ABINT

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE NÃOTECIDOS E TECIDOS TÉCNICOS

CBG Curso Básico de Geotêxteis

Comitê Técnico Geotêxtil - CTG

APRESENTAÇÃO

Os Geossintéticos, em particular os Geotêxteis, têm sido utilizados no Brasil em milhares de obras de engenharia civil/geotécnicas, com desempenho impar e relação custo/benefício muito favorável e em alguns casos, tornando esses produtos praticamente indispensáveis.

As aplicações são muitas, sejam em drenagens profundas e subsuperficiais, canalizações, aterros sobre solos moles, pavimentações, muros de contenção, barragens, controle de erosão, áreas verdes, áreas de esporte, reforços de fundações e muitas outras.

Entretanto, muitas vezes sua potencialidade e utilização vêm sendo preteridas pela comunidade técnica e de usuários, especialmente os novos profissionais; acredita-se que devido à pouca informação e divulgação desses produtos.

Com o objetivo de ampliar o desenvolvimento tecnológico dos geotêxteis, foi criado o Comitê Técnico Geotêxtil (CTG) da ABINT – Associação Brasileira das Indústrias de Nãotecidos e Tecidos Técnicos, formado pelas empresas associadas Amoco do Brasil Ltda., Bidim – BBA Nonwovens, Ober S/A Indústria e Comércio, e Indústria de Feltros Santa Fé S/A, que entre outros trabalhos criou este "Curso Básico de Geotêxteis", escrito pelo eng° José Carlos Vertematti, experiente profissional e um dos pioneiros na atuação no mercado de Geossintéticos do Brasil.

O "Curso Básico de Geotêxteis" procura em uma linguagem simples, porém técnica, apresentar a tecnologia de utilização dos Geotêxteis, para o público técnico usuário e especificador em geral, mas enfocando fortemente o estudante das escolas de engenharia, arquitetura e cursos técnicos.

O "CBG" pode ser utilizado como texto básico nos cursos de graduação das escolas de engenharia, arquitetura e cursos técnicos, para os quais sugerimos que os capítulos A, B, C e D sejam apresentados dentro da disciplina de "Materiais de Construção", e sua íntegra ou os capítulos E e F, nas disciplinas de "Mecânica dos Solos", ou ainda em cursos de especialização.

Laerte Guião Maroni
Presidente da ABINT

O Autor :

José Carlos Vertematti nasceu em São Paulo - SP, em 1948, e se graduou em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Turma 1974.

Desde 1975, atua no desenvolvimento de aplicações de Geossintéticos em projetos de obras de drenagem, aterros, contenção, controle de erosão e pavimentação.

Desenvolveu duas patentes utilizando materiais Geossintéticos:

-*Dreno Vertical Composto - Geodreno - (modelo de utilidade)*, empregado para acelerar a consolidação de solos compressíveis.

-*Dique Contínuo de Contenção - Geoforma (patente de invenção)*, empregado principalmente na contenção de aterros hidráulicos.

Atua, desde 1990, na *Comissão de Estudos sobre Geotêxteis e Produtos Correlatos — ABNT*, colaborando no desenvolvimento das normas brasileiras para Geossintéticos.

É secretário da Associação Brasileira de Geossintéticos-IGS Brasil, que promove o desenvolvimento técnico e científico dos produtos geossintéticos em todo o país.

É Diretor Técnico da *JCV Técnicas e Soluções de Engenharia,* que atua na área de consultoria e projetos Geotécnicos.

José Carlos Vertematti agradece à ABINT pela confiança depositada e pela oportunidade de poder compilar este documento que, certamente, irá contribuir para a difusão dos Geotêxteis junto ao meio técnico em todo o Brasil.

À sua esposa Ana Maria e ao seu filho Gerson Luis, agradece pela intensa e sincera colaboração prestada na elaboração deste trabalho.

Índice

A.Introdução

- A.1 Histórico e Evolução dos Geossintéticos 7
- A.2 Terminologia e Classificação dos Geossintéticos 9
- A.3 Terminologia e Classificação dos Bioprodutos 13
- A.4 Matérias-Primas mais Utilizadas em Geossintéticos 14

B.Os Geotêxteis: Fabricação, Propriedades e Funções

- B.1 Processos de Fabricação e Tipos de Geotêxteis Mais Usados 15
- B.2 Principais Propriedades dos Geotêxteis 17
- B.3 Propriedades e Normas de Ensaios Físicos 18
- B.4 Propriedades e Normas de Ensaios de Durabilidade 18
- B.5 Propriedades e Normas de Ensaios Hidráulicos 19
- B.6 Propriedades e Normas de Ensaios Mecânicos 21
- B.7 Exemplos de Ensaios de Desempenho 24
- B.8 Funções Desempenhadas pelos Geotêxteis 25

C.Aplicações e Tecnologia de Uso dos Geotêxteis

- C.1 Estradas, Arruamentos e Pátios 28
- C.2 Lastro Ferroviário 29
- C.3 Praias Artificiais 29
- C.4 Muro de Contenção em Solo Reforçado 30
- C.5 Estradas de Acesso e Serviço sobre Solos Moles 31
- C.6 Aterros sobre Solos Moles 32
- C.7 Aterros sobre Solos Moles / Estabilização de Base 33
- C.8 Recapeamento Asfáltico 33
- C.9 Proteção de Impermeabilização 34
- C.10 Impermeabilização de Canais 36
- C.11 Proteção de Gramados 36
- C.12 Diques Contínuos de Contenção 37
- C.13 Paliçadas de Contenção 37
- C.14 Juntas de Galerias Pré-Moldadas 38
- C.15 Drenos Longitudinais Profundos 38
- C.16 Drenos de Pavimentos 39

- C.17 Canais Revestidos com Gabiões 40
- C.18 Canais Revestidos em Concreto 41
- C.19 Proteção de Margens em Rios, Lagos e Lagoas 42
- C.20 Barragens de Terra 43
- C.21 Subsolo de Edificações 44
- C.22 Muros de Contenção em Gabiões-Caixa 44
- C.23 Enrocamentos de Contenção 45
- C.24 Campos Esportivos e Jardins Suspensos 46
- C.25 Campos Esportivos e Jardins sobre Solos 46
- C.26 Drenos Verticais em Campos e Jardins 47
- C.27 Drenagem de Muros de Arrimo de Gravidade 48
- C.28 Drenos Verticais em Solos Compressíveis 49

D. Estocagem, Manuseio e Instalação

- D.1 Estocagem do Geotêxtil 51
- D.2 Manuseio do Geotêxtil 52
- D.3 Instalação do Geotêxtil 55
- D.4 Plano de Instalação do Geotêxtil 62
- D.5 Acompanhamento Técnico de Obra - ATO 63

E.Projeto, Dimensionamento e Especificação

- E.1 Funções do Geotêxtil na Obra 65
- E.2 Propriedades do Geotêxtil Requeridas na Obra 65
- E.3 Dimensionamento do Geotêxtil 66
- E.4 Ensaios Complementares de Desempenho 66
- E.5 Especificação do Geotêxtil 67
- E.6 Seleção Técnica do Geotêxtil 67
- E.7 Seleção Econômica do Geotêxtil 68

F.Dimensionamento das Propriedades de Aplicação

- F.1 Filtros em Drenos Subterrâneos 69
- F.2 Separador em Estrada de Serviço/Acesso 72
- F.3 Reforço de Muros e Taludes Íngremes 76
- F.4 Reforço em Aterros Sobre Solos Moles 84

G.Bibliografia

- G.1 Referências Utilizadas neste Curso 89
- G.2 Referências Adicionais para Geossintéticos 90

A. INTRODUÇÃO

A.1 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS

A utilização de materiais para melhorar a qualidade dos solos é prática comum desde alguns milênios antes de Cristo. Estivas de junco, solo misturado com palha, bambus, etc., em geral materiais vegetais constituídos de fibras resistentes, foram empregados nos Ziggurats, na Grande Muralha da China e em várias obras do Império Romano.

Após a Segunda Grande Guerra, com o desenvolvimento da indústria petroquímica e a conseqüente disseminação dos produtos plásticos, iniciou-se a "Era dos Geossintéticos". As primeiras utilizações de geotêxteis como elemento filtrante foram em obras costeiras nos Países Baixos e nos EUA.

Alguns anos depois, uma gama fantástica de produtos similares e/ou correlatos vem sendo desenvolvida e tem ajudado a Engenharia Civil a se modernizar, no sentido de melhoria da qualidade, aumento da vida útil da obra, melhor trabalhabilidade, maior rapidez e menores custos.

Apresentamos, a seguir, um resumo da evolução mundial dos Geossintéticos na era moderna, agrupado por décadas:

ANOS 50:

Aplicações de Geotêxteis como elementos de filtro para proteção anti-erosiva em obras hidráulicas em alguns países.

ANOS 60:

Aplicação de geotêxteis como elemento separador e de reforço entre materiais com características mecânicas e físicas diferentes, principalmente em obras viárias. Fato importante nesta década foi o início da utilização dos geotêxteis nãotecidos na Europa.

ANOS 70:

Aplicações em reforço de grandes aterros e barragens, utilização em camadas múltiplas em taludes e muros de contenção, introdução como elemento prolongador da vida útil de recapeamentos asfálticos e superestruturas ferroviárias;

1971, iniciou-se a "Era dos Geossintéticos" no Brasil com a fabricação do primeiro geotêxtil nãotecido. Vários grupos técnicos de trabalho foram criados na França, Alemanha e EUA para desenvolver normas específicas;

1977, foi realizado, na França, a "International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics", quando o prof.º Jean Pierre Giroud criou e propôs a utilização dos termos Geotêxtil e Geomembrana.

ANOS 80:

Utilização dos Geossintéticos na recuperação de áreas poluídas e na construção de obras de contenção e proteção ambiental;

1982 tivemos a "II Internacional Conference on Geotextiles" nos EUA;

1983 a criação da IGS, então denominada "International Society on Geotextiles";

1986 a "III International Conference on Geotextiles", na Áustria.

ANOS 90:

O impulso gerado pelos estudos teóricos apresentados, de casos históricos e novas aplicações, desencadearia o surgimento de uma multiplicidade de produtos e usos que, ao se combinarem, têm gerado inúmeras novas utilizações importantes;

1990, teve lugar a "IV International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products", na Holanda: note-se já a importância dos demais Geossintéticos sendo destacada neste evento;

1992, o "Seminário sobre Aplicações de Geossintéticos em Geotecnia - Geossintéticos 92" em Brasília;

1994, a "V International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products", em Cingapura, com a presença de mais de 750 especialistas de todo o mundo;

1995, o "2º Simpósio Brasileiro sobre Aplicações de Geossintéticos", em São Paulo;

1998, foi introduzido oficialmente o termo Geossintéticos na realização da "VI International Conference on Geosynthetics", nos EUA e a criação da "Associação Brasileira de Geossintéticos - IGS-Brasil";

1999, o "3º Simpósio Brasileiro sobre Geossintéticos / 1º Simpósio Sul-americano de Geossintéticos", foram realizados no Rio de Janeiro.

PRÓXIMOS EVENTOS PREVISTOS:

- VII Congresso Internacional de Geossintéticos - Paris / França - 2002
- 4º Simpósio Brasileiro de Geossintéticos - Porto Alegre e 2º Simpósio Sul-Americano de Geossintéticos / RS - 2003

A.2 TERMINOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS

De acordo com o projeto de revisão da norma brasileira NBR 12553, os geossintéticos são nomeados e classificados como segue:

GEOBARRA [GB]:

Produto em forma de barra com função predominante de reforço.

GEOCÉLULA [GL]:

Produto com estrutura tridimensional aberta, constituída de células interligadas, que confinam mecanicamente os materiais nela inseridos, com função predominante de reforço e controle de erosão. Figura A-2.1.

GEOCOMPOSTO [GC]:

Produto industrializado formado pela superposição ou associação de um ou mais geossintéticos entre si ou com outros produtos, geralmente concebido para desempenhar uma função específica.

GEOCOMPOSTO ARGILOSO PARA BARREIRA IMPERMEABILIZANTE [GCL]:

Estrutura formada pela associação de geossintéticos a um material argiloso de baixa condutividade, desenvolvida para a função de barreira impermeabilizante.

GEOCOMPOSTO PARA DRENAGEM [GCD]:

Produto desenvolvido para drenagem, composto geralmente de um Geotêxtil atuando como elemento de filtro e de uma georrede ou um geoespaçador atuando como elemento drenante. Figura A-2.2

GEOCOMPOSTO PARA REFORÇO [GCR]:

Estrutura formada pela associação de geossintéticos não similares, desenvolvida para reforço. Figura A-2.3.

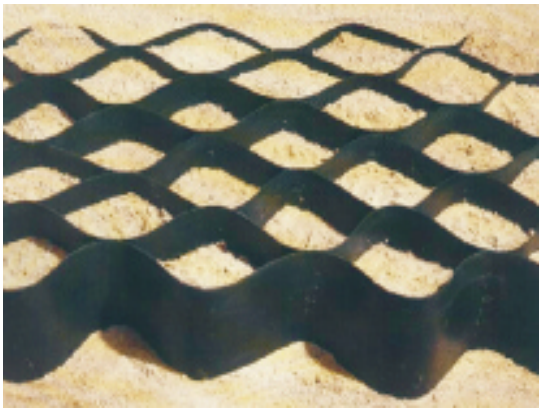


Figura A-2.1. Geocélula preenchida com areia, na construção de via de acesso.

FIgura A-2.2. GCD composto com Geoespaçador de pata simples, envolto por Geotêxtil nãotecido filtrante.

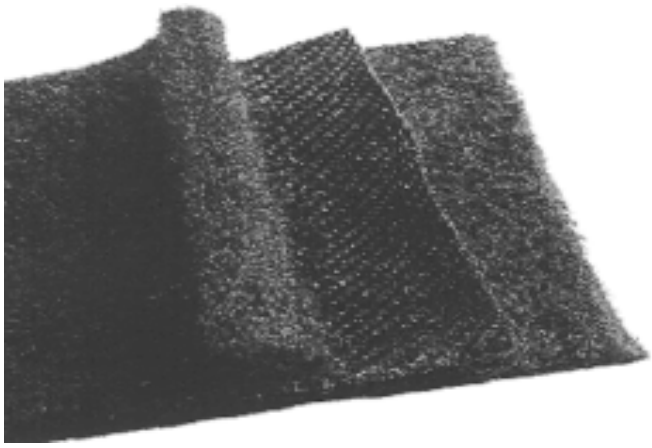


Figura A-2.3. Geocomposto constituído por dois Geotêxteis nãotecidos agulhados e um geotêxtil tecido.

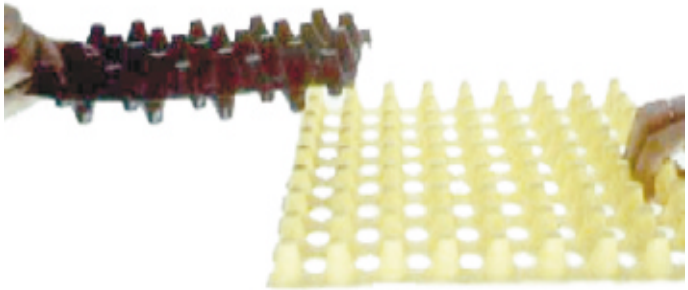


Figura A-2.4. Geoespaçadores de pata dupla (preto) e de pata simples (amarelo), utilizados como meio drenante.

Figura A-2.5. Blocos de geoexpandido fabricados com EPS, aplicados em substituição a aterros convencionais.

Figura A-2.6. Geoformas tipo colchão, preenchidas com argamassa, para revestimento de canais.

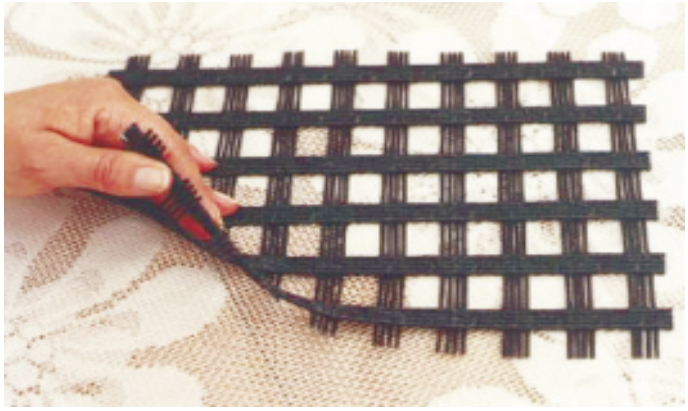


Figura A-2.7. Geogrelha flexível, utilizada para reforço de aterros/muros de contenção.

GEOESPAÇADOR [GS]:

Produto com estrutura tridimensional constituída de forma a apresentar grande volume de vazios, utilizado predominantemente como meio drenante. Figura A-2.4.

GEOEXPANDIDO [GE]:

Produto fabricado a partir de um polímero expandido formando uma estrutura tridimensional leve, com finalidade principal de aliviar o peso de uma estrutura geotécnica. Figura A-2.5

GEOFORMA [GF]:

Estrutura realizada a partir de geossintéticos, com a finalidade de conter materiais de modo permanente ou provisório. Figura A-2.6.

GEOGRELHA [GG]:

Produto com estrutura em forma de grelha com função predominante de reforço, cujas aberturas permitem a interação do meio em que estão confinadas, constituído por elementos resistentes à tração, sendo considerado unidirecional quando apresenta elevada resistência à tração apenas em uma direção e bidirecional quando apresenta elevada resistência à tração nas duas direções principais (ortogonais). Em função do processo de fabricação, as geogrelhas podem ser extrudadas, soldadas ou tecidas. Figura A-2.7.

GEOMANTA [GA]:

Produto com estrutura tridimensional permeável, usado para controle de erosão superficial do solo, também conhecido como biomanta no caso de ser biodegradável. Figura A-2.8.

Figura A-2.8. Geomanta utilizada no controle de erosão superficial de taludes.

GEOMEMBRANA [GM]:

Produto bidimensional, de baixíssima permeabilidade, composto predominantemente por asfaltos, elastômeros ou plastômeros, utilizado para controle de fluxo e separação, nas condições de solicitação. Figura A-2.9.

Figura A-2.9. Geomembrana polimérica flexível, utilizada em obras de impermeabilização.

GEORREDE [GN]:

Produto com estrutura em forma de grelha, com função predominante de drenagem. Figura A-2.10.

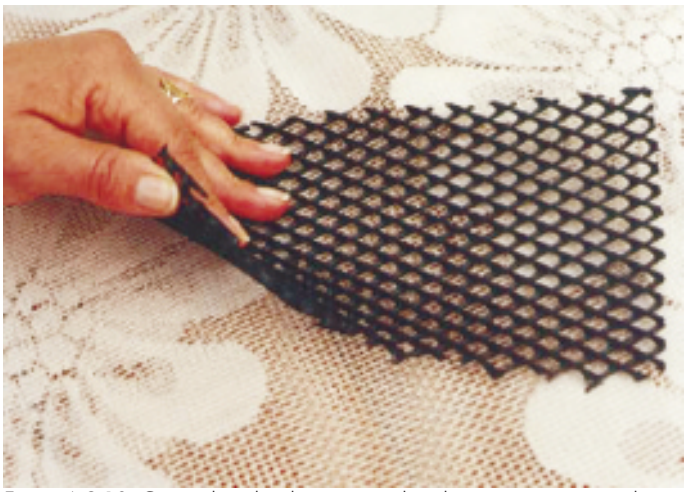


Figura A-2.10. Georrede utilizada como núcleo drenante constituinte de Geocomposto Drenante.

GEOTÊXTIL [GT]:

Produto têxtil bidimensional permeável, composto de fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes ou fios, formando estruturas tecidas, nãotecidas ou tricotadas, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções numa obra geotécnica.

Figura A-2.11. Geotêxtil nãotecido agulhado, utilizado com diversas funções em vários tipos de obras de engenharia.

GEOTÊXTIL NÃOTECIDO [GTN]:

Produto composto por fibras cortadas ou filamentos contínuos, distribuídos aleatoriamente, os quais são interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos.

GEOTÊXTIL NÃOTECIDO AGULHADO [GTN_A]:

Fibras interligadas mecanicamente, por processo de agulhagem. Figura A-2.11.

Figura A-2.12. Geotêxtil nãotecido termoligado, utilizado com diversas funções em vários tipos de obras de engenharia.

GEOTÊXTIL NÃOTECIDO TERMOLIGADO [GTN_T]:

Fibras interligadas por fusão parcial obtida por aquecimento. Figura A-2.12

GEOTÊXTIL NÃOTECIDO RESINADO [GTN_R]:

Fibras interligadas por meio de produtos químicos.

Figura A-2.13. Geotêxtil tecido, constituído de filamentos tipo laminetes, utilizado com diversas funções em vários tipos de obras de engenharia.

GEOTÊXTIL TECIDO [GTW]:

Produto oriundo do entrelaçamento de fios, monofilamentos ou laminetes (fitas), seguindo direções preferenciais denominadas trama (sentido transversal) e urdume (sentido longitudinal). Figura A-2.13

GEOTÊXTIL TRICOTADO [GTK]:

Produto oriundo do entrelaçamento de fios por tricotamento. Figura A-2.14.

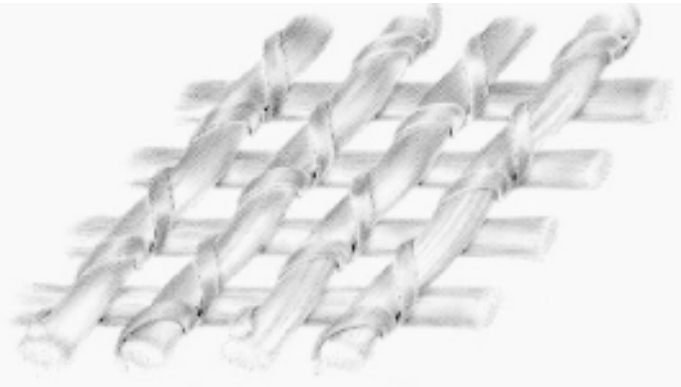


Figura A-2.14. Esquema de Geotêxtil tricotado, utilizado com diversas funções em vários tipos de obras de engenharia.

GEOTIRA [GI]:

Produto em forma de tira com função predominante de reforço.

GEOTUBO [GP]:

Produto de forma tubular com função drenante. Figura A-2.15.

Figura A-2.15. Geotubo corrugado, flexível, utilizado como elemento drenante, condutor, em vários tipos de drenos subterrâneos.

A.3 TERMINOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DOS BIOPRODUTOS

Existem situações onde a função do produto deve ser desempenhada durante um período de tempo curto e/ou determinado. Nestes casos, podem ser utilizados os Bioprodutos que, após um período de tempo, irão se degradar deixando de exercer sua função .

Os Bioprodutos são confeccionados com materiais biodegradáveis como palha, juta, fibra de coco, bambu, algodão, vime, sisal e outros. Em geral, existe um contratipo sintético para cada bioproduto.

A nomenclatura e definições apresentadas a seguir foram propostas pelos engenheiros A. Concelli e D. Cazzúffi, da Itália, por ocasião do "V Congresso Internacional de Geossintéticos", em Cingapura em1994.

Os principais Bioprodutos são:

BIOTÊXTIL [BT]:

Material têxtil permeável, feito com fibras degradáveis, na forma usual de tecido ou não tecido, utilizado em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte. É assemelhado ao Geotêxtil.

BIOMANTA [BA]:

Estrutura na forma de manta manufaturada, consistindo de uma manta irregular de fibras naturais, fios, filamentos ou outros elementos (geralmente unidos mecanicamente), cujas aberturas são maiores que seus elementos constituíntes, utilizada em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte. É assemelhada à geomanta.

BIOCÉLULA [BL]:

Estrutura celular que consiste de uma malha regular de tiras naturais biodegradáveis, interligadas por vários métodos, utilizados em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte. É assemelhada à geocélula.

BIOCOMPOSTO [BC]:

Nome genérico adotado para definir uma estrutura composta de produtos naturais biodegradáveis, na forma de manta manufaturada ou tira, utilizada em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte. É assemelhado ao geocomposto.

BIOCOMPOSTO DRENANTE [BCD]:

Para drenagem: uma estrutura composta de produtos naturais biodegradáveis, na forma de manta ou tira, utilizado em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte. É assemelhado ao geocomposto para drenagem.

A.4 MATÉRIAS-PRIMAS MAIS UTILIZADAS EM GEOSSINTÉTICOS

A tabela abaixo apresenta as matérias-primas que mais se aplicam aos geossintéticos, em ordem alfabética, relacionando-as aos respectivos tipos de geossintéticos.

Matérias-Primas	Sigla das matérias-primas	Sigla dos geossintéticos mais utilizados
Poliamida	PA	GT, GI, GB, GC, GCD, GCL
Policloreto de Vinila	PVC	GM, GG, GP
Poliéster	PET	GT, GG, GCL, GCD, GB, GR
Polietileno	PE	GG, GC, GS
Polietileno Expandido	EPS	GE, GCD, GS
Polietileno de Alta Densidade	PEAD	GM, GC, GP
Polipropileno	PP	GT, GG, GCL, GCD, GCR, GP, GM

B. OS GEOTÊXTEIS: FABRICAÇÃO, PROPRIEDADES E FUNÇÕES

B.1 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E TIPOS DE GEOTÊXTEIS MAIS USADOS

Os geotêxteis dividem-se em dois grandes grupos, os tecidos e os nãotecidos, que diferem entre si pelos processos de fabricação conforme discriminado na Figura B-1.1.

Os tecidos, basicamente são fabricados em teares que tramam os fios ou laminetes em duas direções perpendiculares entre si: a trama perpendicular à direção de fabricação e o urdume, a própria direção de fabricação. Uma vista esquemática é apresentada na Figura B-1.2.

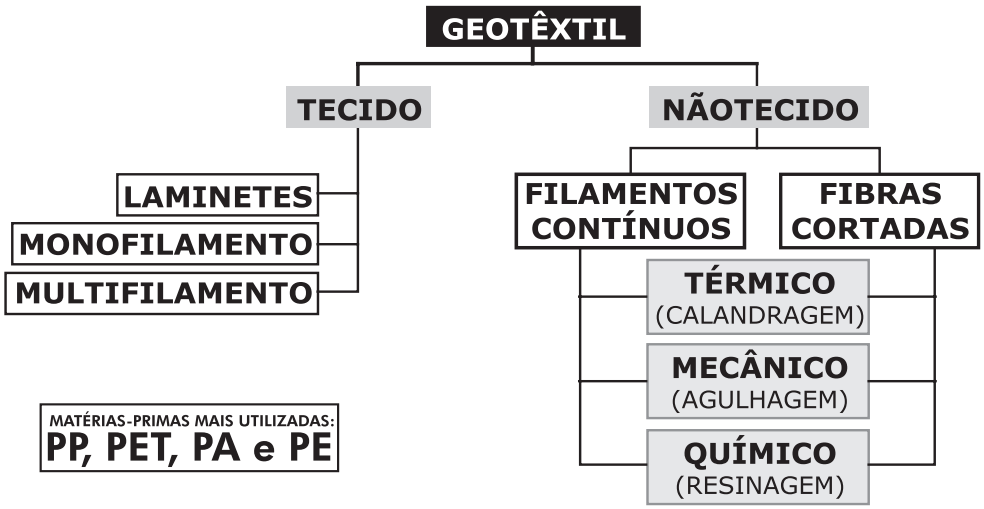


Figura B-1.1. Processos de fabricação de Geotêxteis tecidos e nãotecidos.

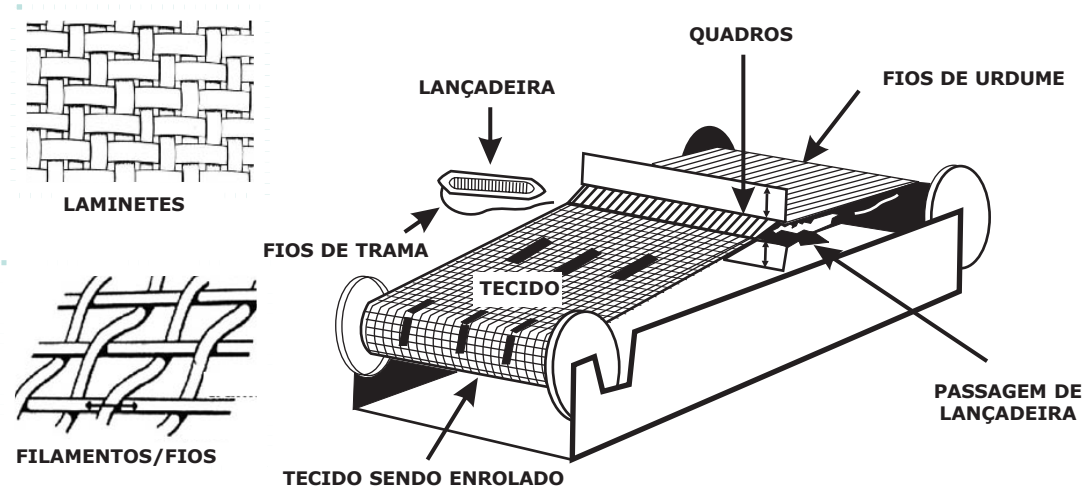


Figura B-1.2. Fabricação dos Geotêxteis tecidos.

No processo de fabricação dos nãotecidos vamos destacar os produzidos via carda e via fundida por serem os mais utilizados no mundo.

No processo via carda, as fibras fornecidas em fardos são paralelizadas por cilindros recobertos de dentes penteadores que formam os véus, os quais são dobrados formando as mantas.

Estas são consolidadas por intensa agulhagem mecânica, calandragem ou resinagem, resultando no produto final. Vide corte esquemático na Figura B-1.3.

No processo via fundida, destacamos a fiação contínua por extrusão onde os filamentos são resfriados, estirados e depositados sobre uma esteira rolante em forma de mantas.

Estes são consolidados por intensa agulhagem mecânica ou calandragem ou resinagem, resultando no produto final. Vide corte esquemático na Figura B-1.4.

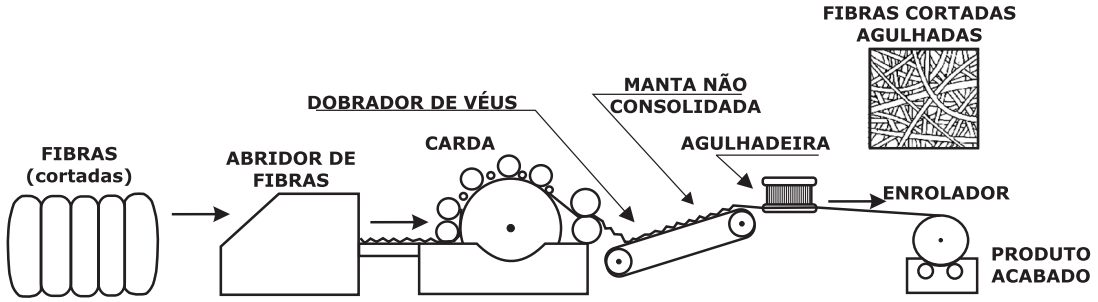


Figura B-1.3. Fabricação dos Geotêxteis nãotecidos cardados agulhados.

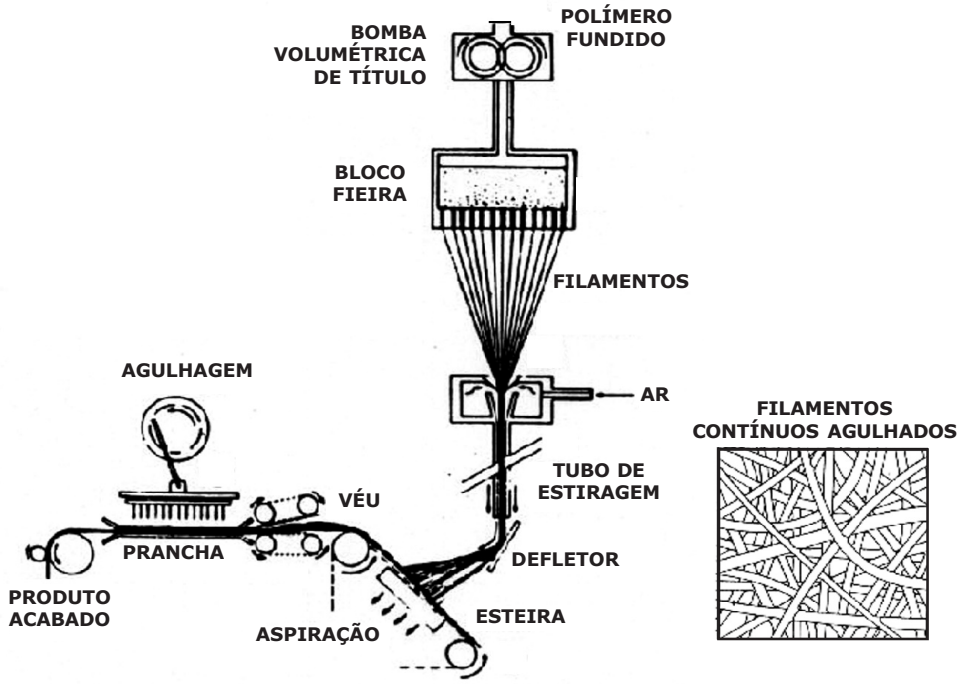


Figura B-1.4. Fabricação dos Geotêxteis nãotecidos de filamentos contínuos agulhados.

B.2 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS GEOTÊXTEIS

Estas são as principais propriedades dos geotêxteis utilizadas nas especificações de projetos:

PROPRIEDADES

FÍSICAS
- Gramatura do Geotêxtil
- Ponto de Amolecimento
- Espessura do Geotêxtil
- Porosidade do Geotêxtil
- Retenção de Asfalto

HIDRÁULICAS
- Permeabilidade Normal
- Permissividade
- Permeabilidade Planar
- Transmissividade
- Abertura de Filtração

MECÂNICAS
- Resistência e Alongamento à Tração
- Módulo de Rigidez
- Resistência à Propagação do Rasgo
- Resistência ao Puncionamento
- Resistência ao Estouro

DURABILIDADE
- Fluência
- Resistência a Agentes Químicos
- Resistência a Agentes Biológicos
- Resistência aos Raios U.V.
- Resistência à Abrasão

A quantificação das propriedades é feita através de ensaios de laboratório e campo. Basicamente dois tipos de ensaios são realizados:

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO: normalmente utilizados para controlar a qualidade de fabricação, permitir comparações relativas entre produtos e constar em manuais e catálogos.

ENSAIOS DE DESEMPENHO: normalmente utilizados para determinar parâmetros intrínsecos necessários em projetos, resultante da interação do Geotêxtil com outros materiais, em condições específicas.

Na prática, pelo fato dos ensaios de desempenho serem muito difíceis de realizar, caros e morosos, muitas vezes utilizam-se ensaios de caracterização como base para a elaboração dos projetos.

B.3 PROPRIEDADES E NORMAS DE ENSAIOS FÍSICOS

Para cada propriedade física indicamos a norma mais utilizada atualmente, a simbologia eventualmente adotada pela IGS-Associação Internacional de Geossintéticos e a unidade de apresentação do ensaio.

a) ESPESSURA - t_{GT}: a espessura nominal do Geotêxtil é determinada pela norma brasileira NBR 12569 e expressa em milímetros.

b) POROSIDADE - N_{GT}: é usualmente determinada pela norma alemã DIN 53855 e expressa em porcentagem do volume total do Geotêxtil.

c) PONTO DE AMOLECIMENTO: é adotado o ponto de amolecimento da matéria-prima do Geotêxtil, expresso em graus Célsius.

d) GRAMATURA OU PESO POR UNIDADE DE ÁREA - M_A: é determinada pela norma brasileira NBR 12568 e expressa em gramas por metro quadrado.

e) RETENÇÃO DE ASFALTO: é usualmente determinada pela especificação TF 25 / método 8 da AASHTO, expressa em litros por metro quadrado.

B.4 PROPRIEDADES E NORMAS DE ENSAIOS DE DURABILIDADE

As propriedades e normas de ensaios de durabilidade têm por objetivo verificar se o Geotêxtil está apto a cumprir suas funções durante toda a vida útil da obra.

Para cada propriedade de durabilidade indicamos a norma mais utilizada atualmente, a simbologia eventualmente adotada pela IGS-Associação Internacional de Geossintéticos e a unidade de apresentação do ensaio.

a) RESISTÊNCIA À ABRASÃO: é determinada pela norma americana ASTM D 4886 e expressa em perda de massa por tempo decorrido.

b) FLUÊNCIA: é determinada pela norma européia EN ISO 13431 e expressa em deformação e / ou o tempo decorrido até a ruptura, para uma carga constante aplicada.

c) RESISTÊNCIA AOS RAIOS ULTRAVIOLETA: determinada pela norma americana ASTM D 4355, expressa pela resistência de ruptura à tração remanescente após a exposição ao xenon arc durante tempo fixo.

d) RESISTÊNCIA A AGENTES QUÍMICOS: determinada pela norma suíça SN 640558, expressa em perda percentual de resistência à tração, após imersão na substância em análise.

e) RESISTÊNCIA A AGENTES BIOLÓGICOS: tratamento do Geotêxtil com bactérias, segundo a norma americana ASTM G 22-76 e subsequente avaliação das eventuais variações das características mecânicas com ensaios realizados segundo as normas ASTM específicas.

B.5 PROPRIEDADES E NORMAS DE ENSAIOS HIDRÁULICOS

As propriedades e normas de ensaios hidráulicos referem-se ao comportamento do Geotêxtil quando em contato com a água. Algumas vezes os ensaios são realizados com outros fluidos, tais como chorumes, óleos, gases, vapores, etc, sendo utilizados procedimentos e normas de ensaios específicos que não serão abordados neste curso.

Para cada propriedade hidráulica, indicamos a norma mais utilizada atualmente, a simbologia eventualmente adotada pela IGS-Associação Internacional de Geossintéticos e a unidade de apresentação do ensaio. É apresentado, também, um esquema simplificado da aparelhagem utilizada.

a) PERMEABILIDADE NORMAL À ÁGUA - K_N E PERMISSIVIDADE - ψ

A permeabilidade normal K_N do Geotêxtil é expressa em cm/s e determinada pela norma francesa AFNOR G 38016. Com a permeabilidade normal, podemos calcular a permissividade do Geotêxtil, em s^{-1}, através da expressão:

$$\Psi = \frac{k}{t_{GT}}$$

A Figura B-5.1 mostra o esquema simplificado do ensaio.

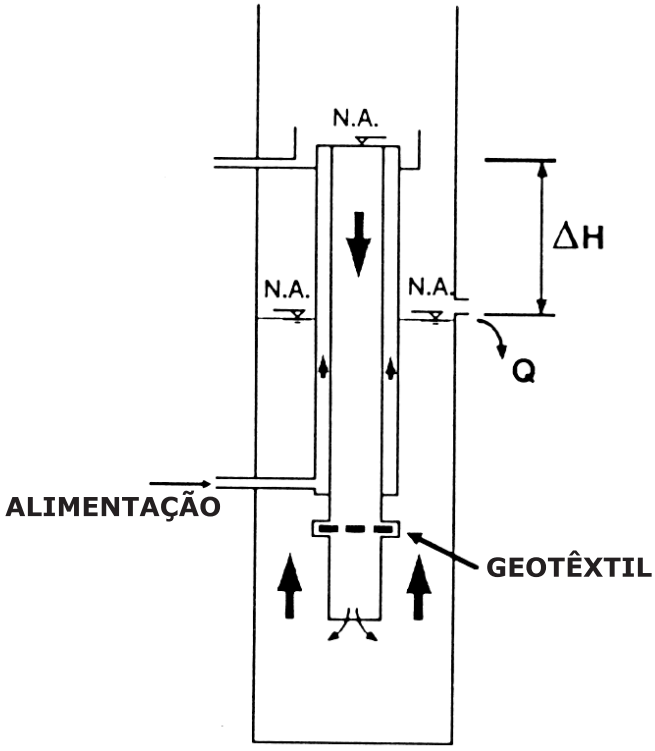


Figura B-5.1. Seção esquemática do ensaio de permeabilidade normal.

b) PERMEABILIDADE PLANAR À ÁGUA - k_p E TRANSMISSIVIDADE - θ

A permeabilidade planar K_p do Geotêxtil é expressa em cm/s e determinada pela norma francesa AFNOR G 38018. É uma propriedade inerente apenas aos geotêxteis nãotecidos.

Com a permeabilidade planar podemos calcular a transmissividade θ do Geotêxtil, em cm^2/s, através da expressão:

$$\theta = k_p \cdot t_{GT}$$

A figura B-5.2 mostra o esquema simplificado do ensaio.

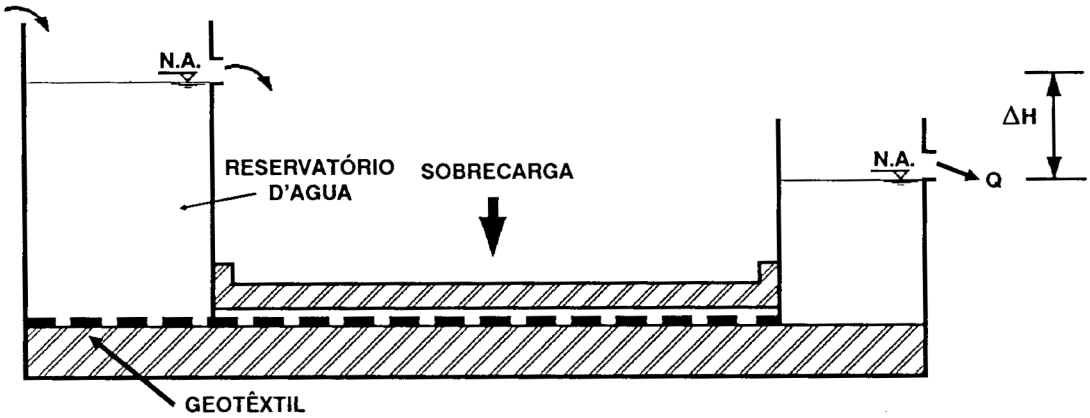


Figura B-5.2. Seção esquemática do ensaio de permeabilidade planar.

c) ABERTURA DE FILTRAÇÃO - O_f

A abertura de filtração O_f é expressa em µm e determinada pela norma francesa AFNOR G 38017. Caracteriza a capacidade de retenção de certos diâmetros de partícula pelo geotêxtil.

A figura B-5.3 mostra o esquema simplificado do ensaio.

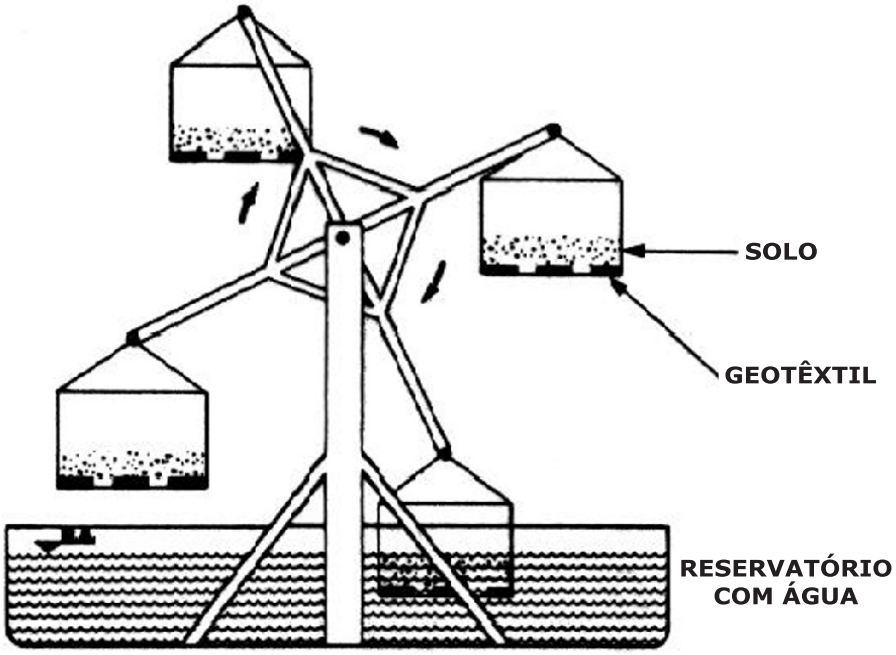


Figura B-5.3. Seção esquemática do ensaio de abertura de filtração.

B.6 PROPRIEDADES E NORMAS DE ENSAIOS MECÂNICOS

As propriedades e normas de ensaios mecânicos referem-se ao comportamento resistente do Geotêxtil quando solicitado mecanicamente por esforços transmitidos por materiais adjacentes.

Para cada propriedade mecânica indicamos a norma mais utilizada atualmente, a simbologia eventualmente adotada pela IGS - Associação Internacional de Geossintéticos e a unidade de ensaio. É apresentado também um esquema simplificado do ensaio utilizado.

a)RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DISTRIBUÍDA - T

A resistência à tração distribuída T é expressa em kN/m e determinada pela norma brasileira ABNT NB 12568.

A figura B-6.1 mostra o esquema simplificado do ensaio.

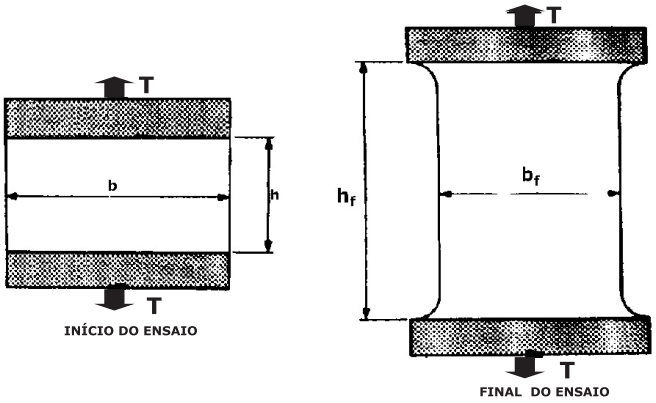


Figura B-6.1. Seção esquemática do ensaio de tração distribuída.

No ensaio de tração, pode-se determinar a curva tensão x deformação apresentada na figura B-6.2.

Assim, podemos definir vários módulos de rigidez expressos em kN/m:

1 - J_i = módulo inicial

2 - $J_{t\varepsilon}$ = módulo tangente no alongamento ε

3 - J_{ot} = módulo tangente deslocado

4 - $J_{sec\varepsilon}$ = módulo secante no alongamento ε

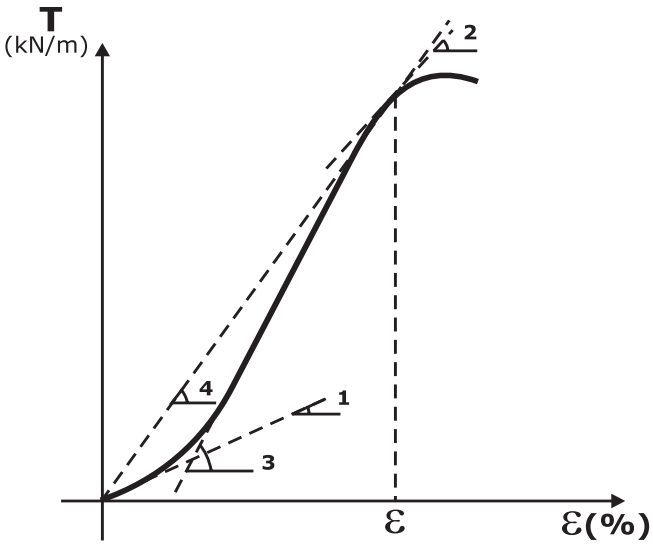
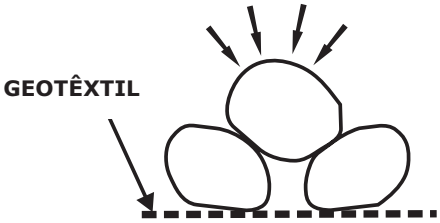
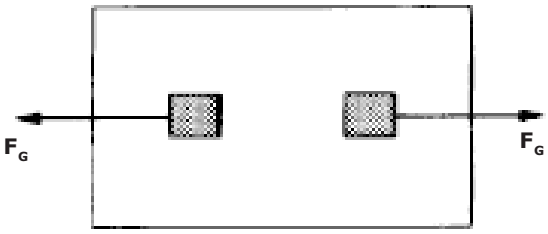


Figura B-6.2. Curva tensão versus deformação com os módulos de rigidez definidos.



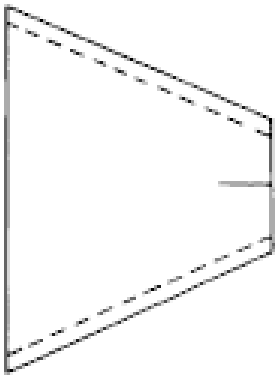
b) RESISTÊNCIA À TRAÇÃO CONCENTRADA - F_G

A resistência à tração concentrada F_G é expressa em N e determinada pela norma americana ASTM D 4632. A figura B-6.3 mostra o esquema simplificado do ensaio.



ENSAIO "GRAB TEST"

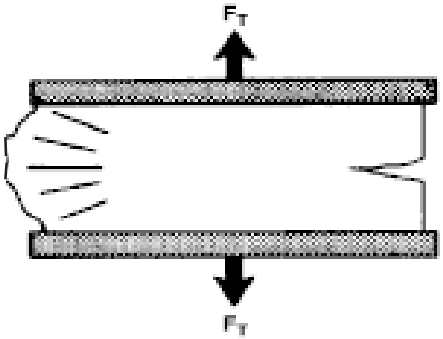
Figura B-6.3. Seção esquemática de ensaio de tração concentrada.



c) RESISTÊNCIA À PROPAGAÇÃO DO RASGO - F_T

A resistência à propagação do rasgo F_T é expressa em N e determinada pela norma americana ASTM D 4533.

A figura B-6.4 mostra o esquema simplificado do ensaio.



PROPAGAÇÃO DO RASGO

Figura B-6.4. Seção esquemática do ensaio de propagação do rasgo.

d) RESISTÊNCIA AO PUNCIONAMENTO ESTÁTICO - F_P

A resistência ao puncionamento F_P é expressa em kN e determinada pela norma brasileira ABNT NBR 13359.

A figura B-6.5 mostra o esquema simplificado do ensaio.

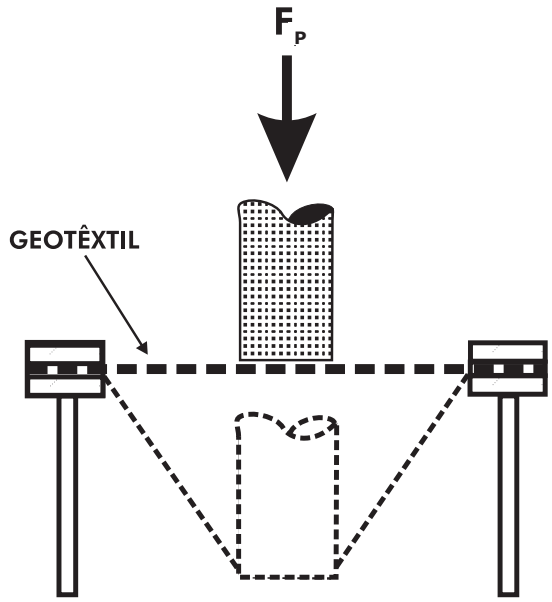


Figura B-6.5. Seção esquemática do ensaio de puncionamento estático.

e) RESISTÊNCIA AO IMPACTO OU PUNCIONAMENTO DINÂMICO - W_I

A resistência ao impacto W_i é expressa em J, representa a energia mínima para que um cone padrão perfure o Geotêxtil e é determinada pela norma americana ASTM D 4833-00.

A figura B-6.6 mostra o esquema simplificado do ensaio.

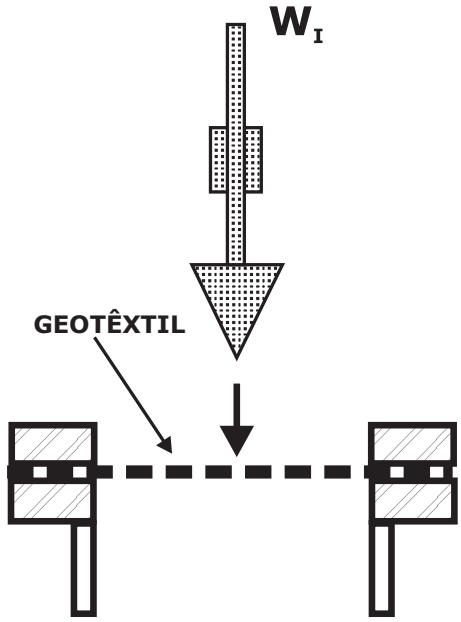


Figura B-6.6. Seção esquemática do ensaio de puncionamento dinâmico.

f)RESISTÊNCIA AO ESTOURO - P_B

A resistência ao estouro P_B é expressa em MPa e determinada pela norma americana ASTM D 3786.

A figura B-6.7 mostra o esquema simplificado.

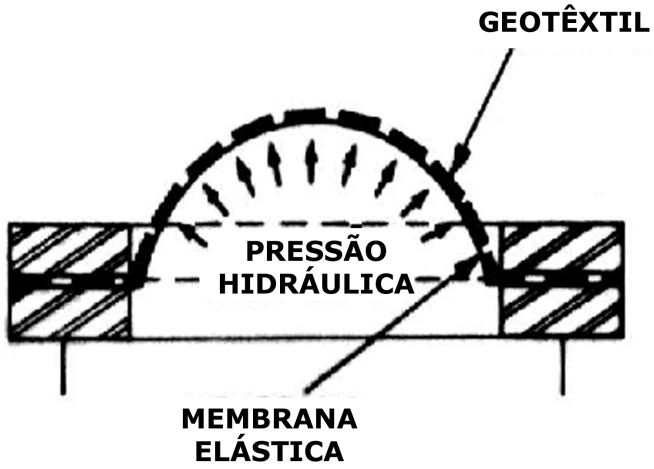


Figura B-6.7. Seção esquemática do ensaio ao estouro.

B.7 EXEMPLOS DE ENSAIOS DE DESEMPENHO

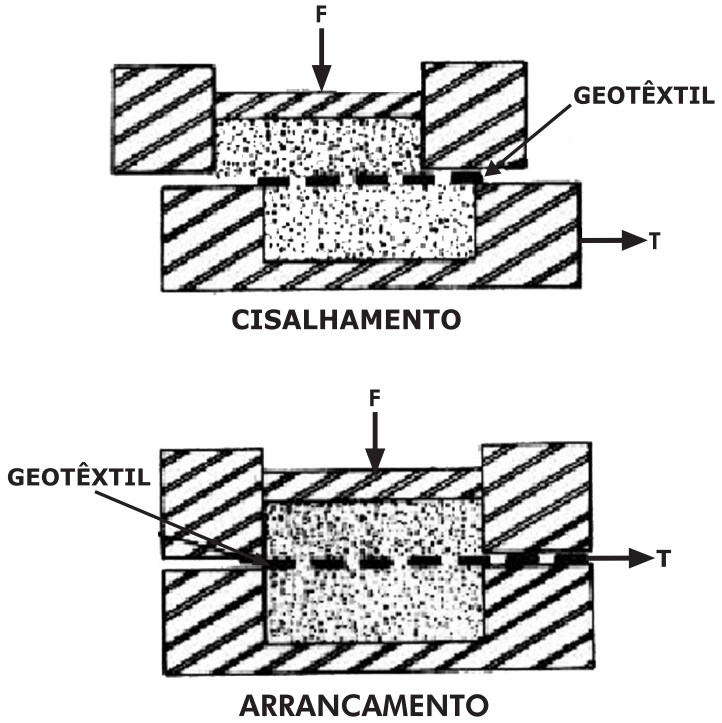


Figura B-7.1. Seção esquemática dos ensaios de cisalhamento e de arrancamento.

a) ATRITO DE INTERFACE - $\mu_{S/GT}$

O atrito de interface solo/Geotêxtil é medido em caixas de cisalhamento de grandes dimensões, conforme mostra a figura B-7.1 e pode ser desmembrado em dois tipos básicos de ensaios:

- **CISALHAMENTO:** quando há movimentação relativa solo/Geotêxtil em apenas uma de suas faces.

- **ARRANCAMENTO:** quando há movimentação relativa solo/Geotêxtil em ambas as faces.

Os ensaios de desempenho mecânico solo/ Geotêxtil/solo são realizados em muitos países, porém ainda sem normalização específica.

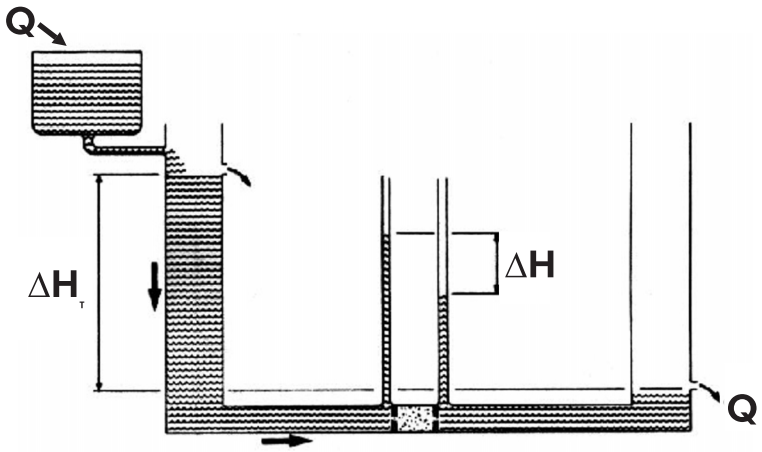


Figura B-7.2. Seção esquemática do ensaio de desempenho para colmatação e erosão interna em um Geotêxtil filtrante.

b) COLMATAÇÃO E EROSÃO INTERNA

O ensaio de Colmatação e Erosão Interna presta-se para medir a eficácia filtrante de um Geotêxtil para obras de grande responsabilidade, como por exemplo uma barragem de grande porte.

O corpo de prova, talhado a partir de uma amostra extraída da própria barragem em construção, é inserido no permeâmetro à carga constante. São então medidos o gradiente hidráulico i, a vazão Q e a perda de massa Δm, ao longo de um período determinado.

A figura B-7.2 mostra o esquema simplificado do ensaio.

B.8 FUNÇÕES DESEMPENHADAS PELOS GEOTÊXTEIS

O processo de fabricação e a matéria-prima conferem ao Geotêxtil todas as suas características e propriedades que, por sua vez, se combinam para criar as funções que o produto está apto a exercer, conforme resume a figura B-8.1 .

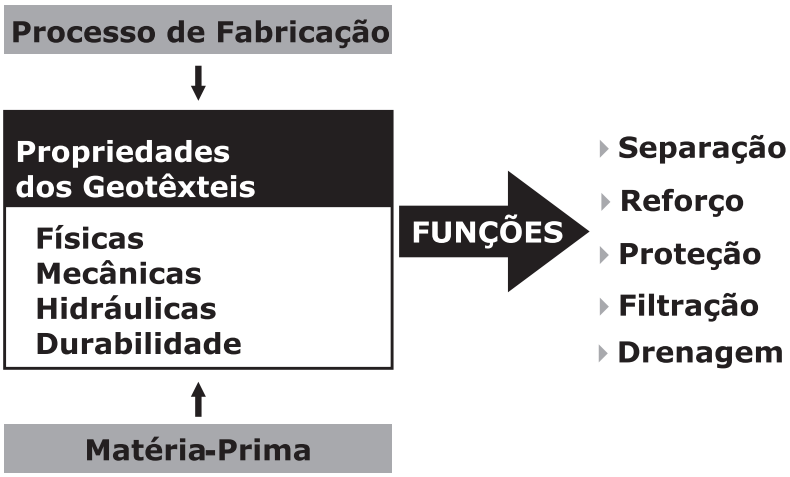


Figura B-8.1. Fatores das Funções dos Geotêxteis.

As principais funções exercidas pelos geotêxteis são descritas a seguir:

a) SEPARAÇÃO - S:

O Geotêxtil, interposto entre dois materiais de naturezas diferentes, impede sua mistura e interpenetração, preservando suas características originais.

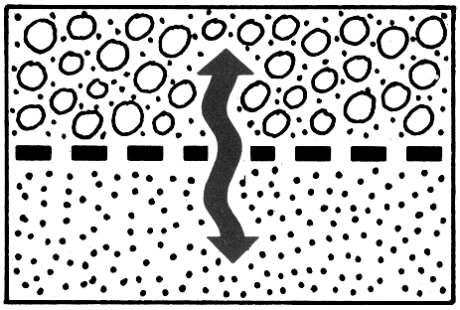


Figura B-8.2. Função Separação.

b) REFORÇO - R:

O Geotêxtil, através de suas propriedades mecânicas, atua no sentido de reforçar a estrutura geotécnica na qual está inserido.

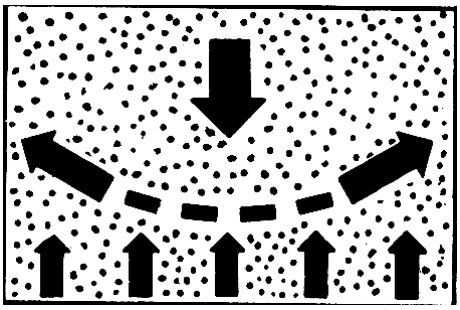


Figura B-8.3. Função Reforço.

c) PROTEÇÃO - P:

O Geotêxtil, colocado adjacente a outro elemento de uma obra geotécnica, o protege de danos mecânicos tais como abrasão, puncionamento e rasgo.

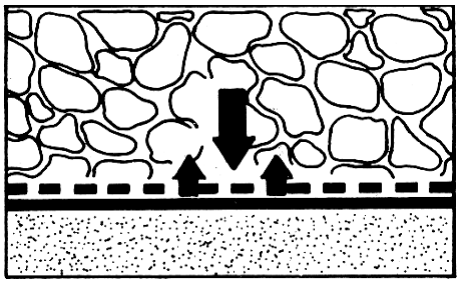
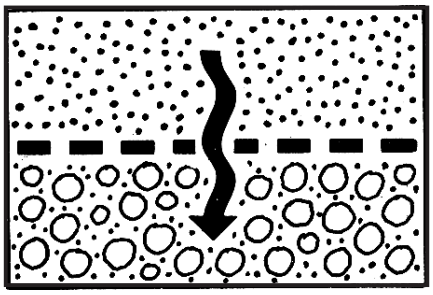


Figura B-8.4. Função Proteção.



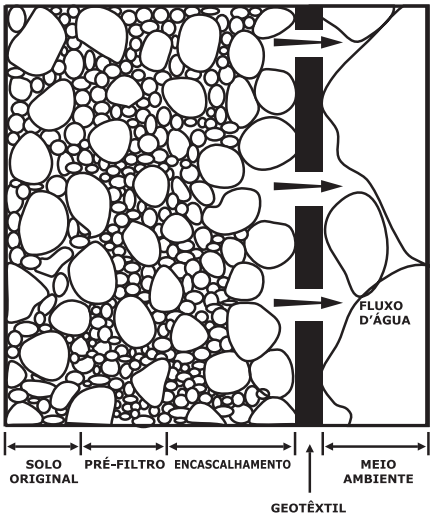


Figura B-8.5. Função Filtração.

d) FILTRAÇÃO - F:

O Geotêxtil, através de sua estrutura física, retém a fase sólida deixando livre a passagem aos fluidos. O fenômeno de filtração para a água percolando em um solo bem graduado pode ser visualizado no esquema apresentando na figura B-8.5

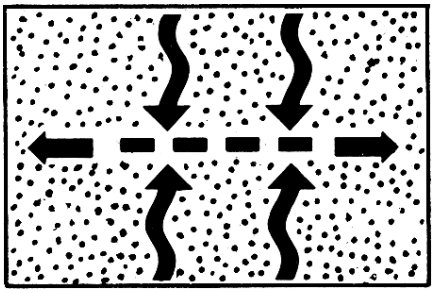


Figura B-8.6. Função Drenagem Planar.

e) DRENAGEM PLANAR - D:

O Geotêxtil, através de sua estrutura física, coleta e conduz fluidos em seu plano. Esta função é inerente apenas aos geotêxteis nãotecidos espessos.

C. APLICAÇÕES E TECNOLOGIA DE USO DOS GEOTÊXTEIS

Os principais campos de utilização dos Geotêxteis são destacados a seguir, em ordem alfabética:

a) AGRICULTURA: principal utilização em drenagem agrícola.

b) ÁREAS VERDES: jardins, floreiras e proteção de gramados.

c) BARRAGENS: proteção do talude de montante, drenos vertical e horizontal, dreno de pé de talude.

d) CANAIS: colchões drenantes, base para impregnação asfáltica e proteção de geomembranas.

e) CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: poços profundos e trincheiras de captação.

f) CONSTRUÇÃO CIVIL: drenagem subterrânea, proteção de impermeabilização, muros de contenção.

g) CONSTRUÇÃO INDUSTRIAL: drenagem subterrânea, proteção de impermeabilização, estacionamentos e arruamentos, reforço de aterros sobre solos moles e taludes íngremes.

h) CONTROLE DE EROSÃO: revestimentos de canais, bacias de amortecimento, proteção superficial de taludes.

i) ESPORTE E LAZER: campos de futebol e futebol soçaite, quadras de tênis, campos suspensos, campos de golfe, jóquei clubes, praias artificiais, proteção de gramados.

j) OBRAS DE CONTENÇÃO: muros em solo reforçado, drenos em muros de arrimo, muros em gabiões, paliçadas e diques contínuos.

k) OBRAS MARÍTIMAS: enrocamentos de contenção, diques contínuos.

l) PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE: filtros em ETA e ETE, drenagem sob reservatórios, aterros sanitários e drenagem em pilhas de minérios.

m) OBRAS VIÁRIAS: estradas, vias de acesso, sistemas viários, pátios, estacionamentos e ferrovias.

A seguir, resumimos e exemplificamos as aplicações dos geotêxteis mais desenvolvidas, destacando as funções principais por eles desempenhadas e comentando os pontos relevantes.

C.1 ESTRADAS, ARRUAMENTOS E PÁTIOS - SEPARAÇÃO

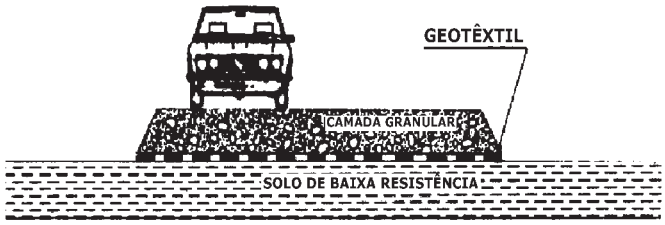


Figura C-1.1. Seção esquemática de uma base de pavimenta dotada de camada separadora / anticontaminante de geotêxtil.

Uma camada de geotêxtil interposta entre a base granular e o subleito , como elemento separador, impede que ocorra a interpenetração das camadas devido às cargas dinâmicas cíclicas produzidas pelo tráfego, com ou sem a presença de água.

Figura C-1.2. O geotêxtil é interposto entre o subleito argiloso e a camada granular que constitui o revestimento primário da estrada de acesso.

Se o subleito for coesivo, a mistura e contaminação da base granular é acelerada pela presença das águas de chuva que diminuem a resistência do solo em sua superfície saturada: a cada chuva mais alguns centímetros da base são contaminados. A colocação do Geotêxtil, entre as camadas, inibe esta condição.

Figura C-1.3. O geotêxtil é interposto entre o subleito arenoso e a base granular de pavimento flexível.

Quando o subleito for arenoso, não coesivo, o processo de interpenetração é imediato, mesmo sem a presença de água. A colocação do Geotêxtil entre as duas camadas previne a interpenetração com vantagens econômicas e operacionais se comparadas com uma camada de bloqueio convencional.

C.2 LASTRO FERROVIÁRIO - SEPARAÇÃO

As cargas cíclicas aplicadas pelas composições ferroviárias, aliadas à superfície do subleito enfraquecida pelas águas de chuvas, produzem uma lenta e contínua interpenetração lastro / subleito.

A penetração de solo fino saturado nos vazios do lastro funciona como lubrificante, diminuindo sua resistência e provocando deformações permanentes cumulativas.

Em obras novas ou na troca do lastro contaminado, o emprego do Geotêxtil entre a camada final de terraplenagem e o lastro impede a interpenetração dos materiais, preservando suas características mecânicas e aumentando a vida útil da via férrea.

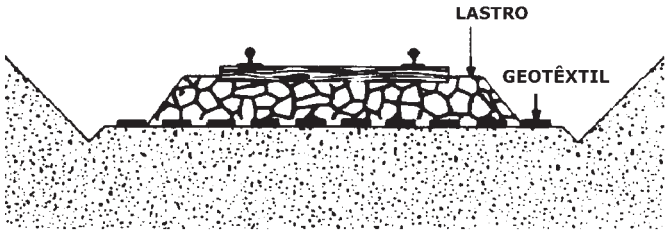


Figura C-2.1. Seção esquemática de superestrutura de via férrea utilizando Geotêxtil como elemento separador.

Figura C-2.2. O lastro antigo, completamente contaminado pelo subleito argiloso, é substituído pelo novo lastro lançado e sacado sobre o Geotêxtil separador.

C.3 PRAIAS ARTIFICIAIS - SEPARAÇÃO

Na construção de praias artificiais, nas margens de lagos ou rios, o simples lançamento de uma camada de areia não é suficiente: o pisoteamento dos banhistas provoca a mistura da areia com o solo lodoso local.

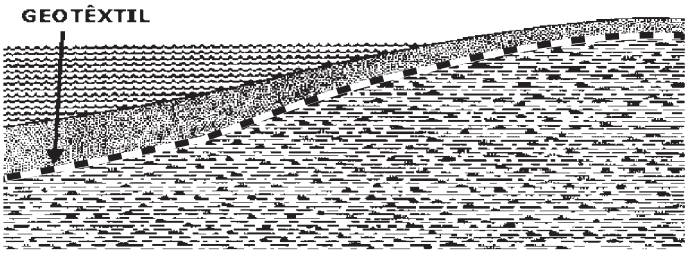


Figura C-3.1. Seção esquemática de praia artificial perenizada com Geotêxtil.

Figura C-3.2(A). Local antes da construção da praia.

Figura C-3.2(B). Praia pronta, perenizada através da utilização de Geotêxtil.

Uma camada de Geotêxtil interposta entre o solo mole e a areia pereniza a praia, pois é garantida a separação entre os materiais, assim como a livre movimentação das águas em todas as direções.

C.4 MURO DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO - REFORÇO

Figura C-4.1. Vista frontal de muro reforçado, utilizando areia silto-argilosa.

O Geotêxtil, aplicado em camadas múltiplas, reforça o solo e dispensa as pesadas estruturas de arrimo.

A obra pode utilizar, em geral, o próprio solo local e a face do muro ser em alvenaria comum, gramíneas, concreto projetado ou muro de blocos articulados. O resultado final é uma obra rápida, leve e econômica.

Figura C-4.2. Vista frontal de muro reforçado, utilizando solo arenoso.

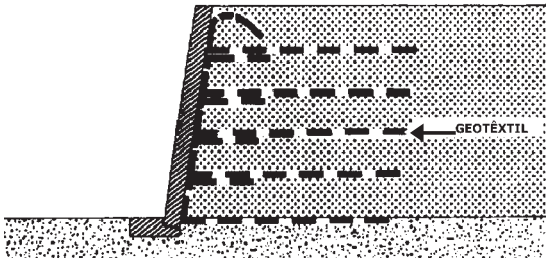


Figura C-4.3. Seção esquemática de muro de contenção em solo reforçado.

C.5 ESTRADAS DE ACESSO E SERVIÇO SOBRE SOLOS MOLES - SEPARAÇÃO E REFORÇO

A construção de estradas de acesso e/ou serviço sobre solos moles pode ser executada com o emprego de material livremente drenante ou com um solo mais fino. Em ambos os casos, todavia, o peso próprio do aterro mais as solicitações dinâmicas construtivas e de operação exigem camadas espessas de aterro para redistribuir as tensões, prevenir rupturas e minimizar o aparecimento de rodeiras.

Figura C-5.1. Estrada de serviço sobre argila mole.

O Geotêxtil, aplicado na interface solo mole/aterro, previne sua mistura com o solo mole, permitindo o livre fluxo das águas, reforça o aterro prevenindo rupturas, reduz o consumo do material de aterro, aumenta a vida útil da obra e diminui seu cronograma construtivo.

Figura C-5.2. Estrada de acesso sobre solo turfoso.

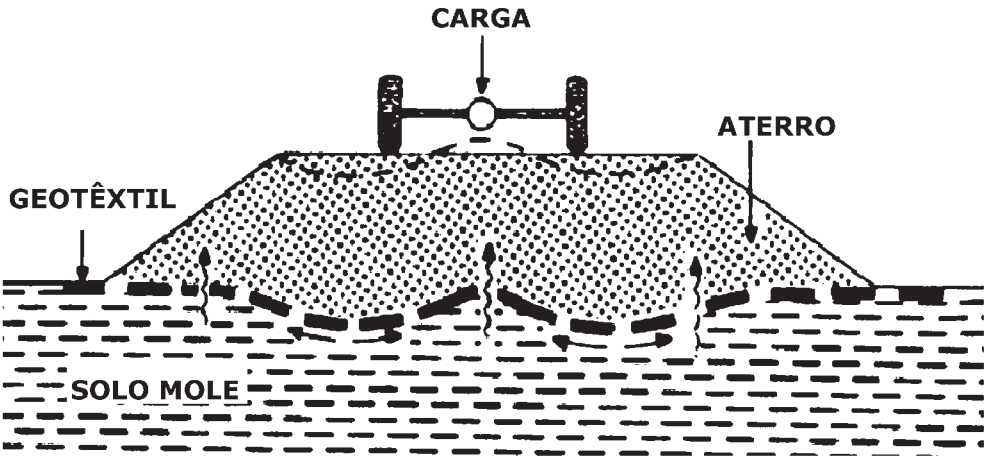


Figura C-5.3. Seção esquemática de uma estrada de acesso/serviço sobre solo mole.

C.6 ATERROS SOBRE SOLOS MOLES - REFORÇO E SEPARAÇÃO

Figura C-6.1. Aterro reforçado com múltiplas camadas de Geotêxtil sobre argila marinha.

Neste caso, o peso próprio do aterro transmite as cargas predominantes ao subleito pouco resistente.

Para prevenir a ruptura do talude do aterro podemos reforçá-lo com uma ou mais camadas de Geotêxtil aplicadas o mais perto possível de sua base.

Figura C-6.2. Aterro reforçado com Geotêxtil em camada única em longo trecho de estrada sobre mangue.

Assim, o Geotêxtil aplicado em camada única ou múltiplas camadas, reforça o aterro aumentando o coeficiente de segurança global, dispensando a troca de solo. Como conseqüência a obra é mais limpa, sem agressões ao meio ambiente, sem bota-foras e de construção muito mais rápida.

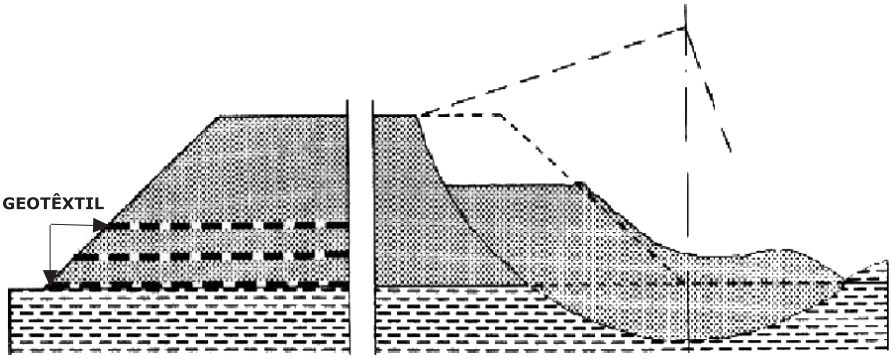


Figura C-6.3. Seção esquemática de um aterro reforçado com geotêxtil sobre solo mole.

C.7 ATERROS SOBRE SOLOS MOLES - ESTABILIZAÇÃO DE BASE - SEPARAÇÃO E REFORÇO

Para evitar a contaminação do material de aterro em suas primeiras camadas e prevenir rupturas localizadas do solo mole, utiliza-se o Geotêxtil em camada única na interface aterro / solo mole, com a função predominante de separação.

Muitas vezes, quando o projeto prevê a colocação de um colchão drenante entre o aterro e o solo mole, o Geotêxtil é posicionado entre o solo mole e a areia, preservando suas características drenantes e prevenindo perdas por mistura.

Nesta aplicação, a contribuição do Geotêxtil na estabilidade global do aterro é pequena.

Figura C-7.1. Aterro sobre solo mole, com base estabilizada com camada única de Geotêxtil.

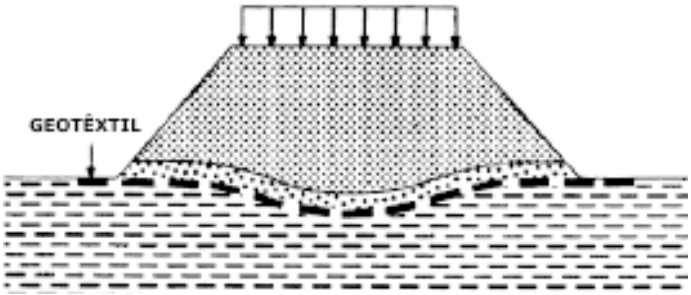


Figura C-7.2 Seção esquemática de um aterro dotado de colchão drenante com sua base estabilizada com Geotêxtil.

C.8 RECAPEAMENTO ASFÁLTICO - PROTEÇÃO

O Geotêxtil , aplicado na interface das camadas antiga e nova, retarda a ascensão das trincas da capa antiga para a nova pois seus filamentos ou fibras redistribuem as tensões que se concentram nas bordas das trincas e fissuras.

Para atuar corretamente, o Geotêxtil deve ser totalmente saturado com asfalto e estar aderido a ambas as superfícies, o que é conseguido através de imprimações.

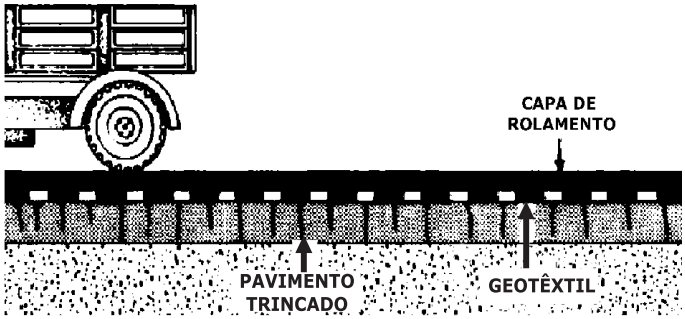


Figura C-8.1. Seção esquemática de um pavimento recapeado com utilização de Geotêxtil.

Figura C-8.2. Aplicação de Geotêxtil sobre a capa antiga, já imprimada com asfalto através de suporte rodante.

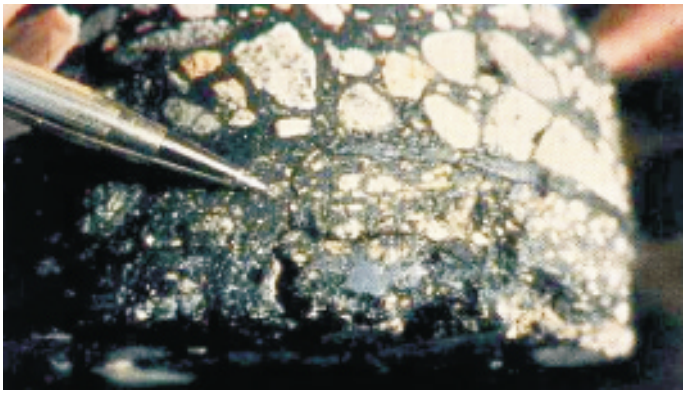


Figura C-8.3. Amostra extraída de recapeamento asfáltico, após anos de uso, onde se constata o bloqueio da ascenção das trincas pela ação do Geotêxtil.

Com as trincas e fissuras preenchidas e o Geotêxtil saturado com asfalto, obtemos um conjunto impermeável que irá barrar a penetração das águas de chuva pelas futuras trincas do novo pavimento.

O Geotêxtil, saturado de asfalto, atua como barreira anti-reflexão e membrana impermeável, aumentando a vida útil da nova capa de duas a dez vezes, dependendo das condições locais.

C.9 PROTEÇÃO DE IMPERMEABILIZAÇÃO - PROTEÇÃO

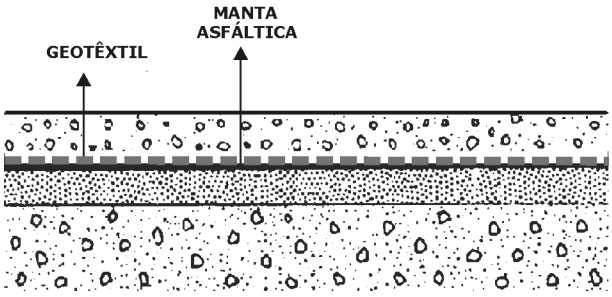


Figura C-9.1. Seção esquemática de proteção de manta asfáltica em impermeabilização de laje.

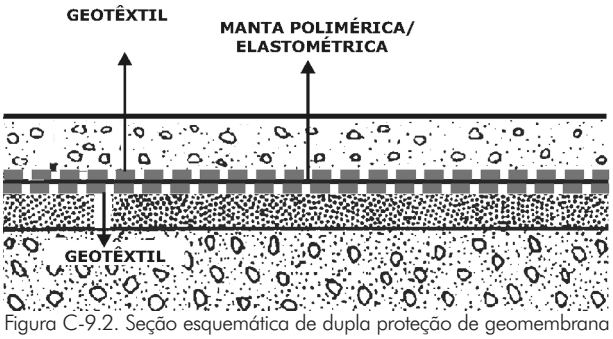


Figura C-9.2. Seção esquemática de dupla proteção de geomembrana polimérica/elastomérica delgada em impermeabilização de laje.

Nas impermeabilizações com mantas asfálticas ou geomembranas elastoméricas/poliméricas, sua função de barreira contra a percolação de fluidos deve ser preservada. Vários esforços devidos a objetos contundentes ou transmitidos pelos materiais de construção adjacentes, podem danificar as mantas e comprometer todo o sistema impermeabilizante.

Na proteção de impermeabilização de lajes com manta asfáltica, o Geotêxtil é colocado apenas na face superior, para absorver os esforços dinâmicos do pavimento/cobertura.

Se o elemento impermeabilizante for uma geomembrana delgada, deve-se prever sua proteção com Geotêxtil em ambas as faces, principalmente para prevenir esforços de puncionamento.

Em canais e aterros sanitários impermeabilizados com geomembranas delgadas, o Geotêxtil também deve protegê-las em ambas as faces, prevenindo o puncionamento e a abrasão.

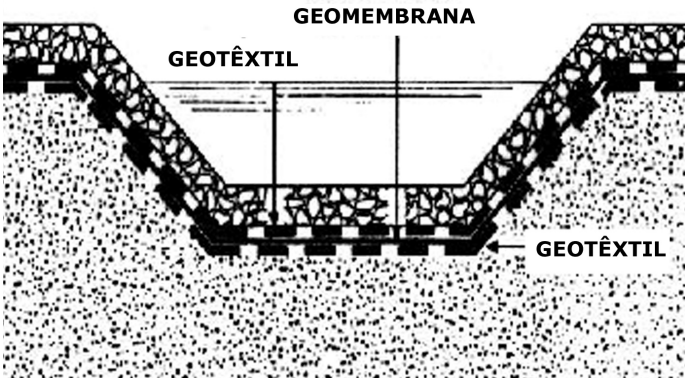


Figura C-9.3. Seção esquemática de proteção dupla em canais impermeabilizados com geomembranas.

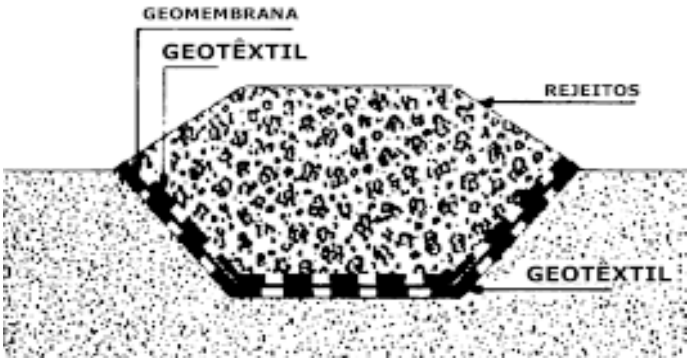


Figura C-9.4. Seção esquemática de proteção dupla em aterros de rejeitos industriais impermeabilizados com geomembranas.

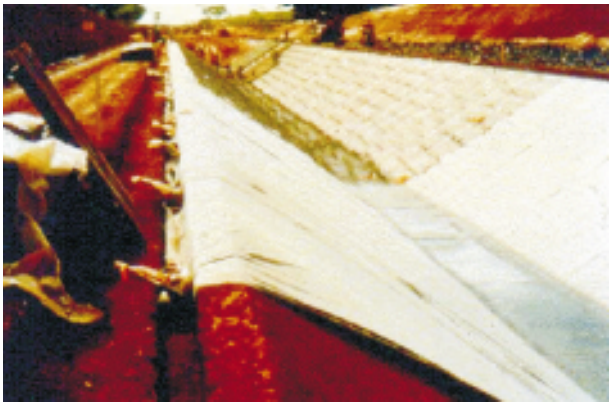


Figura C-9.5. Canal impermeabilizado com geomembrana delgada, protegida em ambas as faces com Geotêxtil, sendo a proteção superior final constituída de Gabiões Manta.

Figura C-9.6. Laje impermeabilizada com manta asfáltica protegida com Geotêxtil em sua face superior, sendo o revestimento final em argamassa de cimento e areia.

C.10 IMPERMEABILIZAÇÃO DE CANAIS - REFORÇO

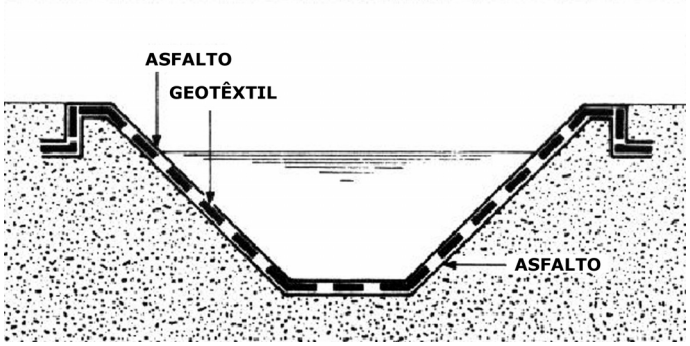


Figura C-10.1. Seção esquemática de canal impermeabilizado com Geotêxtil impregnado com asfalto.

A aplicação de Geotêxtil impregnado com asfalto no revestimento de canais tem dupla finalidade: proteger suas margens contra a ação erosiva das águas e impermeabilizar, impedindo a perda de água por penetração no solo.

Figura C-10.2. Canal de irrigação sendo protegido e impermeabilizado com Geotêxtil impregnado com asfalto.

O Geotêxtil, após fixado sobre a superfície do canal, é impregnado de cima para baixo, através do lançamento manual de asfalto a quente ou emulsões.

C.11 PROTEÇÃO DE GRAMADOS - PROTEÇÃO

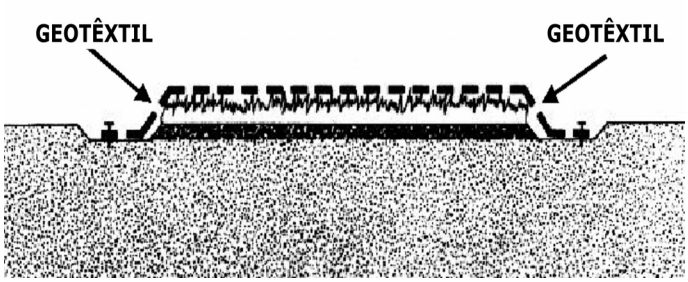


Figura C-11.1. Seção esquemática de proteção de gramados.

A realização de eventos como espetáculos, cerimônias, comemorações e festas , exige que o gramado do campo/ jardim seja protegido contra o pisoteamento.

Figura C-11.2. Gramado de campo de futebol protegido com geotêxtil: após o evento a grama permanece intacta e o Geotêxtil é recolhido em poucos minutos.

A utilização de Geotêxtil para a proteção de gramados confere total proteção contra o pisoteamento, com as vantagens de fácil e rápida instalação, proteção do gramado contra intrusão de sujeira e detritos, respiração total para a gramínea, fácil e rápido recolhimento após o evento, várias reutilizações do mesmo Geotêxtil.

C.12 DIQUES CONTÍNUOS DE CONTENÇÃO - FILTRAÇÃO E REFORÇO

Conhecidos também como salsichões, os diques contínuos de contenção são construídos através da costura longitudinal do Geotêxtil, que passa a ser a pele filtrante do salsichão.

O preenchimento dos diques é feito com o auxílio de mangotes flexíveis derivados da linha de dragagem: a areia vai sedimentando em seu interior e a água sai através do Geotêxtil.

Os diques são preenchidos juntamente com o lançamento do aterro, podendo-se trabalhar 24 horas por dia, até sob chuva, formando estruturas modulares e flexíveis. Os salsichões devem receber camada de revestimento superficial para protegê-los contra vandalismos e a ação da luz solar.

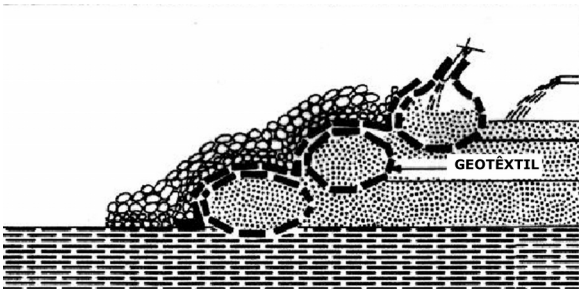


Figura C-12.1. Seção esquemática de diques contínuos em fiadas escalonadas, para contenção de aterro hidráulico.

Figura C-12.2. Diques contínuos de contenção de aterro hidráulico.

C.13 PALIÇADAS DE CONTENÇÃO - FILTRAÇÃO E REFORÇO

Para a contenção de aterros hidráulicos em locais onde se dispõe de mão-de-obra e madeira, a solução ideal é a construção de paliçadas utilizando Geotêxtil.

O Geotêxtil, pregado nos pontaletes de madeira, constitui uma cortina vertical que retém os grãos de areia, permite a livre passagem das águas de dragagem; é uma estrutura leve, resistente e muito econômica. Deve receber proteção superficial contra o vandalismo e ação da luz solar.

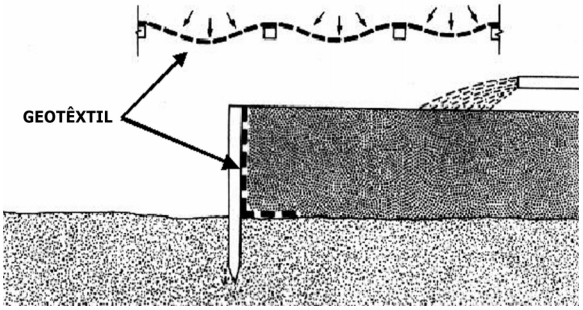


Figura C-13.1. Seção esquemática de paliçada de contenção com Geotêxtil.

Figura C-13.2. Paliçada de contenção construída com Geotêxtil.

C.14 JUNTAS DE GALERIAS PRÉ-MOLDADAS - FILTRAÇÃO

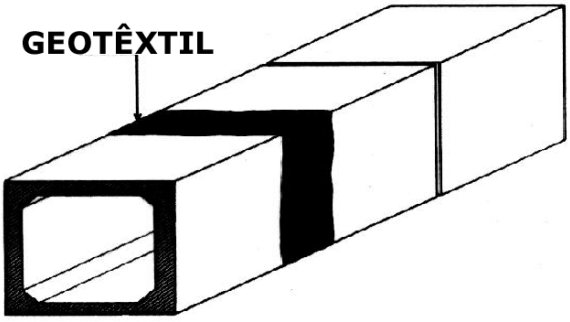


Figura C-14.1. Vista esquemática de galeria pluvial construída com elementos pré-moldados, com juntas protegidas com Geotêxtil filtrante.

Figura C-14.2. Galeria pré-moldada, em fase de construção, com suas juntas protegidas com tiras de Geotêxtil filtrante.

A construção de galerias de águas pluviais com elementos pré-moldados de concreto, tipo macho e fêmea, é muito utilizada em zonas urbanas, por sua simplicidade e rapidez executiva.

As juntas construtivas, nos encaixes dos elementos, devem ser protegidas com tiras de Geotêxtil filtrante para prevenir o desenvolvimento de erosão interna no reaterro sobre a galeria; a inexistência de um filtro, iria permitir a fuga das partículas de solo, através das juntas, pela ação das águas da galeria e/ou lençol freático.

C.15 DRENOS LONGITUDINAIS PROFUNDOS - DLP - FILTRAÇÃO

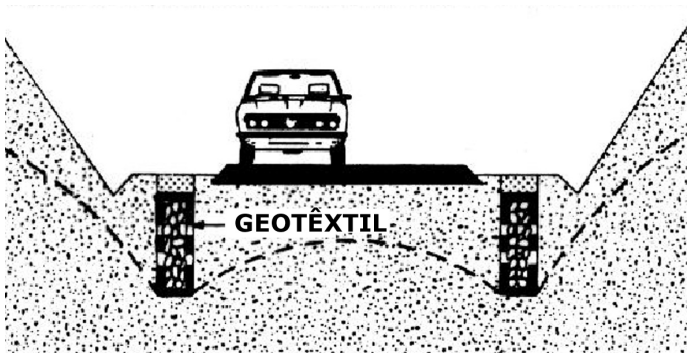


Figura C-15.1. Seção esquemática de drenos longitudinais profundos ao longo de cortes rodo-ferroviários.

Para rebaixar o lençol freático em obras viárias, geralmente em cortes rodoviários ou ferroviários, drenos longitudinais profundos paralelos são construídos ao longo da via.

A prevenção da colmatagem dos drenos devido ao carreamento dos finos do solo pelo fluxo de água, é feita através da utilização de uma camada de Geotêxtil filtrante envelopando totalmente o material drenante, usualmente uma brita.

Na parte superior da seção drenante , o Geotêxtil filtrante é sobreposto para garantir proteção total contra a penetração de finos e recebe uma camada selante de reaterro compactado.

Figura C-15.2. Dreno longitudinal profundo, ao longo de uma ferrovia, utilizando Geotêxtil como elemento filtrante.

Figura C-15.3. Dreno longitudinal profundo ao longo de uma rodovia, utilizando Geotêxtil como elemento filtrante.

C.16 DRENOS DE PAVIMENTOS - FILTRAÇÃO

Todo pavimento viário, mesmo que seja considerado impermeável, com o passar do tempo irá permitir a penetração de água para sua base. A presença de água confinada na base do pavimento, sujeita aos ciclos dinâmicos de carga, irá provocar o bombeamento das partículas finas do subleito através da base e revestimento, até emergir no leito da via, além de promover a queda de resistência do subleito e camadas do pavimento.

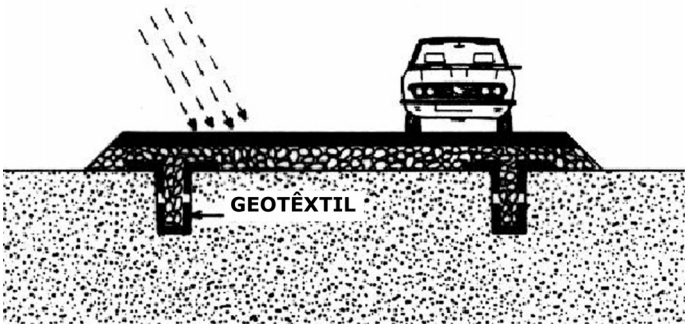


Figura C-16.1. Seção esquemática de pavimento viário dotado de drenos de pavimento paralelos.

Figura C-16.2. Dreno de pavimento rodoviário construído junto com a estrada.

Figura C-16.3. Dreno de pavimento rodoviário construído em rodovia já implantada.

Esse fenômeno ocorre em estradas, vias urbanas, pátios e estacionamentos e colabora para a rápida deterioração do pavimento.

A inclusão de drenos de pavimento, construídos com Geotêxtil filtrante, previne o desenvolvimento do bombeamento pois retira a água da base tão logo ela penetre, garantindo a manutenção da resistência do subleito/ estrutura, bem como a vida útil do pavimento.

C.17 CANAIS REVESTIDOS COM GABIÕES - FILTRAÇÃO

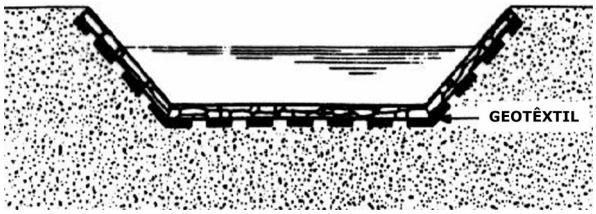


Figura C-17.1(A) Seção esquemática de canais revestidos com gabiões-manta.

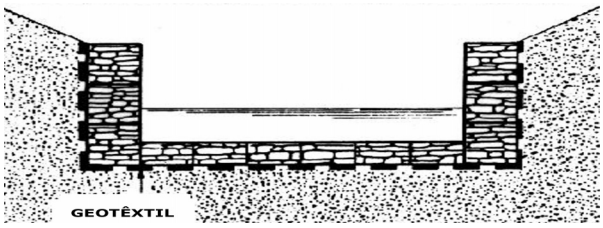


Figura C-17.1(B). Seção esquemática de canais revestidos com gabiões-caixa.

Nos canais com revestimento permeável, constituído de gabiões, é sempre necessária a interposição de um elemento filtrante entre os gabiões e o solo natural do canal ou reaterro.

A utilização de um Geotêxtil como filtro elimina a necessidade de outras camadas de transição, facilita a execução da obra, mesmo sob a água, e acelera os cronogramas.

Figura C-17.2(A). Canal trapezoidal com gabiões-manta e Geotêxtil.

Nas paredes verticais dos canais retangulares construídos com gabiões-caixa é importante a estruturação do reaterro: para uma perfeita filtração, recomenda-se reaterrar com areia até o N.A. e com o solo local bem compacto, acima do N.A.

Figura C-17.2(B). Canal retangular com gabiões-caixa e Geotêxtil.

C.18 CANAIS REVESTIDOS EM CONCRETO - FILTRAÇÃO

Nos canais revestidos em concreto, com placas pré-moldadas, moldadas no local ou geocélulas, deve-se tomar todo cuidado para prevenir as subpressões e a erosão do solo base, pela fuga de suas partículas através das placas e/ou juntas de geocélula ou concreto.

Se o canal é revestido com placas pré-moldadas apoiadas diretamente sobre o solo, deve-se utilizar o Geotêxtil, como filtro, nos drenos tipo "cebola "e sob as juntas das placas, cortado em tiras.

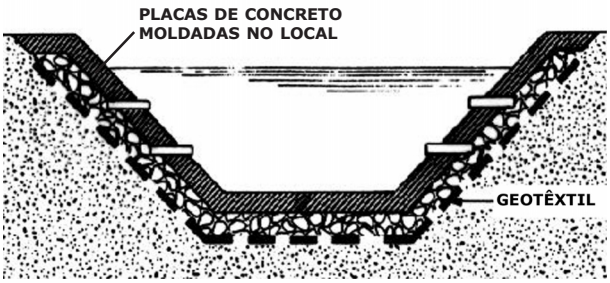
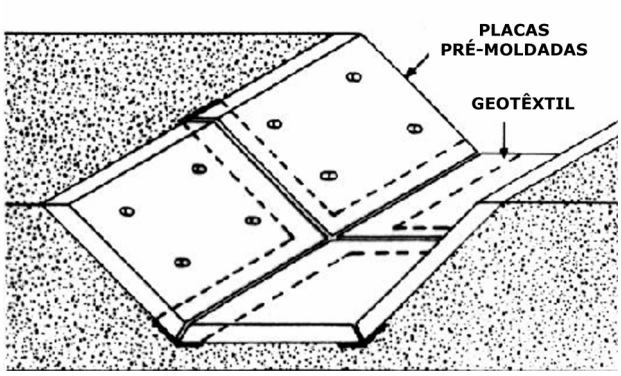


Figura C-18.1(A). Seção esquemática de canais em concreto moldados no local.



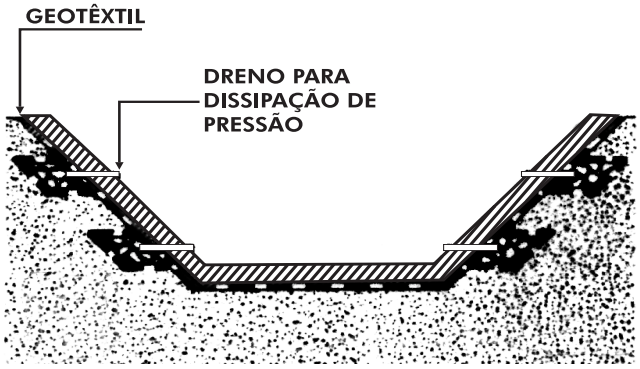


Figura C-18.1(B). Seção esquemática de canais revestida com placas de concreto pré-moldados e/ou geocélula.

Figura C-18.2. Canal revestido em concreto moldado no local, com Geotêxtil na interface do colchão drenante/solo base.

Quando são utilizadas geocélulas preenchidas com concreto, o geotêxtil deve ser interposto entre o solo base e as geocélulas.

Se o canal é revestido com placas moldadas no local, sobre camada drenante, o Geotêxtil filtrante é interposto entre as pedras e o solo base, em toda a superfície de contato.

C.19 PROTEÇÃO DE MARGENS EM RIOS, LAGOS E LAGOAS - FILTRAÇÃO

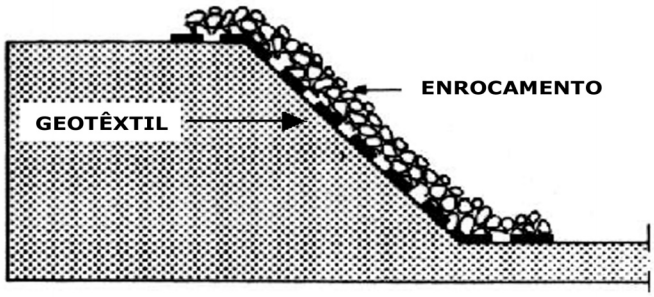


Figura C-19.1(A).Seções esquemáticas de margens protegidas contra a erosão através de pedras-de-mão.

Para proteger as margens de rios, lagos e lagoas contra o efeito erosivo das ondas, chuvas e variações de N.A. freqüentemente se necessita da construção de um revestimento.

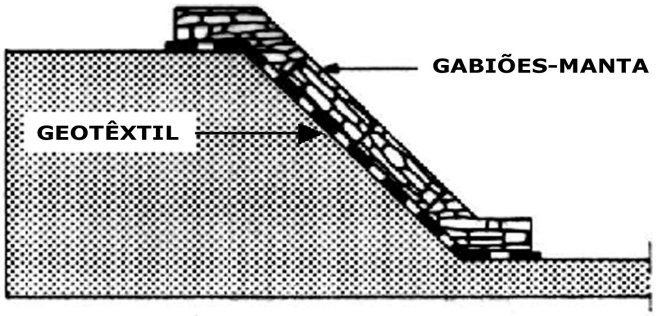


Figura C-19.1(B). Gabiões.

A utilização de um Geotêxtil como filtro elimina a necessidade de outras camadas de transição, facilita a execução da obra, mesmo sob a água, e acelera os cronogramas.

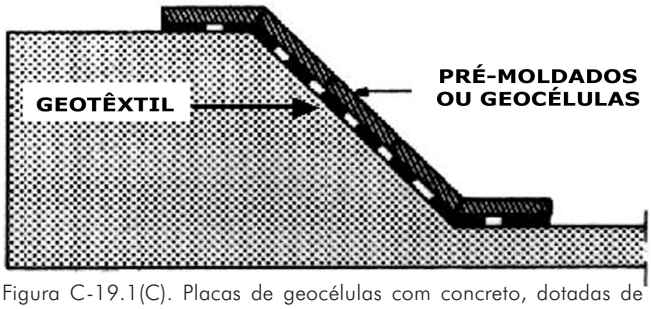


Figura C-19.1(C). Placas de geocélulas com concreto, dotadas de Geotêxtil atuando como filtro.

Se as margens são revestidas com placas moldadas no local sobre camada drenante, o Geotêxtil filtrante é interposto entre as pedras e o solo base em toda a superfície de contato.

Quando são utilizadas geocélulas preenchidas com concreto, o Geotêxtil deve ser interposto entre o solo base e as geocélulas.

Figura C-19.2. Proteção de margem com pedras-de-mão e Geotêxtil como filtro.

Figura C-19.3. Proteção de margem com gabiões-manta e Geotêxtil atuando como filtro.

C.20 BARRAGENS DE TERRA - FILTRAÇÃO

Basicamente são quatro as aplicações de Geotêxtil mais interessantes em barragens de terra de qualquer porte:

a) Proteção do Talude de Montante:

O Geotêxtil, colocado entre o enrocamento e o talude, previne a erosão pois permite a passagem da água mas retém os grãos do solo.

b) Dreno Vertical ou Chaminé:

O Geotêxtil envolve todo o material drenante constituinte do dreno interceptor, permitindo o ingresso da água e impedindo o ingresso dos grãos do solo.

c) Dreno ou Tapete Horizontal:

O Geotêxtil envolve todo o colchão drenante, permitindo o ingresso das águas provenientes das fundações e do corpo da barragem, impedindo a penetração dos grãos dos solos.

d) Dreno de Pé de Talude:

O Geotêxtil envolve todo o material drenante na vala, impedindo sua colmatação.

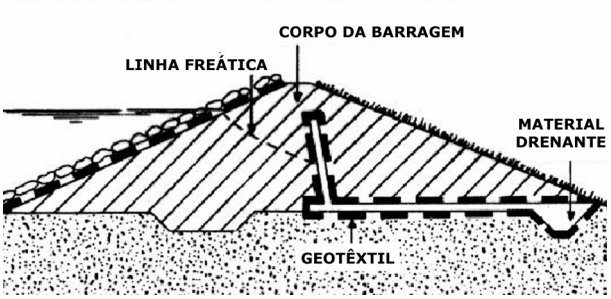


Figura C-20.1. Seção esquemática de barragem de terra com dispositivos de proteção construídos com Geotêxtil.

Figura C-20.2. Dreno de pé de talude trapezoidal em grande barragem.

C.21 SUBSOLOS DE EDIFICAÇÕES - FILTRAÇÃO

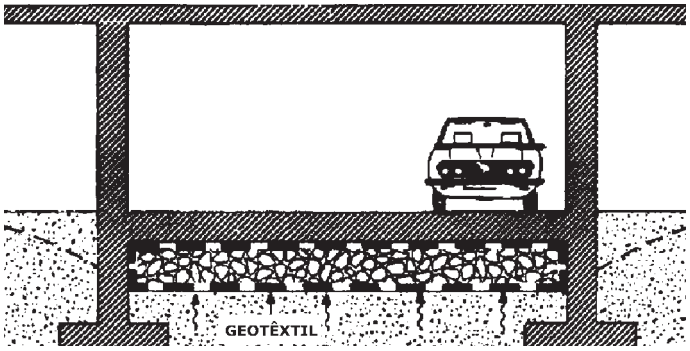


Figura C-21.1. Seção esquemática de colchão drenante em subsolo de edificação.

Figura C-21.2. Colchão drenante dotado de Geotêxtil como elemento filtrante em subsolo de centro comercial.

Nos subsolos de edificações, ao se interceptar o lençol freático, é necessária a construção de um sistema drenante adequado.

De acordo com as necessidades locais, pode-se optar por um sistema em trincheiras drenantes interligadas ou um colchão drenante.

Nos colchões drenantes construídos em edifícios residenciais, prédios industriais, centros comerciais e clubes, é necessário o uso de uma camada filtrante para prevenir a erosão do solo base e a colmatação do sistema drenante.

C.22 MUROS DE CONTENÇÃO EM GABIÕES-CAIXA - FILTRAÇÃO

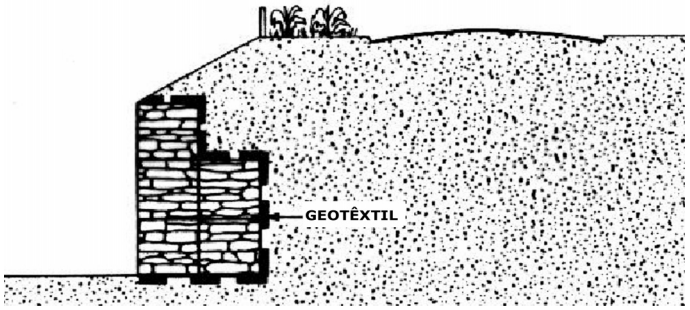


Figura C-22.1. Seção esquemática de um muro de contenção com Geotêxtil

Figura C-22.2. Muro de gabião caixa em obra de contenção com Geotêxtil atuando como filtro.

Na contenção de cortes e aterros com gabiões-caixa, sempre que houver a possibilidade de fluxo de água através dos gabiões, é importante prever-se a utilização de um Geotêxtil filtrante interposto entre os gabiões e o solo base.

A utilização do Geotêxtil filtrante, como camada única, facilita a construção, principalmente nos planos verticais, e elimina a necessidade de outras camadas de transição granulométrica.

Nesta aplicação é importante compactar convenientemente o reaterro junto ao Geotêxtil, garantindo a estruturação do solo.

C.23 ENROCAMENTOS DE CONTENÇÃO - FILTRAÇÃO

Quando se deseja realizar um aterro em contato com água, em obras fluviais ou marítimas, a estrutura mais comumente empregada é o enrocamento de contenção.

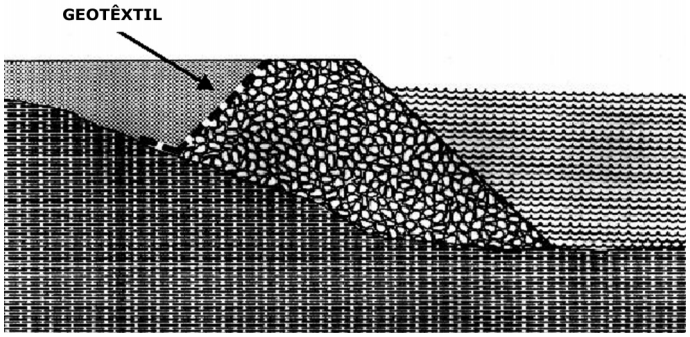


Figura C-23.1. Seção esquemática de enrocamento de contenção de aterro hidráulico ou mecânico, com Geotêxtil atuando como filtro de transição

Para prevenir o desenvolvimento de erosão interna no aterro, devido à fuga de finos através dos vazios do enrocamento, utiliza-se uma camada de Geotêxtil filtrante entre o aterro e o enrocamento.

Figura C-23.2. Aterro mecânico argiloso contido por enrocamento lançado ao mar, com filtro Geotêxtil aplicado sobre sua superfície regularizada.

O aterro pode ser mecânico, lançado através de caminhões e tratores ou hidráulico, lançado através de dragas.

Figura C-23.3. Aterro hidráulico arenoso contido por enrocamento lançado ao mar, com filtro Geotêxtil aplicado sobre sua superfície regularizada.

C.24 CAMPOS ESPORTIVOS E JARDINS SUSPENSOS - FILTRAÇÃO

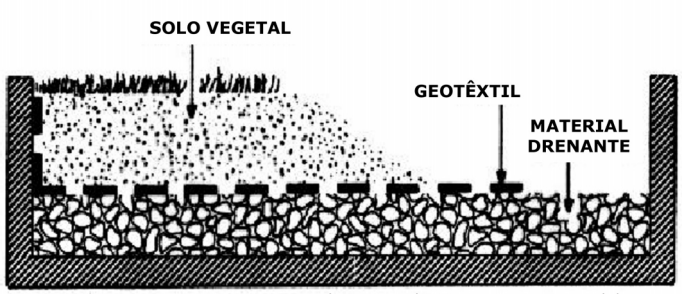


Figura C-24.1. Seção esquemática de um jardim suspenso com colchão drenante dotado de Geotêxtil como elemento filtrante.

Figura C-24.2. Jardim sobre laje de edifício utilizando Geotêxtil como filtro.

Nos campos esportivos e jardins construídos sobre lajes impermeáveis é imprescindível prever um colchão drenante eficiente para, rapidamente, evacuar o excesso de água de irrigação e chuva. Somente uma drenagem eficiente irá evitar a saturação/ encharcamento do solo vegetal, a sobrecarga hidráulica, as infiltrações nas lajes e a morte das gramíneas/vegetação.

C.25 CAMPOS ESPORTIVOS E JARDINS SOBRE SOLOS - FILTRAÇÃO

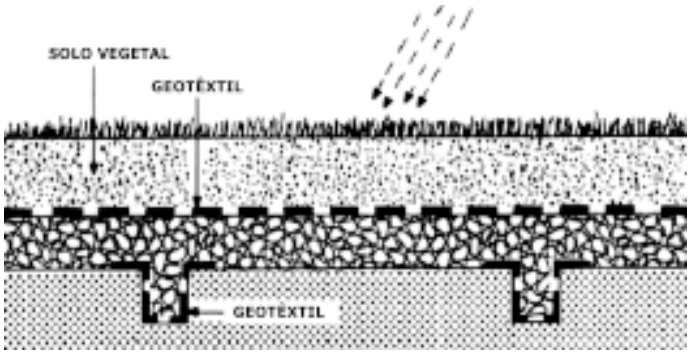


Figura C-25.1. Seção esquemática de um campo ou jardim sobre solo, com Geotêxtil atuando como filtro de colchão drenante.

Em campos esportivos e jardins sobre solos, quando o solo base é menos permeável que o solo vegetal constituinte do campo, recomenda-se a construção de um sistema drenante para captar as águas de chuva e/ou irrigação excedentes, prevenindo a morte da gramínea e vegetação por "afogamento" e a formação de poças de água.

Neste caso, geralmente se constrói um colchão drenante dotado de trincheiras paralelas de captação. O Geotêxtil filtrante é colocado entre o solo vegetal e o material drenante do colchão, assim como nas paredes das trincheiras.

Uma outra solução mais econômica é a utilização de um sistema drenante constituído de trincheiras drenantes uniformemente espaçadas. Neste caso, o Geotêxtil filtrante envolve totalmente o material drenante das trincheiras.

Figura C-25.2. Sistema drenante em forma de espinha de peixe em campo de futebol sobre solo: as trincheiras do tipo "bolacha" são constituídas de pedra britada envolta em Geotêxtil com função de filtro.

C.26 DRENOS VERTICAIS EM CAMPOS DE ESPORTE E JARDINS - DRENAGEM

Quando a camada de terra vegetal sobre o sistema drenante torna-se pouco permeável, devido ao pisoteamento e/ou alta compactação, faz-se necessária a utilização de drenos verticais construídos com Geotêxtil.

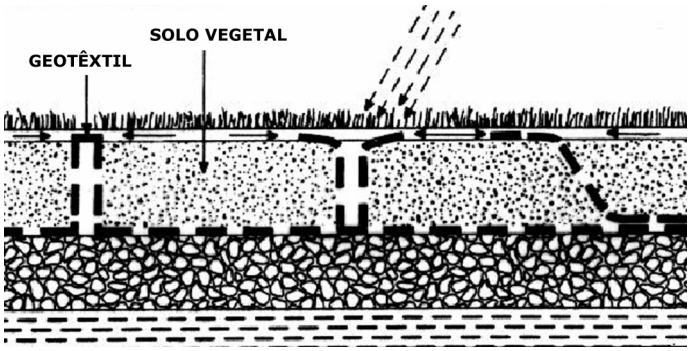


Figura C-26.1. Seção esquemática de drenos verticais e inclinados construídos com Geotêxtil não tecido espesso, com função drenante. Os drenos podem ser em forma de rocamboles, tiras ou faixas.

Os tipos mais utilizados pela sua simplicidade são os "rocamboles": uma tira de Geotêxtil é enrolada e entuchada em buraco pré-escavado com trado até atingir o sistema drenante inferior, já existente.

Figura C-26.2. Dreno vertical tipo rocambole, construído com Geotêxtil não tecido espesso entuchado em furo aberto com trado. Este dreno pode ser utilizado tanto em obras sobre solo como sobre lajes.

C.27 DRENAGEM DE MUROS DE ARRIMO DE GRAVIDADE - FILTRAÇÃO E/OU DRENAGEM

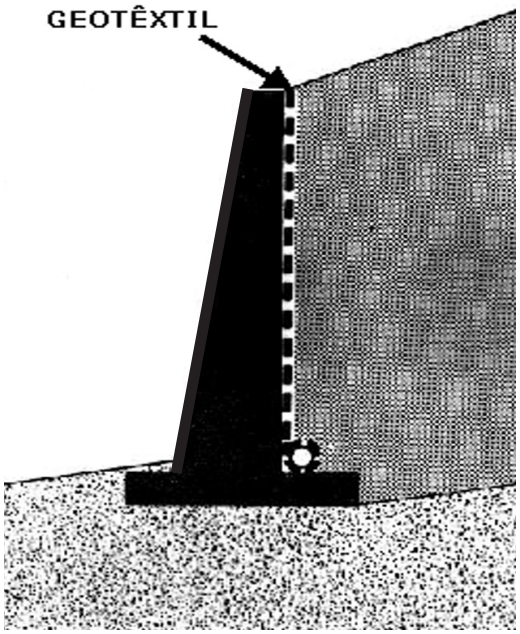


Figura C-27.1. Seção esquemática de muro de arrimo com Geotêxtil atuando como cortina drenante.

Os muros de arrimo de gravidade, sejam de concreto ou pedras argamassadas, requerem um sistema drenante junto ao tardoz para evitar que se tornem uma barragem e possam romper devido à sobrecarga exercida pela pressão hidrostática e/ou queda de resistência do solo de aterro.

Quando o muro está em contato com solo argiloso, com vazões pequenas, a utilização de Geotêxtil nãotecido espesso como cortina drenante é a solução mais simples e econômica para drenar e prevenir o desenvolvimento de pressões hidrostáticas.

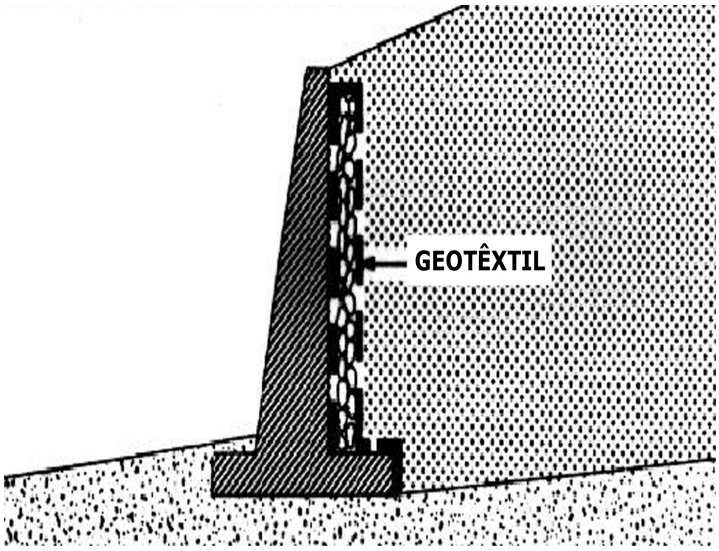


Figura C-27.2. Seção esquemática de muro de arrimo com cortina drenante constituída de brita e Geotêxtil como elemento filtrante.

Quando as vazões necessárias para drenar o solo contido pelo muro de arrimo são grandes, geralmente em solos silto-arenosos, a cortina drenante deve ser construída com pedra britada ou geoespaçador, e utilizar o Geotêxtil como elemento filtrante.

C.28 DRENOS VERTICAIS EM SOLOS COMPRESSÍVEIS-DRENAGEM

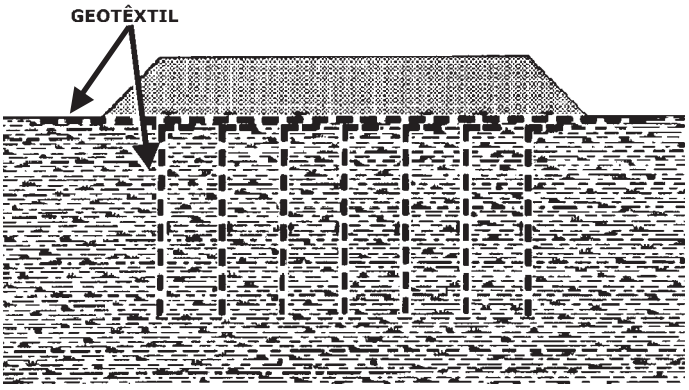


Figura C-28.1. Seção esquemática de aterro sobre solo mole consolidado com drenos verticais constituídos de tiras de Geotêxtil.

Na drenagem vertical para a consolidação de solos compressíveis, uma opção bastante econômica é a utilização de geotêxtil nãotecido espesso cortado em tiras com largura variando entre 10 e 20 cm, de acordo com a necessidade.

A utilização de tiras de Geotêxtil como drenos verticais tem como vantagens a grande flexibilidade do geotêxtil, garantindo a continuidade do fluxo durante a consolidação, o baixo custo das tiras e do processo de cravação.

Figura C-28.2(A e B). Tiras de Geotêxtil como drenos verticais cravadas no solo mole.

D. RECOMENDAÇÕES PARA ESTOCAGEM, MANUSEIO E INSTALAÇÃO.

Os Geotêxteis, como quaisquer outros produtos de engenharia, requerem cuidados mínimos de estocagem, manuseio e instalação para que preservem suas características originais e possam atender plenamente os requisitos de projeto.

D.1 ESTOCAGEM DO GEOTÊXTIL

A estabilidade dos Geotêxteis às intempéries e às ações de produtos/materiais adjacentes, enquanto estocados, varia de produto a produto em função do seu processo de fabricação e/ou matéria-prima: enquanto alguns sofrem um aumento de peso ao absorver água, outros são sensíveis a solventes orgânicos.

As observações e considerações feitas neste item são de caráter geral, válidas para todos os tipos de Geotêxteis.

a) Manter a embalagem original intacta, sempre que possível, até o momento e local de utilização.

b) Se o Geotêxtil for estocado ao ar livre, cobrí-lo com lona preta de polietileno, para protegê-lo da ação dos raios U.V. e de eventual absorção de água.

Figura D-1.1. Lote de Geotêxtil estocado ao ar livre, apoiado sobre pranchas de madeira e protegido contra a ação das intempéries com lona plástica preta.

c) Em qualquer situação, o plano de apoio das bobinas de Geotêxtil deve ser seco, livre de terra, óleo, solventes e enxurradas. Para tanto, pode-se utilizar pranchas de madeira ou estrados.

d) Se, porventura, a estocagem foi imprópria, com exposição ao sol, enxurradas, solventes, etc, as primeiras voltas externas da bobina devem ser sacrificadas, aproveitando-se somente o material intacto.

D.2 MANUSEIO DO GEOTÊXTIL

a) TRANSPORTE E DESLOCAMENTOS

O transporte das bobinas em caminhões e nas cargas/descargas deve ser feito de forma a preservar a embalagem original, sem rasgá-la, e manter intacto o suporte central de papelão/plástico.

Os deslocamentos de pequena distância podem ser feitos por empilhadeiras, pás-carregadeiras, mini tratores e rolamento, sempre com o cuidado de não rasgar/perfurar a embalagem nem o Geotêxtil.

b) CORTE

As bobinas podem ser desenroladas por rolamento no solo se este estiver seco e firme. Se necessário, pode-se utilizar um cavalete. Para se cortar o Geotêxtil, utilizam-se tesouras, estiletes ou facas.

c) REPAROS

Quando se verificar que o Geotêxtil foi danificado por uma perfuração ou rasgo, deve-se cobrir a área afetada com um manchão do próprio material.

Se o Geotêxtil estiver exercendo as funções de filtro, dreno ou proteção, o transpasse mínimo além da área afetada deve ser de 30 cm, em todas as direções. Por exemplo, um rasgo em linha reta com 40 cm de comprimento, exige manchão de 100 cm x 60 cm, conforme a figura D - 2.1.

Se o Geotêxtil estiver exercendo as funções de reforço e/ou separação, o transpasse mínimo, em todas as direções, será igual ao comprimento de sobreposição (vide próximo item).

Quando o manchão for posicionado em planos inclinados ou verticais, recomenda-se costurá-lo manualmente no Geotêxtil, evitando seu deslocamento.

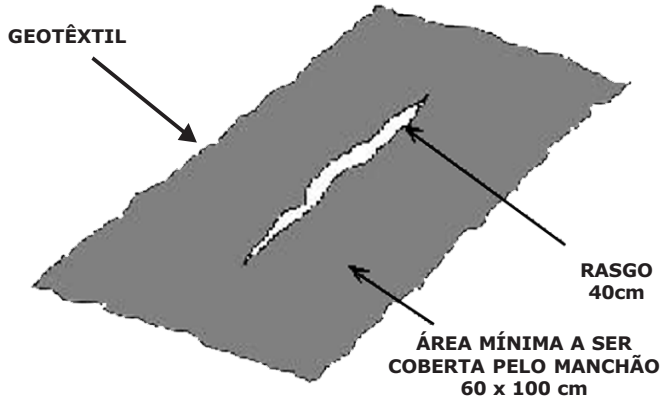


Figura D-2.1. Dimensões mínimas de manchão corretivo sobre rasgo reto, quando Geotêxtil tem função de filtro, dreno ou proteção.

d) UNIÃO POR SIMPLES SOBREPOSIÇÃO

A forma mais simples de garantir a continuidade do Geotêxtil é uní-lo por sobreposição.

O comprimento da sobreposição depende da função principal e aplicação específica que o Geotêxtil irá exercer e das condições de contorno locais, conforme resumido na figura D-2.2.

Aplicação	Característica	Sobreposição Mínima
Trincheiras drenantes, Colchões drenantes Proteção de margens, Enrocamento de Contenção, Obras com Gabiões*		20cm ou 3 vezes o diâmetro do maior grão de agregado em contato com o geotêxtil, o que for maior.
Drenos internos e proteção de talude de montante de barragens		30cm ou 3 vezes o diâmetro do maior grão de agregado em contato com o geotêxtil, o que for maior.
Aterros, Estradas, Pátios, Estacionamentos e Praias Artificiais	Para: $0,5 \leq CBR < 1$ ou $15 \leq C_U < 30$ kPa	Sobrepor 150cm
	Para: $1 \leq CBR < 2$ ou $30 \leq C_U < 60$ kPa	Sobrepor 125cm
	Para: $2 \leq CBR < 3$ ou $60 \leq C_U < 90$ kPa	Sobrepor 100cm
	Para: $CBR \geq 3$ ou $C_U \geq 90$ kPa	Sobrepor 75cm
Recapeamento Asfáltico		Justapor ao invés de sobrepor as bordas
Proteção de impermeabilização sem agregados, proteção de gramados, impermeabilização de canais com impregnação asfáltica.		15cm

* Nestas aplicações, permite-se sobreposição mínima de 15 cm quando o solo base tiver CBR $\geq$ 12.

Figura D-2.2. Sugestões de sobreposições construtivas, em função do tipo de aplicacão e condições de contorno de obra.

e) UNIÃO POR GRAMPEAMENTO

Quando o solo base permitir e as condições construtivas e/ou de solicitação exigirem, pode-se completar a união por sobreposição, através de grampeamento. As situações mais comuns são:

- Locais de ventos intensos, durante a construção.
- Obras onde o lançamento de aterro e/ou material drenante sobre o Geotêxtil poderiam provocar dobramento ou desunião, durante a construção.
- Locais onde usuários ou a presença de pessoas estranhas possam desfazer a sobreposição, por exemplo, na proteção de gramados.

Os dois tipos mais usuais de grampos são apresentados na figura D-2.3

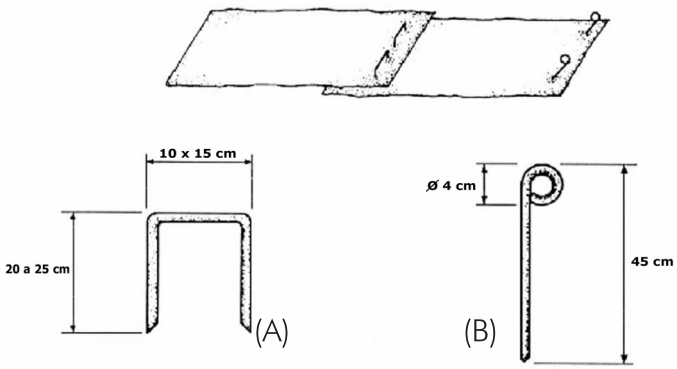


Figura D-2.3. Tipos de grampos mais utilizados para união de Geotêxteis:(A)Tipo U e (B) Tipo J.

f) UNIÃO POR COSTURA MECÂNICA

A união por costura mecânica pode ser utilizada em todos os tipos de aplicação, em substituição à sobreposição e grampeamento.

No entanto, existem situações onde somente a união por costura deve ser utilizada.

São basicamente duas as situações que exigem a união por costura:

- Confecção de Diques Contínuos de Contenção: somente a união por costura permite que o Geotêxtil desempenhe a função de geoforma para conter o material dragado .
- Construção de aterros, estradas, pátios, estacionamentos e praias artificiais sobre solos moles com CBR< 0,5 ou Cu < 15 kPa.
- Vários tipos de costuras mecânicas podem ser empregados, no entanto, o mais utilizado é o tipo "borda-a-borda," por ser mais simples e dar menos problemas de pontos falhos.

A seguir, destacamos as características mínimas para se efetuar uma costura mecânica eficiente:

- Borda Livre: deve ser de, no mínimo, 10 cm para garantir a distribuição uniforme de esforços.
- Máquina de Costura : pode ser de bancada ou portátil (peso de 4 kgf), com costura de passo sete pontos por 5 cm.
- Linha de Costura: de alta resistência (mínimo de 16 kgf), apresentada em cones de 200 a 500 g. O consumo de linha varia de 4 a 5 m/m ou de 600 a 750 metros de costura por quilo de linha.
- Equipe de Costura: no mínimo 1 homem à frente da costura, 1 homem costurando e 1 homem atrás da costura. O rendimento médio da costura é da ordem de 240 m/h.
- Resistência à tração na Costura: é sempre menor do que a do Geotêxtil, sendo aceitos valores maiores ou iguais a 60% da resistência do Geotêxtil no ensaio de carga distribuída.

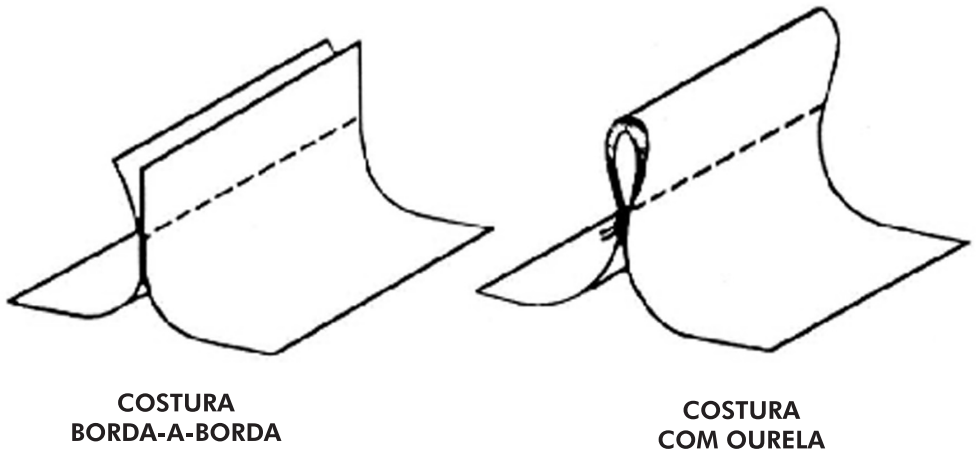


Figura D-2.4. Costuras mecânicas tipo borda-a-borda e ourela.

D.3 INSTALAÇÃO DO GEOTÊXTIL

Neste capítulo procuramos abordar as recomendações básicas de instalação, nas situações comumente encontradas nas obras. Não são tratados os casos particulares nem os processos construtivos com geotêxteis por serem muito abrangentes e diversificados. Tais processos devem ser detalhados, caso a caso, no Plano de Instalação do Geotêxtil (verificar item D - 4).

a) LIMPEZA DO SOLO BASE

Durante sua instalação, deve-se evitar qualquer tipo de contaminação como lama, óleo, solventes, etc, sob risco de perda de eficiência filtrante e/ou resistência mecânica.

b) INSTALAÇÃO DIRETA NO TERRENO

Se o Geotêxtil for instalado diretamente no solo, sem preparo prévio, alguns cuidados são necessários:

- Raízes, galhos, vegetação nativa que não sejam prejudiciais, podem permanecer na superfície do solo atuando como uma estiva natural.
- Objetos perfurantes como grandes galhos, raízes de árvores, pedras de grande porte, arames, ferragens, etc, devem ser eliminados para evitar perfurações e rasgos.

c) PRESENÇA DE ÁGUA

Quando a instalação do Geotêxtil sobre o solo base for feita na presença de água, parada ou em movimento, deve-se fazer um planejamento prévio pois:

- O Geotêxtil poderá saturar-se com a água, sofrer um aumento sensível de peso e dificultar sua instalação.
- O Geotêxtil poderá boiar e dificultar sua instalação sobre o solo base.
- O Geotêxtil poderá sofrer esforços de arraste e dificultar sua instalação sobre o solo base.

d) PROTEÇÃO SUPERFICIAL

Em todas as obras onde o Geotêxtil possa ficar exposto, sua superfície deverá sempre ser protegida contra a insolação (raios ultravioleta), objetos contundentes, incêndios e vandalismos. Tal proteção poderá ser feita com vegetação, empedramento, argamassa, muros, concreto projetado, etc.

Exemplos de proteção de (A) diques contínuos, através de empedramento e (B) contenção em solo reforçado, através de muro de alvenaria. Figura D-3.1.

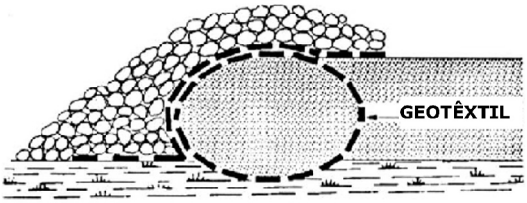


Figura D-3.1(A). Exemplo de proteção de diques contínuos através de empedramento.

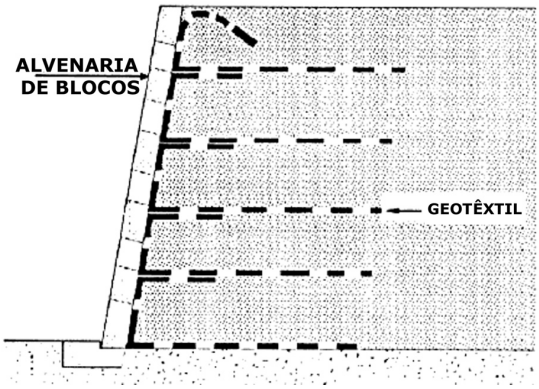


Figura D-3.1(B). Exemplo de proteção de contenção em solo reforçado, através de muro de alvenaria.

e) SENTIDO DE SOBREPOSIÇÃO

A disposição das mantas sobre o solo suporte deve ser feita em função das solicitações construtivas ou em vida útil, exercidas sobre o Geotêxtil. O sentido da sobreposição deve levar em conta o lançamento dos materiais sobre a manta, as ações do vento ou o fluxo de água.

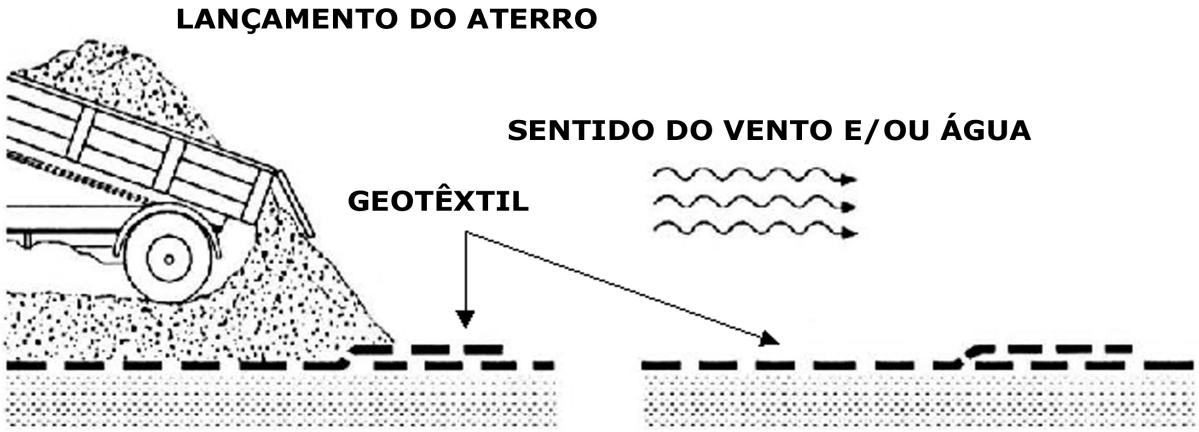


Figura D-3.2. Sobreposição do Geotêxtil em função das solicitações impostas em obra.

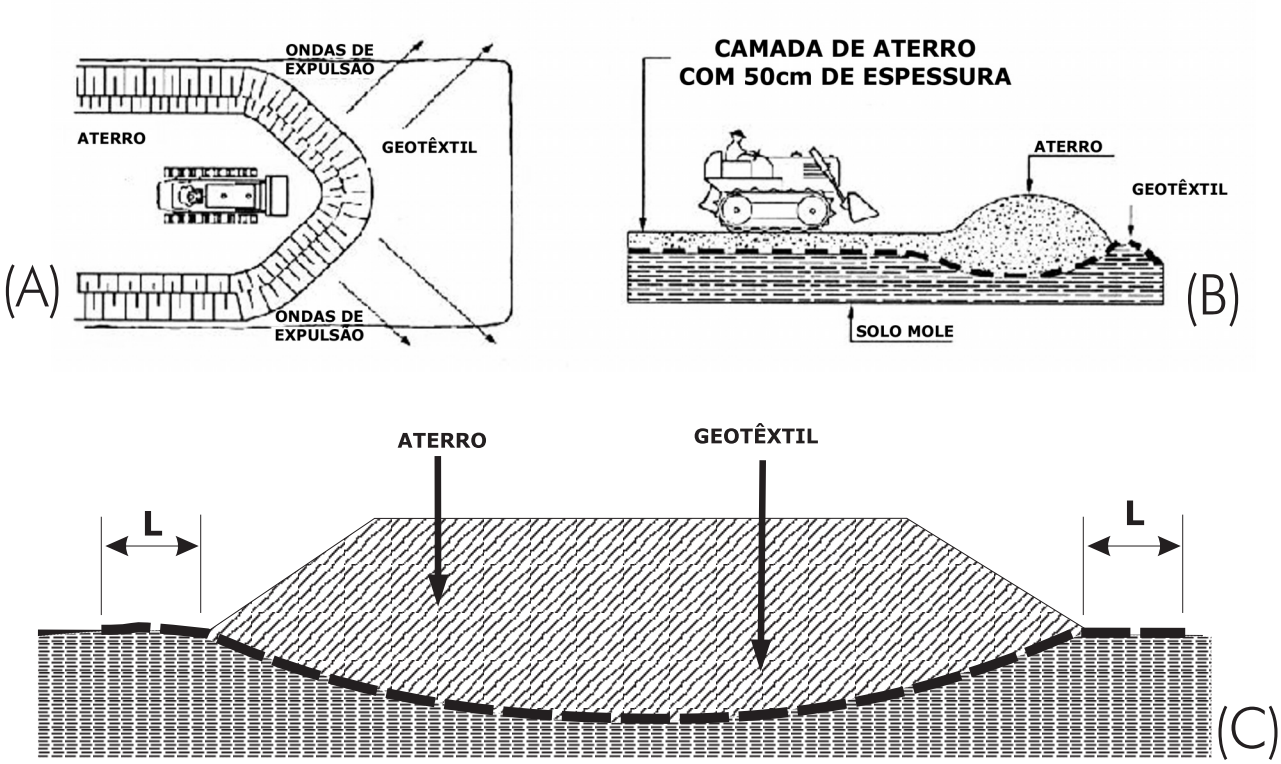


Figura D-3.3 Aterro lançado sobre geotêxtil (A) sobre solo mole visto em planta, (B) vista em corte longitudinal e (C) visto em seção transversal.

f) LANÇAMENTO DE ATERRO

O lançamento do aterro sobre o Geotêxtil, em obras viárias em geral, merece algumas recomendações:

- Os equipamentos não devem andar diretamente sobre o Geotêxtil.
- Se o solo base for firme, os equipamentos de terraplenagem podem andar sobre uma camada de aterro de 30 cm espalhada sobre o Geotêxtil.
- Se o solo base for mole, recomenda-se uma camada mínima inicial de 50 cm de aterro para o tráfego de trator e caminhões.
- Em estradas sobre solos moles, recomenda-se o avanço do aterro em forma de cunha para que eventuais ondas de expulsão de solo mole sejam liberadas lateralmente.
- A largura total do Geotêxtil deve ultrapassar em, pelo menos, 50 cm o pé do aterro para garantir total separação e eventual drenagem das águas de consolidação.

Em aterros muito largos e sobre solos extremamente moles, com a presença de ondas de lama, a sequência de construção deve obedecer o apresentado na figura D-3.4.

1) Instalar o geotêxtil em mantas contínuas transversalmente ao eixo do aterro e costurar as mesmas entre si;
2) Com equipamento adequado construir bermas/estradas laterais de acesso;
3) Construir seções externas de aterro para ancorar o Geotêxtil;
4) Construir a seção interna do aterro para "fixar" o Geotêxtil;
5) Construir seções intermediárias para tensionar o Geotêxtil;
6) Construção final da seção central do aterro.

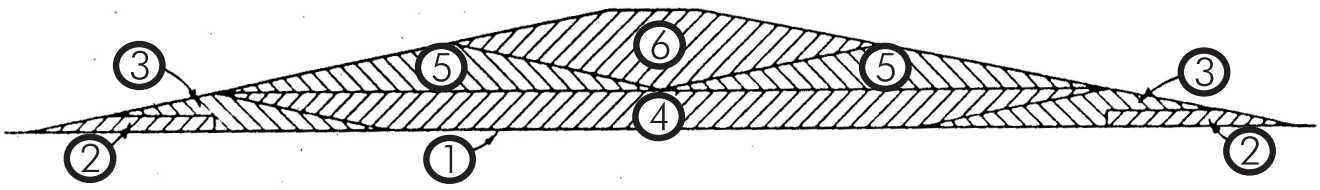


Figura D-3.4. Sequência de construção em aterro sobre solo extremamente mole e com ondas de lama.

Obs.: O lançamento do material de enchimento deve ser paralelo ao eixo do aterro e simetricamente a partir das bermas/estradas, da borda para o centro, mantendo uma forma em "U", fazendo com que as bordas contenham a onda de lama (figura D-3.5).

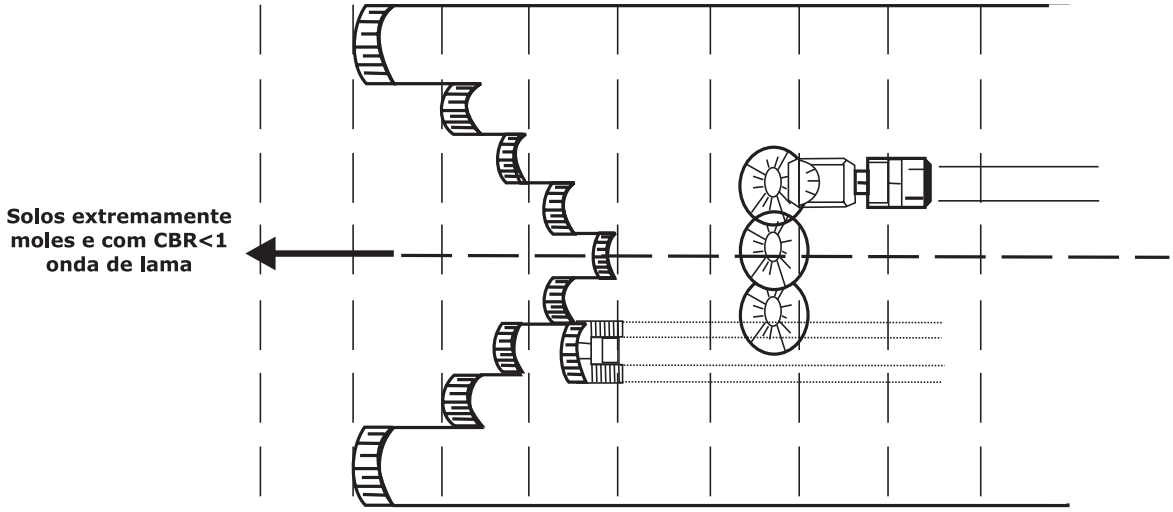


Figura D-3.5. Lançamento do aterro entre as bermas/estradas laterais de acesso sobre solos extremamente moles.

g) LANÇAMENTO DE AGREGADOS

Quando o lançamento e/ou espalhamento de agregados sobre o Geotêxtil, em drenos ou proteção de taludes, for feito com materiais com grãos maiores que 10 cm e/ou de alturas maiores que 2,00 m, alguns cuidados devem ser tomados para prevenir perfurações e rasgos:

- Forrar o Geotêxtil com camada granular amortecedora, com grãos menores lançados de menor altura.
- Em obras de grande responsabilidade, como barragens, realizar ensaios simulados de campo ou laboratório.

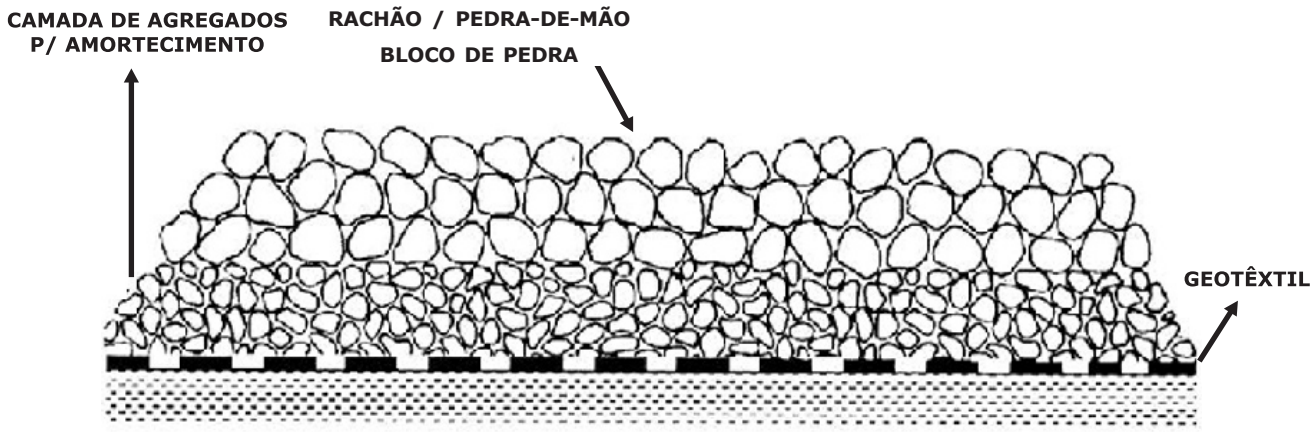


Figura D-3.6. Lançamento de agregados contundentes sobre o Geotêxtil.

h) FILTRO SOBRE TALUDE

Em taludes de canais revestidos com gabiões ou empedramentos, proteções de margens, taludes de barragens e obras semelhantes recomenda-se :

- Regularizar e compactar a superfície do solo base para receber o Geotêxtil.
- Desenrolar o Geotêxtil de cima para baixo, na direção de maior inclinação do talude.

Estes cuidados irão prevenir a formação de rugas e garantir contato íntimo filtro / solo base.

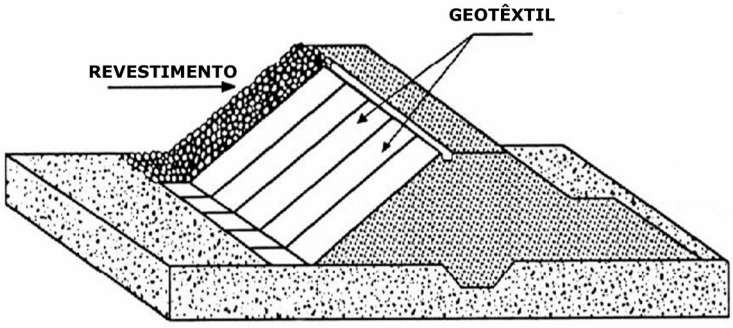


Figura D-3.7. Filtro Geotêxtil sobre taludes protegidos com gabiões ou pedras.

i) FILTRO SOBRE EMPEDRAMENTO

Sempre que o Geotêxtil precisar ser instalado sobre pedras grandes (diâmetros maiores que 10 cm) sem regularização prévia com agregados menores, recomenda-se deixá-lo folgado, para que se conforme à superfície sem ser perfurado ao receber as camadas superiores.

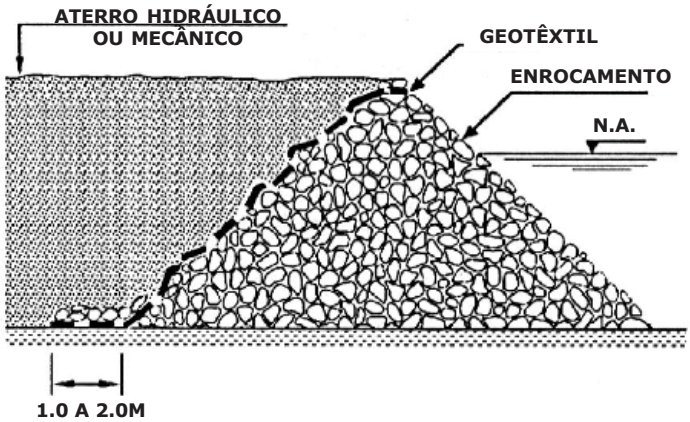


Figura D-3.8. Geotêxtil filtrante instalado "folgado" entre enrocamento não regularizado e aterro mecânico ou hidráulico.

j) FILTRO TRACIONADO

Quando o Geotêxtil exerce a função de filtro e está instalado entre elementos sujeitos a recalques diferenciais, esta movimentação relativa pode tracioná-lo e provocar rasgos e/ ou furos, dependendo da geometria das superfícies. Nestes casos, recomenda-se a criação de descontinuidade mecânica no filtro, como dobras ou sobreposições que inibam seu tracionamento.

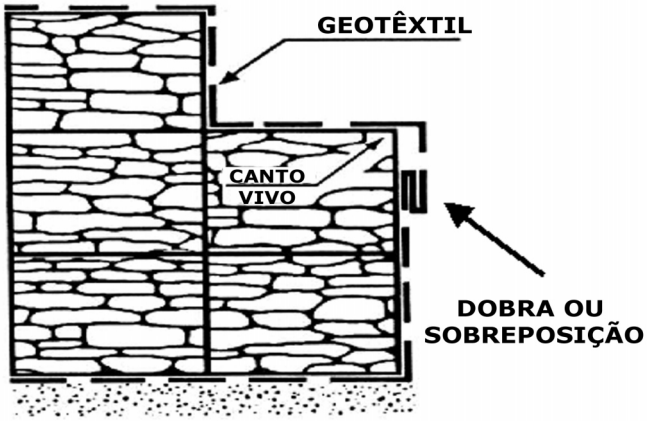


Figura D-3.9. Geotêxtil instalado entre gabiões-caixa em degraus e reaterro sujeito a recalque.

k) FILTRO EM CONTATO COM REATERROS

Quando o Geotêxtil está instalado sobre estrutura que irá receber reaterro, em superfícies verticais ou inclinadas, e esta estiver sujeita a enxurradas em sua base, o Geotêxtil deve ser mantido dobrado sobre a sua parte superior até instantes antes do lançamento do reaterro: isto irá prevenir sua colmatação por formação de filme impermeável superficial.

l) INSTALAÇÃO EM VALAS / TRINCHEIRAS DRENANTES

Comentamos, a seguir, os principais detalhes construtivos nesta aplicação:

- Caso não seja possível rebater as abas do Geotêxtil para fora da vala, em sua parte superior, as bordas podem ser fixadas provisoriamente nas paredes através de estacas de madeira ou grampos metálicos.

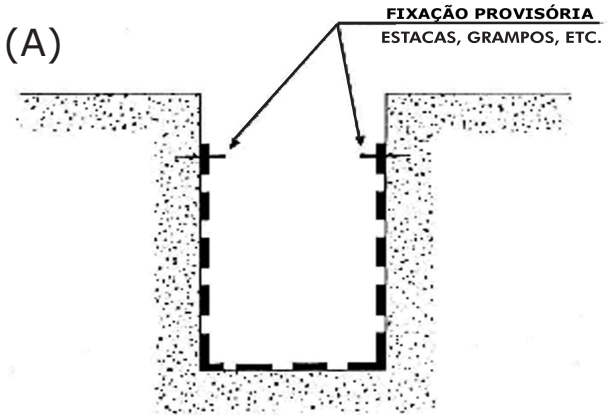


Figura D-3.10(A). Trincheira drenante com fixação provisória das bordas nas paredes da vala.

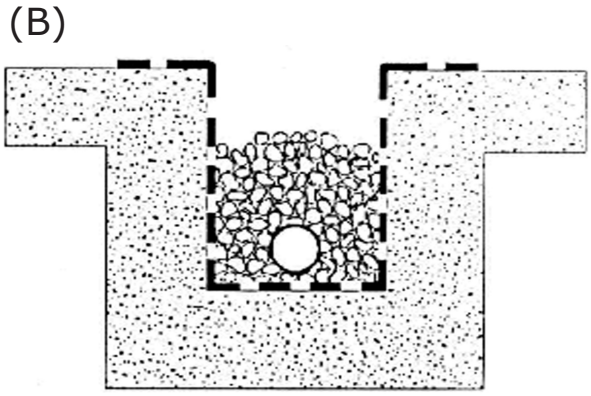


Figura D-3.10(B). Trincheira drenante com apoio das abas externamente à vala.

- As bordas do Geotêxtil devem ser rebatidas com a sobreposição mínima de 20 cm (em casos especiais pode-se tolerar 15 cm) e a parte superior deve ser selada rapidamente para prevenir o acesso de sujeira/enxurradas e proteger do tráfego de equipamentos /veículos.

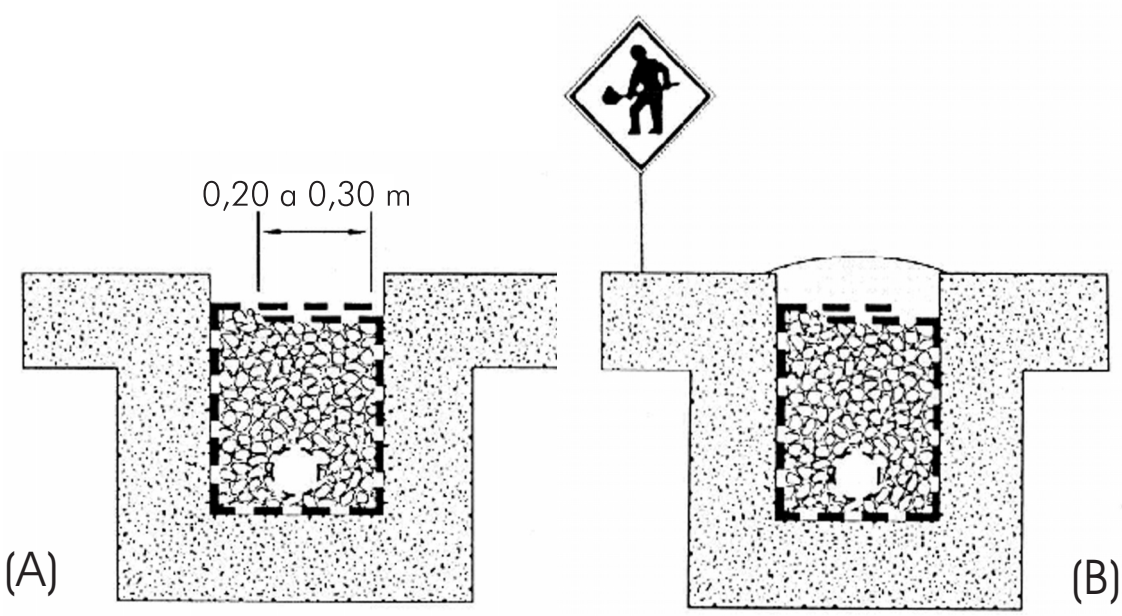


Figura D-3.11.(A) e (B) Trincheira drenante em execução.

▸ O entroncamento de uma trincheira secundária em outra principal, deve ser feito de forma a garantir a continuidade do Geotêxtil filtrante, através de sobreposições adequadas conforme indicado nas figuras D-3.12.

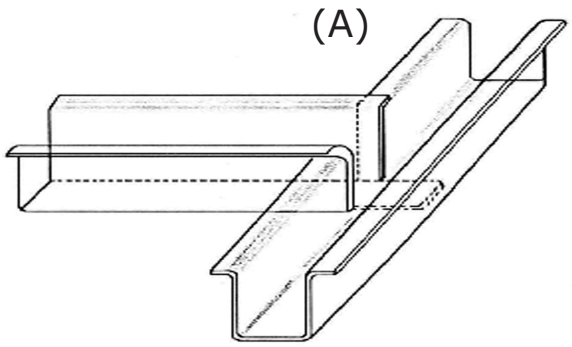


Figura D-3.12.(A). Entroncamento de trincheira drenante vista antes do lançamento do agregado.

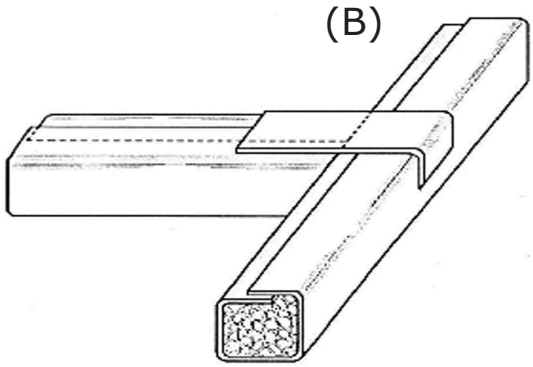


Figura D-3.12.(B). Entroncamento de trincheira drenante vista após preenchimento e fechamento.

▸ A conexão de uma trincheira drenante, cega ou dotada de Geotubo, deve ser feita às caixas de inspeção, caixas de passagem e caixas de desemboque, de forma a garantir a continuidade do Geotêxtil filtrante, não permitindo a fuga das partículas finas constituintes do solo. O modo mais simples de conectar é através do afunilamento da seção drenante em torno do geotubo (se o dreno for cego, adicionar 2 m de geotubo nas conexões), conforme indicado na figura D-3.13.

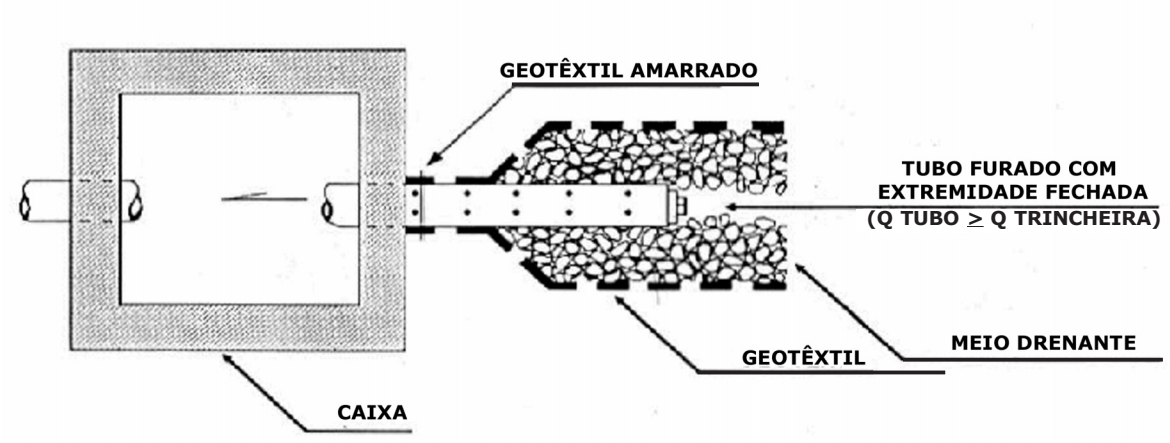


Figura D-3.13. Seção esquemática, em planta, de conexão de trincheira drenante cega a uma caixa de inspeção.

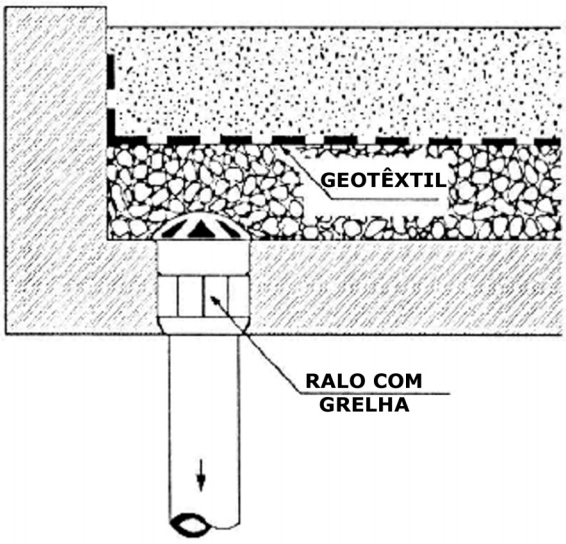


Figura D-3.14. Seção esquemática de jardim suspenso sobre laje.

m) ÁREAS VERDES, JARDINS E CAMPOS SUSPENSOS

Nestas aplicações, o Geotêxtil filtrante deve ser instalado em toda interface colchão drenante / solo vegetal, com os seguintes cuidados:

- Dobrar as bordas do Geotêxtil, em forma de L, para prevenir a fuga de finos nos contatos solo vegetal / paredes verticais da estrutura, fixando-as com cola ou fita adesiva.
- Sobre os ralos não devem ser instalados filtros, ficando a grelha em contato direto com o material drenante.
- O solo vegetal deve ser moderadamente compactado, antes do plantio, para reconstituir sua estrutura e prevenir a formação de filme impermeável sobre o Geotêxtil.

D.4 PLANO DE INSTALAÇÃO DO GEOTÊXTIL

O projeto deverá conter o plano de instalação do Geotêxtil, com os seguintes itens:

a) Número de equipes de instalação, número de funcionários por equipe e rendimento diário médio por equipe.

b) Disposição das mantas, com indicação das direções, sentidos e ordem de instalação.

c) Tipos de união das mantas adotados.

Ao ser indicada a sobreposição, deverão ser dados os detalhes:

- Comprimento da sobreposição.
- Direção e sentido da sobreposição.
- Fixação da sobreposição (peso, grampos, etc.).
- Perda percentual de Geotêxtil na sobreposição.

Ao ser indicada a costura, deverão ser dados os detalhes:

- Número de equipes de costura.
- Número de funcionários por equipe.
- Tipo de costura, tipo de máquina e tipo de linha.
- Borda livre da costura.
- Consumo unitário de linha.
- Perda percentual de Geotêxtil na costura.
- Resistência mínima da costura.

d) Procedimentos e detalhes construtivos de preparo do solo base, sobrelarguras, engastes, lançamento de materiais, cuidados com o transporte, estocagem e manuseio.

Se o projeto não incluir um plano de instalação com os itens aqui abordados, sugerimos que o engenheiro de obra o elabore, com base nos dados deste manual, mais aqueles fornecidos pelo fabricante do Geotêxtil.

D.5 ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DE OBRA - ATO

Para garantir o bom desempenho do Geotêxtil, atendendo às prescrições e especificações de projeto e ao cumprimento do plano de instalação, é necessário um acompanhamento e controle de execução que observe os seguintes pontos:

a) Verificação das condições de preparo do solo base, de acordo com as especificações.

b) Correta orientação e disposição das mantas.

c) Boa execução das uniões: sentido, comprimento, bordas, costura, rendimento.

d) Posicionamento das mantas: ação do vento, água, veículos, comprimento de ancoragem.

e) Integridade das mantas: vandalismo, roubo, circulação de veículos e equipamentos, ataques químicos e físicos, furos, rasgos, etc.

f) Lançamento de materiais: características, natureza, granulometria, altura de queda, equipamento, sentido, direção, espessura da primeira camada, grau de compactação.

Obs: Verificar se o Geotêxtil especificado no projeto e corretamente adquirido é o que se encontra na obra disponível para a instalação.

E. PROJETO, DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DOS GEOTÊXTEIS.

Todo projeto de obra de engenharia que inclui um Geotêxtil merece um capítulo à parte que chamamos de **Projeto do Geotêxtil.**

A seguir, apresentamos um roteiro do **Projeto do Geotêxtil**, indicando as variações possíveis mais recomendadas.

E.1 FUNÇÕES DO GEOTÊXTIL NA OBRA

O Geotêxtil pode exercer uma ou mais funções na obra.

De uma forma geral, o Geotêxtil exerce uma ou duas funções principais, acompanhadas de uma ou duas funções complementares.

As funções principais são aquelas que justificam a existência do Geotêxtil na obra. Por exemplo, a função de filtro em uma trincheira drenante.

As funções complementares são aquelas que o Geotêxtil deve exercer para permitir que as funções principais sejam desempenhadas. Por exemplo, a função de separador em uma trincheira drenante.

O primeiro trabalho do engenheiro de projetos é definir estas funções e tê-las bem claras em sua mente.

E.2 PROPRIEDADES DO GEOTÊXTIL REQUERIDAS NA OBRA

As propriedades do Geotêxtil necessárias para satisfazer as funções exercidas, se dividem em três categorias:

- **PROPRIEDADES DE APLICAÇÃO:** são aquelas derivadas diretamente das funções principais. Por exemplo, a permeabilidade de um Geotêxtil filtrante.

- **PROPRIEDADES DE SOBREVIVÊNCIA**: são aquelas derivadas diretamente das funções secundárias, mas de curto prazo, apenas importantes durante a execução da obra. Por exemplo, a resistência ao impacto das pedras sendo lançadas sobre um Geotêxtil.

- **PROPRIEDADES DE VIDA ÚTIL:** São aquelas que, além das de aplicação, deverão perdurar durante toda a vida útil da obra. Por exemplo, a resistência ao puncionamento exercido pelas pedras sobre um Geotêxtil filtrante.

As propriedades, depois de qualificadas deverão ser quantificadas ou dimensionadas.

E.3 DIMENSIONAMENTO DO GEOTÊXTIL

O dimensionamento do Geotêxtil é a somatória do dimensionamento de suas propriedades requeridas, desde sua aplicação até o final da vida útil da obra.

Basicamente, dois métodos de dimensionamento são os mais empregados:

a) DIMENSIONAMENTO POR CÁLCULO: os parâmetros requeridos, relativos às propriedades, são calculados através de fórmulas matemáticas ou empíricas. Aplicam-se os fatores de segurança apropriados e, com esses números, é redigida a especificação do Geotêxtil.

b) DIMENSIONAMENTO POR PADRONIZAÇÃO: os parâmetros relativos às propriedades requeridas são extraídos de tabelas padronizadas, compiladas e adotadas por órgãos públicos ou grandes utilizadores. Estes valores são frutos da experiência, teoria e prática, acumulada durante anos de utilização. Neste caso, os fatores de segurança já estão aplicados ou são apresentados nas tabelas. Os valores dos parâmetros assim obtidos são utilizados na redação da especificação do Geotêxtil. Este método também é conhecido como "projeto por especificação".

E.4 ENSAIOS COMPLEMENTARES DE DESEMPENHO

Quando algumas das propriedades de aplicação, sobrevivência e/ou vida útil não tiverem seus parâmetros estudados e disponíveis na literatura, o projeto deve exigir ensaios complementares de desempenho.

Estes ensaios podem ser realizados em laboratório e/ou campo e procurarão simular, da melhor forma possível, as situações e esforços que serão impostos ao Geotêxtil na obra.

Por exemplo, o Geotêxtil filtrante irá receber o impacto de grãos de brita nº 4 lançados na vala a uma altura de 3 metros. O engenheiro projetista, portanto, pode solicitar um ensaio simulado de campo onde, após o impacto das pedras lançadas, a amostra do Geotêxtil deverá ser submetida a ensaios de laboratório para constatar a manutenção de suas propriedades de filtro.

E.5 ESPECIFICAÇÃO DO GEOTÊXTIL

Nesta fase, o projeto deverá indicar textualmente os seguintes itens:

a) As propriedades do geotêxtil requeridas para a aplicação, sobrevivência e vida útil da obra.

b) Os valores e/ou faixas de valores aceitáveis para os parâmetros que quantificam as propriedades requeridas, assim como as suas unidades de apresentação e as respectivas normas. Se o dimensionamento for feito por padronização, deve ser citada a entidade fonte dos valores.

c) Os critérios de recepção do produto na obra, como por exemplo: matéria-prima, largura e comprimento das bobinas, dados que constam da etiqueta, embalagem externa intacta, etc.

d) Os critérios de aceitação do produto pela obra, como por exemplo: freqüência e prazo de amostragem, tamanho das amostras, números de corpos de prova por amostra, ensaios / normas adotados para aceitação.

e) Plano de instalação do Geotêxtil, conforme detalhado no item D-4.

f) Acompanhamento técnico de obra - ATO: indicar onde é necessária a realização do ATO, conforme detalhado no item D-5.

E.6 SELEÇÃO TÉCNICA DO GEOTÊXTIL

Com base nos itens E-3, E-4 e E-5, poderão ser selecionados os geotêxteis disponíveis no mercado, sendo nominados aqueles que atendem tecnicamente aos parâmetros de projeto e possuam controle sistemático de qualidade de fabricação.

E.7 SELEÇÃO ECONÔMICA DO GEOTÊXTIL

Para os Geotêxteis selecionados no item E-6, deve-se fazer uma análise custo/benefício levando-se em conta:

a) Custo unitário do produto.

b) Prazos de pagamento e entrega.

c) Custos de transporte até a obra.

d) Custos de instalação.

e) Custos e disponibilidade da assistência técnica pré e pós compra.

F. DIMENSIONAMENTO DAS PROPRIEDADES DE APLICAÇÃO DO GEOTÊXTIL

Para ilustrar os métodos de dimensionamento por cálculo, vamos apresentar os roteiros utilizados em algumas aplicações dos Geotêxteis.

Nas obras abordadas são estudadas apenas as propriedades de aplicação requeridas, que estão diretamente ligadas às principais funções exercidas pelo Geotêxtil.

No projeto completo do Geotêxtil devem ser estudadas, também, as propriedades de sobrevivência e de vida útil.

F.1 GEOTÊXTIL ATUANDO COMO FILTRO EM DRENOS SUBTERRÂNEOS - FUNÇÃO PRINCIPAL: F - FILTRAÇÃO

A função do filtro, desempenhada por um geotêxtil em contato com o solo base, foi a primeira a ser explorada e, consequentemente, a que mais estudos recebeu do meio técnico mundial nas últimas décadas.

Os cálculos apresentados a seguir aplicam-se a vários tipos de sistemas drenantes subterrâneos profundos e/ou subsuperficiais, como por exemplo, aqueles apresentados nos itens C-12 a C-27 deste manual, respeitadas as diferentes condições de contorno para cada obra.

Dois parâmetros básicos são necessários para o dimensionamento de Geotêxteis que atuam como filtros:

a) CRITÉRIO DE PERMEABILIDADE

$$k_n \geq A.k_s$$

Onde:

k_s = coeficiente de permeabilidade do solo base

A = constante do método utilizado

k_n = coeficiente de permeabilidade normal do Geotêxtil

b) CRITÉRIO DE RETENÇÃO

$$O \leq C.d_{85}$$

Onde:

d_{85} = diâmetro das partículas de solo base tal que 85%, em peso, sejam inferiores a este diâmetro.

C = constante do método utilizado

O = abertura de filtração do Geotêxtil

O Critério de Permeabilidade garante que o Geotêxtil seja suficientemente aberto para permitir a livre passagem da água, sem causar subpressões.

O Critério de Retenção, antagônico ao primeiro, garante que o Geotêxtil seja suficientemente fechado para reter as maiores partículas do solo base, visando a manutenção da sua estrutura, sem o desenvolvimento de erosão interna.

Dentre os vários critérios existentes para determinar a permeabilidade e a abertura de filtração adequadas para o Geotêxtil, existe o do CFGG - Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas. Este método de dimensionamento é particularmente eficiente para os Geotêxteis nãotecidos, que são mundialmente mais utilizados como filtros.

c) CRITÉRIOS DE FILTRO DO CFGG

O Critério de Permeabilidade do método do CFGG adota o coeficiente A variando conforme apresentado na figura F-1.1

Aplicação	Coeficiente A* (adimensional) numericamente igual a:
Situações com baixos gradientes hidráulicos e solos limpos, tipicamente arenosos	$t_g^{**}.10^3$
Situações com baixos gradientes mas solo de baixa permeabilidade, sílto-argiloso	$t_g.10^4$
Situações com gradientes elevados em obras de grande responsabilidade	$t_g.10^5$

(*) O coeficiente A é adimensional, numericamente igual ao produto indicado na tabela.

(**) t_g é a espessura nominal do Geotêxtil, em metros.

Figura F-1.1. Valores do coeficiente A para o método CFGG

O Critério de Retenção do método do CFGG adota o coeficiente global C como sendo o produto dos fatores C_1, C_2, C_3 e C_4, conforme apresentado na figura F-1.2.

Fatores do coeficiente C, (adimensional)	Valores a serem usados	Situações de Utilização
C_1 - Fator Granulométrico	1,00	Solos bem graduados e contínuos
	0,80	Solos uniformes e contínuos
C_2 - Fator de Adensamento	1,25	Solos densos e confinados
	0,80	Solos fofos e não confinados
C_3 - Fator Hidráulico	1,00	Gradiente menor que 5
	0,80	Gradiente entre 5 e 20
	0,60	Gradiente entre 21 e 40 ou fluxo reverso
C_4 - Fator de Função	1,00	Apenas função de filtro
	0,30	Função de filtro e dreno

Figura F-1.2. Fatores do coeficiente C para o método do CFGG.

Os critérios fornecem os valores de projeto, ou seja, os valores necessários para o Geotêxtil cumprir sua função.

Para a escolha do Geotêxtil adequado, estes valores devem ser comparados aos valores de catálogo apresentados pelos fabricantes, obtidos através dos ensaios das normas francesas AFNOR.

Nas referências bibliográficas, são citados trabalhos de autores de outros métodos / critérios, originários de vários países e também eficientes.

d) EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO - FILTRAÇÃO

Dados: DLP com filtro Geotêxtil em um silte argiloso pouco arenoso com $k_s = 6 \cdot 10^{-6}$ cm / s, $d_{85} = 75\ \mu m$, uniforme, contínuo, denso. Deseja-se utilizar um Geotêxtil nãotecido com espessura nominal de 2 mm.

Aplicando os valores pertinentes das figuras F-1.1 e F-1.2, teremos:

$$A = 2.10^{-3} \cdot 10^{4} = 20{,}00$$
$$C = 0{,}80 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}00 \cdot 1{,}00 = 1{,}00$$

Obtemos então os valores de projeto:

$$k_n \geq 20{,}00 \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 1{,}20 \cdot 10^{-4}\ cm/s$$
$$O_f \leq 1{,}00 \cdot d_{85} = 75\mu m$$

Por exemplo, os Geotêxteis nãotecidos com 2 mm de espessura atenderiam à condição de permeabilidade mas não atenderiam à condição de retenção: deixariam a água arrastar as partículas do silte uniforme através de si mesmos, para dentro do dreno.

Assim, vamos inverter a situação: procuraremos um Geotêxtil com espessura tal que satisfaça ao critério de retenção e, então, verificamos se ele passa pelo critério de permeabilidade.

Consultando a literatura disponível verificamos que devemos utilizar um Geotêxtil com cerca de 4 mm de espessura, nesta obra. Assim, verificamos nosso novo coeficiente A' e a k'_n necessário:

$$A' = 4.10^{-3} \cdot 10^{4} = 40{,}00$$
$$k'_n \geq 40 \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 2{,}40 \cdot 10^{-4}\ cm/s$$

A nova permeabilidade de projeto necessária é facilmente atendida pelos Geotêxteis nãotecidos com espessura de 4 mm.

e) ESPECIFICAÇÃO DO GEOTÊXTIL

Resumindo, o dimensionamento do Geotêxtil filtrante para este exemplo nos levou à seguinte especificação:

- Permeabilidade Normal (norma AFNOR): $k_n \geq 2{,}4 \cdot 10^{-4}$ cm/s
- Abertura de Filtração (norma AFNOR): $O_f \leq 75\mu m$

F.2 GEOTÊXTIL ATUANDO COMO SEPARADOR EM ESTRADA DE SERVIÇO / ACESSO - FUNÇÃO PRINCIPAL: S - SEPARAÇÃO

A função separação pode ser dimensionada para diversas aplicações, cada qual exigindo diferentes solicitações mecânicas e, portanto, diferentes propriedades do Geotêxtil.

Assim, o dimensionamento para uma praia artificial difere do utilizado em um lastro ferroviário, e este possui solicitações distintas das impostas a uma estrada de acesso.

Os cálculos apresentados a seguir aplicam-se a estradas de acesso / serviço, pátios e estacionamentos com revestimento primário constituído de brita graduada lançada sobre subleito com CBR $\geq$ 3.

Nestas condições, o Geotêxtil interposto entre o subleito e a brita graduada possui a função primária de separar os materiais, bloquear a interpenetração que ocorreria gradativamente com os grãos da brita sendo forçados a penetrar na superfície do subleito, enfraquecido pelas águas de chuva.

Nesta aplicação, três propriedades do Geotêxtil devem ser verificadas, em sua função principal:

- **Resistência ao Estouro:**

o Geotêxtil tende a estourar, por tracionamento, pela reação vertical ascendente do solo atuando nos vazios das pedras.

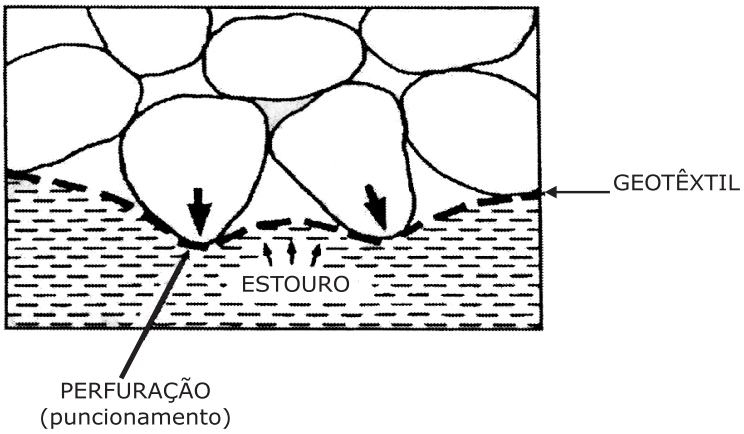


Figura F-2.1. Solicitações de estouro e perfuração do Geotêxtil.

- **Resistência ao Puncionamento:**

o Geotêxtil tende a ser perfurado pelas pontas e arestas das pedras, que descarregam no solo os esforços impostos pelo tráfego de veículos.

- **Resistência à Propagação de Rasgos:**

caso ocorra um rasgo no Geotêxtil, devido a um estouro ou perfuração, este deve ficar limitado ao local da ocorrência sem se propagar ao longo do plano do Geotêxtil.

Em revestimentos primários constituídos de material livremente drenante, com subleito com CBR $\geq$ 3, a atuação do Geotêxtil é predominantemente de elemento separador. Nestes casos podemos calcular a altura necessária do pavimento, para que não haja rupturas no subleito, pela fórmula apresentada por Giroud e Noiray (1991):

$$h = \frac{0{,}19 \cdot \log N}{CBR^{0{,}63}}$$

Onde:

h = altura necessária de brita para a estrada, em m.

N = número de passagens de eixo padrão de 80 kN (caminhão de eixo simples, rodas duplas).

CBR = Índice Suporte Califórnia do subleito (%).

Se os veículos forem mais pesados ou com eixos duplos, utilizamos os ábacos apresentados na figura F-2.2, para aplicarmos os fatores de equivalência.

Com a altura necessária para construir o pavimento, podemos iniciar o dimensionamento do Geotêxtil separador.

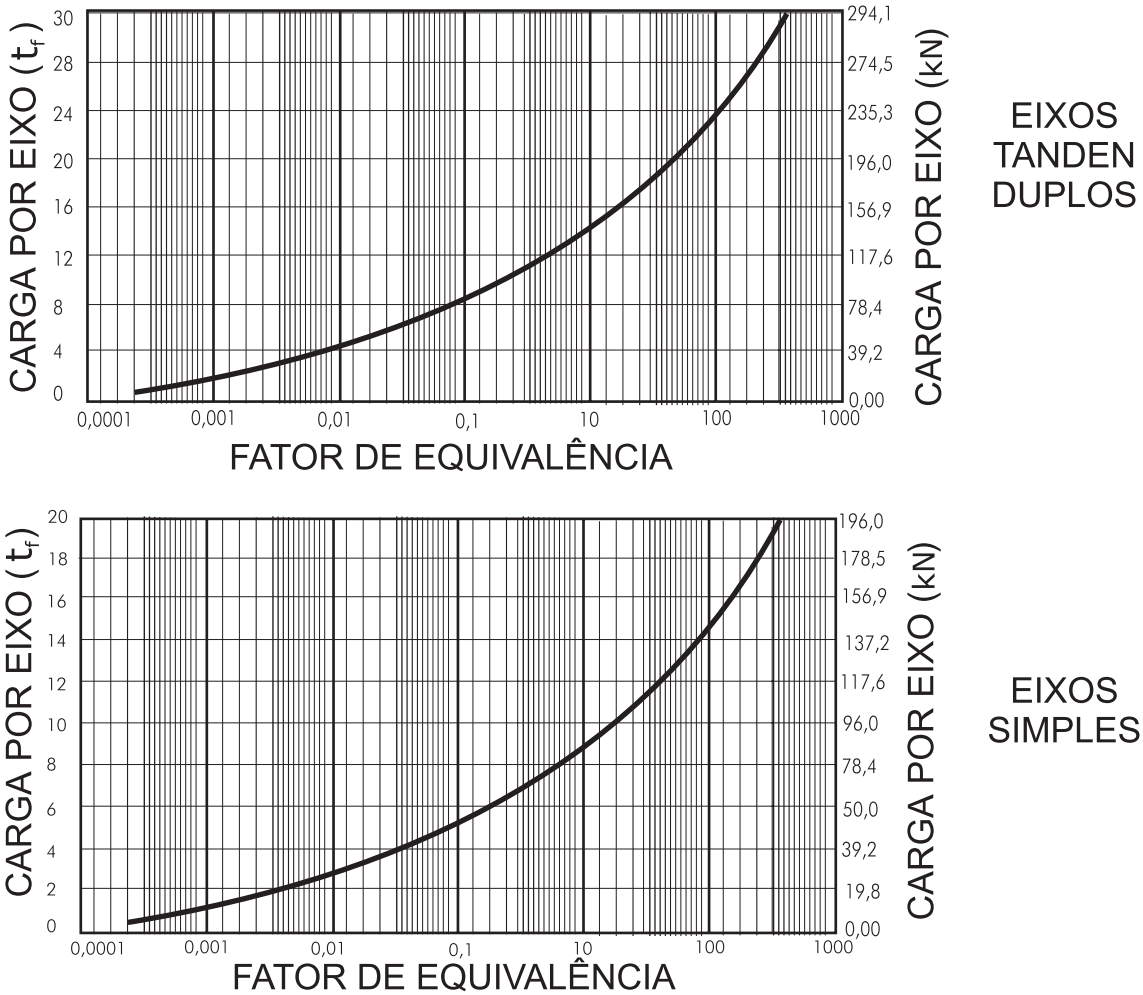


Figura F2.2. Fatores de equivalência para eixos simples e duplos

a) CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AO ESTOURO - P_B

A resistência mínima ao estouro que o Geotêxtil deverá possuir é dada pela fórmula simplificada de John - Werner:

$$P_B \geq D_{50} \ . (15{,}42 \ . \ CBR + 0{,}10 \ . \ \gamma_B \ . \ h)$$

P_B = resistência do Geotêxtil, ao estouro em kPa, ensaiado pela norma ASTM D 3786.

D_{50} = diâmetro da partícula média da brita empregada, em mm

γ_B = densidade da brita utilizada, em kN / m^3

FS = 3 - fator de segurança já considerado na fórmula

b) CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AO PUNCIONAMENTO - F_P

A resistência mínima à perfuração estática que o Geotêxtil deverá possuir é dada pela fórmula simplificada de John - Giroud e Noiray:

$$F_p \geq \frac{3{,}8.10^{-7} \ . \ D_{50}^2 . \ P}{(a + 1{,}2. \ h).(b + 1{,}2 \ . \ h)}$$

F_P = resistência do Geotêxtil, ao puncionamento em kN, ensaiado pela norma ASTM D 4833.

D_{50} = diâmetro da partícula média da brita empregada, em mm.

$a = \sqrt{\frac{P}{pc}}$ = comprimento de contato do pneu, em m.

$b = \frac{a}{1{,}41}$ = largura de contato do pneu, em m.

P = Carga por eixo de rodas duplas, em kN.

pc = pressão de inflação dos pneus adotada como 690 kPa, utilizada em caminhões médios e pesados.

FS = 3 - fator de segurança, já considerado na fórmula.

c) CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À PROPAGAÇÃO DO RASGO - F_T

A resistência mínima à propagação do rasgo que o Geotêxtil deverá possuir pode ser correlacionada ao puncionamento através da relação:

$$F_T \geq 0{,}19 \ . \ F_p$$

F_T= resistência do Geotêxtil à propagação do rasgo, em kN, ensaiado pela norma ASTM D 4533.

F_P = resistência mínima do Geotêxtil à perfuração, calculada no item b, em kN.

FS = 3 - fator de segurança já considerado na fórmula .

d) EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Dados: estrada de serviço com Geotêxtil separador, a ser construída com brita graduada situada na faixa de 15 mm a 100 mm, com D_{50} = 50 mm, γ_B = 20 kN / m^3, resistência do subleito CBR= 5 % e tráfego com N = 10^4 (número de passadas de veículo com carga de 80 kN, eixo simples, rodas duplas).

- Altura mínima de Revestimento Primário:

$$h=\frac{0,19 \cdot \log 10^4}{5,00^{0,63}}=0,28m=28cm$$

- Resistência mínima do Geotêxtil ao estouro:

$$P_B \geq D_{50}(15,42 \cdot CBR + 0,10 \cdot \gamma_B \cdot h)=50.(15,42 \cdot 5,00+0,10 \cdot 20 \cdot 0,28)$$

$$P_B > 3.883kPa=3,88MPa$$

- Resistência mínima do Geotêxtil ao puncionamento:

$$a=\sqrt{\frac{P}{pc}}=\sqrt{\frac{80}{690}}=0,34m \quad b=\frac{a}{1,41}=0,24m$$

$$F_P \geq \frac{3,8 \cdot 10^5 \cdot D_{50}^2 \cdot P}{(a+1,2 \cdot h) \cdot (b+1,2 \cdot h)} = \frac{3,8 \cdot 10^{-7} \cdot 50^2 \cdot 80}{(0,34+1,2 \cdot 0,28).(0,24+1,2 \cdot 0,28)}=0,19kN = 195N$$

- Resistência mínima do Geotêxtil à propagação do rasgo:

$$F_T \geq 0,19 \cdot F_P$$

$$F_T \geq 0,036kN=36N$$

e) ESPECIFICAÇÃO DO GEOTÊXTIL - SEPARAÇÃO

Resumindo, o dimensionamento do Geotêxtil separador para este exemplo nos levou à seguinte especificação:

- Altura do Pavimento: h = 28 cm, brita graduada
- Resistência ao Estouro (ASTM D - 3786): $P_B \geq 3,88$ MPa
- Resistência ao Puncionamento (ASTM D - 4833): $F_P \geq 195$ N
- Resistência ao Rasgo (ASTM D - 4533): $F_T \geq 36$ N

f) CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS.

- O formulário apresentado neste capítulo é válido para subleitos com CBR $\geq$ 3 % .
- Se o subleito tiver resistência menor, o Geotêxtil irá exercer função principal de reforço e as fórmulas para o cálculo dos esforços de estouro, puncionamento e rasgo são sensivelmente diferentes.
- Se o material constituinte do pavimento for de composição muito fechada, os cálculos irão levar a Geotêxteis mais leves ou à não necessidade de elemento separador. A grande desvantagem é que o pavimento não será auto-drenante, acumulando água em seu corpo e sua superfície, comprometendo sua resistência e as boas condições de rolamento.
- Nesta aplicação é necessário dimensionar, também, as propriedades de filtração para garantir que as partículas de solo não transpassem o plano do Geotêxtil através de seus poros / vazios.

F.3 GEOTÊXTIL ATUANDO COMO REFORÇO EM MUROS E TALUDES ÍNGREMES - FUNÇÃO PRINCIPAL: R-REFORÇO

As primeiras utilizações de Geotêxteis como inclusões de reforço em muros e taludes íngremes ocorreram na Europa e Estados Unidos na década de 1970 e no Brasil na década de 1980.

Desde então, esta técnica tem sido estudada e difundida por vários projetistas em todo o mundo.

Na figura F-3.1 são apresentados os custos relativos entre vários métodos construtivos de muros e taludes, podendo-se notar sensível vantagem econômica dos solos reforçados sobre as demais estruturas.

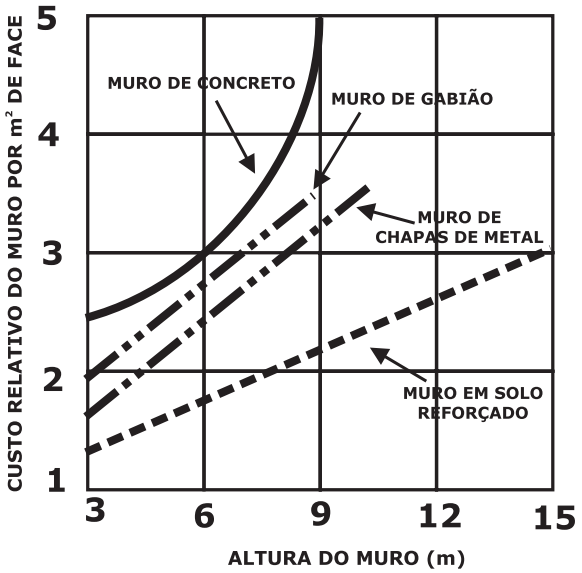


Figura F-3.1. Custos comparativos entre diversas estruturas de contenção (Mitchell e Vilet, 1987).

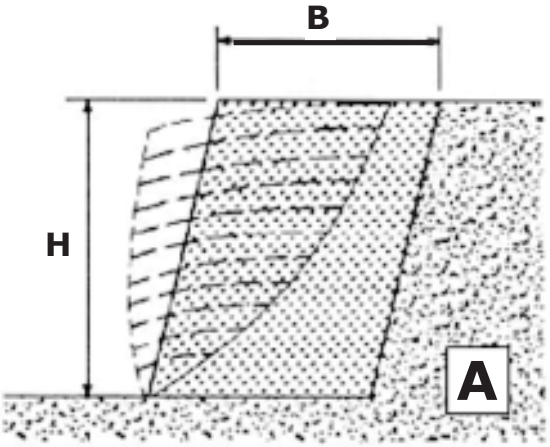
Consideramos como muro ou talude íngreme reforçado com Geotêxtil, toda estrutura em aterro cujo paramento forma um ângulo β variando entre 30^0 e 80^0 com o plano horizontal.

A faixa de valores de β considerada abrange desde os taludes de aterros rodo-ferroviários até os muros de obras civis correntes, correspondendo a mais de 90% das obras de reforço realizadas.

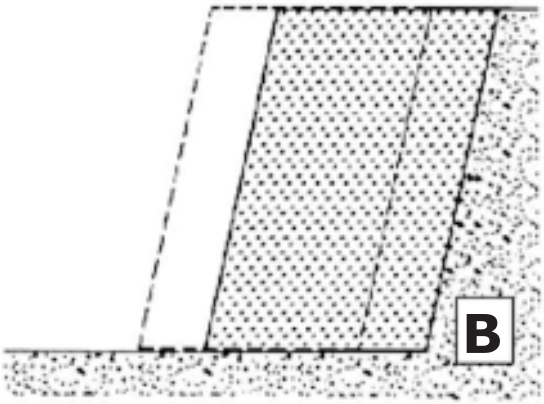
a) CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE

As condições de estabilidade do maciço reforçado com Geotêxtil devem ser estudadas para várias situações (vide figuras F-3.2)

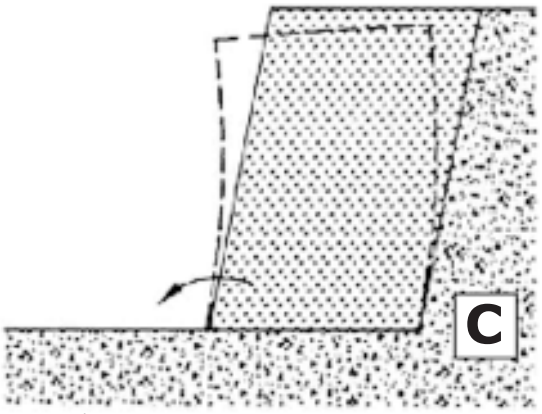
- Estabilidade Interna do Maciço: resistência à tração dos reforços, arrancamento dos reforços e estabilidade global interna (também chamada de escorregamento interno).
- Estabilidade Externa: deslizamento, tombamento, capacidade de carga e ruptura global externa.



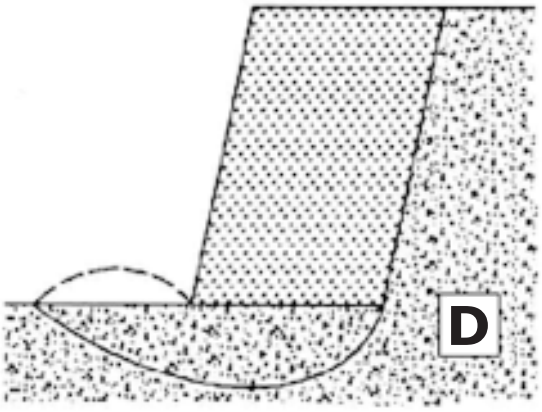
Figuras F-3.2. Condições de estabilidade a serem verificadas:
(A) Estabilidade interna.



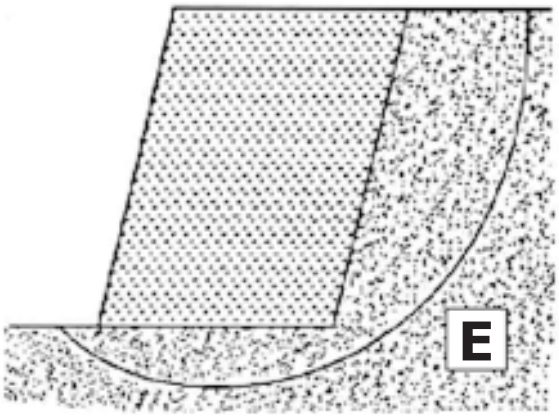
(B) Deslizamento.



(C) Tombamento.



(D) Capacidade de carga da fundação.



(E) Estabilidade global.

b) RESISTÊNCIA DISPONÍVEL DO GEOTÊXTIL

A resistência à tração disponível do Geotêxtil T_a é aquela que efetivamente o Geotêxtil pode desempenhar na obra. Para determiná-la, temos que aplicar o fator total de redução FR_T ao valor da resistência T_{MAX} apresentada no catálogo do fabricante:

$$T_a = \frac{T_{MAX}}{FR_T}$$

O fator total é composto por vários fatores parciais (Koerner ,1998 e Fabrin et al, 1999) :

FR_{FL}= fator de redução para deformações por fluência em tração, que varia de 2,0 a 4,0, em função da matéria-prima do Geotêxtil.

FR_{DI}= fator de redução devido a danos de instalação na obra, que varia de 1,0 a 2,0 em função dos materiais fisicamente contundentes em contato com o Geotêxtil

FR_{MA}=fator de redução devido à degradação pelo meio ambiente (química e biológica), que varia de 1,0 a 1,6 para obras de reforço, em geral.

Assim, o fator total de redução é calculado:

$$FR_T = FR_{FL} \cdot FR_{DI} \cdot FR_{MA}$$

Uma vez calculada a T_a, esta deve ser maior ou igual à T_{req} = resistência requerida pelo projeto.

c) MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO ADOTADO PARA O CÁLCULO DA ESTABILIDADE INTERNA.

A estabilidade externa dos muros e taludes reforçados é tratada da mesma forma que em estruturas convencionais de contenção como muros de arrimo, muro a flexão ou gabiões. Portanto, só abordaremos a metodologia de análise da estabilidade interna.

Existem diversas metodologias para o dimensionamento de maciços reforçados com geossintéticos e/ou com Geotêxteis. No entanto, para simplificar os procedimentos, vamos utilizar o método desenvolvido por Jewell (1991), baseado no equilíbrio limite estudado por Jarret e Mc Gown (1988), que utiliza ábacos que simplificam os cálculos.

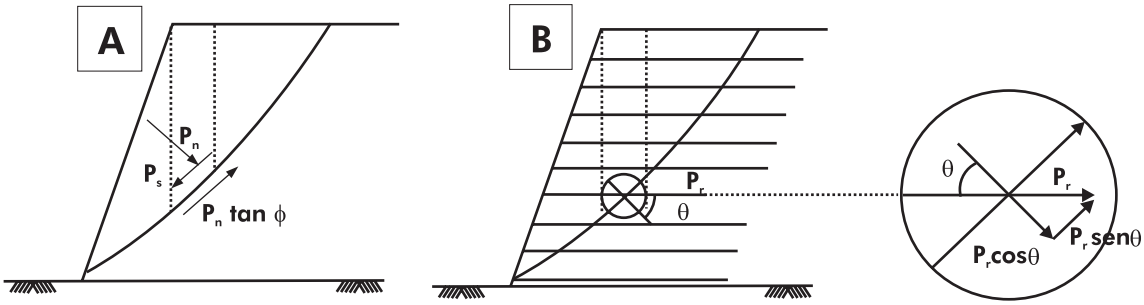


Figura F-3.3. Efeito do reforço no equilíbrio: (A) talude sem reforço e (B) o Geotêxtil contribuindo como reforço.

d) PARÂMETROS UTILIZADOS NO MÉTODO

H = altura do muro / talude, em metros.

β= ângulo de inclinação da face / superfície do talude com o plano horizontal, em graus (pode variar na faixa de 30^0 a 80^0).

ϕ_p = ângulo de atrito interno do solo (pico), em graus.

ϕ_d = ângulo de atrito de projeto, em graus .

T_{MAX} = resistência do Geotêxtil à tração - carga distribuída, indicada pelo fabricante , em kN/m.

FS = fator de segurança global, para as características resistentes do solo.

FR_T = fator de redução total, para a resistência à tração do Geotêxtil.

K_{req} = Coeficiente de empuxo ativo requerido.

e_V = espaçamento vertical entre as camadas de reforço com Geotêxtil, em metros.

T_a = resistência disponível do Geotêxtil, em kN / m .

T_{req}= resistência do Geotêxtil, requerida pelo projeto, em kN / m.

L = Comprimento do reforço, em metros.

e) SEQÜÊNCIA DE CÁLCULO

1) Cálculo do ângulo de atrito de projeto:

$$\phi_d = \text{arctg}\left(\frac{\text{tg}\phi_p}{FS}\right)$$

2) Com ϕ_d e β, obtém-se K_{req} e L/H no ábaco.

3) Adota-se um espaçamento conveniente e calcula-se a resistência do Geotêxtil:

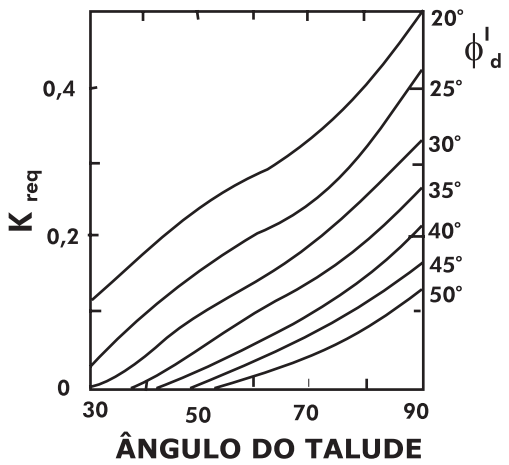
$$T_{req} = e_v \cdot K_{req} \cdot \gamma \cdot H$$

4) Com FR_T, calcula-se o valor mínimo da resistência de catálogo do Geotêxtil:

$$T_{MAX} \geq T_{req} \cdot FR_T$$

5) O comprimento L do reforço é calculado através do valor L/H, obtido no ábaco.

a) EMPUXO NECESSÁRIO



COMPRIMENTO DE REFORÇO MÍNIMO:

1) O comprimento mínimo na crista do talude é o necessário para estabilidade global.

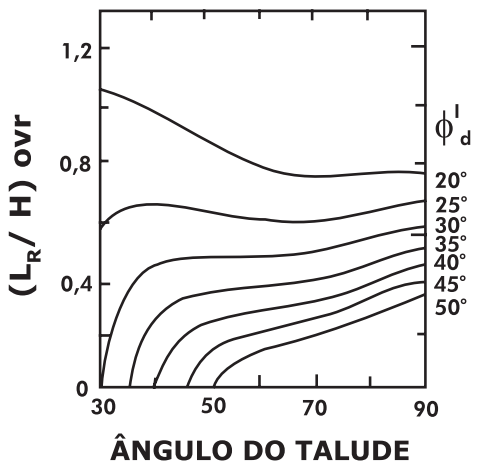
2) O comprimento mínimo na base do talude é o maior entre o necessário para a estabilidade global e para evitar deslizamento de base.

3) Para empregar comprimento de reforço constante, selecione o maior comprimento de 2) acima.

4) Quando o escorregamento na base é preponderante, é possível reduzir o comprimento de modo uniforme desde Lds na base do talude até Lovr na crista do talude.

COMPRIMENTO MÍNIMO NECESSÁRIO

b) ESTABILIDADE GLOBAL - Lovr



c) ESCORREGAMENTO - Lds

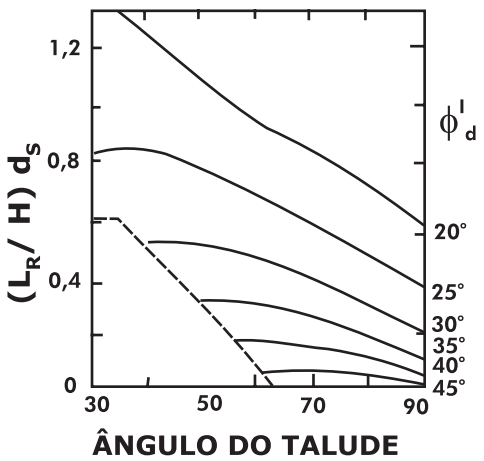


Figura F-3.4. Ábacos para o dimensionamento da estabilidade interna - Jewell (1991).

f) DETALHES CONSTRUTIVOS DE OBRA

Embora seja de simples execução, sem a necessidade de equipamentos e mão-de-obra especializada, alguns detalhes construtivos são importantes:

- A fundação deve ser preparada , removendo-se ou substituindo-se materiais de baixa capacidade portante.

- A correta inclinação superficial da face é provida pela utilização de uma fôrma de madeira, em forma de L, com altura um pouco maior que o espaçamento entre as camadas reforçadas. A fôrma é colocada na base do muro e vai subindo junto com as camadas.

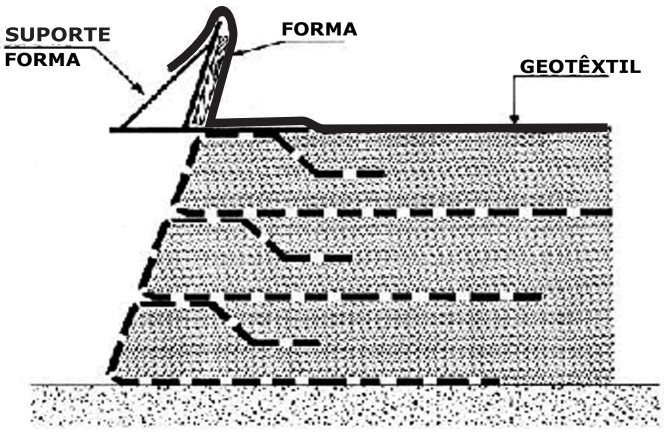


Figura F-3.5. Instalação do Geotêxtil com o auxilio de formas de madeira reaproveitáveis.

- O Geotêxtil é desenrolado e posicionado de forma que sobre aproximadamente um metro além do topo da fôrma. Se o reforço for suficientemente largo e possuir propriedades iguais nas duas direções, ele pode ser desenrolado paralelamente ao muro. Caso contrário, o Geotêxtil deve ser desenrolado perpendicularmente ao muro e costurado ou sobreposto: em geral, a sobreposição deve ser de 30 cm (emendas longitudinais apenas).
- O aterro é espalhado sobre o geotêxtil até cerca de 50% ou 75% do espaçamento entre camadas (tipicamente entre 20 e 40 cm) e então compactado com equipamento convencional.
- Escava-se um pequeno trecho a aproximadamente 50cm da face do muro, no qual a extremidade livre do Geotêxtil é dobrada e encaixada.
- O restante do aterro é executado e compactado, completando a execução da camada.
- A fôrma de madeira é removida e posicionada sobre a camada recém executada, de forma a iniciar-se a execução da camada seguinte.

g) EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Dados: Muro de contenção reforçado com Geotêxtil, a ser construído com H = 8 m (altura efetiva de 7,5m e 0,5m engastado no solo base), solo silto - arenoso com ϕ_P=34°, β =80°, γ=18 kN/m^3, FS=1,3, FR_T=2,2, e_v=0,40m. (conforme consideração. Item b- pág. 78)

- Ângulo de Atrito de Projeto:

$$\phi_d = \text{arctg}\left(\frac{\text{tg}34^o}{1,3}\right) = 27,4^o$$

- Do ábaco b) da figura F-3.4, obtemos L R / H = 0,6
- Do ábaco a) da figura F-3.4, obtemos K_{req} = 0,29
- Cálculo da Resistência Requerida:

$$T_{req} = e_v . k_{req} . \gamma . H = 0,40 . 0,29 . 18 . 8 = 16,7 kN/m$$

- Cálculo da Resistência de Ruptura (catálogo) do Geotêxtil:

$$T_{MAX} \geq T_{req} . FR_T = 16,7 . 2,2 = 36,7 kN/m$$

- Cálculo do comprimento do Reforço: $L_R = 0,6 . H = 0,6 . 8,0 = 4,8$ m
- O comprimento total do Geotêxtil será: $L_{total} = 4,8 + 0,4 + 1,0 = 6,2$ m

Portanto, se a bobina de Geotêxtil tiver, por exemplo, 3,00 m de largura, iremos cortar pedaços de 3,00 m x 6,20 m , que serão suficientes para atender ao comprimento útil de reforço, a altura da face para cada camada e o dobramento superior. Cada pedaço destes, será instalado com seu comprimento perpendicular ao comprimento do muro.

h) ESPECIFICAÇÃO DO GEOTÊXTIL

Resumindo, o dimensionamento do Geotêxtil para o reforço de solo neste exemplo nos levou ao valor T_{req} = 16,7 kN / m. Se, efetivamente, tivermos FR_T = 2,2, a resistência de catálogo do Geotêxtil deverá ser T_{MAX} = 36,7 kN / m.

i) CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

- O muro deverá receber algum tipo de proteção superficial, tal como gramínea, blocos, placas de concreto pré-moldadas, laje pré-fabricada ou concreto projetado, conforme ilustrado na figura F-3.6.
- Caso necessário, pode-se diminuir o espaçamento entre camadas para se utilizar um Geotêxtil de menor resistência.
- O método possibilita o dimensionamento de Geotêxteis menos resistentes nas camadas superiores e mais resistentes nas camadas inferiores.
- Os ábacos da figura F.3.4 referem-se à utilização de materiais auto-drenantes (não considera o desenvolvimento de pressões neutras). Caso haja influência sensível do lençol freático, devem-se utilizar os ábacos pertinentes, apresentados por Jewell em seu método (vide Bibliografia).
- Além da estabilidade interna aqui analisada, o projeto da obra deverá verificar a estabilidade externa do maciço, também.
- Se $\beta > 80^0$, o método prevê a utilização de outros ábacos e passa a considerar a capacidade de carga da fundação, a resistência da estrutura a cargas aplicadas e o efeito de deformações no projeto da face, como fatores críticos adicionais de instabilidade.

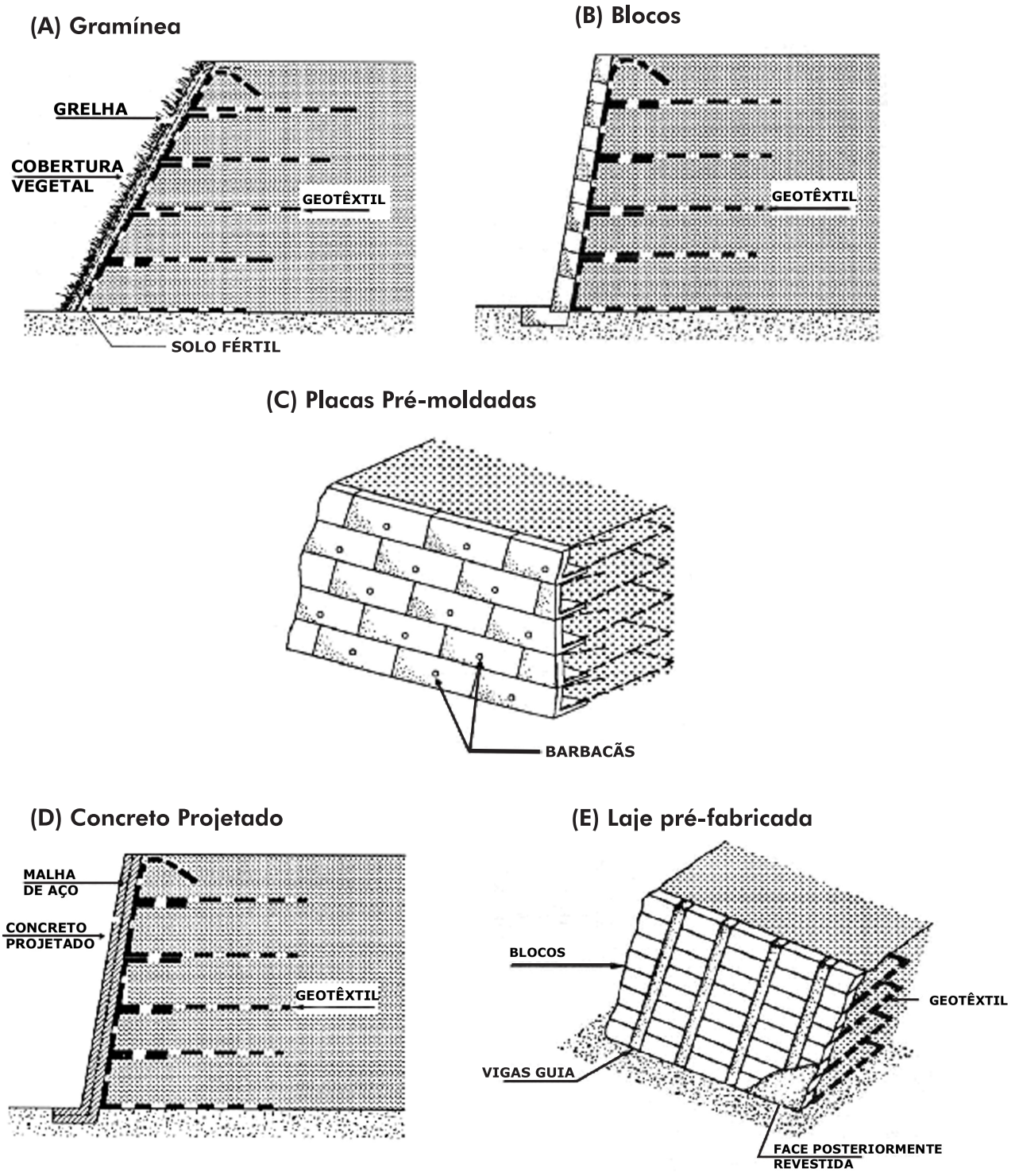


Figura F-3.6. Diferentes alternativas de proteção superficial da face do muro reforçado com Geotêxtil.

F.4 GEOTÊXTIL ATUANDO COMO REFORÇO EM ATERROS SOBRE SOLOS MOLES.

A presença do Geotêxtil como reforço, em camada única ou múltiplas camadas, na base de um aterro sobre solo de pouca capacidade suporte, traz os seguintes benefícios:

- Permite a construção da obra em menor tempo.
- Distribui melhor as cargas no interior do solo de fundação com conseqüências benéficas para a capacidade de carga e para a minimização dos recalques diferenciais.
- Aumenta o fator de segurança do conjunto contra ruptura global: sem o reforço, o fator de segurança ao fim da construção seria menor que a unidade (ou seja, o aterro teria rompido) e cresceria à medida que a fundação fosse consolidando, como ilustra a figura F-4.1 .

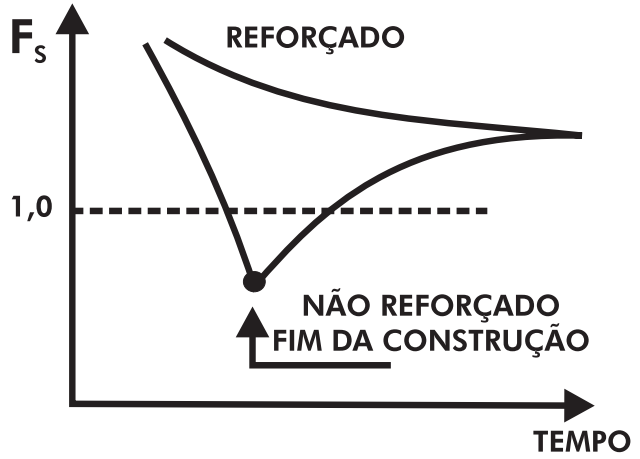


Figura F-4.1. Evolução do fator de segurança para a estabilidade global com o tempo, em aterros construídos sobre solos moles (Jewell, 1996).

O dimensionamento de reforço de aterros sobre solos moles com Geotêxtil deve analisar a estabilidade do conjunto, ou parte dele, nas seguintes situações:

- Capacidade de carga do solo de fundação.
- Deformação elástica do maciço.
- Deslizamento lateral do aterro sobre o reforço.
- Arrancamento do reforço de sua zona de ancoragem.
- Estabilidade global.

a) MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO ADOTADO

Neste item, dimensionamos apenas a resistência do Geotêxtil necessária para garantir a estabilidade global através dos ábacos desenvolvidos por Milligan e Busbridge (1983). Os ábacos fornecem a resistência do reforço necessária para se atingir $F_S=1$, sendo que para fatores de segurança maiores, é necessário minorar-se os parâmetros de resistência do aterro e fundação.

b) PARÂMETROS UTILIZADOS NO MÉTODO

H = altura do aterro, em metros

β= ângulo de inclinação do talude do aterro, com o plano horizontal, em graus.

γ= peso específico do material de aterro, em kN / m^3.

ϕ'= ângulo de atrito interno do material de aterro, em graus.

T = resistência útil do geotêxtil, para FS = 1, em kN / m.

T_{MAX}= resistência do geotêxtil à tração (carga distribuída), indicada pelo fabricante, em kN / m.

FS = fator de segurança global.

FR_T = fator de redução total, para a resistência do Geotêxtil à tração (vide item F.3.b).

S_u = resistência não drenada do solo mole ao cisalhamento, em kPa.

D = espessura do solo mole, em metros.

Para o dimensionamento das demais situações de instabilidade, indicamos os autores Low et al (1990), Koerner (1994) e Jewell (1996), figura F-4.2.

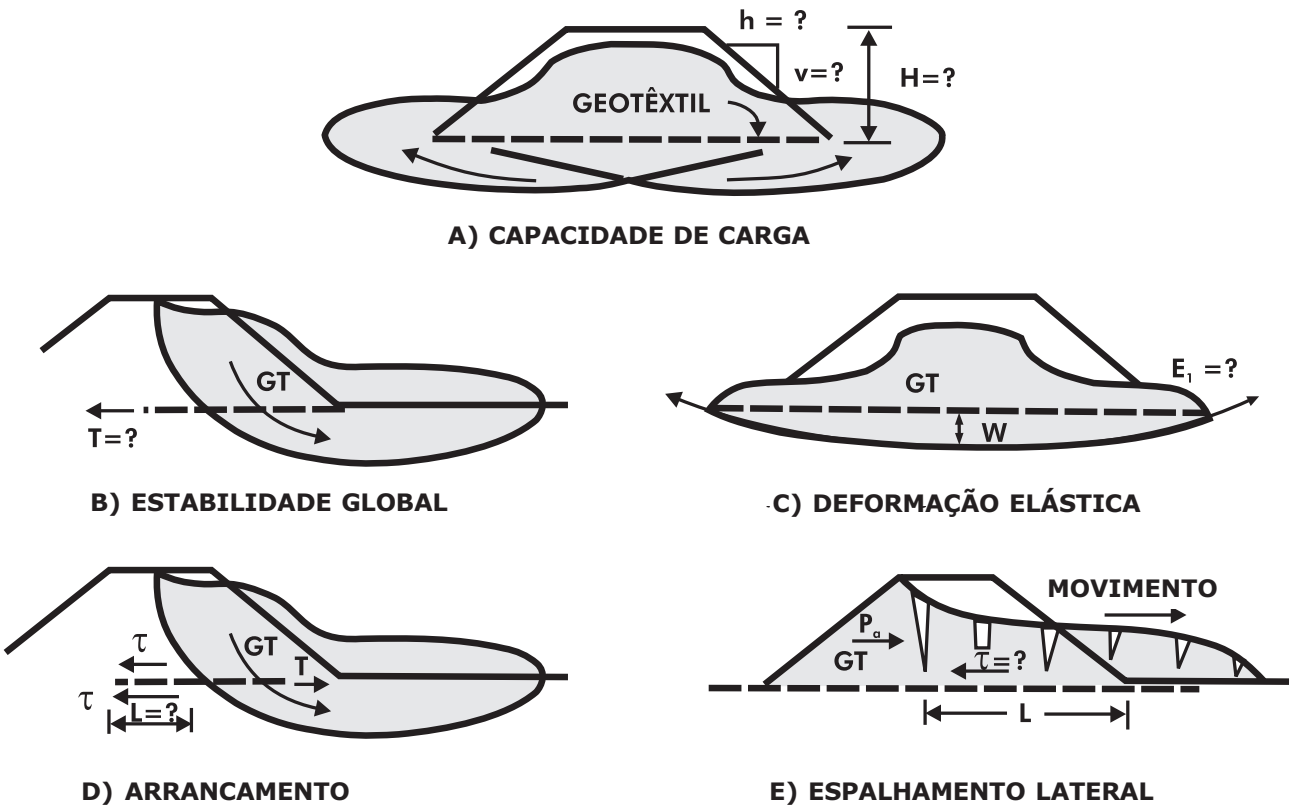


Figura F-4.2. Mecanismo de instabilização de aterros reforçados sobres solos moles. (Jewell, 1992).

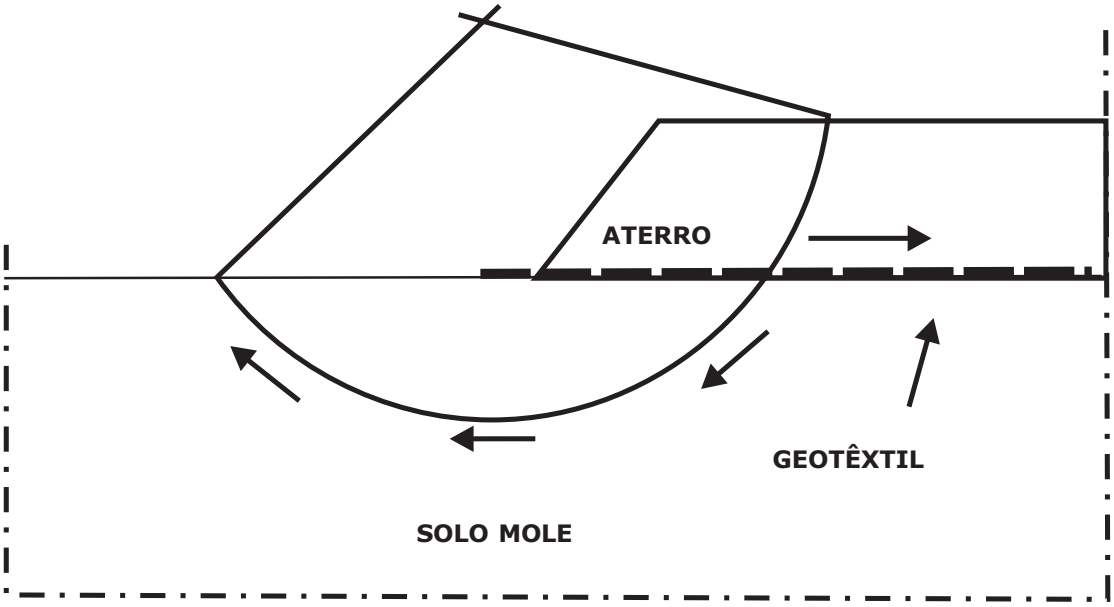


Figura F-4.3. Atuação do Geotêxtil como reforço na estabilidade global de aterros sobre solos moles - Hipótese de ruptura circular.

c) SEQÜÊNCIA DE CÁLCULO

1- Calculam-se os adimensionais $S_u / \gamma . H$ e D / H.

2- Com os adimensionais, mais β e ϕ, o ábaco fornece o terceiro adimensional $T / \gamma . H^2$.

3- Obtém-se T e calcula-se:

$$T_{MAX} \geq T.FR_T$$

d) DETALHES CONSTRUTIVOS

Além dos cuidados indicados nos itens D.1, D.2 e D.3, o plano de instalação do Geotêxtil deverá levar em consideração:

- As uniões das mantas, por costura ou sobreposição, deverão ser paralelas à direção de maior esforço no Geotêxtil, para prevenir sua ruptura, pois constituem retas de menor resistência.
- A compactação do aterro usualmente se inicia a uma altura mínima de 80 cm acima do Geotêxtil, ou camadas menores com o devido cuidado.

e) EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Dados: aterro com altura H = 4,0 m, taludes com inclinação $\beta = 27^0$, constituído de material silto-arenoso com $\phi' = 30^0$ e $\gamma = 20$ kN / m^3. A argila mole do solo de fundação tem $S_u = 12$ kPa e espessura D = 5 m, e no Geotêxtil, deve ser aplicado um $FR_T = 2,5$.

- $\frac{S_u}{\gamma . H} = \frac{12}{20 . 4} = 0,15$ e $\frac{D}{H} = \frac{5}{4} = 1,25$
- Do ábaco (b) da Figura F-4.4, extraímos: $\frac{T}{\gamma . H^2} = 0,2$
- $T = 0,2 . \gamma . H^2 = 0,2 . 20 . 16 = 64$kN/m
- $T_{MAX} \geq 64 . 2,5 = 160$kN/m

Portanto, podemos utilizar camada única de Geotêxtil com $T_{MAX} = 160$ kN/m ou, por exemplo, 4 (quatro) camadas de Geotêxtil com $T_{MAX} = 40$ kN/m, junto à base do aterro, espaçadas de 50 cm, 25 cm e 25 cm entre si (de baixo para cima).

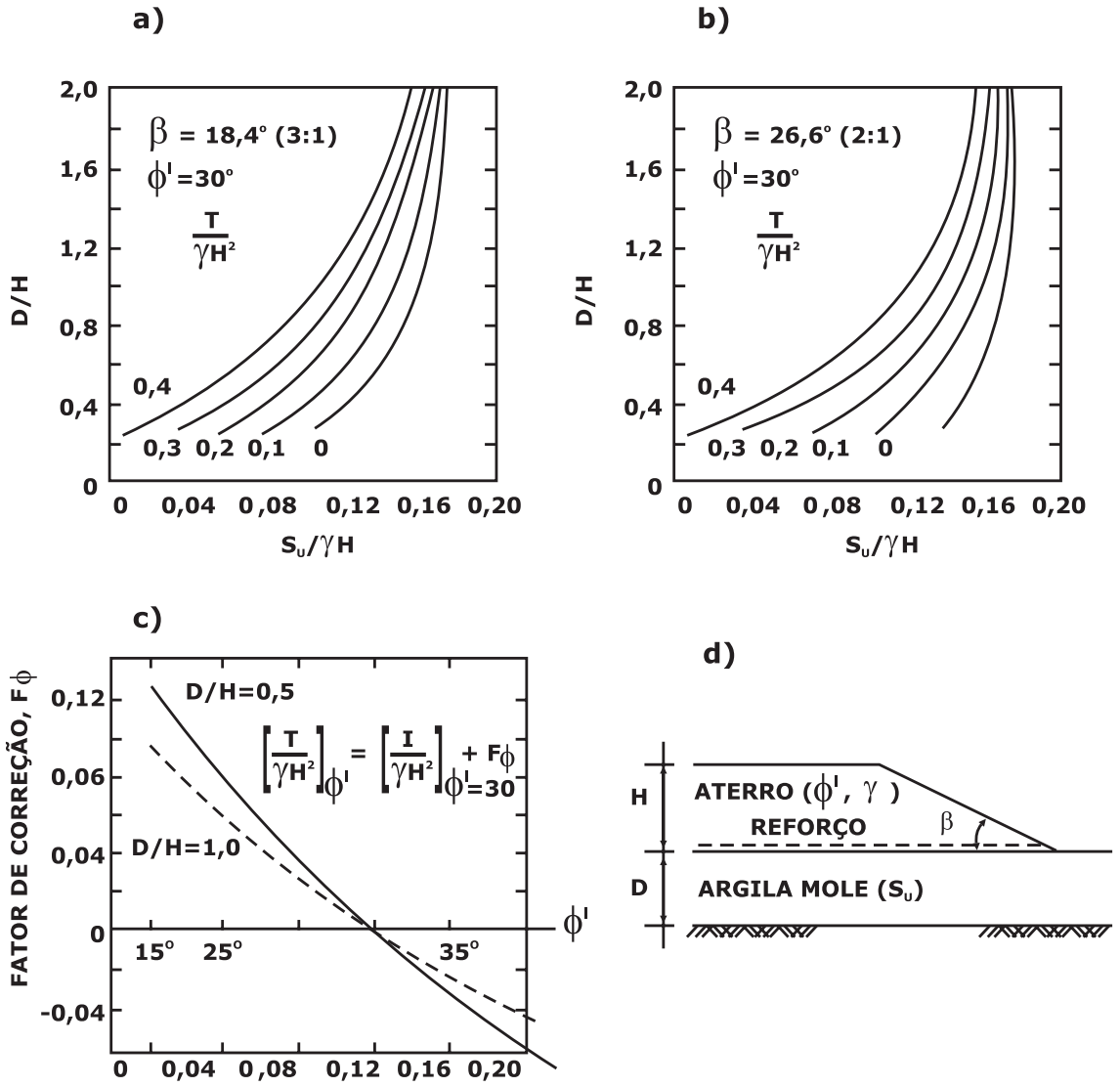


Figura F-4.4. Ábacos para o dimensionamento do reforço sobre solo mole - Milligan e Busbridge (1983).

f) ESPECIFICAÇÃO DO GEOTÊXTIL

Resumindo, o dimensionamento do Geotêxtil para reforço do aterro em sua estabilidade global, com $FR_T = 2,5$ nos levou à seguinte especificação (utilização em 4 camadas):

- Resistência à Tração - Carga Distribuída : $T_{MAX} \geq 40$ kN / m.

g) CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

- O Método de dimensionamento apresentado é conservativo, resultando em valores de T_{MAX} cerca de 30% maiores que os providos por outros métodos, em média. Portanto, os valores obtidos devem ser refinados.
- É imprescindível verificar a estabilidade do aterro para os demais mecanismos de instabilização apresentados na Figura F-4.2.
- O reforço de aterros sobre solos moles com Geotêxtil não interfere no processo de consolidação. No entanto, os benefícios da sua utilização são significativos na minimização dos recalques diferenciais.

G. BIBLIOGRAFIA

G.1 REFERÊNCIAS UTILIZADAS NESTE CURSO

[01] Amoco do Brasil Ltda., *"Manuais Técnicos, Catálogos e Acervo Fotográfico"*, (Paraná, Brasil, 1999).

[02] Bidim Indústria e Comércio Ltda., "Manuais Técnicos, Catálogos e Acervo Fotográfico", (São Paulo, Brasil, 1999).

[03] Bernardes, G.P.;Vidal, D. e Urashima, D.C., *"Abertura de Filtração de Geotêxteis: Determinação das Características do Produto e Critérios de Dimensionamento"*, Geossintéticos 99, (Rio de Janeiro, Brasil, 1999).

[04] DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, *"Manual de Drenagem de Rodovias"*, (Rio de Janeiro, Brasil, 1990).

[05] Fabrin, T.W.; Montez, F.T. e Vidal, D.M., *"O Conceito de Fatores de Redução Aplicados às Propriedades dos Geossintéticos"*, Geossintéticos 99, (Rio de Janeiro, Brasil, 1999).

[06] Giroud, J.P. e Noiray, L., *"Geotextile - Reinforced Unpaved Roads Design"*, Journal of Geotech. Engng. Division, ASCE, Vol. 107, GT9, (USA, 1991).

[07] Giroud, J.P., *"From Geotextiles to Geosynthetics: A Revolution in Geotechnical Engeneering"*, Anais do 3º Congresso Internacional de Geotêxteis, (Viena, Áustria, 1986).

[08] Guerra, E., *"Separación y Estabilización de Subrasantes en las Vias: Guia de Diseño"*, Geossintéticos 99, (Rio de Janeiro, Brasil, 1999).

[09] IFAI - Industrial Fabrics Association Institute, *"A Design Primer:Geotextiles and Related Materials"*, (Saint Paul, USA, 1990).

[10] IGS, *"Recommended Descriptors of Geosynthetics Functions, Geosynthetics Terminology, Mathematical and Graphical Symbols"*, (South Caroline, USA, 1996).

[11] Indústria de Feltros Santa Fé S.A., *"Manuais Técnicos, Catálogos e Acervo Fotográfico"*, (São Paulo, Brasil, 1999).

[12] Jarret, P.W. e McGown, A., *"Proceeding Application of Polymeric Reinforcements on Soil Retaining Structures - Royal Military College"*, (Ontario, Canada, 1988).

[13] Jewell, R. A., *"Application of Revised Design Charts for Steep Reinforced Slopes"*, Geotextiles and Geomembranes, (London, U.K., 1991).

[14] Jewell, R.A., *"Soil Reinforcement with Geotextiles"*, CIRIA, (London, U.K., 1996).

[15] John, N.W.M., *"Geotextiles"*, Blackie and Son Ltd., (London, U.K., 1987).

[16] Koerner, R.M., *"Designing with Geosynthetics"*, Prendice Hall, (New Jersey, USA, 1994).

[17] Low, B.K.; Wong, K.S.; Lim, C. e Broms, B.B., *"Slip Circle Analysis of Reinforced Embankments on Soft Ground"*, Geotextiles and Geomembranes, (London, U.K., 1990).

[18] Milligan, V. e Busbridge, Jr., *"Guidelines for Use of Tensar Geogrids in Reinforcement of Tills Over Weak Foundations"* , Golder Associated Report for Tensar Corporation, (Ontario, Canada, 1983).

[19] Mitchell, J.K. e Vilet, W.C.B., *"Reinforcement of Earth Slopes and Embankments"*, National Cooperative Highway Research Program, Report 290, TBR, NRC", (USA, 1987).

[20] Geotextile Design & Construction Guidelines, Participant Notebook, Federal Highway Administration (Revised April 1992).

[21] Ober S.A. Indústria e Comércio, *"Manuais Técnicos, Catálogos e Acervo Fotográfico"*, (São Paulo, Brasil, 1999).

[22] Souza, M. L., *"Pavimentação Rodoviária"*, MT - DNER - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, (Rio de Janeiro, Brasil, 1980).

[23] Spada, J., *"Princípios da Filtração com Geotêxtil"*, Geossintéticos 92, (Brasília, Brasil, 1992).

[24] Vertematti, J. C., "*Geossintéticos: Modismo ou Modernismo?"*, Revista Engenharia nº 526, (São Paulo, Brasil, 1998).

[25] Vertematti. J. C., *"Panorama da Utilização dos Geossintéticos"*, Seminário Aplicações de Geossintéticos na Engenharia. - UFPR, (Curitiba, Brasil, 1998).

[26] Werner, G., *"Design Criteria for the Separation Function of Geotextiles on the Basis of Mechanical Test Procedures"*, III International Conference on Geotextiles, 4º Vol., (Viena, Austria, 1986).

G.2 REFERÊNCIAS ADICIONAIS PARA GEOSSINTÉTICOS

CONGRESSOS INTERNACIONAIS

[27] I International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics, (Paris, França, 1977).

[28] II International Conference on Geotextiles, (Las Vegas, USA, 1982).

[29] III International Conference on Geotextiles, (Viena, Áustria, 1986).

[30] IV International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, (Haia, Holanda, 1990).

[31] V International Conference on Geosynthetics, (Cingapura, Cingapura, 1994).

[32] VI International Conference on Geosynthetics, (Atlanta, USA, 1998).

SIMPÓSIOS NACIONAIS/SULAMERICANOS

[33] Geossintéticos 92 - Seminário sobre Aplicações de Geossintéticos em geotecnia, (Brasília, Brasil, 1992).

[34] Geossintéticos 95 - 2º Simpósio Brasileiro sobre Aplicações de Geossintéticos, (São Paulo, Brasil, 1995)

[35] Geossintéticos 99 - 3º Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, (Rio de Janeiro, Brasil, 1999).

[36] 1º Simpósio Sulamericano de Geossintéticos, (Rio de Janeiro, Brasil, 1999).

PERIÓDICOS

[36] Geotextiles and Geomembranes - International Geosynthetics Society - IGS, Elsiever Science Publishers Ltd., (Inglaterra).

[37] Geotechnical Fabrics Report - Industrial Fabrics Association International - IFAI, (EUA)

CURSO BÁSICO DE GEOTÊXTEIS - CBG
COMITÊ TÉCNICO GEOTÊXTIL - CTG
1ª Edição - Janeiro/2001
Projeto gráfico e editoração: Rooka'z

Apoio:

Bidim

GeoFort®
OBER
Soluções para Engenharia

bp

Amoco do Brasil Ltda.

santa fé

Rookaz