

RECOMENDAÇÃO IGSR BRASIL – Pr IGSR 004:2014 APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS EM ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

APRESENTAÇÃO

- 1) Este Projeto de Recomendação IGSR Brasil foi elaborado pelo GT Rec 004 Emprego de Geossintéticos em áreas de disposição de resíduos nas reuniões de:

21.05.2014	19.08.2014	16.09.2014	21.10.2014	18.11.2014	09.12.2014
24.02.2015	17.03.2015	14.04.2015	12.05.2015		

- 2) GT aprovado pelo Conselho Diretor da IGSR Brasil na reunião de 12/06/2012;
3) Não tem valor normativo;
4) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória;
5) Este Projeto de Recomendação será diagramado conforme as regras de editoração da IGSR Brasil quando de sua publicação como Recomendação.
6) Tomaram parte na elaboração deste Projeto com participação presencial:

Instituição/Empresa	Representantes		
BRASKEM	Celso Luiz Lotti	Marcial Cesar Vieira	
CONSULTOR	Indiara Giugni		
FACENS	Karina Leonetti	Francisco A. Alencar	
ENGEPOL	Andréia Machado		
HUESKER	Emilia M. Andrade		
ITA	Delma Vidal		
LABORCONTROL	Paloma de Haro		
MACCAFERRI	Daniele Martin Ojea	Paulo Rocha	
MEXICHEM/BIDIM	Demetrius Guimarães Luis Flavio de Barros	Claudilene Carvalho Hilton Tardivel	Cynthia Santana Natália F L da Silva
NEOPLASTIC	Daniel Moreno Meucci	Daiani O M Santos	
NORTENE	Francisco A.L. Bastos		
OBER SA	Vinícius Benjamim	Antonio Carlos de Lima	
ROMA	Hersio Ranzani Jr	Marcos Fernando Leme	
SANSUY	Carlos Fonseca		
TRI	Julio Ferreira		
USP	Jefferson Lins da Silva		

- 7) Tomaram parte na elaboração deste Projeto com participação via email:

Participante	Instituição/Empresa	Participante	Instituição/Empresa
Natalia Correia	USP	Maria das Graças Gardoni	UFMG
Fernando Portelinha	UFSCarlos		

RECOMENDAÇÃO IGSR BRASIL – Pr IGSRB 004:2014

APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS EM ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

Conteúdo

Introdução.....	5
1 Escopo.....	6
2 Referências normativas e recomendações.....	6
3 Termos, definições e abreviações.....	7
3.1 Termos e definições.....	7
3.1.1 Cobertura diária.....	7
3.1.2 Cobertura temporária.....	7
3.1.3 Dispositivo de controle de erosão superficial.....	7
3.1.4 Dispositivo de drenagem.....	7
3.1.5 Dispositivo de estanqueidade.....	8
3.1.6 Dispositivo de proteção mecânica.....	8
3.1.7 Dreno testemunho.....	8
3.1.8 Sistema de confinamento do resíduo (SCR).....	8
3.1.9 Sistema de drenagem interna (SDI).....	8
3.1.10 Sistema de revestimento de cobertura definitivo (SRC).....	8
3.1.11 Sistema de revestimento de fundo (SRF).....	9
3.2 Funções e tipos.....	9
3.3 Símbolos utilizados.....	9
3.3.1 Geossintéticos.....	9
3.3.2 Outros materiais.....	10
3.3.3 Dispositivos.....	10
4. Aspectos relevantes dos resíduos.....	11
4.1 Introdução.....	11
4.2 Resíduos com matéria orgânica.....	11
4.3 Resíduos de mineração.....	12
4.3 Resíduos industriais.....	12
5 Aspectos gerais da concepção dos sistemas com geossintéticos.....	13
5.1 Introdução.....	13
5.2 Peculiaridades.....	13
5.2.1 Complexidade do tema.....	13
5.2.2 Durabilidade.....	15
5.2.3 Aspectos relativos às barreiras geossintéticas argilosas (GCL).....	15
5.3 Cuidados associados às diversas fases do processo.....	16
5.3.1 Fase de construção e implantação.....	16
5.3.2 Fase de operação.....	16

5.3.3 Fase de encerramento	16
5.4 Sequência geral da concepção do projeto	16
6. Composição dos sistemas e dispositivos com geossintéticos	18
6.1 Introdução	18
6.2 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Revestimento de Fundo (SRF)	18
6.2.1 Objetivos e características gerais de um SRF	18
6.2.2 Componentes de um SRF	19
6.2.3 Princípio básicos dos SRF	19
6.2.4 Cuidados especiais	20
6.3 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Revestimento de Cobertura (SRC)	21
6.3.1 Objetivos e características gerais de um SRC	21
6.3.2 Componentes de um SRC	21
6.3.3 Cuidados especiais	22
6.4 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Drenagem Interna (SDI)	22
6.4.1 Objetivos e características gerais de um SDI	22
6.4.2 Componentes de um SDI	23
6.4.3 Cuidados especiais	23
6.5 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR)	23
6.5.1 Objetivos e características gerais de um SCR	23
6.5.2 Componentes de um SCR	24
6.5.3 Cuidados especiais	24
6.6 Concepção e escolha dos dispositivos de estanqueidade	24
6.6.1 Dispositivo de Estanqueidade de Fundo (DEF) – Tipos e cuidados especiais	24
6.6.2 Dispositivo de estanqueidade de cobertura (DEC) – Tipos e cuidados especiais	27
6.7 Concepção e escolha dos dispositivos de drenagem	27
6.7.1 Tipos e composição	27
6.7.2 Cuidados especiais	27
6.8 Concepção e escolha dos dispositivos de proteção	28
6.8.1 Tipos e composição	28
6.8.2 Cuidados especiais	28
6.9 Concepção e escolha dos dispositivos de controle de erosão superficial (DCE)	29
6.9.1 Tipos e composição	29
6.9.2 Cuidados especiais	29
7 As diversas aplicações	30
7.1 Disposição de resíduos sólidos	30
7.1.1 Aspectos gerais da concepção	30
7.1.2 Componentes	30
7.2 Disposição de resíduos líquidos	32
7.2.2 Componentes	33
7.2.3 Disposição em tubos ou bolsas	34
7.3 Disposição de resíduos semi-sólidos	34

7.3.1	Introdução.....	34
7.3.2	Disposição para coleta de biogás	34
7.3.3	Disposição em lagoas de drenagem para desaguamento	35
7.3.4	Disposição em tubos e bolsas para desaguamento	36
8	Princípios gerais de dimensionamento dos GSY	39
8.1	Introdução	39
8.2	Ensaio de caracterização dos geossintéticos	39
8.2.1	Tipos de ensaio.....	39
8.2.2	Ensaio índice ou de caracterização do produto.....	39
8.2.3	Ensaio de desempenho sob condições específicas.....	40
8.3	Princípio da seleção do geossintético por função	40
8.4	Os métodos de dimensionamento.....	41
9	Especificação de Projeto e Garantia de Qualidade	43
9.1	Introdução	43
9.2	Cuidados na Especificação de Projeto para Seleção de produtos.....	43
9.3	Cuidados na Especificação de Projeto para a Fase Executiva	44
9.3.1	Critérios de Recepção e Aceitação	44
9.3.2	Cuidados no processo construtivo e controle de qualidade da obra	45
9.4	Controles a serem efetuados.....	45
9.4.1	Controle da camada de suporte do geossintético	45
9.4.2	Controle do geossintético	46
9.4.3	Controle da instalação	46
9.4.4	Controle do material granular ou outros materiais usados na camada superior	47
9.4.5	Controle da documentação escrita	47
	Referências Bibliográficas	48

Introdução

Esta recomendação tem por objetivo fornecer as informações essenciais para o uso adequado dos geossintéticos aplicados em áreas de disposição e tratamento de resíduos, e se destina aos projetistas, órgãos ambientais, aos responsáveis pela fiscalização e controle de qualidade, instaladores de geossintéticos, operadores e a qualquer profissional que possa tomar decisões ou julgar projetos relacionados à esta aplicação.

NOTA: O termo resíduo utilizado neste documento engloba os conceitos de resíduos e rejeitos.

Esta recomendação considera os resíduos urbanos, industriais e de mineração, e aplica-se particularmente nos seguintes casos:

- Implantação de novas áreas de disposição de resíduos ou rejeitos,
- Ampliação de áreas de disposição de resíduos/rejeitos existentes,
- Encerramento de áreas de disposição de resíduos/rejeitos
- Cobertura de lixões
- Implantação de depósitos de rejeitos de mineração
- Implantação de lagoas de disposição de rejeitos líquidos e lodos
- Desaguamento de lodos e sedimentos contaminados
- Biodigestores.

Esta recomendação deve ser aplicada lembrando que:

- (a) Qualquer que seja a natureza de um elemento de estanqueidade não existe uma barreira absoluta. O objetivo dos sistemas de revestimento é de reduzir consideravelmente o transporte de contaminantes em direção ao exterior da área de disposição, buscando minimizar impactos ambientais que poderiam ser causados por reações químicas locais ou pelo fluxo de líquidos e gases eventualmente presentes ou gerados na massa de resíduo disposta.
- (b) O problema é complexo, e envolve frequentemente solicitações mecânicas (p.ex. recalques, tração e compressão dos elementos), solicitações físico-químicas (p.ex. temperatura, agressividade do lixiviado), produção de gás, Vida de Serviço Requerida para os componentes geossintéticos bastante elevada, e dificuldade de intervenção no revestimento de fundo após o início da disposição.

Um projeto bem concebido deve selecionar e especificar os geossintéticos levando em conta todas as solicitações, restrições e particularidades de construção, operação e encerramento inerentes à aplicação.

Para atender as necessidades de projetos para áreas de disposição de resíduos conjuntos com diversos componentes são considerados. Este texto considera três grandes classes de componentes: sistemas, dispositivos e elementos. Os sistemas são compostos por dispositivos que por sua vez são compostos por elementos.

1 Escopo

Esta recomendação especifica os aspectos relevantes do emprego de geossintéticos em áreas de disposição de resíduos, considerando resíduos urbanos, industriais e de mineração, com o objetivo de:

- Definir os sistemas e dispositivos contendo geossintéticos e as funções dos seus componentes.
- Informar sobre os principais aspectos relacionados aos sistemas de revestimento e drenagem empregando geossintéticos.
- Orientar na consideração dos aspectos dos resíduos susceptíveis de afetar a durabilidade dos sistemas com geossintéticos.

Esta recomendação apresenta os aspectos relevantes a serem considerados para a correta concepção dos sistemas de revestimento e drenagem utilizando geossintéticos, incluindo os cuidados na escolha dos geossintéticos, sua instalação e o controle de qualidade. Esta recomendação não contempla os sistemas de estabilização mecânica interna e externa do resíduo.

Esta Recomendação é de caráter geral e não substitui normas técnicas ou regulamentos nacionais, ou quaisquer outros documentos emitidos sob a responsabilidade de órgãos governamentais da área ambiental ou não.

2 Referências normativas e recomendações

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento.

NBR ISO	10318	Termos e definições
NBR	16199	Geomembranas termoplásticas – Instalação em obras geotécnicas e de saneamento ambiental
NBR	10004	Resíduos sólidos - classificação
IGSBR ¹	002-1	Características requeridas para o emprego de geossintéticos – Parte 1: Geotêxteis e Produtos Correlatos.
IGSBR ¹	002-2	Características requeridas para o emprego de geossintéticos – Parte 2: Barreiras Geossintéticas
IGSBR ¹	003	Termos e definições complementares

¹ disponível em <http://www.igsbrasil.org.br>

3 Termos, definições e abreviações

3.1 Termos e definições

Este texto considera os termos definidos nas Normas NBR ISO 10318:2013, NBR 16199:2013, os definidos na Recomendação IGSRB 003:2014 e os termos apresentados neste item. Letras sublinhadas indicam termos definidos neste item.

3.1.1 Cobertura diária

É o elemento que recobre o resíduo sólido recém disposto de modo a evitar que a ação do vento ou de animais possa dispersar o material colocado. Esta cobertura também pode auxiliar na redução da infiltração de águas pluviais e da emissão de odores.

No caso de cobertura diária em barreira geossintética, ela é removida antes da colocação das novas camadas de resíduos e geralmente reutilizada ao fim do dia. No caso de cobertura diária em material particulado (solo natural, resíduos específicos ou misturas) recomenda-se que seja ao menos parcialmente removida antes da colocação das novas camadas, para não reduzir significativamente o volume disponível para os resíduos e não alterar de modo significativo o fluxo no interior do resíduo.

A fração da camada de cobertura diária incorporada à massa de resíduos dispostos deve ter sua constituição criteriosamente avaliada de modo que sua condutividade hidráulica não interfira na rápida condução dos fluidos que eventualmente percolem através do resíduo.

NOTA: A camada de cobertura diária não será objeto desta recomendação.

3.1.2 Cobertura temporária

É o elemento, ou conjunto de elementos, que recobre o resíduo sólido disposto, com a finalidade de evitar ou reduzir a infiltração da água de chuva e a saída do biogás, quando o resíduo contiver matéria orgânica. Esta camada pode ser empregada tanto em áreas que irão futuramente receber novas camadas de resíduo, quanto nos locais que já atingiram a cota de projeto, mas que não receberão a cobertura definitiva imediatamente.

Ela pode ser constituída de um simples dispositivo de estanqueidade ou compreender dispositivos de drenagem de gás, de estanqueidade e de proteção que serão incorporados ou não ao sistema de revestimento de cobertura permanente ou definitivo.

3.1.3 Dispositivo de controle de erosão superficial

Elemento ou conjunto de elementos com a função de controlar a erosão superficial das camadas de solo, geralmente aplicado sobre o sistema de revestimento de cobertura definitiva, na fase de encerramento da área de disposição, de símbolo DCE.

3.1.4 Dispositivo de drenagem

Elemento ou conjunto de elementos com a função de coletar e conduzir imediatamente os fluidos líquidos e gasosos eventualmente presentes na massa de resíduos. Eles se dividem em:

- DDG – dispositivo de drenagem de gás
- DDL – dispositivo de drenagem de lixiviado

- DDAp – dispositivo de drenagem de águas pluviais
- DDAs – dispositivo de drenagem de águas subterrâneas

Um elemento de filtro deve ser previsto no dispositivo de drenagem para reduzir o processo de colmatção física do elemento drenante, ou o elemento drenante deve ser dimensionado para exercer as duas funções (filtro e dreno).

3.1.5 Dispositivo de estanqueidade

Elemento ou conjunto de elementos com a função de barrar, desviar ou retardar o transporte de contaminantes para o meio ambiente. Eles se dividem em:

- DEC – dispositivo de estanqueidade da cobertura
- DEF – dispositivo de estanqueidade de fundo (base e taludes)

3.1.6 Dispositivo de proteção mecânica

Elemento ou conjunto de elementos com a função de proteger um determinado componente de solicitações mecânicas que possam comprometer significativamente sua função. Eles se dividem em:

- DPS – dispositivo de proteção superior
- DPI – dispositivo de proteção inferior.

Estes dispositivos são empregados para proteger o componente de solicitações provenientes dos processos de instalação, intempéries, operação e outras situações que possam ocorrer ao longo da Vida de Serviço do componente.

3.1.7 Dreno testemunho

Elemento de drenagem, inserido entre dois elementos de estanqueidade, com a finalidade de indicar aos gestores do empreendimento qualquer problema no elemento de estanqueidade superior, e que deve coletar e conduzir rapidamente (geralmente em menos de 24 horas) até o poço de controle a quantidade mínima de lixiviado detectável estabelecida em projeto.

3.1.8 Sistema de confinamento do resíduo (SCR)

É o sistema que envolve de modo contínuo o resíduo, que fica disposto em seu interior, podendo ser aplicado à resíduos líquidos ou semi-sólidos. No caso dos resíduos líquidos eles incorporam pelo menos um dispositivo de estanqueidade. No caso de resíduos semi-sólidos o mais frequente é a incorporação de um dispositivo de drenagem que facilita o seu desaguamento. O confinamento do resíduo o isola do meio ambiente em todas as interfaces e reduz significativamente a infiltração da água de chuva (mesmo no caso de sistema permeável).

3.1.9 Sistema de drenagem interna (SDI)

Sistemas de drenagem interna são os sistemas drenantes dispostos no interior do resíduo, com a finalidade de facilitar a coleta e condução rápida do biogás ou do lixiviado eventualmente produzido ou contido no resíduo.

3.1.10 Sistema de revestimento de cobertura definitivo (SRC)

É o sistema que recobre o resíduo disposto em toda interface com o ar, com a finalidade de evitar ou reduzir a infiltração da água de chuva e a eventual saída de gás, e preparar a área para uso futuro. Ele compreende dispositivos de proteção para uniformização de recalques, de drenagem de gás, de estanqueidade, de proteção e de drenagem das águas pluviais.

NOTA: Os dispositivos de estanqueidade em sistemas de revestimento de cobertura podem ter apenas a finalidade de reduzir a infiltração de águas pluviais ou podem também atuar como barreira de fluxo para o gás eventualmente gerado pelo resíduo, condição esta cada vez mais adotada quando o resíduo contém matéria orgânica, para garantir a eficiência da coleta e aproveitamento do biogás, contribuindo para redução do efeito estufa e geração de energia.

3.1.11 Sistema de revestimento de fundo (SRF)

É o sistema que reveste toda a base e taludes sobre os quais os resíduos serão dispostos, com a finalidade de reduzir a níveis aceitáveis o transporte de possíveis agentes contaminantes em toda interface com o solo. Ele compreende dispositivos de estanqueidade, de proteção e de drenagem.

3.2 Funções e tipos

As principais funções desempenhadas pelos geossintéticos em áreas de disposição de resíduos são (NBR ISO 10318 2013):

- Barreira – uso de um geossintético para prevenir ou limitar a migração de fluidos
- Drenagem - coleta e condução de águas pluviais, águas subterrâneas e outros fluidos no plano de um geotêxtil ou produto correlato
- Filtração – retenção do solo ou de outras partículas submetidas a forças hidrodinâmicas, permitindo a passagem do fluido em movimento através ou no interior de um geotêxtil ou produto correlato
- Proteção - limitação ou prevenção de danos localizados em um elemento ou material, pelo uso de um geotêxtil ou produto correlato
- Reforço - uso do comportamento tensão-deformação de um geotêxtil ou produto correlato, para melhorar o comportamento mecânico do solo ou de outros materiais de construção
- Separação - prevenção da mistura de dois materiais adjacentes de natureza diferente, solos ou material de aterro, pelo uso de um geotêxtil ou produto correlato.
- Controle de erosão superficial - uso de um geotêxtil ou produto correlato para evitar ou limitar os movimentos de partículas de solo ou de outros materiais na superfície.

Os sistemas que são objeto desta recomendação incluem um ou mais dos seguintes geossintéticos (NBR ISO 10318):

- Barreiras geossintéticas poliméricas (geomembranas) e argilosas (GCLs), atuando na função de barreira;
- Geotêxteis, atuando nas funções de reforço, filtração, proteção e separação;
- Geogrelhas, atuando na função de reforço e proteção;
- Georredes e geoespaçadores, atuando na função de drenagem;
- Geocompostos drenantes atuando na função drenagem, e na função filtração quando geotêxteis com esta função estão incorporados ao produto;
- Geomantas e biomantas atuando no controle de erosão superficial;
- Geocélulas atuando como elemento confinante no controle de erosão superficial e reforço.

NOTA: Geotêxteis não tecidos agulhados espessos podem também desempenhar a função drenagem.

3.3 Símbolos utilizados

3.3.1 Geossintéticos

Os símbolos adotados para os geossintéticos são os definidos na NBR ISO 10318 (2013) e estão apresentados no Quadro 3.1.





Quadro 3.1 Representação dos geossintéticos (NBR ISO 10318)

Barreira geossintética argilosa (GBR-C)	
Barreira geossintética polimérica (GBR-P)	
Geocélula (GCE)	
Geocomposto (GCO)	
Geogrelha (GGR)	
Geomanta (GMA)	
Georrede (GNT)	
Geotêxtil (GTX)	

3.3.2 Outros materiais

Os símbolos adotados para outros materiais presentes nas áreas de disposição de resíduos estão apresentados no Quadro 3.2.





Quadro 3.2 Representação dos materiais não pertencentes à família dos geossintéticos.

Resíduo	
Areia ou pedregulho	
Material argiloso compactado	
Solo natural	

3.3.3 Dispositivos

Os símbolos adotados para representar os dispositivos presentes nas áreas de disposição de resíduos estão apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 Representação dos dispositivos

Dispositivo de drenagem – DDG, DDL, DDAp ou DDAs	
Dispositivo de estanqueidade – DEC ou DEF	
Dispositivo de proteção – DPS ou DPI	
Dispositivo de controle de erosão superficial - DCE	

4. Aspectos relevantes dos resíduos

4.1 Introdução

O termo resíduo engloba uma grande diversidade de materiais e este item apresenta apenas os aspectos dos resíduos a serem considerados em projetos com geossintéticos. É fundamental manter presente que esta recomendação ao usar o termo resíduo está se referindo ao conjunto dos resíduos e rejeitos a serem dispostos em áreas específicas.

Os resíduos podem ser diretamente encaminhados para disposição ou passar previamente por etapas de pré-tratamento para redução de volume, redução da periculosidade ou aceleração de processos de degradação, podendo existir significativa diferença entre os requisitos para disposição de resíduos de origem comum, em função do tipo de pré-tratamento.

Este item apresenta os aspectos relevantes a serem considerados, separando-os em: resíduos com matéria orgânica, resíduos de mineração e resíduos industriais.

NOTA: Resíduos hospitalares são geralmente encaminhados para incineração e resíduos radioativos não são abordados por esta recomendação.

4.2 Resíduos com matéria orgânica

Os principais aspectos a serem considerados em resíduos contendo matéria orgânica estão associados ao processo de decomposição desta matéria, gerando biogás e lixiviado, com variação do volume de sólidos armazenado ao longo do tempo.

O processo de decomposição da matéria orgânica, natural ou acelerado, resulta em variação no tempo, do volume e da composição do lixiviado e do biogás gerado, e em grandes deformações devido à transformação da matéria orgânica. As bactérias e reações químicas presentes no resíduo podem gerar processos de colmatção biológica e química em filtros e drenos.

O processo de disposição destes resíduos varia em função de suas diferentes formas de apresentação:

- resíduos sólidos (resíduos sólidos urbanos, p. ex.), geralmente dispostos em valas ou células;
- resíduos líquidos (lixiviados ou efluentes industriais, p.ex.), geralmente dispostos em reservatórios ou lagoas cobertas ou não, ou em tubos reforçados de geomembrana polimérica, e
- resíduos semi-sólidos (dejetos de animais, lodos de estações de tratamento, p.ex.), que também podem ser dispostos em biodigestores, reservatórios ou lagoas de disposição temporária, ou serem desaguados em lagoas de drenagem ou sistemas fechados em geotêxtil (tubos ou bolsas).

Em todos os casos em que houver produção significativa de gás um sistema de coleta e condução do gás é recomendado.

4.3 Resíduos de mineração

Os principais aspectos a serem considerados em resíduos de mineração estão associados aos processos de extração, tratamento e disposição do minério e seus rejeitos. Além dos aspectos de agressividade química ou mecânica associados aos processos de extração e tratamento dos minérios, a filtração e drenagem podem exigir cuidados especiais devido à heterogeneidade do material a ser disposto e à frequente susceptibilidade à sufusão, com partículas finas percorrendo livremente uma estrutura de poros de maiores dimensões.

O processo de disposição destes resíduos varia em função de suas diferentes formas de apresentação:

- resíduos sólidos geralmente dispostos em valas, células ou pilhas;
- resíduos líquidos, geralmente dispostos em reservatórios ou lagoas cobertas ou não, ou em tubos reforçados de geomembrana polimérica, e
- resíduos semi-sólidos, que podem ser dispostos em reservatórios ou lagoas cobertas ou não, ou serem desaguados em lagoas de drenagem ou sistemas fechados em geotêxtil (tubos ou bolsas).

4.3 Resíduos industriais

Os principais aspectos a serem considerados em resíduos da indústria estão associados aos processos de fabricação e descarte dos rejeitos, abrangendo desde grandes volumes de material de características semelhantes (areia de fundição p.ex.) a pequenos volumes de material com elevado risco de impacto ambiental ou muito contundentes. Deste modo, podem ser classificados como Classe II ou Classe I (NBR 10.004), em função do risco ambiental.

Quanto ao processo de disposição, ele varia em função das diferentes formas de apresentação, como descrito em 4.2.

5 Aspectos gerais da concepção dos sistemas com geossintéticos

5.1 Introdução

O objetivo deste item é fornecer os conceitos básicos e os princípios a serem considerados no projeto, dimensionamento e instalação dos geossintéticos presentes em áreas de disposição de resíduos, com uma abordagem funcional, definindo as características a serem especificadas para cada geossintético, de acordo com a aplicação e sua função no sistema.

NOTA: Não é objetivo desta recomendação fornecer indicações nem detalhes sobre os métodos de cálculo a serem empregados pelo projetista, que deve escolhê-los tendo em vista o estado da arte e sua experiência profissional.

Os aspectos da concepção relativos aos outros materiais serão abordados somente se estes tiverem interferência com os geossintéticos.

5.2 Peculiaridades

5.2.1 Complexidade do tema

Devido à complexidade e às peculiaridades relacionadas aos resíduos a serem dispostos, é de fundamental importância que a concepção dos sistemas envolvendo geossintéticos aplicados na proteção das áreas de disposição considere os diversos aspectos relacionados ao problema, podendo-se citar como mais relevantes:

- a) Para os dispositivos de estanqueidade:
 - Solicitações mecânicas – recalques diferenciais na superfície, tensões normais e cisalhantes nos taludes, puncionamento estático, variações da poro-pressão em função das pressões de gás e do percolado;
 - Solicitações físico-químicas – reações de contato entre resíduos e geossintéticos, fluxo de lixiviado e de biogás, temperatura do resíduo disposto, variação da temperatura no geossintético e degradação por raios UV no caso de exposição ao intemperismo;
 - Vida de Serviço de longa duração;
 - Dificuldade de intervenção em sistemas de revestimento de fundo após o início da disposição do resíduo.
- b) Para os dispositivos de drenagem:
 - Processos de colmatação química ou biológica dos elementos de filtro e dreno;
 - Variabilidade, no espaço e no tempo, da composição e dimensão das partículas a reter;
 - Risco de sufusão podendo causar colmatação física – se o filtro as reter - ou processos erosivos – se o filtro for muito aberto;
 - Dificuldade de intervenção após a disposição do resíduo.
- c) Para os dispositivos de proteção:
 - Necessidade de evitar danos ao dispositivo de estanqueidade face ao processo construtivo e a disposição de resíduos ou materiais de características agressivas e variadas;
 - Necessidade de garantir que as deformações, por puncionamento ou tração, não ultrapassem os valores aceitáveis para o elemento de barreira, lembrando que estas

deformações devem ser muito baixas para elementos sujeitos a fissuramento sob tensão (“stress cracking” ambiental).

A concepção das áreas para disposição de resíduos, como toda obra da engenharia civil, necessita do conhecimento de diversos setores: geologia, hidrogeologia, geotecnia, hidrologia, hidráulica e materiais. Além das exigências regulamentares, a concepção deve considerar um vasto conjunto de informações e restrições locais, como por exemplo:

- natureza do terreno,
- meio ambiente, habitações, zoneamento por classe e risco
- atividade da exploração, tipo, natureza e quantidade de resíduos
- exigências relacionadas à segurança
- amplitude e duração das medidas de controle e monitoramento da área principalmente se houver possibilidade de geração de lixiviado e biogás
- fases e etapas do empreendimento
- superfície disponível e altura máxima permitida
- programa de encerramento e reutilização.

O estudo geotécnico deve cobrir os seguintes aspectos:

- o meio ambiente da área de disposição
- as características geológico-geotécnicas e hidrológicas do sub-solo
- a disponibilidade e o impacto da exploração de materiais naturais e o interesse de buscar soluções alternativas
- os sistemas de revestimento de fundo (base e lateral)
- os processos de disposição e as condições de operação
- os sistemas de drenagem interna, quando necessários
- o comportamento do resíduo e sua interação com os diversos dispositivos presentes na área, lembrando que certos resíduos tem em sua composição fases sólida, líquida e gasosa em contínua mutação
- os aspectos geotécnicos relacionados à exploração e à coleta do percolado e do biogás, quando presentes
- o sistema de revestimento de cobertura
- os aspectos geotécnicos de recomposição e uso futuro da área
- o monitoramento de longo prazo após o encerramento

sendo necessário analisar as interações entre estes pontos e as consequências de falhas no funcionamento de partes da estrutura , sobre a segurança global da obra a curto e a longo prazo.

A concepção de uma área para disposição de resíduos é uma operação complexa e deve ser objeto de estudo minucioso, realizado por uma equipe multidisciplinar capaz de analisar todos os aspectos e restrições necessários para a garantia da qualidade da obra durante todas as suas fases: construção, operação e encerramento da área.

É importante que os estudos realizados componham um relatório que indique todas as exigências da concepção e demonstre que o patamar de segurança exigido será alcançado pelas disposições adotadas. Os documentos legislativos, regulamentares ou normativos considerados devem ser citados.

5.2.2 Durabilidade

Conforme a ISO 13434(2005), a durabilidade de uma estrutura com geossintéticos é governada por sua estrutura física, pela natureza do polímero utilizado, pelo processo de fabricação, pelo ambiente físico e químico, pelas condições de armazenamento e de instalação, e pela carga suportada pelo geossintético. Considerando que o tempo influencia as propriedades funcionais dos geossintéticos, a avaliação da durabilidade das estruturas utilizando estes materiais requer um estudo dos efeitos do tempo sobre suas propriedades durante toda a vida de serviço prevista em projeto.

A maioria dos geossintéticos corretamente processados e estabilizados, são comparativamente resistentes aos ataques químicos e microbiológicos encontrados em ambientes normais do solo e para tempos de vida de serviço de projeto usuais. Para tais aplicações, apenas um número mínimo de ensaios de rastreio e de ensaios índice costuma ser necessário. Para aplicações em ambientes mais severos, como é o caso de áreas de disposição de resíduos, nas quais além das condições ambientes a vida de serviço de projeto costuma ser longa, é geralmente necessário avaliar a durabilidade considerando também ensaios específicos (ISO 13434 e Recomendação IGSRBrasil 002-1 e 002-2).

No caso dos geossintéticos aplicados em áreas de disposição de resíduos uma atenção especial deve ser dada à temperatura atuante e à compatibilidade química entre os diversos elementos, considerando todo o tempo de vida de serviço do geossintético previsto em projeto.

5.2.3 Aspectos relativos às barreiras geossintéticas argilosas (GCL)

As barreiras geossintéticas argilosas são constituídas por uma camada de material argiloso bentonítico, na forma de pó ou granulado, disposto entre duas camadas de geossintético. Os principais tipos de bentonita empregados são:

- a bentonita sódica, que tem como mineral constituinte principal a esmectita sódica;
- a bentonita cálcica, que tem como mineral constituinte principal a esmectita cálcica;
- a bentonita cálcica ativada ou modificada, que é a bentonita cálcica modificada quimicamente.

As bentonitas podem também ter adição de polímeros para melhorar sua resistência química e suas propriedades de expansibilidade e de condutividade hidráulica, que são diferentes em função de sua composição, e o projetista deve considerar estes fatores e seu comportamento no tempo na seleção do produto mais apropriado (ver GRI-GCL5 p.ex.).

O acoplamento entre os elementos sintéticos e o elemento bentonítico pode ser feito de diversos modos sendo os mais comuns:

- Acoplamento por agulhagem: a camada de bentonita é mantida entre duas camadas de geotêxtil, com pelo menos uma delas em não tecido, por um processo de agulhamento que une de forma uniforme os constituintes em toda a superfície, atravessando a espessura do conjunto de modo a ancorar as fibras ou filamentos do geotêxtil não tecido no outro geotêxtil componente;
- Acoplamento por costura: a camada de bentonita é mantida entre duas camadas de geotêxtil por um processo de costura que segue um padrão definido pelo fabricante.

Em alguns casos um elemento auxiliar de contenção da bentonita ou de aumento de eficiência da barreira é incorporado ao produto.

5.3 Cuidados associados às diversas fases do processo

5.3.1 Fase de construção e implantação

Durante a concepção devem ser considerados os aspectos específicos e cuidados a serem tomados durante a fase de construção e implantação, salientando-se:

- proteção dos componentes já instalados (em particular nos dispositivos de estanqueidade e drenagem)
- verificar se o espaço é suficiente para os processos de construção
- verificar a facilidade e simplicidade do processo construtivo
- verificar as condições climáticas
- verificar a disponibilidade dos materiais prescritos
- avaliar a coleta e drenagem das águas superficiais
- avaliar a mitigação dos impactos ambientais provocados pela obra

5.3.2 Fase de operação

Durante a concepção devem ser considerados os aspectos específicos e cuidados a serem tomados durante a fase de operação, salientando-se:

- acompanhamento da obra (estabilidade, deformações, recalques do maciço de resíduos e do solo, percolado, biogás, lençol freático, entre outros)
- métodos de disposição dos resíduos
- infraestrutura da operação (prédios, estradas, acessos, entre outros)
- coleta e drenagem das águas superficiais, do percolado e do biogás
- requisitos ambientais, como emissão de poeira e ruído.

5.3.3 Fase de encerramento

Durante a concepção devem ser considerados os aspectos específicos e cuidados a serem tomados durante a fase de encerramento, salientando-se:

- medidas previstas para a cobertura e a recuperação da área e sua utilização futura, considerando os recalques dos resíduos, a drenagem e a emissão de gases;
- monitoramento após encerramento;
- possível reaproveitamento dos resíduos.

Ao término dos estudos sobre a concepção e dimensionamento, é desejável ter disponíveis os seguintes documentos:

- o relatório do estudo incluindo a memória de cálculo;
- a planta da área;
- o planejamento das fases de construção e implantação;
- as funções, natureza e quantidade dos materiais a serem empregados;
- a definição da quantidade requerida e as exigências mínimas para a qualidade em relação aos processos e controles.

5.4 Sequência geral da concepção do projeto

A sequência geral das tarefas a serem consideradas na concepção está apresentada no Quadro 5.1, que resume as diversas etapas do projeto.

Quadro 5.1 Etapas da concepção.

Etapas	Item desta recomendação
Escolha das linhas diretrizes da composição	4, 5, 6 e 7
Escolha da natureza dos dispositivos e seus componentes	4,5, 6 e 7
Definição das funções de cada componente	6 e 7
Escolha das características a especificar para cada componente	8
Dimensionamento das propriedades de cada componente	8
Especificação para a seleção de cada componente	9 (Ver Rec. IGSRBrasil 002 e 003)
Especificação para o recebimento, aceitação e instalação – Plano de Verificação da Qualidade	9 (Ver Rec. IGSRBrasil 002 e 003)

6. Composição dos sistemas e dispositivos com geossintéticos

6.1 Introdução

Em todos os casos de disposição de resíduos, um sistema de revestimento de fundo, mais ou menos complexo, deve ser previsto. A estrutura destes sistemas agrega as qualidades e características de diversos dispositivos e elementos componentes, escolhidos em função do tipo de resíduo, da periculosidade do resíduo e das peculiaridades dos meios adjacentes, buscando atender as premissas de projeto para cada situação.

Sistemas de revestimento de cobertura ou de drenagem interna podem ou não ser empregados em função de aspectos da aplicação e do resíduo, das necessidades do projeto ou de peculiaridades do meio ambiente externo. Eles também tem em sua estrutura diversos dispositivos e seus componentes são selecionados buscando garantir a eficiência do sistema.

A concepção de cada dispositivo deve considerar as funções desempenhadas por cada geossintético, as condições do seu entorno, do resíduo e de operação. Este item apresenta a composição dos sistemas e dispositivos mais frequentemente empregados.

Os objetivos e características gerais, os componentes e os cuidados especiais relacionados aos diversos sistemas estão apresentados nos itens 6.2 a 6.5.

A concepção e escolha dos diversos dispositivos estão discutidas nos itens 6.6 a 6.9.

6.2 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Revestimento de Fundo (SRF)

6.2.1 Objetivos e características gerais de um SRF

Os sistemas de revestimento de fundo fazem a interface com o solo ou outras estruturas de suporte e são o instrumento principal de controle do transporte de poluentes e de proteção do solo e das águas subterrâneas em áreas de disposição de resíduos.

Estes sistemas contém obrigatoriamente em sua estrutura um dispositivo de estanqueidade, mas é preciso que todos os envolvidos na disposição de resíduos estejam conscientes de que, qualquer que seja sua natureza (mineral, sintética ou mista), não existe barreira que possa garantir a estanqueidade absoluta.

Camadas de argila compactada mesmo bem executadas, raramente atingem coeficientes de permeabilidade inferiores a 10^{-7} m/s. Além disto, são passíveis de micro e macro fissuras que podem influir de modo expressivo na velocidade de avanço da pluma de contaminação.

As barreiras geossintéticas poliméricas (geomembranas) íntegras apresentam permeabilidade geralmente inferior a 10^{-10} m/s e o transporte através delas se faz basicamente por difusão ou sorção, de modo que havendo compatibilidade química, ou seja, não havendo reações químicas que alterem significativamente sua composição, elas representam uma barreira considerável ao transporte de poluentes.

Durante a instalação pequenos furos ou rasgos são inevitáveis, implicando em danos ao elemento de barreira, tornando possível uma condição de fluxo advectivo através deles. Danos maiores podem causar a passagem significativa de contaminantes.

Assim, o projeto deve ser concebido de modo a buscar preservar ao máximo a integridade das propriedades das barreiras geossintéticas, com um processo de instalação que seja o mais rigoroso possível, priorizando minimizar o número e a dimensão dos danos.

Áreas de disposição com sistemas de revestimentos bem concebidos e executados reduzem consideravelmente o transporte de contaminantes para seu exterior. Para que um sistema de revestimento seja considerado bem concebido e executado é fundamental que os conceitos básicos e as premissas de projeto recomendadas sejam atendidas e respeitadas, tanto na concepção como durante a instalação e operação. Durante a fase de instalação, o Plano de Verificação da Qualidade (ver Recomendação IGSR 003), estabelecido pelo projetista, deve ser criteriosamente acompanhado e avaliado.

6.2.2 Componentes de um SRF

Os sistemas de revestimento de fundo devem ter em sua estrutura, além do dispositivo de estanqueidade de fundo (DEF) que deve estar obrigatoriamente presente, dispositivos de proteção mecânica (DPI ou DPS) e de drenagem de lixiviado (DDL), sempre que se fizer necessário. A concepção e escolha dos dispositivos de estanqueidade de fundo, de drenagem e de proteção estão apresentados nos itens 6.6.1, 6.7 e 6.8 respectivamente.

Os dispositivos componentes destes sistemas e os elementos componentes de cada dispositivo são escolhidos em função do tipo de aplicação, do tipo de resíduo, do risco de contaminação e de peculiaridades do meio ambiente. A Figura 6.1 ilustra um exemplo de estrutura deste tipo de sistema.

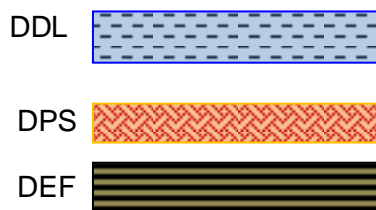


Figura 6.1 Exemplo de estrutura de sistema de revestimento de fundo para solo natural com boa condição de suporte e resíduo que necessita coleta e condução de lixiviado.

6.2.3 Princípios básicos dos SRF

Alguns princípios básicos devem ser considerados na concepção e escolha dos componentes. Entre as premissas de projeto a serem adotadas tem-se que:

- a) O dispositivo de estanqueidade de fundo deve ser concebido em função dos aspectos da aplicação e de resíduo (ver item 7), da periculosidade do resíduo e das condições do meio ambiente (ver 6.6.1).
- b) O dispositivo de estanqueidade de fundo deve ter somente a função de barreira, não devendo ser solicitado mecanicamente.

- c) Para atender esta condição, o projeto deve contar com dispositivos de proteção mecânica concebidos para absorver eventuais solicitações de tração e de puncionamento. A complexidade dos dispositivos de proteção mecânica é função das condições do solo suporte, da agressividade dos meios adjacentes e das características dos elementos do dispositivo de estanqueidade.
- d) Nos sistemas aplicados em superfícies inclinadas cada elemento deve ter avaliada suas características de atrito e a solicitação em tração que recebe e transmite ao elemento adjacente.
- e) Um sistema de revestimento de fundo em áreas que irão receber resíduos que contenham ou possam gerar lixiviado, ou que estejam expostos às intempéries durante a fase de operação, requer sempre um dispositivo de drenagem eficiente. Este dispositivo deve ser concebido e dimensionado de modo a garantir que a carga hidráulica sobre o dispositivo de estanqueidade seja sempre inferior à máxima estabelecida em projeto (geralmente 30cm), pois o fluxo advectivo através dos eventuais danos do sistema de revestimento aumenta com a carga hidráulica.
- f) A compatibilidade química dos elementos componentes do sistema de revestimento de fundo com o resíduo e seu lixiviado deve ser criteriosamente avaliada, parâmetros tais como a concentração, pH, temperatura, presença de solventes e hidrocarbonetos, por exemplo, devem ser identificados e considerados pelos responsáveis pelo projeto. No caso de dúvida, ensaios de compatibilidade química devem ser realizados.

6.2.4 Cuidados especiais

A barreira geossintética polimérica (geomembrana) do dispositivo de estanqueidade de fundo deve ter unicamente a função de barrar e desviar o fluxo dos lixiviados e não deve ser solicitada mecanicamente. Por consequência, o apoio do dispositivo de estanqueidade de fundo deve ser concebido e dimensionado para responder às solicitações mecânicas relativas à carga dos resíduos a serem dispostos sem apresentar recalques que possam interferir de modo significativo no comportamento do dispositivo de estanqueidade.

No caso de solo natural com capacidade de suporte insuficiente, a melhora da capacidade de suporte pode ser obtida por um dispositivo de proteção inferior (DPI) de elevada rigidez à tração, posicionado sobre o solo natural.

No caso de dispositivo de estanqueidade simples cujo solo tenha capacidade de suporte mas não atenda os critérios de preparação do terreno (ver NBR 16199 e item 6.6.1.2) um dispositivo de proteção inferior protegendo ao puncionamento pode ser introduzido.

Um sistema de revestimento de fundo sobre solo de fundação com risco de geração de biogás (solos com forte presença de matéria orgânica ou que receberam lixiviados orgânicos como antigas lagoas de disposição de vinhoto, por exemplo) deve conter obrigatoriamente um dispositivo de drenagem do biogás, sob o dispositivo de estanqueidade adotado.

6.3 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Revestimento de Cobertura (SRC)

6.3.1 Objetivos e características gerais de um SRC

Os sistemas de revestimento de cobertura permanente (SRC) protegem a interface com o ar e são o instrumento principal de controle da infiltração de águas pluviais e da emissão de biogás (no caso de resíduos com matéria orgânica). Deste modo considera-se que eles incorporem um dispositivo de estanqueidade (DEC) que será acoplado ou não a outros dispositivos.

Em algumas coberturas a solicitação em tração do dispositivo de estanqueidade é inevitável, como por exemplo na cobertura de biodigestores e de aterros de resíduos sólidos urbanos. Neste caso, os elementos do dispositivo devem ser selecionados dentre os capazes de suportar estas solicitações.

Sistemas de revestimento de cobertura temporária (ver 3.1.2) podem ser necessários para reduzir a infiltração de águas pluviais na fase de operação, em função do tipo de aplicação, do tipo de resíduo, das condições ambientes e de projeto. Em áreas onde um recalque expressivo é esperado, costuma-se aplicar uma cobertura temporária assim que a altura máxima de projeto é atingida, sendo a cobertura definitiva realizada após atingir um nível de estabilidade dos recalques aceitável.

6.3.2 Componentes de um SRC

Além do dispositivo de estanqueidade de cobertura (DEC), os sistemas de revestimento de cobertura podem conter em sua estrutura dispositivos de drenagem de gases (DDG), dispositivos de drenagem de águas pluviais (DDAp) e dispositivos de proteção mecânica (DPI e DPS), em função das necessidades de cada aplicação ou projeto. Estes dispositivos estão discutidos respectivamente nos itens 6.6.2, 6.7 e 6.8. A Figura 6.2 ilustra um exemplo de sistema de revestimento de cobertura para o caso de um aterro de resíduos sólidos urbanos.

Em alguns casos um dispositivo de controle de erosão superficial em geossintético (ver 6.9) é incorporado acima da camada de solo de cobertura para protegê-la de processos erosivos.

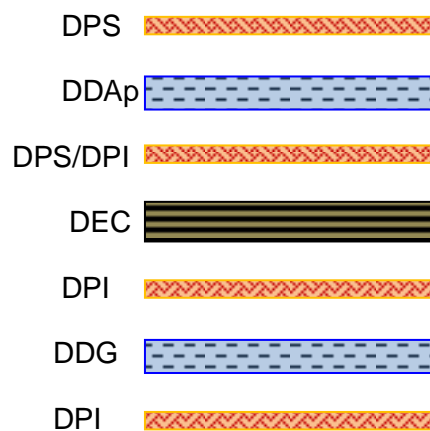


Figura 6.2 Exemplo de estrutura de sistema de revestimento de cobertura em área de disposição de resíduos sólidos urbanos.

6.3.3 Cuidados especiais

Dispositivos de proteção mecânica para uniformização dos recalques causados pelo adensamento e decomposição do resíduos podem ser adotados quando o risco de deformações excessivas possa prejudicar o funcionamento dos dispositivos de drenagem. Estes dispositivos também auxiliam a reduzir as solicitações de tração no dispositivo de estanqueidade de cobertura.

Os geossintéticos aplicados na cobertura de biodigestores ou de reservatórios de resíduos líquidos podem ficar expostos aos raios UV por longos períodos, em função das características do projeto e de operação da área. Os geotêxteis e correlatos que fiquem expostos por período superior a um dia, ou as geomembranas poliméricas expostas por mais de três dias, devem ser selecionadas também em função de sua resistência ao intemperismo (ver Recomendação IGSR 002-2 e ISO 13434), considerando-se o tempo de exposição previsto em projeto para cada material.

Sistemas de revestimento de cobertura posicionados sobre superfícies inclinadas devem ter a estabilidade ao escorregamento e as solicitações em tração recebidas e transmitidas por cada um de seus elementos cuidadosamente avaliadas. Cuidado especial deve ser tomado no dimensionamento do dispositivo de drenagem de águas pluviais e na avaliação das características de atrito de interface do dispositivo de proteção mecânica superior. É recomendável considerar na análise de estabilidade da camada de solo a condição de fluxo paralelo ao talude, ou estabelecer condições para que este fenômeno não possa ocorrer.

Em função do tipo de solo colocado sobre o sistema de revestimento de cobertura e do tempo previsto para que uma proteção vegetal evite processos erosivos, a adoção de um dispositivo de controle de erosão superficial em geossintético (ver 6.8) pode ser recomendável.

6.4 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Drenagem Interna (SDI)

6.4.1 Objetivos e características gerais de um SDI

Os sistemas de drenagem interna (SDI) tem o papel de coletar e conduzir rapidamente o lixiviado ou o gás produzido pelo resíduo ou nele contido. Eles devem ser considerados, sempre que necessário, nas áreas de disposição de resíduos sólidos, para evitar acúmulo de líquidos ou biogás.

Estes sistemas são responsáveis pela eficiência da drenagem em todo o volume do resíduo disposto, de modo a evitar excesso de poropressão e reduzir o risco de instabilidade do maciço, além de promover condições mais apropriadas à decomposição quando houver matéria orgânica. Sistemas de drenagem interna do biogás bem concebidos e implantados, assumem papel ainda mais relevante nas áreas onde há coleta e aproveitamento deste gás.

Os sistemas de drenagem interna podem ser estruturados numa única direção (vertical ou horizontal) ou estar presentes nas duas direções, em função das dimensões da área e dos volumes a coletar e conduzir.

6.4.2 Componentes de um SDI

Sistemas de drenagem interna tem como componentes principais os dispositivos de drenagem, que englobam elementos drenantes e elementos de filtro. Dispositivos de proteção mecânica podem ser incorporados quando necessário para garantir a eficiência do sistema.

6.4.3 Cuidados especiais

Na concepção dos sistemas de drenagem interna deve ser considerada a deformabilidade do resíduo e os deslocamentos e recalques a que poderiam estar submetidos. Resíduos sólidos urbanos, por exemplo, sofrem recalques diferenciais consideráveis e o sistema precisa ser concebido de tal modo que possa funcionar mesmo nestas condições.

SDI empregados em aterros de resíduos sólidos urbanos também precisam ter avaliados os riscos de colmatção química e biológica dos elementos de filtro e dreno.

SDI empregados na disposição de rejeitos de mineração também precisam considerar a heterogeneidade do material a ser disposto e a possibilidade de sufusão. A situação de filtração de partículas em suspensão, seja pelo processo de disposição ou pelo tipo de resíduo (matriz aberta com possibilidade de passagem livre de finos) pode exigir uma concepção que considere a possibilidade de troca ou retrolavagem do filtro.

6.5 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR)

6.5.1 Objetivos e características gerais de um SCR

Os sistemas de confinamento de resíduos (SCR) tem o papel de confinar o resíduo contido em seu interior de modo contínuo em toda a interface com o exterior, tendo a forma de tubos ou bolsas fechadas. É frequente nestes casos que o enchimento seja realizado em diversas etapas.

Eles podem ser utilizados para a disposição temporária de resíduos líquidos ou semi-sólidos, quando incorporarem um dispositivo de estanqueidade. Quando eles incorporam um dispositivo de drenagem, são utilizados para o desaguamento de resíduos semi-sólidos.

No caso de utilização para desaguamento, seu emprego pode ser:

- temporário, quando o sistema é aberto após o resíduo atingir o teor de sólidos desejado, retirado e transportado para o local de destino final;
- permanente, quando o sistema permanesse fechado, no local de enchimento (no caso de tubos ou bolsas de grandes dimensões) ou transportado até o local de destino final (no caso de bolsas de menor dimensão, que costumam ter alças para facilitar o transporte e a colocação).

Os sistemas de confinamento de resíduos devem ter em sua concepção elementos que resistam às solicitações mecânicas impostas pelo resíduo confinado, com atenção especial às costuras ou soldas em seus elementos, de modo a garantir a integridade da continuidade do confinamento.

Uma característica importante de sistemas confinantes aplicados para o desaguamento de resíduos é a possibilidade de controle da qualidade do efluente, que pode ser melhorada pela adição de floculantes ou de outros aditivos.

6.5.2 Componentes de um SCR

Sistemas de confinamento de resíduos tem como componentes principais dispositivos de estanqueidade (para o confinamento de líquidos ou semi-sólidos) ou um dispositivo de drenagem no caso de desaguamento de semi-sólidos.

No caso de SCR com dispositivo de estanqueidade, um dispositivo de proteção deve ser incorporado para reduzir as solicitações mecânicas e a deformabilidade do elemento de estanqueidade. O dispositivo de proteção pode ser composto de um elemento contínuo (geotextil ou geogrelha de baixa deformabilidade), ou de tiras de reforço com rigidez e espaçamento suficientes, ou composto por elementos contínuos e tiras. Em todos os casos o dispositivo de proteção deve considerar também tirantes para garantia da estabilidade ao rolamento.

No caso de SCR com dispositivo de drenagem, este dispositivo deve conter pelo menos um elemento de filtração, podendo receber um dispositivo de proteção caso a resistência mecânica do elemento de filtração não seja suficiente para a garantia da resistência aos esforços de tração ou seja muito deformável.

6.5.3 Cuidados especiais

Na concepção dos SCR deve ser considerada a pressão de enchimento máxima admissível e as solicitações mecânicas associadas. A altura máxima que a bolsa ou tubo pode atingir durante o enchimento, calculada a partir das solicitações em tração admissíveis, é geralmente utilizada para o controle rápido em campo.

As costuras dos elementos permeáveis, ou as soldas dos elementos de barreira de fluxo, devem ser cuidadosamente realizadas e ensaiadas, e ter seu comportamento no tempo avaliado, lembrando que estarão, em geral, expostas às intempéries em condições severas durante longos períodos.

Toda a superfície de contato de um SCR com o solo de fundação deve ser protegida por um sistema de revestimento de fundo (SRF), mesmo no caso de efluente com qualidade aceitável para ser lançado no meio ambiente. Por questões de segurança, o SRF deve ter capacidade para conter todo o volume do resíduo no caso de falha no confinamento, ou estar interligado a um reservatório com esta capacidade.

6.6 Concepção e escolha dos dispositivos de estanqueidade

6.6.1 Dispositivo de Estanqueidade de Fundo (DEF) – Tipos e cuidados especiais

6.6.1.1 Os dispositivos de estanqueidade para sistemas de revestimento de fundo (DEF) atuam na base e taludes e são escolhidos em função da periculosidade do resíduo ou das condições locais, podendo ser classificados em simples, compostos e duplos, conforme ilustra a Figura 6.3.

6.6.1.2 O dispositivo de estanqueidade simples consiste de um único elemento de estanqueidade, geralmente uma barreira geossintética polimérica (geomembrana), podendo ser empregado no caso de resíduo não perigoso, inerte, que não produza lixiviado nem esteja sujeito a infiltração de água de chuva, desde que eventuais danos do elemento de estanqueidade não impliquem em risco de impacto ambiental significativo.

6.6.1.3 O dispositivo de estanqueidade composto consiste na combinação de um elemento de estanqueidade ativo, ou seja, uma barreira geossintética polimérica (geomembrana), acoplado a pelo menos um elemento de estanqueidade passivo, por exemplo uma camada de solo argiloso compactado com condutividade hidráulica controlada (ver Figura 6.3b). Esta é a condição mínima a ser empregada para resíduos Classe II (ver NBR 10004 2004) e sempre que houver percolação de lixiviado, mesmo que proveniente da infiltração de águas pluviais.

Para que o conjunto geomembrana/solo compactado seja considerado composto é necessário que os dois elementos estejam em contato íntimo e uniforme em toda a superfície, de modo que não possa haver fluxo na interface entre os elementos, reduzindo a probabilidade de que o fluxo por um eventual furo ou dano da geomembrana encontre uma fissura da camada argilosa.

A execução de um dispositivo de estanqueidade composto exige procedimentos de instalação bastante elaborados e atendimento a fortes restrições, como por exemplo, colocação da geomembrana sem dobras ou ondas. Em alguns casos os projetistas têm optado por combinar três elementos: uma barreira geossintética polimérica (geomembrana), atuando como elemento ativo, tendo como elementos passivos uma barreira geossintética argilosa (GCL) associada a uma camada de solo argiloso compactado.

Neste caso a barreira geossintética argilosa tem o papel de impedir o fluxo na interface, por sua característica de expansão, ou de substituir parte da camada de solo argiloso. Considerando-se a experiência atual, ainda não é recomendável que a barreira geossintética argilosa substitua inteiramente a camada de argila compactada nos casos onde um dispositivo composto é necessário.

6.6.1.4 O dispositivo de estanqueidade duplo consiste na superposição de pelo menos dois elementos de estanqueidade ativa, ou seja, duas barreiras geossintéticas poliméricas (geomembranas), com um dreno testemunho entre estes elementos, sendo que pelo menos o elemento de estanqueidade ativa inferior deve estar acoplado a um elemento de estanqueidade passiva. Este tipo de dispositivo é o indicado para o caso de resíduos Classe I (perigosos) (ver Figura 6.3c).

Deste modo, ele pode ser duplo com fundo composto (geomembrana+dreno+geomembrana/argila compactada) ou ser duplamente composto (geomembrana/argila compactada + dreno + geomembrana/argila compactada ou geomembrana/GCL +dreno + geomembrana/GCL/argila compactada), por exemplo.

Num dreno testemunho (ver 3.1.7) o tempo necessário para o lixiviado atingir o poço de controle deve ser avaliado considerando o conjunto dos elementos componentes do dreno na condição não saturada. O elemento de drenagem e o(s) elemento(s) de proteção da geomembrana devem ser selecionados em função de um comportamento do tipo “hidrofóbico” em relação ao lixiviado. Por exemplo, drenos em areia geralmente tem comportamento hidrofílico em relação ao lixiviado, tornando inviável sua utilização como elemento de drenagem em um dreno testemunho.

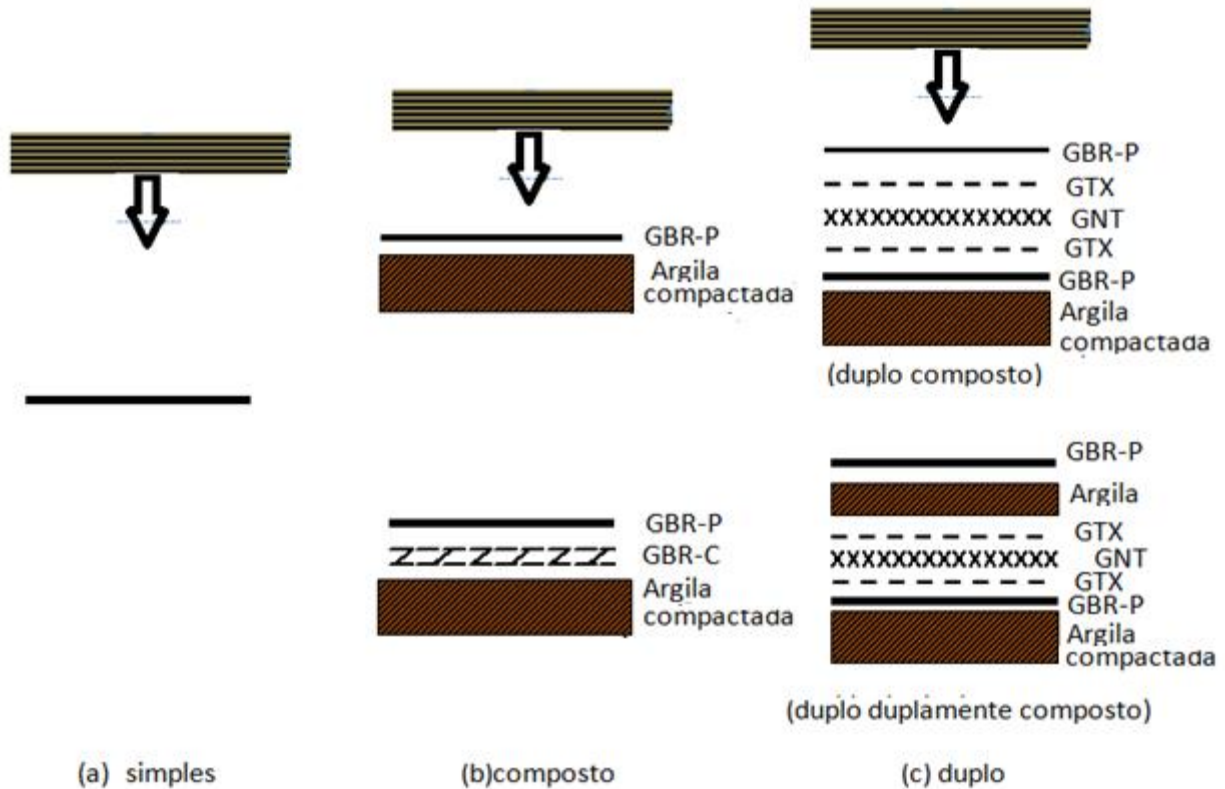


Figura 6.3 Exemplos dos diferentes tipos de dispositivo de estanqueidade de fundo.

6.6.1.5 Cuidados Especiais e premissas de projeto

Três premissas de projeto devem ser consideradas para o bom funcionamento dos dispositivos de estanqueidade de sistemas de revestimento de fundo:

- Devem ser evitadas solicitações em tração e ao puncionamento atuando no dispositivo de estanqueidade do sistema de revestimento de fundo, e dispositivos de proteção mecânica devem ser considerados sempre que se fizer necessário.
- Dispositivos de estanqueidade de fundo compostos precisam ter “aderência perfeita” entre os elementos (geomembrana + argila ou geomembrana+GCL+argila) e a concepção de projeto e os cuidados construtivos devem buscar atender esta premissa.
- Na impossibilidade de atender as premissas anteriores ou na disposição de resíduos de alta periculosidade, o dispositivo de estanqueidade deve ser duplo com fundo composto e ter monitorado seu dreno testemunho. O dreno testemunho no interior do dispositivo de estanqueidade duplo deve ser composto de materiais “hidrófobos” ao lixiviado e capazes de conduzir com rapidez até o poço de monitoramento a quantidade mínima estabelecida em projeto, do lixiviado que passe através da geomembrana superior.

A parte do sistema de revestimento de fundo a ser instalada em superfícies inclinadas, deve ser concebida considerando as características de atrito e o comportamento em tração dos componentes. Para evitar solicitação de tração no elemento de estanqueidade (geomembrana), sua face superior deve ser o mais lisa possível e a face inferior, caso seja texturizada, deve ter geometria compatível com a do solo que a suporta. A solicitação em tração atuando sobre o dispositivo de estanqueidade pode ser reduzida pela colocação de um dispositivo de proteção superior (DPS) com elevada rigidez, que absorva esta solicitação.

6.6.2 Dispositivo de estanqueidade de cobertura (DEC) – Tipos e cuidados especiais

6.6.2.1 Os dispositivos de estanqueidade para sistemas de revestimento de cobertura são escolhidos em função da periculosidade do resíduo, da geração de biogás e de seu eventual aproveitamento, e das condições locais. Eles são geralmente compostos por um único elemento (solo argiloso compactado ou barreira geossintética).

6.6.2.2 Cuidados especiais

O item 6.3.3 apresenta uma série de cuidados a serem considerados na concepção dos sistemas de cobertura e que afetam seu dispositivo de estanqueidade.

A escolha do elemento de barreira deve considerar as solicitações físico-químicas e mecânicas a que o dispositivo estará submetido durante sua vida de serviço, considerando também os esforços de tração devido às deformações da massa de resíduo disposto.

Dispositivos de proteção (DPS ou DPI) trabalhando à rigidez podem atuar uniformizando as deformações da massa de resíduo, reduzindo recalques diferenciais, solicitações mecânicas e melhorando a eficiência dos dispositivos de drenagem.

Quando o elemento de estanqueidade da cobertura estiver em contato com gases é preciso considerar sua eventual condensação e a possibilidade de mudança do comportamento em atrito nesta superfície.

6.7 Concepção e escolha dos dispositivos de drenagem

6.7.1 Tipos e composição

Os dispositivos de drenagem são classificados em função do tipo de fluido a coletar e conduzir (ver 3.1.3) sendo compostos basicamente por um elemento de dreno e elementos de filtro.

Um elemento de filtro deve ser considerado em todas as faces em contato com o meio particulado quando partículas puderem ser conduzidas pelo fluxo para o interior do elemento de dreno. O elemento de filtro tem por objetivo reduzir processos erosivos do meio adjacente e reduzir processos de colmatação do elemento drenante.

O elemento drenante pode ser um tubo polimérico, uma georrede ou um geoespaçador e sua escolha está relacionada às solicitações mecânicas, hidráulicas e físico-químicas dos meios adjacentes e do fluido a coletar e conduzir. O elemento filtrante geralmente é um geotêxtil.

Geocompostos drenantes com elementos de filtro e geotêxteis não tecidos agulhados espessos podem atender simultaneamente as duas funções.

6.7.2 Cuidados especiais

Todos os elementos devem ter avaliada sua compatibilidade química com o meio adjacente e com os fluidos percolantes.

Os elementos de dreno precisam ter suas características mecânicas e hidráulicas avaliadas em função das condições de solicitação (tensões normais, tração, vazão a conduzir, entre outras). No caso das solicitações em tração ou punção, dispositivos de proteção (ver 6.8) podem ser considerados quando for necessário reduzi-las.

Na avaliação da capacidade de fluxo deve ser considerada não só a deformabilidade sob carga normal, mas o comportamento em fluência à compressão e, quando pertinente, ao cisalhamento, bem como a redução da capacidade prevista para os processos de colmatação física, química e biológica.

No caso dos elementos de filtro além de sua resistência às solicitações mecânicas, sua abertura de filtração, a porcentagem de área aberta (para geotêxteis tecidos) e as características de permeabilidade devem ser avaliados, inclusive considerando o processo de colmatação biológica inevitável em resíduos com presença significativa de matéria orgânica.

No caso de atividade orgânica relevante, geralmente o projetista opta por um filtro em geotêxtil tecido bastante aberto, de modo a criar um meio inóspito à formação do biofilme, e considera um elemento drenante com capacidade de fluxo majorada para compensar a colmatação devido a passagem de partículas que atravessarão a estrutura do filtro.

O risco de filtração de partículas em suspensão deve ser cuidadosamente avaliado e a concepção de projeto deve evitá-lo, sempre que possível. Nos casos onde isto não for possível, a retrolavagem ou troca do filtro devem estar consideradas na concepção do dispositivo drenante, com eventual monitoramento para indicação da necessidade de intervenção.

Em resíduos cuja estrutura apresente risco de sufusão (ver 4.3), caso frequente em rejeitos de mineração, este aspecto deve ser criteriosamente observado, devendo ser avaliada a possibilidade de uma concepção que permita a troca ou retrolavagem do filtro.

6.8 Concepção e escolha dos dispositivos de proteção

6.8.1 Tipos e composição

Os dispositivos de proteção mecânica são classificados de acordo com sua posição em relação ao dispositivo a proteger (ver 3.1.6), sendo compostos basicamente por elementos capazes de reduzir as solicitações mecânicas atuando sobre o dispositivo do entorno.

Os geossintéticos considerados para este dispositivo são os geotêxteis, tecidos ou não tecidos, as geogrelhas, as geocélulas ou geocompostos específicos para esta finalidade. Um dispositivo de proteção pode ser composto por vários geossintéticos, cada um atendendo a uma determinada necessidade.

6.8.2 Cuidados especiais

Na redução das solicitações em tração, geossintéticos de elevada rigidez (geogrelhas e geotêxteis tecidos) são essenciais.

Na absorção das solicitações de puncionamento geotêxteis não tecidos que proporcionem proteção adequada deve ser empregados. É importante que o geotêxtil de proteção seja capaz de absorver qualquer carga pontual, sem transmitir a deformação para o elemento de barreira.

Elementos de proteção de geomembranas devem ter um detector de metais associado ao processo de controle de qualidade industrial, para evitar que elementos perfurantes como agulhas quebradas ou outros elementos metálicos possam danificar a geomembrana.

6.9 Concepção e escolha dos dispositivos de controle de erosão superficial (DCE)

6.9.1 Tipos e composição

Os dispositivos de controle de erosão superficial (DCE) (ver 3.1.3) tem a função de evitar processos erosivos de superfície em camadas de cobertura e sistemas drenantes de superfície, sendo compostos basicamente por elementos capazes de reduzir a desagregação das partículas pelo impacto das gotas de chuva e pelas solicitações causadas pelo fluxo de água ou ação do vento.

Os geossintéticos considerados para este dispositivo são as geomantas e biomantas, os geotêxteis, as geocélulas ou geocompostos específicos para esta finalidade.

Geomantas e biomantas tem a função específica de controle de erosão superficial durante o processo de vegetação da superfície protegida e ficam incorporados à vegetação de cobertura. Os geotêxteis costumam ser empregados como proteção ao impacto das gotas de chuva ou fluxo superficial em soluções temporárias. As geocélulas podem ser empregadas como elementos de confinamento de solo orgânico ou composto vegetal, em regiões que precisam de proteção especial para o crescimento da vegetação, ou confinando elementos granulares ou argamassa de concreto em sistemas de drenagem superficial.

6.9.2 Cuidados especiais

Os dispositivos de controle de erosão superficial devem ser escolhidos em função da erodibilidade do solo, da inclinação da cobertura, da intensidade de fluxo previsto, de sua capacidade de acompanhar as deformações da camada de cobertura e do tempo de serviço estimado (tempo para crescimento da vegetação, por exemplo).

No caso de emprego de geocélulas é sempre recomendável que um geotêxtil com a função de filtração seja colocado sob a geocélula, e que sua capacidade de reter o material a confinar e de permitir o fluxo por seus elementos (quando houver) seja avaliada.

7 As diversas aplicações

7.1 Disposição de resíduos sólidos

7.1.1 Aspectos gerais da concepção

As áreas de disposição de resíduos sólidos (ADRS) devem ter protegidas todas as interfaces com o meio ambiente, de modo que estas áreas sempre apresentam um Sistema de Revestimento de Fundo (SRF), em toda interface com o meio que delimita a área de disposição (solo ou estrutura de fundação e contenção lateral) e um Sistema de Revestimento de Cobertura (SRC) em toda a interface com o ar.

Além dos sistemas de revestimento, sistemas de drenagem interna (SDI) devem estar presentes sempre que houver a possibilidade da percolação de líquidos ou gases, gerados pelo resíduo ou advindos da fase de operação, como por exemplo, a infiltração de água de chuva.

No caso de resíduos perigosos a disposição é geralmente em vala coberta durante toda a fase de operação para evitar a penetração da água de chuva e um dispositivo de drenagem de lixiviado (DDL) é necessário no sistema de revestimento de fundo sempre que o resíduo tiver teor de umidade capaz de gerar lixiviado por adensamento.

Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação, em especial as recomendações do item 6.6.

A Figura 7.1 apresenta esquemas de alguns casos de disposição de resíduos sólidos após encerramento.

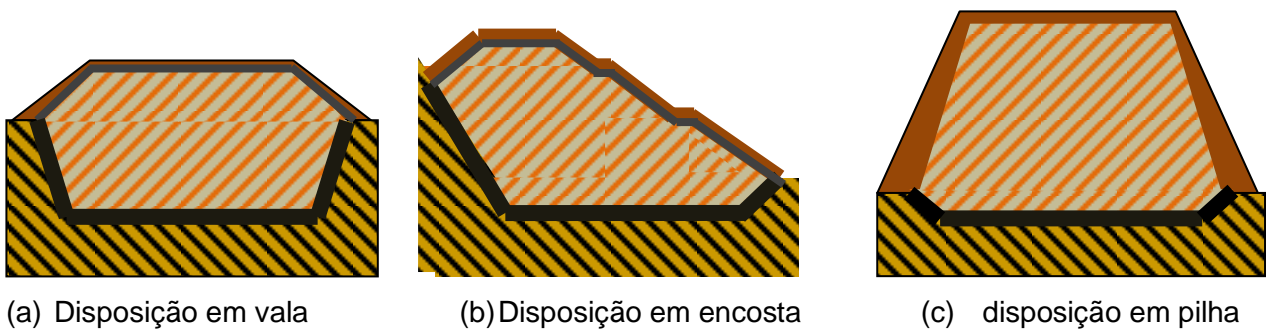


Figura 7.1 Exemplos esquemáticos de modos de disposição de resíduos sólidos (ADRS).

7.1.2 Componentes

Os geossintéticos podem estar presentes nos diversos componentes dos sistemas de revestimento e de drenagem, atuando nas funções de barreira, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosão superficial. Os elementos atendendo a função de filtração podem ter como função secundária a separação, principalmente durante a fase de construção.

O Quadro 7.1 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos sólidos após seu encerramento, considerando sua localização do topo para a base. Ele apresenta a condição mais abrangente, sendo que os componentes indicados estarão presentes considerando as necessidades advindas do tipo de resíduo e de suas peculiaridades (existência de matéria orgânica, comportamento mecânico, teor de umidade, entre outros).

Quadro 7.1 Componentes de uma área de disposição de resíduos sólidos após encerramento, em função de sua localização.

Localização	Dispositivos		Função	Objetivo
superfície	DCE	Controle de erosão	Controle de erosão superficial	Evitar o carreamento de partículas gerador de processos erosivos
Solo de cobertura				
Sistema de revestimento de cobertura (SRC)	DPS	Proteção do DDAP	Proteção e reforço	Estabilização do solo de cobertura e proteção mecânica do dispositivo de drenagem de águas pluviais
	DDA P	Drenagem pluvial	Filtração	Retenção das partículas do solo de cobertura
			Drenagem	Coleta e drenagem das águas infiltrando acima do dispositivo de estanqueidade
			Filtração	Separação e retenção de partículas no caso de DPS em material particulado
	DPI	Proteção do DDAP	Proteção	Proteção mecânica do dispositivo de drenagem pluvial
	DPS	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEC	Estanqueidade	Barreira	Estanqueidade à água de chuva e ao biogás
	DPI	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento (uniformização de recalques na ausência do DDG e sua proteção)
	DPS	Proteção do DDG	Proteção	Separação, absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento (podendo ser assegurado em parte ou no total pela estrutura de proteção do DEC)
	DDG	Drenagem do biogás	Filtração	Retenção das partículas para DPS particulado
			Drenagem	Coleta e drenagem dos gases gerados sob o DEC quando o resíduo contiver matéria orgânica
Filtração			Retenção das partículas carregadas pelo gás	
DPI	Proteção do DDG	Proteção	Uniformização dos recalques, absorção de outras solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento	
Resíduos				
Sistemas de drenagem intermediária (SDI)	DPS	Proteção do DDG/DDL	Proteção	absorção de solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DDG / DDL	Drenagem de lixiviado e gás, horizontal ou vertical	Filtração	Retenção de partículas carregadas pelo gás ou lixiviado
			Drenagem	Coleta e drenagem dos gases e lixiviados gerados pelo resíduo do entorno
			Filtração	Retenção de partículas carregadas pelo gás ou lixiviado
DPI	Proteção do DDG/DDL	Proteção	Uniformização dos recalques, absorção de outras solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento	
Resíduos				
Sistema de revestimento de fundo (SRF) (base e taludes)	DPS	Proteção do DDL	Proteção	absorção de solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DDL	Drenagem do lixiviado	Filtração	Retenção das partículas carregadas pelo lixiviado
			Drenagem	Coleta e condução do lixiviado(Ver 5.4.1.3)
	DPI	Proteção do DDL	Proteção	Separação e proteção mecânica
	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEF	Estanqueidade	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado
DPI	Proteção do DEF	Reforço/Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento	
Solo natural				

Quando houver a superposição de um dispositivo de proteção inferior (DPI) de um componente, e de um dispositivo de proteção superior (DPS) de outro componente, pode-se ter dispositivos

distintos para cada componente ou um dispositivo único capaz de atender as necessidades de ambos os componentes.

A Figura 7.2 apresenta um exemplo de estrutura frequente em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos já encerrada. O esquema não contempla os sistemas de drenagem interna, que no exemplo são verticais.

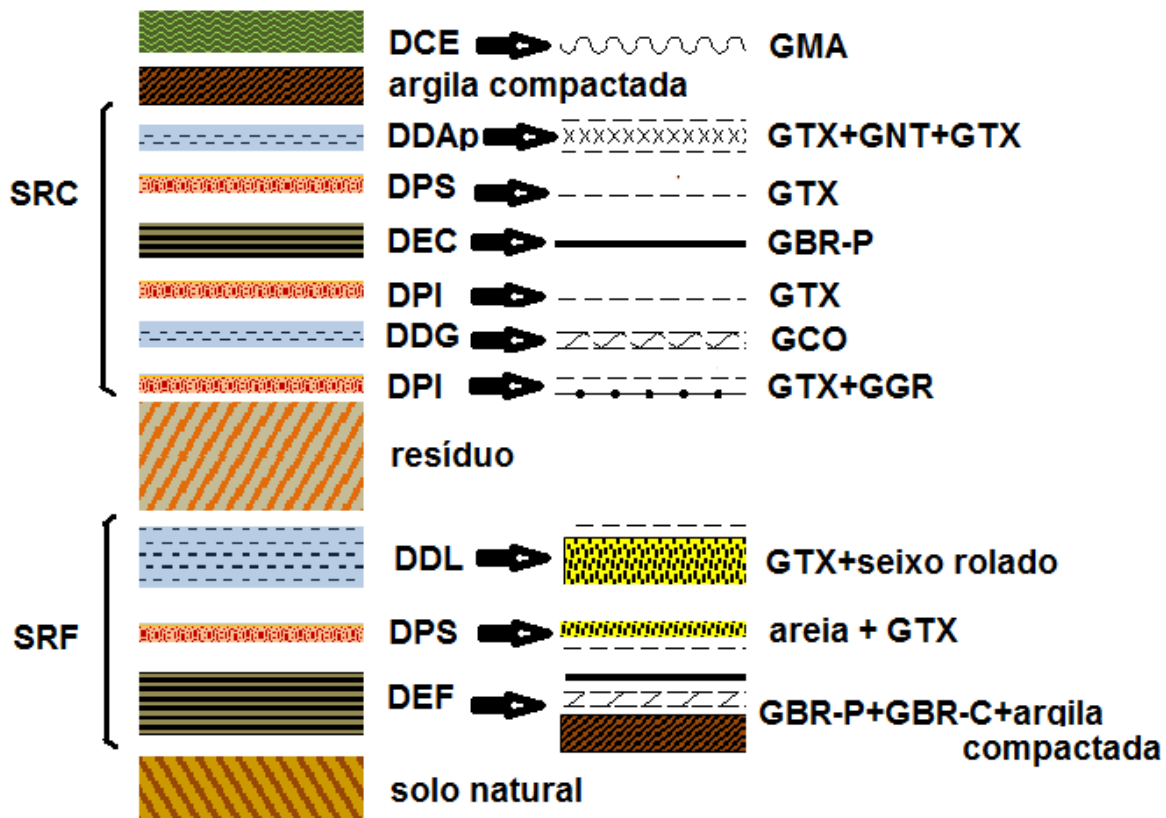


Figura 7.2 – Exemplo de estrutura em área de disposição de resíduo sólido urbano encerrada.

7.2 Disposição de resíduos líquidos

7.2.1 Aspectos gerais da concepção

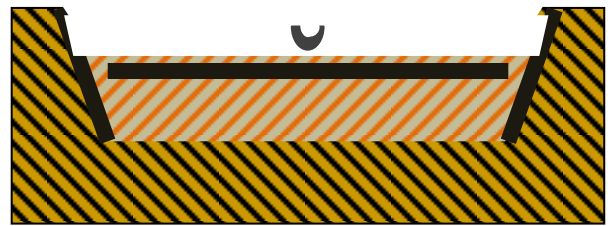
As áreas de disposição de resíduos líquidos (ADRL) devem ter sistemas de revestimento protegendo todas as interfaces nas quais haja a possibilidade de contato dos resíduos com a fundação do reservatório (solo ou estrutura de fundação e contenção lateral). Um sistema de revestimento de cobertura na interface com o ar é utilizado apenas em casos nos quais as peculiaridades do resíduo o necessita. A Figura 7.3 apresenta esquemas de alguns casos de disposição de resíduos líquidos.

É importante lembrar que toda a superfície de geossintético exposta à radiação solar implicará em redução de sua vida de serviço em função da degradação por raios UV, e o geossintético exposto deve ter tida sua resistência à degradação avaliada pelo fabricante por ensaios acelerados em laboratório conforme preconiza a ISO 14343 (ver Recomendação IGSRBrasil 002, partes 1 e 2).

Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação.



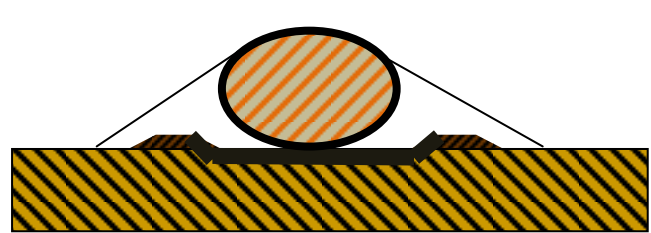
(a) Disposição sem cobertura em reservatório escavado no solo natural



(b) Disposição com cobertura flutuante em reservatório escavado no solo natural e



(c) Disposição sem cobertura em reservatório sobre solo natural com estruturas de contenção



(d) Disposição em tubos de geomembrana polimérica (ver 5.4.2.4)

Figura 7.3 Exemplos esquemáticos de modos de disposição de resíduos líquidos.

7.2.2 Componentes

Os geossintéticos podem estar presentes nos diversos componentes destes sistemas, atuando nas funções de barreira, proteção, filtração, drenagem e reforço.

O Quadro 7.2 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos líquidos, considerando sua localização do topo para a base. Ele apresenta a condição mais abrangente, sendo que os componentes indicados estarão presentes em função do tipo de resíduo e de suas peculiaridades. Quando houver a superposição de um dispositivo de proteção inferior (DPI) de um componente e de um dispositivo de proteção superior (DPS) de outro componente, pode-se ter dispositivos distintos para cada componente ou um dispositivo único capaz de atender as necessidades de ambos os componentes.

Quadro 7.2 Componentes de uma área de disposição de resíduos líquidos, em função de sua localização.

Localização	Dispositivos	Função	Objetivo	
Sistema de revestimento de cobertura (SRC)	DPS	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEC	Estanqueidade da cobertura	Barreira	Estanqueidade à água de chuva e ao biogás
	DPI	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas
Resíduos				
Sistema de revestimento de fundo (SRF) (base e taludes)	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEF	Estanqueidade de fundo	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado (ver Nota 1)
	DPI	Proteção do DEF	Reforço/Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento

Solo natural

7.2.3 Disposição em tubos ou bolsas

A disposição de resíduos líquidos em Sistemas de Confinamento de Resíduos (SCR), na forma de bolsas ou tubos produzidos a partir de barreiras poliméricas soldadas, exige geralmente que a barreira seja reforçada no processo de fabricação ou que um geossintético de reforço (geotêxtil tecido ou geogrelha) envolva a estrutura e limite suas deformações. Um SCR representa um sistema de revestimento contínuo incorporando cobertura e fundo.

Um segundo sistema de revestimento de fundo capaz de conter eventuais vazamentos, ou até mesmo todo o volume armazenado para resíduos de maior periculosidade, deve sempre ser previsto na interface com o solo, lembrando que o volume de fluido previsto deve também considerar a contribuição da chuva na área de disposição, o que pode exigir que este sistema esteja conectado com um reservatório de resíduos líquidos que contenha o fluido até sua análise e disposição final. Os cuidados com a estabilidade do conjunto devem seguir o discutido no item 7.3.4.

7.3 Disposição de resíduos semi-sólidos

7.3.1 Introdução

Os resíduos semi-sólidos quando simplesmente armazenados podem ser dispostos como os resíduos líquidos (item 7.2), sendo esta situação considerada apenas como disposição temporária. No caso de tratamento ou aproveitamento do resíduo semi-sólido duas formas de disposição merecem atenção especial: a disposição para desaguamento e a disposição para contenção e coleta de biogás.

Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação.

7.3.2 Disposição para coleta de biogás

7.3.2.1 Aspectos gerais da concepção

As áreas de disposição de resíduos semi-sólidos com alto teor de matéria orgânica com vista a coletar o biogás produzido pela decomposição dos dejetos devem ter sistemas de revestimento protegendo todas as interfaces com o meio ambiente durante toda sua operação. Deste modo, estas áreas sempre apresentam um sistema de revestimento de fundo em toda interface com o meio que delimita a área de disposição (solo ou estrutura de fundação e contenção lateral) e um sistema de revestimento de cobertura em toda a interface com o ar. A Figura 7.4 apresenta o esquema mais frequentemente empregado.

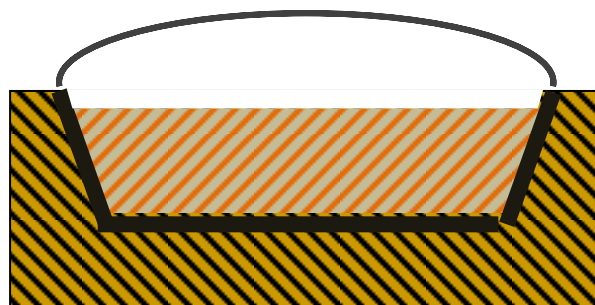


Figura 7.4 Exemplo esquemático da disposição de resíduos semi-sólidos para coleta de biogás.

7.3.2.2 Componentes

Os geossintéticos estão presentes nos componentes destes sistemas atuando nas funções de barreira e proteção. O Quadro 7.3 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos semi-sólidos para coleta do biogás, considerando sua localização do topo para a base.

Quadro 7.3 Componentes de uma área de disposição de resíduos semi-sólidos para coleta de biogás.

Localização	Dispositivos		Função	Objetivo
Sistema de revestimento de cobertura (SRC)	DPS	Proteção do DEC	Reforço	Elementos geralmente lineares para limitar as deformações
	DEC	Estanqueidade da cobertura	Barreira	Estanqueidade à água de chuva e ao biogás (ver 5.4.3.2.3)
Resíduos				
Sistema de revestimento de fundo (SRF) (base e taludes)	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEF	Estanqueidade de fundo	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado
	DPI	Proteção do DEF	Reforço/Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento
Solo natural				

7.3.2.3 Cuidados especiais com o revestimento de cobertura

É recomendável que a barreira geossintética polimérica do dispositivo de estanqueidade de cobertura tenha a face externa clara (preferencialmente branca) a fim de refletir parte da radiação solar evitando o aquecimento excessivo do resíduo disposto. Ela deve também ser suficientemente elástica para conformar-se às deformações impostas pela variabilidade da produção de biogás e suficientemente resistente para suportar sua pressão. Como o dispositivo de estanqueidade da cobertura geralmente não recebe um dispositivo de proteção em toda sua superfície, ele está continuamente exposto à radiação UV, o que vai implicar em redução de sua vida de serviço por este tipo de degradação e o geossintético exposto deve ter tido sua resistência à degradação avaliada pelo fabricante por ensaios acelerados em laboratório conforme preconiza a NBR 14334 (ver Recomendação IGSRBrasil 002, parte 2).

7.3.3 Disposição em lagoas de drenagem para desaguamento

7.3.3.1 Aspectos gerais da concepção

As áreas de disposição de resíduos semi-sólidos com vistas ao desaguamento destes resíduos em lagoas de drenagem devem ter sistemas de revestimento de fundo protegendo o solo de fundação ou os elementos de contenção que venham a estar em contato com o solo. Os resíduos podem ser dispostos nestas áreas de modo permanente ou retirados após desaguamento para disposição em áreas de resíduos sólidos ou aproveitamento em função de sua periculosidade. Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação. A Figura 7.5 apresenta esquemas de disposição neste caso.

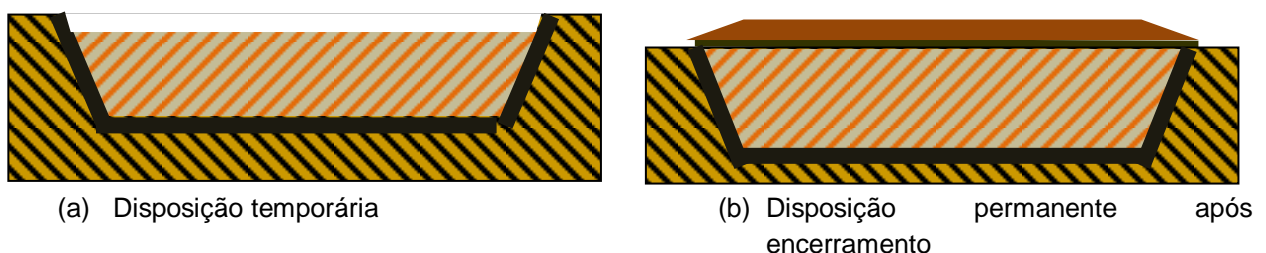


Figura 7.5 Exemplos esquemático da disposição de resíduos semi-sólidos em lagoas de drenagem.

7.3.3.2 Componentes

Os geossintéticos estão presentes nos componentes destes sistemas atuando nas funções de barreira, proteção, filtração e drenagem. O Quadro 7.4 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguamento, considerando sua localização do topo para a base.

Quadro 7.4 Componentes de uma área de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguamento em lagoas de drenagem.

Localização	Dispositivos		Função	Objetivo
superfície	DCE	Controle de erosão	Controle de erosão superficial Solo de cobertura	Evitar o carregamento de partículas gerador de processos erosivos que possam implicar em danos ou instabilização da cobertura
	DPS	Proteção do DDAP	Proteção e reforço	Estabilização do solo de cobertura e proteção mecânica da estrutura de filtração e drenagem
Sistema de revestimento de cobertura (SRC) em áreas de disposição permanente	DDP	Drenagem pluvial	Filtração Drenagem	Retenção das partículas do solo de cobertura Coleta e drenagem das águas infiltrando acima do dispositivo de estanqueidade
	DPI	Proteção do DDP	Filtração Proteção	Retenção de partículas para DPI granular Separação e proteção mecânica da estrutura de drenagem
	DPS	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEC	Estanqueidade da cobertura	Barreira	Estanqueidade à água de chuva
	DPI	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e
	Resíduos			
Sistemas de drenagem intermediária (SDI)	DDL	Drenagem interna de lixiviado	Filtração	Retenção de partículas
			Drenagem	Coleta e condução do fluido presente no resíduo
			Filtração	Retenção de partículas
Resíduos				
Sistema de revestimento de fundo (SRF) (base e taludes)	DPS	Proteção do DDL	Proteção	absorção de solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DDL	Drenagem do lixiviado	Filtração Drenagem	Retenção de partículas Coleta e condução do lixiviado
	DPI	Proteção do DDL	Proteção	Separação e proteção mecânica
	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEF	Estanqueidade de fundo	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado
	DPI	Proteção do DEF	Reforço/Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento
Solo natural				

7.3.4 Disposição em tubos e bolsas para desaguamento

7.3.4.1 Aspectos gerais da concepção

A disposição de resíduos semi-sólidos em Sistemas de Confinamento dos Resíduos (SCR), na forma de bolsas ou tubos produzidos a partir de geotêxteis costurados, representa um sistema de

confinamento permeável e contínuo facilitando o desaguamento em toda interface com o meio ambiente e minimizando a infiltração de água de chuva.

Técnicas de tratamento simultâneas ao processo de bombeamento do resíduo para o tubo ou bolsa, ou até mesmo características específicas das partículas retidas permitem que o conjunto atue como um Sistema Fechado, com a qualidade do efluente controlada. Mesmo nos casos nos quais a opção seja permitir a passagem de alguns contaminantes, o efluente é facilmente coletado e conduzido para o sistema de tratamento mais apropriado. Este tipo de disposição representa proteção ambiental suplementar pois os contaminantes ficam confinados no sistema, reduzindo os riscos relacionados à disposição em lagoas de drenagem.

Um sistema de revestimento de fundo capaz de coletar e conduzir o efluente deve sempre ser previsto na interface com o solo, lembrando que o volume de fluido previsto deve também considerar a contribuição da chuva na área de disposição, o que pode exigir que este sistema esteja conectado com um reservatório de resíduos líquidos que contenha o fluido até sua análise e disposição final.

Os resíduos podem ser dispostos nestas áreas de modo permanente ou retirados após desaguamento para disposição em áreas de resíduos sólidos ou aproveitamento em função de sua periculosidade. A superposição de tubos ou bolsas no caso de disposição permanente é muitas vezes realizadas e neste caso o sistema de confinamento deve ser dimensionado de forma a suportar as solicitações advindas da sobrecarga imposta. A Figura 7.6 apresenta esquemas de alguns dos modos de disposição mais frequentemente empregados.

Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação.

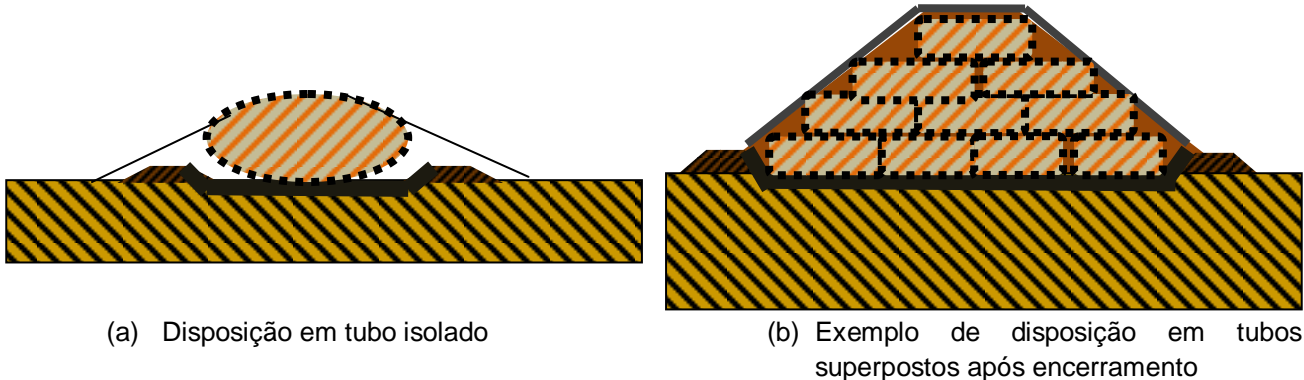


Figura 7.6 Exemplos esquemáticos de modos de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguamento em tubos ou bolsas.

7.3.3.2 Componentes

Os geossintéticos estão presentes nos componentes destes sistemas atuando nas funções de barreira, proteção, reforço, filtração e drenagem. O Quadro 7.5 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguamento em tubos ou bolsas, considerando sua localização do topo para a base.

Quadro 7.5 Componentes de uma área de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguoamento em tubos ou bolsas.

Localização	Dispositivos		Função	Objetivo
superfície	DCE	Controle de erosão	Controle de erosão superficial	Evitar o carreamento de partículas gerador de processos erosivos que possam implicar em danos ou instabilização da cobertura
	Solo de cobertura			
Sistema de revestimento de cobertura (SRC) em áreas de disposição permanente	DPS	Proteção do DDP	Proteção e reforço	Estabilização do solo de cobertura e proteção mecânica da estrutura de filtração e drenagem
	DDP	Drenagem pluvial	Filtração Drenagem	Retenção das partículas do solo de cobertura Coleta e drenagem das águas infiltrando acima do dispositivo de estanqueidade
	DPI	Proteção do DDP	Proteção	Separação e proteção mecânica da estrutura de drenagem
	DPS	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEC	Estanqueidade da cobertura	Barreira	Estanqueidade à água de chuva
	DPI DPS	Proteção do DEC Proteção do DDL	Proteção Reforço	Absorção das solicitações mecânicas e Absorção das solicitações mecânicas
Sistema de confinamento do resíduo (SCR)	DDL	Drenagem do efluente	Filtração	Reter as partículas deixando passar o efluente sob pressão ou em evaporação, mas evitando a infiltração de águas pluviais (por exemplo com um geotêxtil hidrofóbico)
			Drenagem	Coleta e condução do efluente ou evaporado
Resíduos				
Sistema de confinamento do resíduo (SCR)	DDL	Drenagem do efluente	Drenagem	Coleta e condução do efluente ou evaporado
			Filtração	Reter as partículas deixando passar o efluente sob pressão ou em evaporação, mas evitando a infiltração de águas pluviais (por exemplo com um geotêxtil hidrofóbico)
	DPS	Proteção do DDL	Reforço	Absorção das solicitações mecânicas
	DPS	Proteção do DDL	Proteção	absorção de solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
Sistema de revestimento de fundo(SRF) (base e taludes)	DDL	Drenagem do fluido	Drenagem	Coleta e condução do efluente e águas pluviais
	DPI	Proteção do DDL	Proteção	Separação e proteção mecânica
	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEF	Estanqueidade de fundo	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado
	DPI	Proteção do DEF	Reforço/Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento

Solo natural

7.3.3.3 Cuidados com a estabilidade do sistema de confinamento

O sistema de confinamento de resíduos deve ser posicionado sobre uma base nivelada para evitar movimentos de rotação ou translação do tubo ou bolsa.

Alças laterais ou faixas de fixação, ancoradas na zona externa ao sistema de revestimento de fundo, costumam ser empregadas para auxiliar a estabilidade no início do enchimento e evitar efeitos do vento.. Estes elementos de fixação são afrouxados a medida que o resíduo introduzido no sistema de confinamento atinge massa suficiente para garantir esta estabilidade. Após o primeiro ciclo de enchimento as alças ou faixas podem ser afrouxadas para não interferir no enchimento. Módulos contíguos podem ser fixados entre si.

8 Princípios gerais de dimensionamento dos GSY

8.1 Introdução

Este item tem por objetivo discutir os aspectos mais relevantes do dimensionamento e especificação dos geossintéticos, sem discutir os métodos de dimensionamento a serem adotados, cuja escolha é de inteira responsabilidade do projetista.

A utilização de um material com controle de qualidade industrial, uma grande versatilidade no processo de fabricação e um comportamento de curto e longo prazo avaliado, permite ao projetista considerar no dimensionamento um material com propriedades bem definidas e garantidas pelo fabricante, condição difícil de ser conseguida com material natural.

Em projetos com geossintéticos, o projetista pode selecionar os produtos que melhor atendem as propriedades requeridas estabelecidas ou adotadas no método de dimensionamento escolhido. Entretanto, a vantagem da garantia de qualidade industrial só pode ser plenamente atendida se a Especificação de Projeto (ver Recomendação IGSRBrasil 003 2014) contemplar todos os aspectos necessários para que a seleção dos produtos seja eficiente e que o controle de qualidade do produto recebido e da obra sejam efetivos.

Ao estabelecer as propriedades a serem atendidas pelos geossintéticos atuando no projeto, o projetista precisa considerar não apenas o comportamento de curto prazo mas as alterações no comportamento sob manutenção das condições de solicitação (por exemplo o comportamento sob carga constante – fluência em tração, compressão ou cisalhamento) e os processos de degradação que podem afetar o comportamento ao longo do tempo.

O comportamento do geossintético durante sua Vida de Serviço pode ser afetado por solicitações mecânicas, hidráulicas, químicas, biológicas e climáticas. Avaliar durante o dimensionamento as condições passíveis de interferir no comportamento do geossintético a longo prazo e indicá-las corretamente na Especificação de Projeto é o pilar de uma obra de qualidade.

8.2 Ensaio de caracterização dos geossintéticos

8.2.1 Tipos de ensaio

Os ensaios para caracterização dos geossintéticos se dividem em dois grandes grupos: ensaios para determinação das propriedades índice (também chamadas propriedades características) e ensaio de desempenho sob condições específicas.

O primeiro grupo tem por objetivo a caracterização dos produtos de modo geral, sem considerar as peculiaridades inerentes a um determinado projeto. O segundo grupo tem por objetivo avaliar o comportamento a curto e longo prazo, sob solicitações específicas de campo ou do projeto.

8.2.2 Ensaio índice ou de caracterização do produto

Os ensaios índice (ou de caracterização de produto) devem atender a padrões bem definidos. Eles se subdividem em ensaios de controle, com a finalidade de controlar e garantir a qualidade do produto, e ensaios de comportamento padrão, como por exemplo: a fluência sob condições de temperatura e carregamento pré-estabelecidos, ou as características de interface determinadas em ensaios com solo padronizado em norma.

Dentro deste grupo também estão os ensaios estabelecidos para avaliar a durabilidade sob condições pré-definidas, considerando a degradação por raios UV ou em meio ambiente normal (solo e água naturais com temperatura menor ou igual a 25°C e pH entre 4 e 9).

Os ensaios deste grupo devem ser realizados pelo fabricante, durante o controle de qualidade industrial, atendendo os requisitos estabelecidos para uma determinada aplicação, no caso as aplicações em obras de disposição de resíduos sólidos e líquidos, e relacionados às funções que o geossintético poderá desempenhar na aplicação para o qual foi desenvolvido.

A Recomendação IGSRBrasil 002 – Requisitos para o emprego dos geossintéticos, publicada pela IGSRBrasil em 2014 e dividida em Parte 1 – Geotêxteis e produtos correlatos e Parte 2 – Barreiras geossintéticas indicam as características de controle (CC) e as características relevantes para a aplicação e função (CB), para as quais o fabricante deve disponibilizar os parâmetros resultantes dos ensaios padrão.

A Recomendação IGSRBrasil 002 estabelece quais devem ser as normas de ensaio a serem empregadas e o modo de apresentar os resultados. Ela também discute detalhadamente todo o procedimento para o controle de qualidade de fabricação e o conteúdo mínimo do Certificado de Qualidade que deve acompanhar o produto fornecido.

8.2.3 Ensaios de desempenho sob condições específicas

Os ensaios de desempenho sob condições específicas visam avaliar o comportamento do produto sob uma condição específica de projeto, como por exemplo o atrito de interface entre produtos ou entre um produto e o solo da obra, ou a susceptibilidade e intensidade do ataque químico por um composto específico do rejeito a ser disposto. Eles são ensaios realizados em campo ou em laboratório, atendendo normas existentes, como por exemplo as sugeridas pela ISO TS 13434 para avaliação da durabilidade, ou a processos estabelecidos pelo projetista, como por exemplo no caso da avaliação em campo dos danos causados durante a instalação.

8.3 Princípio da seleção do geossintético por função

Para estabelecer as propriedades que cada elemento geossintético atuando numa obra de disposição de resíduos deve apresentar, o projetista inicia o dimensionamento fazendo a análise da(s) função (ões) a serem desempenhadas pelo elemento geossintético relacionada(s) à concepção adotada, discutida nos itens anteriores.

A partir das funções a serem asseguradas por cada componente geossintético, suas características mínimas ou máximas são definidas pelo projetista com base no método de dimensionamento adotado, tendo em vista o atendimento às solicitações consideradas e os requisitos mínimos indicados na Recomendação IGSRBrasil 002, Partes 1 e 2 (2014), que indica as propriedades a serem consideradas para a aplicação e para cada função a desempenhar.

Três tipos de exigência deverão ser avaliados:

- as exigências específicas da função a desempenhar - indicando as propriedades avaliadas pelo método de dimensionamento para atender à função,;
- as exigências relacionadas à instalação - indicando as características mínimas/máximas do geossintético de modo que, qualquer que seja a severidade do processo de instalação, o produto instalado em obra possa atender as exigências específicas da função;

- as exigências relacionadas à durabilidade - indicando as características mínimas de desempenho em ensaios de durabilidade para que o produto possa atender a longo prazo as exigências específicas da função.

Para ilustrar, podemos citar o caso de geossintético atendendo a função filtração. Neste caso, um produto deve, por exemplo, ter indicados: como exigências da função - a abertura de filtração característica e a permeabilidade normal ao plano, dadas pelos critérios de retenção, colmatação e permeabilidade adotados; como exigências relacionadas à instalação - as resistências à tração, à penetração e à perfuração; como exigências relacionadas à durabilidade - uma resistência à tração retida maior ou igual a 50% da resistência à tração do produto virgem, após a exposição aos raios UV estabelecida em norma (EN12224) e exposição ao ataque químico (EN12226).

8.4 Os métodos de dimensionamento

Os métodos de dimensionamento a serem considerados estão disponíveis na literatura. Ao escolher um determinado método de dimensionamento é preciso ter sempre presentes as condições e hipóteses nele consideradas e sua adequação ao rejeito e às condições de sua disposição.

As propriedades requeridas para que o geossintético possa desempenhar corretamente a função para a qual está sendo dimensionado podem ser obtidas a partir do cálculo da solicitação, como no caso da tração para a função reforço ou da vazão a ser conduzida, no caso da função drenagem, ou ser obtidas a partir de recomendações de especialistas ou de entidades e associações.

No caso do dimensionamento empregando métodos de cálculo para estimar as solicitações, fatores de segurança globais ou parciais são empregados na estimativa das solicitações e conseqüentemente da propriedade requerida. Os produtos capazes de atender estas propriedades são aqueles para os quais a propriedade funcional ao fim da Vida de Serviço de Projeto é superior à propriedade requerida. Neste caso a propriedade funcional é estimada a partir da propriedade índice correspondente, dividida por um Fator de Redução Total obtido a partir dos diversos Fatores de Redução Parciais a serem considerados, específicos de cada produto (ver Recomendação IGSRBrasil 003, p.ex.).

Alguns dos aspectos que não podem ser negligenciados no dimensionamento são:

- a estabilidade interna e externa do maciço de rejeitos, considerando possíveis cunhas de ruptura atravessando o maciço, e passando pelo maciço e pelas interfaces entre materiais;
- a estabilidade geral dos revestimentos em taludes, considerando as características de atrito dos diversos componentes e interfaces, o risco de fluxo paralelo ao talude e a eventual passagem de equipamentos;
- o dimensionamento das ancoragens, cuidando de ter sistemas de ancoragem independentes para a barreira de fluxo e os dispositivos de proteção;
- as características peculiares do rejeito (atividade biológica, risco de sufusão,...) e sua implicação na função filtração, avaliando os critérios de retenção, colmatação e permeabilidade;
- a capacidade de fluxo dos dispositivos de drenagem considerando as interfaces de contato e as maiores tensões confinantes a que estarão submetidos, avaliada para o tempo de Vida de Serviço de projeto e condições específicas do resíduo e do dispositivo;

NOTA 1 Fatores de Redução considerando a fluência à compressão/cisalhamento do produto, processos de colmatação, emendas e danos de instalação, entre outros eventualmente identificados no projeto, devem ser aplicados a capacidade de fluxo característica para estimar a propriedade funcional .

NOTA 2 Deve ser evitada a emenda dos elementos de drenagem na direção transversal à das solicitações em tração. Caso isto não seja possível cuidados especiais devem ser previstos para garantir que a solicitação em tração do elemento não possa causar descontinuidade na condução do fluido.

- a possibilidade de recalques diferenciais em todas as superfícies e suas solicitações;
- os esforços devidos à ação dos ventos;
- os esforços localizados induzidos pela presença de elementos construtivos rígidos (paredes, caixas, tubos,...) e em seus acoplamentos ao geossintético;
- a natureza dos rejeitos e a evolução de suas características no tempo.

A Tabela 8.1 apresenta a proposta publicada no Fascículo 11 do CFG (1995) sugerindo níveis de solicitações de acordo com a localização do geossintético. Esta tabela foi proposta para o caso de disposição de resíduos sólidos urbanos, mas, com as devidas considerações sobre presença de matéria orgânica, pode ser em parte aproveitada para análise de outros casos de disposição relacionados.

Tabela 8.1 Nível das solicitações atuantes numa área de resíduos sólidos urbanos (CFG 1995).

Solicitações	Fundo	Talude	Cobertura	
			Inclinação <5%	Inclinação >5%
Químicas/biológicas	alta	média	média	média
Mecânicas				
-recalque diferencial a curto prazo	baixa	baixa	-	-
-recalque diferencial a longo prazo	média	média	alta	média
-escorregamento	baixa	alta	-	média
-puncionamento a curto prazo	alta	alta	-	-
-puncionamento a longo prazo	alta	média	média	média
-peso dos rejeitos	média	média	-	-
Carga hidráulica	média	-	-	-
Alta temperatura	média	média	-	-
Gelo/degelo	baixa	média	média	média
Raios ultravioleta	baixa	média	baixa	baixa
Sub-pressão de gases e líquidos	baixa	média	média	média
Vandalismo e roedores	baixa	baixa	média	média
vegetação	-	-	média	média
Condições atmosféricas	baixa	baixa	média	média

9 Especificação de Projeto e Garantia de Qualidade

9.1 Introdução

Para que uma obra seja realizada com qualidade é preciso que os geossintéticos a serem empregados sejam corretamente selecionados e atendam as premissas de projeto e as propriedades requeridas. Isto só pode ser conseguido de forma segura com uma correta Especificação de Projeto.

A Especificação de Projeto é um documento elaborado pelo projetista com o objetivo de estabelecer todos os aspectos a serem considerados para garantir uma obra de qualidade. Independentemente do fato de estar sendo preparado para o Projeto Básico ou o Projeto Executivo, duas fases devem ser consideradas na Especificação de Projeto: a Fase de Seleção de Produtos e a Fase de Execução.

A Especificação de Projeto para a fase de seleção de produtos deve indicar todas as informações para que os geossintéticos selecionados sejam capazes de responder com qualidade às necessidades do projeto. A Especificação de Projeto para a fase executiva deve apresentar um Plano de Verificação da Qualidade que considere todos os aspectos desde o recebimento do produto até o fim do processo construtivo e eventuais controles e manutenção posteriores.

Este documento deve explicitar o objetivo da obra, as premissas de projeto e sua concepção, as referências normativas, as definições, as condições técnicas, as funções a serem desempenhadas, o tempo de Vida de Serviço do geossintético requerido pelo projeto, os equipamentos mínimos para a implantação do produto em obra, os condicionantes ambientais considerados, o método executivo para a instalação do produto, as inspeções, os critérios de verificação da qualidade (do recebimento do produto até o final da construção) e os critérios de medição.

A Recomendação IGSRBrasil 003 (2014) apresenta a definição dos termos associados à especificação e lista os aspectos a serem considerados.

Quando a Especificação para a Fase Executiva precisar ser realizada antes do produto estar definido, é recomendável que esta especificação indique a necessidade de uma Especificação Complementar a ser preparada pelo próprio projetista ou pelo Escritório de Supervisão da Obra, atendo as recomendações estabelecidas na Especificação de Projeto (ver Recomendação 003).

9.2 Cuidados na Especificação de Projeto para Seleção de produtos

Para que o processo de seleção dos geossintéticos seja eficiente e possa garantir que apenas produtos capazes de atender os requisitos do projeto sejam selecionados, é preciso que a Especificação de Projeto nesta fase apresente todos os critérios necessários para esta seleção.

A Recomendação IGSRBrasil 003 (2014) lista os aspectos que devem constar da especificação nesta fase: o tipo de aplicação e aspectos de concepção da obra relacionados ao emprego do geossintético; as funções que ele deve desempenhar; o tempo de Vida de Serviço Requerida no projeto; as solicitações físico-químicas e mecânicas a que o geossintético estará submetido e os tempos de solicitação considerando as fases de instalação, construção e operação; as Propriedades Requeridas para o produto; as Propriedades Funcionais mínimas/máximas desejadas ou as Propriedades Índice aceitáveis estabelecidas e os Fatores de Redução adotados para obtê-las, quando for o caso; além dos aspectos que irão compor o Plano de Verificação da Qualidade da obra.

9.3 Cuidados na Especificação de Projeto para a Fase Executiva

9.3.1 Critérios de Recepção e Aceitação

É fundamental que o critério de recebimento verifique se a identificação do produto entregue obedece o exigido pela NBR ISO 10320:2013, permita avaliar se o Certificado de Qualidade é satisfatório e se as condições de estocagem e eventual amostragem estão bem indicadas.

O produto aprovado no critério de recebimento passa para a análise do critério de aceitação, que indica o número e procedimento de coleta das amostras a serem ensaiadas, dos ensaios a serem realizados e do procedimento para a realização dos ensaios. Ele deve também estabelecer o procedimento para aceitação ou reprovação do produto.

O controle para o atendimento do critério de aceitação geralmente é feito em função do nível de risco da obra e das consequências de eventual falha do geossintético, das quantidades de geossintético a ser instalado e do fato do produto ser certificado ou não.

As propriedades mais frequentemente controladas são as associadas ao comportamento em tração - resistência máxima e alongamento na ruptura. As Características de Controle ligadas ao desempenho da função, como por exemplo a abertura de filtração e a permeabilidade costumam ser também controladas mas com frequência menor.

A Tabela 9.1 apresenta uma sugestão para estimativa do número mínimo de amostras a serem ensaiadas, para geotêxteis e produtos correlatos, considerando a área da instalação e o nível de controle.

Tabela 9.1 Sugestão de frequência mínima de amostragem para ensaios de controle e verificação de qualidade de fabricação de geotêxteis e produtos correlatos

certificação	Nível de controle	Área que não necessita controle (m ²)	Área que necessita ao menos um ensaio (m ²)	Número de amostras para ensaios na área A em m ²
Produto certificado	baixo	A < 50 000	50 000 < A < 500 000	1+ (A-500 000)/1 000 000
	médio	A < 5 000	5 000 < A < 50 000	1+ (A-50 000)/100 000
	alto	0	A < 5 000	1+ (A-5 000)/10 000
Produto não certificado	baixo	0	A < 50 000	1+ (A-50 000)/100 000
	médio	0	A < 5 000	1+ (A-5 000)/10 000
	alto	0	A < 500	1+ (A-500)/1 000

Fonte: CFG 1996

A Tabela 9.2 apresenta sugestão de referências que indicam ou discutem a frequência mínima de amostragem para ensaios de controle e verificação de qualidade de fabricação para as barreiras geossintéticas.

Tabela 9.2 Referências com sugestão de frequência mínima de amostragem para ensaios de controle e verificação de qualidade de fabricação de barreiras geossintéticas.

Tipo de Geossintético	Referência
Barreira geossintética argilosa (GBR-C) ou GCL	GRI-GCL3
Geomembrana (GBR-P) de PEAD (HDPE) Lisa ou Texturizada	GRI-GM13
Geomembrana (GBR-P) de PVC	ASTM D7176
Geomembrana (GBR-P) de PEBDL (LLDPE) Lisa ou Texturizada	GRI-GM17
Geomembrana (GBR-P) Flexível de PP Reforçada ou Não reforçada	GRI-GM18
Geomembrana (GBR-P) de EDPM Reforçada ou Não reforçada	GRI-GM21
Geomembrana (GBR-P) de PE Reforçada Utilizada Exposta em Aplicações Temporárias	GRI-GM22
Geomembrana (GBR-P) de PEBDL (LLDPE) Reforçada	GRI-GM25
Geomembrana (GBR-P) de PECS Reforçada (CSPE-R)	GRI-GM28

PEAD (Polietileno de Alta Densidade); PEBDL (Polietileno de Baixa Densidade Linear); PP (Polipropileno); EDPM (Copolímero-Etileno-Propileno); PE (Polietileno); PECS (Polietileno Clorossulfonado)

A Recomendação 002, Partes 1 e 2 auxilia o projetista indicando os deveres do fabricante relacionados à identificação do produto e ao Certificado de Qualidade que deve acompanhar os produtos entregues na obra. Ela também traz os detalhes do controle de qualidade industrial e processos para aceitação ou reprovação do produto na indústria, que geralmente são os mesmos adotados para o critério de aceitação do produto na obra.

9.3.2 Cuidados no processo construtivo e controle de qualidade da obra

Os cuidados com a instalação devem atender aos aspectos relacionados à função a desempenhar e as características do dispositivo e do produto.

A preparação da base sobre a qual o geossintético será instalado, o modo de disposição das bobinas ou fardos, a ancoragem provisória ou definitiva dos painéis, as eventuais emendas por sobreposição, costura ou solda, que o produto exigir, escolhidas tendo em vista o tipo de produto e suas solicitações, devem estar claramente indicadas e com os procedimentos e controles de qualidade desta etapa bem definidos.

Além disto, o documento deve trazer os cuidados com a colocação do material que irá recobrir o geossintético e com o tráfego de veículos ou pessoas sobre ele, indicando os procedimentos a serem tomados até a entrega da obra e até mesmo posteriormente a entrega, caso sejam necessários.

No caso das barreiras geossintéticas poliméricas os detalhes com os cuidados de instalação e controle da obra estão indicados na NBR 16199:2013.

9.4 Controles a serem efetuados

9.4.1 Controle da camada de suporte do geossintético

A NBR 16199 (2013) detalha os cuidados a tomar com a camada de suporte da geomembrana. Muitos destes aspectos, como por exemplo os relacionados à forma (geometria, nivelamento,

planimetria, declividades,..), à agressividade do material de base (textura, angularidade, pedras, raízes,...), à capacidade de suporte ou às interferências, também são aspectos a serem considerados para os outros geossintéticos, com maior ou menor severidade, tendo em vista a influência destes fatores no comportamento esperado.

9.4.2 Controle do geossintético

Os produtos recebidos devem passar por controle de recebimento e de aceitação, conforme discutido em 9.3.2.

Ao encaminhar o produto para a instalação deve estar previsto o controle dos documentos que comprovem que este é o produto a ser instalado e que foi aceito, e deve ser feito o controle da qualidade do armazenamento, avaliando se o material a ser instalado continua íntegro, sem danos ou sujeira acumulada, e se a armazenagem previu sua proteção aos raios UV, caso necessário.

9.4.3 Controle da instalação

Antes do início da instalação é preciso verificar se a camada suporte foi controlada e aceita, e atende aos critérios recomendados na NBR 16199. Também deve-se verificar se o documento com as condições de circulação no canteiro de obras atende as necessidades da instalação e está sendo respeitado .

Para a instalação, é preciso verificar se as condições climáticas são satisfatórias e se o tempo máximo de exposição aos raios UV, indicado no Certificado de Qualidade, está de acordo com a necessidade da obra e se está sendo respeitado.

Antes da disposição das bobinas ou fardos no terreno é preciso analisar se o Plano de Verificação da Qualidade traz a modulação dos painéis, com indicações detalhadas sobre o seu posicionamento e respectivas sobreposições, e se esta proposta poderá ser atendida, uma vez que iniciada a colocação, o painel não poderá mais ser movimentado, caso se trate de barreira geossintética, ou só poderá ser deslocado com autorização expressa do Escritório de Supervisão da Obra, no caso de geotêxteis ou correlatos.

NOTA: A modulação dos painéis da barreira geossintética deve incluir todas as sobras das bobinas, possíveis de serem aproveitadas. É recomendável que a fiscalização não aceite a colocação de sobras não previstas na modulação.

É preciso também estabelecer regras para o controle dos equipamentos a serem empregados em todas as etapas da instalação, inclusive os de costura (para GTX) ou de solda (para GM). Também devem ser estabelecidas regras para o controle da qualificação de seus operadores e de todo o pessoal envolvido, com atenção especial à qualificação dos instaladores das geomembranas poliméricas (ver NBR16199 2013). Todas as emendas devem ser submetidas a controle.

Para geotêxteis emendados por costura é preciso também prever a coleta de amostras e a verificação da qualidade da costura através de ensaios de resistência à tração da emenda (NBR ISO 10321 2013).

Os processos de ancoragem provisória e permanente também devem ser objeto de controle. No caso da ancoragem provisória deve ser também previsto o controle quando de sua remoção, para verificar se o procedimento adotado para retirar as âncoras não deslocou ou danificou o geossintético.

Um controle geral da área antes da liberação para a colocação da camada de cobertura deve ser realizado, verificando a presença de elementos ou material estranho, os contatos com as interferências e eventuais bordas livres, que precisem ser protegidas, de modo a garantir a continuidade do atendimento da função que o geossintético deve desempenhar.

9.4.4 Controle do material granular ou outros materiais usados na camada superior

A natureza e origem dos materiais a serem aplicados em contato com o geossintético precisam ser controlados, verificando se atendem às características granulométricas, de angularidade, limpeza e permeabilidade especificadas em projeto. No caso de materiais alternativos é preciso também controlar a compatibilidade química de seus componentes com o geossintético instalado.

Dutos ou outros elementos que impliquem em esforços localizados devem ter avaliadas suas superfícies e processos de acoplamento e suporte, e se a precaução com a distribuição das cargas está considerada no projeto. Atenção especial precisa ser dada aos pontos que devem receber cargas concentradas tais como bases para sistemas de drenagem verticais.

9.4.5 Controle da documentação escrita

O controle da documentação deve começar pela análise da Especificação de Projeto e do Plano de Verificação da Qualidade, verificando a possibilidade de atendimento a seus requisitos, a eventual necessidade de ajustes entre as partes envolvidas.

Antes do início da instalação é preciso ter um documento que estabeleça as regras para o acesso e a circulação no canteiro de obras, indicando as vias e o sentido de circulação, e as zonas de interdição de tráfego ou de tráfego restrito.

Diariamente uma série de documentos devem ser preparados: o Diário de Obra com a lista de pessoal presente no canteiro, o avanço da obra e a indicação de qualquer incidente ou alteração do projeto, a planta do “As Built” para geomembranas, e os diversos relatórios de acompanhamento e controle. A NBR 16199 (2013) traz detalhes destas fichas e relatórios de controle a serem empregados quando da instalação de geomembranas termoplásticas, e muitos deles podem também ser aplicados para a instalação de outros geossintéticos.

Referências Bibliográficas

ABNT NBR 10004 (2004) Resíduos sólidos – Classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR ISO 10321 (2013) Geotêxteis e Produtos Correlatos - Resistência à tração de emendas.

ASTM D7176 (2011) standard Specification for Non Reinforced Polyvinil Chloride (PVC) Geomembranes used in Buried Applications. American Society for Testing Methods.

CFG (1995) Recommandations pour l'utilisation des geosynthetiques dans le centres d'storage de déchets Comité Français de Géosynthetiques.

CFG (2010) Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques bentonitiques en installations de stockage de déchets – Version 2. Comité Français de Geosynthetiques.

ISO TS 13434 (2005) Geosynthetics - Guidelines for durability. International Standard Organization.

GRI-GCL3 (2010) Test methods, test properties and testing frequency of GCLs. Geosynthetic Institute-GRI.

GRI-GM13 (2014) Test methods, test properties and testing frequency for HDPE smooth and textured geomembranes. Geosynthetic Institute-GRI.

GRI-GM17(2015) Test methods, test properties and testing frequency for LLDPE smooth and textured geomembranes. Geosynthetic Institute-GRI.

GRI-GM18 (2014) Test methods, test properties and testing frequency for flexible polypropylene nonreinforced and reinforced (fPP and fPP-R). Geosynthetic Institute-GRI.

GRI-GM21 (2012) Test methods, test properties and testing frequency for EPDM nonreinforced and scrim reinforced geomembranes. Geosynthetic Institute-GRI.

GRI-GM22 (2012) Test methods, test properties and testing frequency for scrim reinforced PE geomembranes used in exposed temporary applications. Geosynthetic Institute-GRI.

GRI-GM25 (2012) Test methods, test properties and testing frequency for reinforced LLDPE-R geomembranes. Geosynthetic Institute-GRI.

GRI-GM28 (2013) Test methods, test properties and testing frequency for reinforced CSPE-R geomembranes. Geosynthetic Institute-GRI.