem de gás podem ser associadas as características encontradas em cada projeto, sendo de acordo com a escolha de cada projetista. No entanto, deve-se considerar que, os resíduos gerados possuem características específicas da população de cada cidade, um dos critérios para a composição dos resíduos é a renda per capita da população da cidade, influenciando diretamente na análise gravimétrica dos resíduos, fazendo com que cada aterro sanitário tenha características próprias.

Espera-se que para futuros aterros na região, ocorra a análise do projeto atual, com atenção as problemáticas, principalmente, ao sistema de drenagem de lixiviado e gás nas células, a fim de impedir a ocorrência de eventual acidente em um aterro subsequente. Assim como, implantar programas efetivos com a finalidade de redução de resíduos, incentivando a realização de compostagem dos resíduos orgânicos e a coleta seletiva com

os resíduos recicláveis. E, também, realizar a comparação com outros aterros da mesma proporção que o Aterro Sanitário de Brasília, a fim de proporcionar a solução de possíveis problemáticas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. *NBR n° 10004. Resíduos sólidos - Classificação*. 2004. p. 77.

ABNT. *NBR n° 13896. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. 1997. p. 12.

ABNT. *NBR n° 8419. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. 1992. p. 7.

ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020*. Brazilian Association of Public Cleaning and Special Waste - ABRELPE, p. 51, 2020a. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>

ABRELPE. *Recomendações ABRELPE para a Gestão de Resíduos Sólidos Durante a Pandemia de Coronavírus (COVID-19)*. Brazilian Association of Public Cleaning and Special Waste - ABRELPE, p. 1–5, 2020b. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/abrelpe-no-combate-a-covid-19/>

AMBCONSULT LTDA. *Planta de Drenagem de Lixiviado*. 2020a. Disponível em: <https://angloamerican.app.box.com/s/ld9kwpqmqjvxehjm6a2gmpktsa42umfzz/file/696473606246>

AMBCONSULT LTDA. *Projeto do Aterro Sanitário Intermunicipal para os Municípios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim*. 2020b.

AMBCONSULT LTDA. *Sistema de Drenagem de Águas Pluviais*. 2020c. Disponível em: <https://angloamerican.app.box.com/s/ld9kwpqmqjvxehjm6a2gmpktsa42umfzz/file/696479437621>

BRASIL. *Consulta pública sobre norma de referência para contribuir para o fim dos lixões se encerra em 18 de abril*. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/consulta-publica-sobre-norma-de-referencia-para-contribuir-para-o-fim-dos-lixoes-se-encerra-em-18-de-abril>.

BRASIL. *Decreto n° 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei n° 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências*. 2010a. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm

BRASIL. *Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.*

2010b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm

BRASIL. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico.* Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. 2020. Disponível

em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm

CARVALHO, Eraldo Henriques de; PFEIFFER, Simone Costa. *Estudo das Causas do Entupimentos de Lixiviados do Aterro Sanitário de Brasília.* Núcleo de Resíduos Sólidos e Líquidos, p. 78, 2019.

CARVALHO, Moises Naves. *Estudo da Biorremediação in situ para Tratamento de Solos e Aquíferos contaminado com percolado de chorume.* Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, 1997.

CAVALCANTI, Marcio Maciel. *Aplicação De Métodos Geométricos no delinamento da pluma de contaminação nos limites do aterro controlado do Jockey Clube de Brasília.* Dissertação (Mestrado), p. 111, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/13449>

COMARES UCV. *Lixões persistem no Brasil, ignorando Legislação Federal.* 2019. Disponível em: <http://comaresucv.com.br/lixo-resiste-no-brasil-ignorando-legislacao/>.

CONAMA. *Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos e informações para a coleta seletiva.* 2001. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-275-2001_96897.html

CONSÓRCIO SAMAMBAIA AMBIENTAL. *Projeto Executivo da 2ª Etapa do ASB.* n. 25409819, p. 227, 2019.

CORREIA, Beatriz. *Examinando: por que lixões são tão preocupantes quanto uma*

pandemia. 2020. Disponível em:
<https://exame.com/videos/examinando/examinando-por-que-lixoes-sao-tao-preocupantes-quanto-uma-pandemia/>.

DIPROTEC. *Manta Geotêxtil Não Tecido*. 2021. Disponível em:
<https://www.diprotec.com.br/produto/manta-geotextil-nao-tecido/>

DORÉ ENGENHARIA. *Ambiental Sul Brasil Central Regional de Tratamento de Resíduos Ltda (CRTR Ambiental Sul)*. 2016.

EMPRESA CEPOLLINA. *Relatório Final para Elaboração do Projeto Executivo de Implantação da Primeira Etapa do Novo Aterro Sanitário e Projeto Básico das Demais Infraestruturas de Apoio da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos do Distrito Federal*. 2012. Seção São Paulo, SP, p. 268.

EUFRÁSIO, Jéssica; BERNARDES, Adriana. *Pandemia causou impacto na reciclagem do Distrito Federal*. 2020. Disponível em:
<https://www.correiobraziliense.com.br/cidades-df/2020/09/4876601-pandemia-causou-impacto-na-reciclagem-do-distrito-federal.html>.

FUZEIRA, Victor. *Chorume de Aterro Sanitário de Brasília vaza e atinge córrego Melchior*. 2019. Disponível em: <https://www.metropoles.com/distrito-federal/meio-ambiente/chorume-de-aterro-sanitario-de-brasilia-vaza-e-atinge-corrego-melchior#:~:text=Relatório do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito,ocorridos na última segunda %2828%2F1%29 e terça-feira %2829%29>.

GDF. *Decreto nº 32.922, de 10 de maio de 2011. Institui o Comitê Intersetorial para elaborar e acompanhar a implantação das ações destinadas a execução dos planos de resíduos sólidos no âmbito do Distrito Federal e entorno, e dá outras providências*. 2011.

GDF. *Decreto nº 37.130, 19 de fevereiro de 2016. Aprova o Plano de Intervenção para encerramento das atividades irregulares no Aterro Controlado do Jóquei elaborado pelo Grupo de Trabalho instituído pelo Decreto nº 36.437, de 02 de abril de 2015*. 2016a.

GDF. *Decreto nº 37.568, de 24 de agosto de 2016.Regulamenta a Lei nº 5.610, de 16 de*

fevereiro de 2016, que dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos, altera o Decreto nº 35.816, de 16 de setembro de 2014. 2016b.

GDF. Instrução Normativa nº 22 de 26 de novembro de 2020. Altera a Instrução Normativa nº 89, de 23 de setembro de 2016, que regulamenta os procedimentos no âmbito do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal e dispõe outras providências. 2020a.

GDF. Instrução Normativa nº 36, de 25 de maio de 2015. Dispõe sobre o acesso à área do lixão do Jóquei. 2015.

GDF. Lei nº 4.329, de 05 de junho de 2009. Dispõe sobre a proibição da queima de restos vegetais e lixo no território do Distrito Federal. 2009.

GDF. Lei nº 4.518, de 5 de Novembro de 2010. Dispõe sobre a denominação, a finalidade, as competências e a reestruturação administrativa do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal – SLU/DF e dá outras providências. 2010.

GDF. Lei nº 4.818, de 27 de abril de 2012. Dispõe sobre a proibição de descartar resíduos sólidos em área não destinada a depósito ou coleta, no âmbito do Distrito Federal, e dá outras providências. 2012.

GDF. Lei nº 5.312, de 18 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a utilização obrigatória de papel reciclado pelos órgãos e entidades da Administração Pública Direta e Indireta do Distrito Federal. 2014a.

GDF. Lei nº 5.418, de 24 de novembro de 2014. Dispõe sobre a Política Distrital de Resíduos Sólidos e dá outras providências. 2014b.

GDF. Lei nº 6.484, de 14 de janeiro de 2020. Altera a Lei nº 5.610, de 16 de fevereiro de 2016, que dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências. 2020b.

GDF. Lei nº 6.518, de 12 de março de 2020. Dispõe sobre a obrigatoriedade de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos no Distrito Federal por processos biológicos. 2020c.

GDF. Lei nº 6.615, de 04 de junho de 2020. Dispõe sobre a coleta de resíduos sólidos nos

condomínios horizontais pelo Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal – SLU e dá outras providências. 2020d.

GDF. *Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.* p. 1–797, 2018. Disponível em: www.so.df.gov.br

GIMENES, Erick; HISING, Ederson. *Aterros sanitários, aterros controlados e lixões: entenda o destino do lixo no Paraná.* 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/2017/08/01/aterros-sanitarios-aterros-controlados-e-lixoes-entenda-o-destino-do-lixo-no-parana/>.

IBGE. *Dados populacionais.* 2021. Disponível em: <https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/>.

IBRAM-DF. *Parecer Técnico SEI-GDF n.º 93/2019 - IBRAM/PRESI/SULAM/DILAM-III* 2018. Seção 6810252, p. 1–4. Disponível em: http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/04/Parecer-Técnico-SEI-GDF-n.º-93.2019-IBRAM.PRESI_.SULAM_.DILAM-III.pdf

MENDONÇA, Daiane Dos Santos Mamede; ZANG, Warde Antonieta da Fonseca; ZANG, Joachim Werner. *Efeitos e danos ambientais da disposição de resíduos sólidos na área do lixão e aterro controlado no município de Inhumas-GO.* Caderno de Geografia, v. 27, n. 50, p. 486, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27n50p486>

MONTAGNER, Paulo Renato dos Santos. *Avaliação do potencial de uso do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica.* Trabalho de Conclusão de Curso, p. 79, 2021.

MONTEIRO, José Henrique Penido *et al.* *Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.* Rio de Janeiro: IBAM. p. 200, 2001. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>

NASCIMENTO, Júlio César Fialho do. *Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos São Carlos.* Dissertação (Mestrado), p. 160, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-10082007-132150/publico/DissertacaoJulio.pdf>

- OBLADEN, Nicolau; OBLADEN, Neiva; BARROS, Kelly. *Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos*. Série de Publicações Temáticas do CREA-PR, v. II, p. 64, 2009. Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/Publicações-Temáticas-Guia-para-Elaboração-de-Projetos-de-Aterros-Sanitários-para-Resíduos-Sólidos-Urbanos-Volume-II.pdf>
- ONU BRASIL. *Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia Mundial*. 2018. Disponível em: <https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2018/10/02/147075-humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial.html>.
- PÁDUA, Samira. *Aterro Sanitário de Brasília começa a funcionar*. 2017. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2017/01/17/aterro-sanitario-de-brasilia-comeca-a-funcionar/>.
- PINTO, Breno Agostini de Matos. *A Importância dos Sistemas de Drenagem em Aterros Sanitários*. 2019. Disponível em: <https://www.marcaambiental.com.br/a-importancia-dos-sistemas-de-drenagem-em-aterros-sanitarios/>.
- POLZER, Veronica. *O desafio das cidades: aterro sanitário x incinerador com geração de energia (wte)*. Geo Temas, v. 3, n. 2(3), p. 3–19, 2013. Disponível em: <http://periodicos.uern.br/index.php/geotemas/article/viewFile/675/543>
- POSSAMAI, Fernando Pagani *et al.* *Lixões inativos na região carbonífera de Santa Catarina: análise dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente*. Ciência & Saúde Coletiva, v. 12, p. 171–179, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/csc/v12n1/16.pdf>
- REGIONAL NEWS. *Você sabe a diferença entre aterro, lixão e aterro controlado*. 2015. Disponível em: <https://rnews.com.br/voce-sabe-a-diferenca-entre-aterro-lixao-e-aterro-controlado.html>.
- ROSSI, Fabrício. *O que são materiais de 1º, 2º e 3º Categorias, Passo a Passo!*. 2018. Disponível em: <https://pedreiroao.com.br/o-que-sao-materiais-de-1-2-e-3-categorias-passo-a-passo/>.

SLU-DF. *Plano de Transição entre o Encerramento das Atividades Irregulares do Aterro Controlado do Jóquei e a Destinação Final dos Resíduos no Aterro Sanitário de Brasília*. 2017.

SLU-DF. *Relatório Anual de Atividades 2018*. 2018. p. 115. Disponível em: http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/relatorio_anual_de_atividades_slu_2017_final.pdf

SLU-DF. *Relatório Anual de Atividades 2019*. 2019. p. 188. Disponível em: <http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/04/RELATORIO-ANUAL-2019.pdf>

SLU-DF. *Relatório Semestral de Atividades 2021*. p. 126, 2021.

SLU – DF. *Relatório Anual de Atividades 2020*. p. 196, 2020. Disponível em: <http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2021/03/RELATORIO-ANUAL-2020.pdf>