



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

UTILIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICO NO CONTROLE DA EROSÃO

JÉSSICA FREIRE GONÇALVES DE MELO

João Pessoa - PB

Novembro de 2016

JÉSSICA FREIRE GONÇALVES DE MELO

## UTILIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICO NO CONTROLE DA EROSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal da Paraíba como requisito básico à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

João Pessoa  
Novembro de 2016

M528u Melo, Jessica Freire Gonçalves de  
Utilização de Geossintéticos no Controle da Erosão./  
Jessica Freire Gonçalves de Melo ./ - João Pessoa, 2016.

61f.il.

Orientador: Prof. Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil)  
CGEC./ Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade  
Federal da Paraíba.

1. Geossintéticos. 2. Geotecnia. 3. Reforço. 4. Vegetação  
I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed:624: 504 (043)

*Dedico este trabalho aos meus pais, aos meus irmãos e a minha avó Alice e a todos aqueles que me apoiaram durante esta jornada.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ser meu guia e ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, Marinaldo Gonçalves de Melo e Josilene Freire Fernandes de Melo, por todo carinho, apoio, esforço, dedicação e incentivo para a concretização de mais esta fase em minha vida.

Aos meus irmãos, Marinaldo Gonçalves de Melo Júnior e Joyce Freire Gonçalves de Melo, os quais admiro muito e procuro me espelhar.

A Petrônio Wanderley de Oliveira Lima Filho, pelo apoio, força e incentivo que tem sempre me dado, em especial, nessa etapa final.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Civil da UFPB, em especial, a professora, Dr<sup>a</sup>. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes, minha orientadora, por toda atenção e ensinamentos.

Por fim, agradeço aos meus amigos, e a todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para que este momento se realizasse.

“Cada sonho que você deixa para trás, é um pedaço do seu futuro que deixa de existir.”

Steve Jobs.

## RESUMO

Com a urbanização e o aumento das transformações nas paisagens naturais, os processos erosivos são frequentes e trazem ao meio ambiente diversos danos, difíceis de serem solucionados e com um alto custo. A erosão é um processo natural que vem sendo acelerada pelo homem e, é classificada de acordo com os seus agentes erosivos (chuva, mar, vento e gelo). Neste trabalho, apresentam-se os diversos tipos de erosão e se estudam técnicas para o controle e recuperação das áreas erodidas com a utilização dos geossintéticos. Este material traz inúmeras vantagens na sua utilização em obras geotécnicas devido as suas propriedades. No controle da erosão, este material, desempenha funções de reforço e auxílio no plantio de vegetações. Eles viabilizam a recuperação de áreas de difícil acesso e com menor custo em relação a outras técnicas. Para o dimensionamento e a descrição do método construtivo de uma solução, utilizando geossintéticos no controle da erosão, utilizou-se um exemplo de talude com a finalidade de mostrar sua viabilidade construtiva e econômica.

**Palavras-chave:** Erosão, Geossintéticos, Geotecnia, Reforço, Vegetação.

## **ABSTRACT**

With urbanization and increasing transformations in natural landscapes, erosive processes are frequent and bring to the environment various damages, difficult to solve and with a high cost. Erosion is a natural process that has been accelerated by man and is classified according to its erosive agents (rain, sea, wind and ice). In this work, the different types of erosion are presented and techniques are studied for the control and recovery of the eroded areas with the use of geosynthetics. This material has many advantages in its use in geotechnical works due to its properties. In the control of erosion, this material performs functions of reinforcement and assistance in the planting of vegetation. They enable the recovery of areas that are difficult to reach and at a lower cost than other techniques. For the design and description of the constructive method of a solution, using geosynthetics in the erosion control, an example of slope was used in order to show its constructive and economical viability.

**Key-words:** Erosion, Geosynthetics, Geotechnics, Reinforcement, Vegetation.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Balanço sedimentar.....	16
Figura 2: Previsão aumento do nível do mar.....	17
Figura 3: Características gerais de onda regular .....	18
Figura 4: Refração das ondas quando se aproxima da linha da costa .....	19
Figura 5: Formação de uma onda de rebentação.....	20
Figura 6: Processos de movimentação do transporte longitudinal .....	20
Figura 7: Formação de ravinas e voçorocas .....	22
Figura 8: Mapa de ventos do Brasil .....	23
Figura 9: Derretimento das geleiras .....	23
Figura 10: Quadro com os tipos de geossintéticos e principais funções .....	25
Figura 11: Quadro com as propriedades dos geossintéticos.....	26
Figura 12: Parâmetros hidráulicos.....	30
Figura 13: Quadro com as normas brasileiras de geossintéticos.....	31
Figura 14: Fabricantes de geossintéticos com seus respectivos produtos para controle de erosão disponível no mercado nacional.....	35
Figura 15: Proteção do talude com geotêxtil.....	35
Figura 16: Escoamento x tempo.....	36
Figura 17: Sedimento x tempo .....	36
Figura 18: Vista frontal do muro reforçado .....	37
Figura 19: Geogrelha.....	37
Figura 20: Utilização de geogrelha para reforço do solo .....	38
Figura 21: Geomanta.....	38
Figura 22: Biomanta composta 100% de fibra de coco.....	39
Figura 23: Talude com a geomanta reforçada - Obra de Angra dos Reis - RJ.....	40
Figura 24: Três meses após a colocação da geomanta reforçada - Obra de Angra dos Reis- RJ .....	40
Figura 25: Critérios de seleção de geomantas para reforço de vegetação.....	41
Figura 26: Critério de seleção de geomantas para controle de erosão e revegetação.....	42
Figura 27: Geocélula .....	43
Figura 28: Seção transversal típica de proteção de talude com geocélula .....	44
Figura 29: Tubo geotêxtil durante tempestade .....	45
Figura 30: Tubo de geotêxtil após a tempestade .....	46
Figura 31: Seção transversal de solo reforçado com geossintéticos.....	47
Figura 33: Mecanismos para análise da estabilidade externa de maciços reforçados .....	48
Figura 34: Ábaco do empuxo necessário .....	50
Figura 35: Ábacos de estabilidade global e escorregamento.....	50
Figura 36: Construção de talude reforçado com geotêxtil.....	52
Figura 37: Detalhe da ancoragem da geomanta .....	53
Figura 38: Detalhe do talude dimensionado.....	54
Figura 39: Gráfico comparativo de custos entre técnicas de contenção avaliadas .....	56
Figura 40: Custo por obra para um talude de 3 metros .....	56
Figura 41: Custo por obra para um talude de 6 metros .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comprimento mínimo para garantir a estabilidade externa da estrutura.....	51
Tabela 2: Comprimento mínimo para garantir a estabilidade interna e a global.....	51
Tabela 3: Resistência requerida mínima .....	52
Tabela 4: Custos de serviços e materiais baseados no SINAPI Junho/2016.....	54
Tabela 5: Custos para diferentes soluções com geossintéticos .....	55

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IGS – Sociedade Internacional de Geossintéticos

NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Objetivo Específico .....</b>	<b>15</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Tipos de Erosão .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1. Erosão Costeira .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1.1. Aumento do nível do mar.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.1.2. Efeito das Ondas.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.1.3. A Deriva Litoral .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.2. Erosão Pluvial.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.3. Erosão Eólica .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.4. Erosão Glacial.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.5. Geossintéticos.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.6. Função e Classificação dos Geossintéticos.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.7. Propriedades dos Geossintéticos .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.8. Normas Brasileiras de Geossintéticos .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2. Geossintéticos no controle da erosão .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3. Geotêxtil no controle da erosão .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4. Geogrelha no controle da erosão .....</b>	<b>37</b>
<b>3.5. Geomanta no controle da erosão .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5.1. Métodos de Plantio .....</b>	<b>41</b>
<b>3.5.2. Procedimento de Projetos.....</b>	<b>41</b>
<b>3.6. Geocélula no controle da erosão.....</b>	<b>42</b>
<b>3.6.1. Procedimento de Projetos.....</b>	<b>43</b>
<b>3.7. Geotubos no controle da erosão.....</b>	<b>44</b>
<b>4. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE EROSÃO UTILIZANDO GEOSSINTÉTICOS.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1. Introdução.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2. Metodologia Utilizada .....</b>	<b>48</b>
<b>4.2.1. Estabilidade Externa .....</b>	<b>48</b>
<b>4.2.2. Estabilidade Interna .....</b>	<b>49</b>

<b>4.3.</b>	<b><i>Dimensionamento</i></b> .....	<b>49</b>
<b>4.3.1.</b>	<b>Estabilidade Externa</b> .....	<b>49</b>
<b>4.3.2.</b>	<b>Estabilidade Interna</b> .....	<b>50</b>
<b>4.3.3.</b>	<b>Resistência Requerida</b> .....	<b>51</b>
<b>4.4.</b>	<b><i>Resultados</i></b> .....	<b>51</b>
<b>4.5.</b>	<b><i>Execução</i></b> .....	<b>52</b>
<b>4.6.</b>	<b><i>Custo do talude analisado</i></b> .....	<b>54</b>
<b>4.7.</b>	<b><i>Análise de Custo</i></b> .....	<b>55</b>
<b>4.7.1.</b>	<b>Estudos de Casos</b> .....	<b>55</b>
<b>5.</b>	<b>ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO</b> .....	<b>57</b>
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>58</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, com a ocupação desordenada nas cidades e nas áreas rurais, alterando seus cenários naturais, e a infraestrutura destas áreas não acompanhando este processo, gerou-se uma maior preocupação e discussão sobre um fenômeno chamado erosão.

A erosão consiste no desgaste do solo e no movimento de suas partículas por agentes erosivos (chuva, vento, gelo e mar), este é um processo natural, mas que vem sendo acelerado ao longo do tempo pelo homem. Além da ação antrópica, outros fatores podem retardar ou acelerar este processo, são: geologia, geomorfologia, vegetação, clima, tipo do solo e a utilização do solo.

Processos erosivos sem controle podem ocasionar grandes perturbações a estruturas já existentes e ao próprio meio ambiente.

A correção dos danos causados pela erosão, geralmente, apresenta um grau de dificuldade elevado e custos altos. As medidas de prevenção são sempre a melhor alternativa, elas estão ligadas a drenagem superficial e a regularização e proteção de taludes e áreas com declividades acentuadas, suscetíveis à erosão.

Os danos causados pela erosão fizeram surgir no mercado um interesse pela busca por materiais alternativos aos convencionais, que retardassem estes efeitos. Um exemplo são os geossintéticos, materiais poliméricos, sintéticos ou naturais, que em obras geotécnicas desempenham diferentes funções: drenagem, filtração, impermeabilização, reforço, controle da erosão, proteção e separação.

Os geossintéticos chegaram ao Brasil na década de 70, mas sua aplicação em obra de grande porte só ocorreu na década de 80. Na última década houve um crescimento notável da presença destes materiais no mercado nacional. (BEZERRA; COSTA, 2012)

Estes materiais trouxeram para as obras geotécnicas uma maior segurança, devido ao controle tecnológico industrial que estes materiais passam, e uma maior rapidez de execução resultando em uma diminuição de gastos.

Com os avanços tecnológicos na indústria dos geossintéticos, é grande a variedade de materiais que auxiliam no controle da erosão. Nestas obras estes materiais desempenham funções como: reforço do solo e o auxílio no plantio de vegetações.

A utilização combinada de geossintéticos e vegetação é um método bastante utilizado no controle da erosão, por seu baixo custo e eficácia.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Compreender o fenômeno da erosão e estudar a utilização e aplicação dos geossintéticos em obras de controle de erosão, mostrando suas vantagens e analisando o seu desempenho.

### **2.2. Objetivo Específico**

Dimensionar a título de exemplo um sistema utilizando geossintético para o controle da erosão, mostrando sua viabilidade construtiva e econômica.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Tipos de Erosão

A erosão é um fenômeno que compreende na desagregação, no transporte e na deposição de partículas do solo por agentes erosivos.

A erosão é classificada de acordo com o agente que a origina, podendo ser classificada em: costeira, pluvial, eólica e glacial.

##### 3.1.1. Erosão Costeira

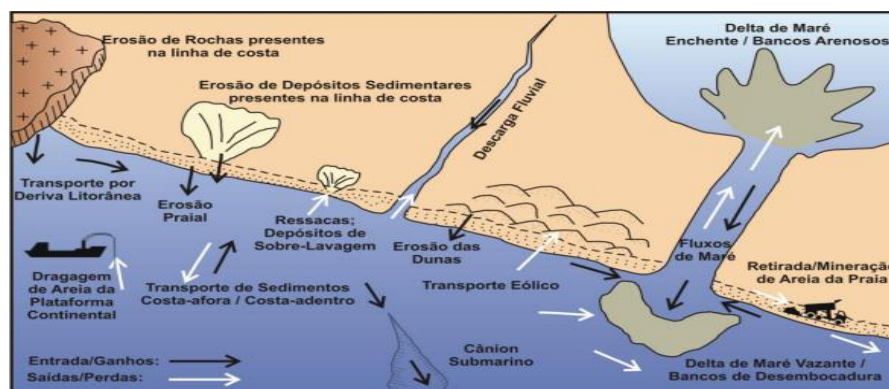
Na erosão costeira o principal agente erosivo é o mar que avança sobre a terra, provocando erosão e recuo da linha costeira em direção ao continente.

Alguns autores estimam que cerca de 70% das linhas de costa estejam sofrendo processo erosivo. (DOMINGUES, 2005, apud TATTO, 2014, p. 05).

A erosão costeira é caracterizada por um balanço sedimentar negativo que com o tempo resulta na diminuição da largura da praia e retração da linha costeira. Este balanço é a relação entre a entrada e a saída de sedimentos no sistema praial devido as interações da praia com o continente (dunas, rios, canais de maré e terraços marinhos), praia com a plataforma continental (correntes costa-fora, e costa-dentro e correntes de retorno) e entre a própria praia (deriva litoral). As ações antrópicas, como: retirada/mineração de areia e mudanças no cenário natural da praia são agentes diretos no balanço de sedimentos. (SOUZA, 2009).

As consequências da erosão costeira não se restringe a praia, mas também aos ambientes marinhos e atividades desenvolvidas pelos homens na zona costeira.

Figura 1: Balanço sedimentar



Fonte: SOUZA, 2009.



Como todos os tipos de erosão, a costeira também é um processo natural que vem ao longo dos anos sendo acelerado pelas ações antrópicas. Exemplos de fatores naturais que causam este fenômeno são: a força da onda, a subida do nível médio do mar, à deriva litoral, o vento, as tempestades e os movimentos das marés. As intervenções humanas que contribuem para a aceleração desse processo são: construção de portos e barragens, construções em zonas dunares, dragagens de mares e rios, além da poluição atmosférica que gera gases do efeito estufa que contribuem para o aquecimento do planeta, causando o derretimento das geleiras e como consequência aumentando o nível médio dos oceanos. (GUIMARÃES, 2012).

### 3.1.1.1. Aumento do nível do mar

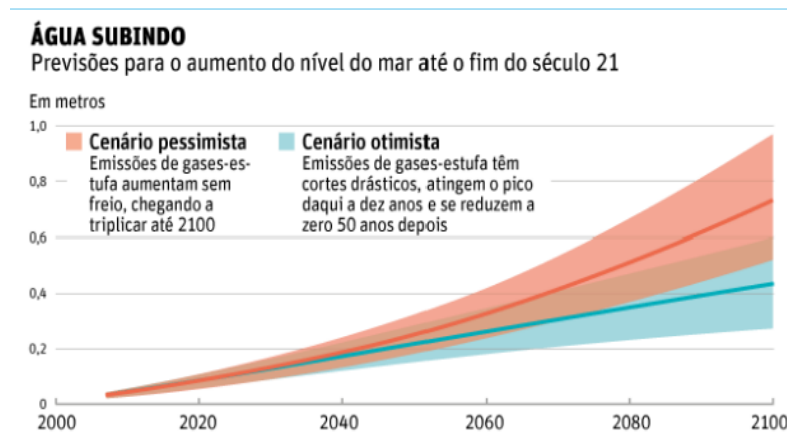
O aumento do nível do mar sempre ocorreu, a preocupação é a forma acelerada com que este processo vem acontecendo.

Segundo Tavares (2011), durante o último século o nível do mar subiu 2,5 mm por ano e para o século XXI foi previsto pela Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) uma elevação média do nível do mar variando entre 40 a 98 cm.

As linhas costeiras sofrem modificações bem mais acentuadas do que há alguns anos atrás. Para impedir o recuo desta linha são necessárias intervenções que absorvam a energia das ondas e possibilitem um balanço de sedimentos equilibrado.

Tavares compara a realidade vivida com a que ocorreu há séculos atrás:

Figura 2: Previsão aumento do nível do mar



Fonte: FOLHA DE SÃO PAULO, 2013.

### 3.1.1.2. Efeito das Ondas

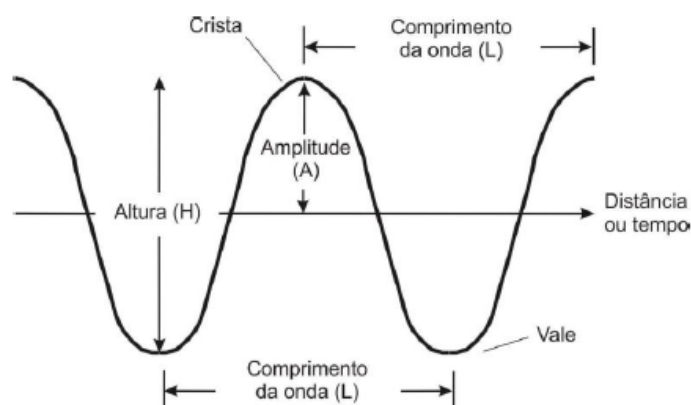
As ondas são o principal agente modelador da costa por meio do processo erosivo que originam, elas transferem a energia da fonte (vento, força gravitacional, sismos, vulcões) que a gerou para alguma estrutura ou linha de costa. (ALDREDINI & ARASK, 2009 apud TATTO, 2014).

As ondas podem ser de dois tipos: regulares e irregulares. As encontradas na natureza são irregulares, mudam constantemente de crista e suas alturas e períodos são variáveis. A formação de ondas irregulares se dá devido a fenômenos, como: empolamento (alteração da altura das ondas que decorre somente da redução da profundidade), arrebentação (instabilidade da onda ao encontrar pequenas profundidades, mudando seu comprimento, altura e velocidade), entre outros. (TATTO, 2014).

A formação das ondas em águas profundas acontece quando o vento atua sobre a superfície do mar, gerando um movimento orbital das partículas da água. As ondas se formam devido as partículas adjacentes estarem em diferentes estágios no seu curso circular. Os fatores responsáveis pelo tamanho e força das ondas formadas em profundidade são: a intensidade do vento, a distância viajada pela superfície da água e a duração do vento. (GUIMARAES, 2012).

O período de uma onda é o tempo necessário para duas cristas de ondas consecutivas passarem em um dado ponto, o comprimento de onda é a distância horizontal entre duas cristas, a altura da onda é a distância vertical entre a crista e o vale da mesma. A intensidade e tamanho das ondas podem ser medidas pelo seu período, comprimento da onda, altura e velocidade.

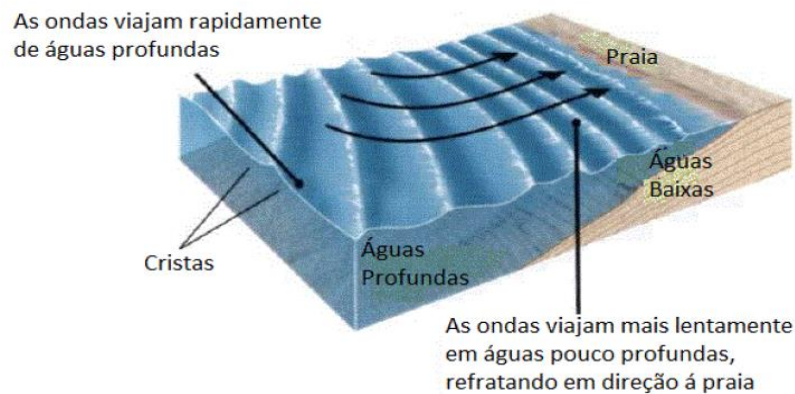
Figura 3: Características gerais de onda regular



Fonte: TATTO, 2014.

Na zona de onda que se encontra mais próxima da costa encontram-se ondas mais suáveis isto se dá pelo fenômeno chamado refração das ondas. As linhas de ondulação quando se encontram longe da costa, seguem paralelas umas com as outras e com um ângulo de inclinação em relação à linha da costa, à medida que estas ondas se aproximam da linha da costa e de um fundo menos profundo às linhas de ondulação tendem a tornasse gradualmente mais paralela à linha da costa devido ao atrito gerado das ondulações com o fundo. Esta inclinação da linha das ondas para uma posição mais paralela à linha da costa é que se chama refração das ondas. (GUIMARAES, 2012)

Figura 4: Refração das ondas quando se aproxima da linha da costa



Fonte: PRESS &SIEVER, 2001 apud GUIMARAES, 2012.

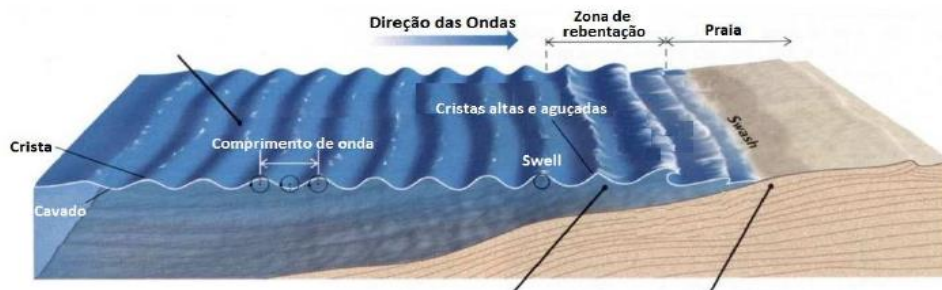
As ondas quando se aproximam da linha da costa e atingem uma profundidade inferior a  $1/20$  do comprimento da onda, tornam-se maiores e assumem uma forma de crista. Estas ondas quando se aproximam suficientemente da costa, normalmente quando a profundidade é perto de 1,3 vezes a altura da onda, atingem a zona de rebentação onde elas se quebram. (GUIMARAES, 2012).

Na zona de rebentação a onda atinge a costa com um forte poder erosivo, transportando areias, desgastando rochas e destruindo estruturas construídas perto da linha da costa.

Depois da rebentação, as ondas com menor altura e energia, continuam em movimento rebentando novamente na costa, dirigindo-se para a zona inclinada da praia e formando uma erupção de água que transporta areia ou mesmo pedras se a onda tiver força suficiente, segundo a direção e o sentido de progressão da onda. Este fenômeno é designado por swash. Quando a água corre para trás através da descida do declive (em direção do mar), origina o fenômeno chamado de backwash,

fenómeno este que transporta as partículas em direção ao mar num movimento praticamente perpendicular à linha de costa. (GUIMARAES, 2012, p.07).

Figura 5: Formação de uma onda de rebentação

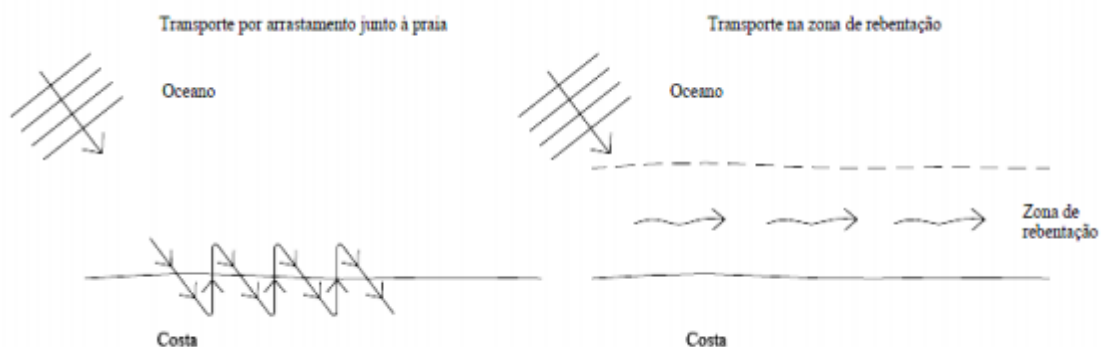


Fonte: PRESS & SIEVER, 2001 apud GUIMARAES, 2012.

### 3.1.1.3. A Deriva Litoral

O transporte de sedimentos ao longo da costa é feito pela deriva litoral. A forte turbulência gerada pela rebentação das ondas coloca os sedimentos em suspensão e quando as ondas incidem não perpendicularmente a costa, proporciona a movimentação, em forma de ziguezague, destes sedimentos junto com água, resultando na formação de uma corrente paralela a costa, chamada de deriva litoral. Esta corrente possui uma alta capacidade de transporte de sedimentos e sua potência depende do ângulo de incidências das ondas e da orientação da linha da costa. (SENA, 2010)

Figura 6: Processos de movimentação do transporte longitudinal



Fonte: COELHO, 2005 apud SENA, 2010.

### 3.1.2. Erosão Pluvial

A erosão pluvial tem como agente responsável pela sua formação e evolução as águas das chuvas, ela consiste basicamente em três etapas: desagregação do solo, transporte das partículas desagregadas pela água e o depósito dessas partículas em áreas mais baixas. O Brasil por ser um país de clima predominante tropical, possui chuvas mais intensas, principalmente no verão, o que aumenta o poder erosivo desse agente. (CAMPOS, 2014).

O poder erosivo da água da chuva depende da intensidade da chuva, do volume e velocidade do escoamento, da declividade do terreno, da presença de vegetação e do tipo de solo.

A vegetação tem uma grande importância na prevenção deste tipo de erosão, ela amortece a gota da chuva que cai no chão, evitando a desagregação do solo, aumenta a infiltração pela produção de poros no solo pelas raízes e amortece a infiltração através da interceptação das folhas, liberando lentamente a água para superfície do solo, além da quebra de energia das águas de escoamentos superficiais. (PINESE JÚNIOR; CRUZ; RODRIGUES, 2008).

O escoamento que desenvolve a erosão pluvial pode ser de duas maneiras distintas, dependendo do fluxo de água no terreno: laminar e linear.

Campos (2014) descreve os dois tipos de escoamento:

A erosão laminar é causada pelo escoamento laminar das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo (DAEE/IPT, 1990). Geralmente ocorre em locais com pouca ou nenhuma vegetação. Já a erosão linear é causada pela concentração das linhas de fluxo difuso das águas de escoamento superficial, que comanda o desprendimento e o transporte das partículas do solo causando pequenas incisões nas superfícies dos terrenos em forma de sulcos, que se aprofundam formando ravinas, e posteriormente, voçorocas. (CAMPOS, 2014, p. 09)

- Formação de Poças

A formação de poças ocorre quando o solo satura seu poder de infiltração, esta saturação depende de vários critérios como: declividade, presença de vegetação, tipo do solo, tempo entre uma precipitação e outra e a intensidade da precipitação. Quando o solo chega ao seu estado de saturação, a água que chega neste solo vai se acumulando e formando sulcos.

- Formação de Ravinas

Quando as poças não suportam mais o volume de água, dá-se início a um escoamento que dá origem a formação de ravinas, em que ocorre alargamento e aprofundamento do canal. Estes canais vão aumentando de profundidade à medida que o fluxo de água se concentra neles, ao mesmo tempo a velocidade de escoamento vai diminuindo devido o ganho de rugosidade nesta área. (SANTOS, 2015)

- Formação de Voçoroca

A voçoroca apresenta um estágio mais avançado da erosão. Elas se formam devido ao fluxo de água e desprendimento constante de material, por longos períodos de tempo.

Figura 7: Formação de ravinas e voçorocas



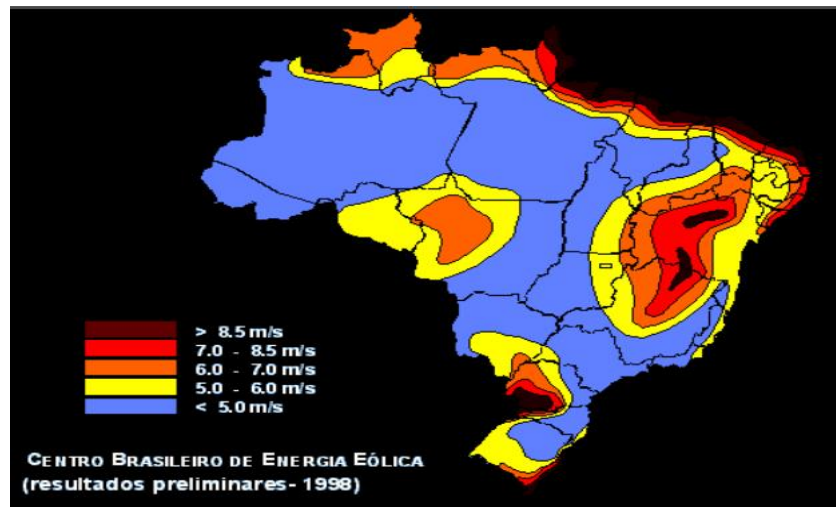
Fonte: LIMA, 2003 apud SANTOS 2015.

### 3.1.3. Erosão Eólica

A erosão eólica ocorre em áreas de pouca chuva e ventos fortes, com pouca ou nenhuma vegetação. O agente erosivo deste tipo de erosão é o vento, que remove e transporta partículas de solo que não estão agregadas a argilas, matéria orgânica ou raízes, sendo facilmente erodidas. (IMESON; CURFS, 2005).

As consequências da erosão eólica são: empobrecimento dos solos, morte das plantas, obstrução de estradas e rodovias e problemas de saúde nas pessoas devido à inalação da poeira. (CAMPOS, 2014, apud BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

Figura 8: Mapa de ventos do Brasil

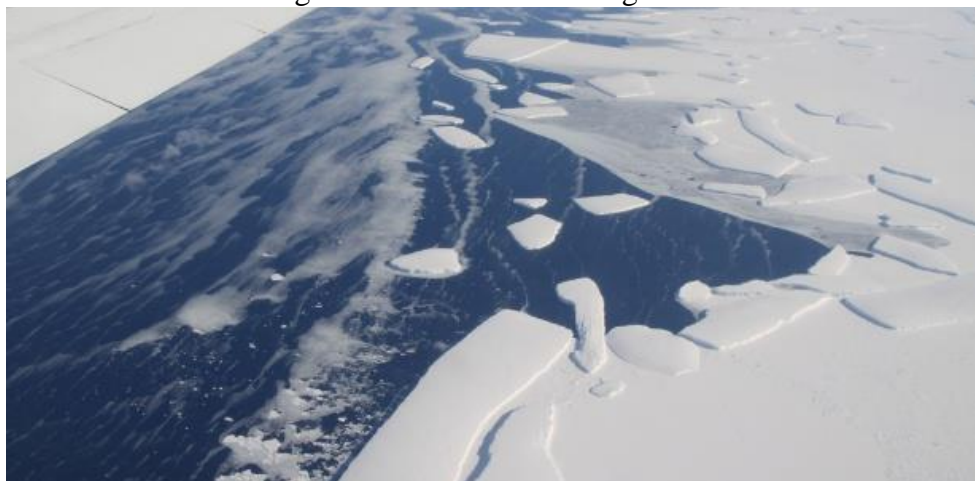


Fonte: Eólica, 1998.

### 3.1.4. Erosão Glacial

O agente erosivo neste tipo de erosão é o gelo. A erosão glacial é exclusiva de regiões de clima frio e temperado e ocorre quando os blocos de gelo e geleiras variam de temperatura e se derretem a ponto de deslizar. Um processo que está ligado a este tipo de erosão é o aumento do nível dos mares, decorrente do derretimento das geleiras.

Figura 9: Derretimento das geleiras



Fonte: NASA, 2013 apud UOL, 2013.

### 3.1.5. Geossintéticos

Os geossintéticos são materiais consolidados no mercado nacional da engenharia civil, recentemente, pouco mais de três décadas. São utilizados em obras geotécnicas e ao longo dos

anos vem se tornando cada vez mais procurado neste mercado por sua versatilidade de funções e a facilidade na sua aplicação.

Com o desenvolvimento da indústria petroquímica e a consequente disseminação dos produtos plásticos pós a segunda guerra mundial, surgiram os geossintéticos.

Na metade de 1960 na França e nos Estados Unidos foram fabricados os primeiros geotêxteis não tecidos. Nesta mesma época as indústrias de embalagens inglesas, desenvolveram a tecnologia de fabricação de malhas sintéticas, as georredes. Desde 1950 que estes materiais são aplicados no mercado internacional. No Brasil, estes materiais chegaram na década de 70 e na década de 80 ocorreu a primeira aplicação de geossintético em obra de grande porte no Brasil.

Da década de 90 até hoje, os geossintéticos tem presença notável no mercado nacional. Vertematti (2004) destaca esta evolução dos geossintético se refletindo na atividade acadêmica, com a presença crescente da participação de brasileiros apresentado trabalhos técnicos em congressos, simpósios e seminários e nas universidades de engenharia disciplinas específicas destinadas aos geossintéticos, desencadeando o estudo e surgimento de uma multiplicidade de produtos e usos, que ao se combinarem, geram inúmeras novas utilizações importantes.

De acordo com a Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), geossintético é um material polimérico, natural ou sintético, usado em contato com materiais naturais, como solo ou rocha, ou qualquer outro material geotécnico utilizado em aplicações de engenharia civil.

Os geossintéticos naturais por serem biodegradáveis e não possuem propriedades adequadas a um grande número de aplicações estão sendo cada vez menos utilizados. (LOPES; LOPES, 2010).

Já os geossintéticos sintéticos possuem uma grande variedade e sua utilização é crescente em obras de terra.

A possibilidade de poder usar produtos manufaturados como parte de uma solução de um problema de engenharia traz inúmeras vantagens, como: velocidade de execução, controle da qualidade e redução de custos. (VERTEMATTI, 2004).

### **3.1.6. Função e Classificação dos Geossintéticos**

Em obras geotécnicas estes materiais poliméricos podem desempenhar uma ou mais funções simultaneamente. De acordo com a NBR 12.553 estas funções, são:



- Controle de erosão superficial
- Drenagem
- Filtração
- Impermeabilização
- Proteção
- Reforço
- Separação

Os geossintéticos são classificados de acordo com o seu processo de fabricação e características. Os principais tipos de geossintéticos são: geotêxtis, geogrelhas, georredes, geomembranas, geocompostos, geocélulas e os geodrenos.

Figura 10: Quadro com os tipos de geossintéticos e principais funções

Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço	Impermeabilização
Geotêxtil	X	X	X	X	X	X	X
Geogrelha	X	-	-	-	-	X	-
Geomembrana	X	-	-	-	-	-	X
Georrede	-	X	-	X	-	-	-
Geocomposto argiloso	-	-	-	-	-	-	X
Geocélula	-	X	-	-	X	X	-
Geotubo	-	-	-	X	-	-	-
Geofibras	-	-	-	-	-	X	-

Fonte: VERTEMATTI, 2004.

Devido a estes materiais terem uma grande variabilidade nas suas características e funções, é necessário para que estes tenham um bom desempenho durante toda a sua vida útil, um estudo prévio para a escolha do tipo a ser utilizado.

Hierarquizam-se as funções que este irá exercer e determinam quais propriedades o geossintético deverá possuir junto à estrutura que será incluído. Portanto, não existe um tipo de geossintético que seja superior aos outros, mas o que melhor se adequa na estrutura que o deseja aplicar.

### 3.1.7. Propriedades dos Geossintéticos

A versatilidade destes materiais poliméricos permite que um mesmo tipo de geossintético seja utilizado com funções diferentes em obras geotécnicas. A seleção desses materiais para atender as exigências técnicas estabelecidas em projeto deve-se basear em suas propriedades.

Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios de campo, ou, mais comumente, ensaios de laboratório, os quais para serem realistas, precisam reproduzir os aspectos importantes da interação do geossintético com o meio em que está inserido. Além disso, esses materiais devem apresentar vida útil compatível com as das obras que são empregados. (VERTEMATTI, 2004, p. 27).

São realizados ensaios para determinação das suas propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas. Também são feitos ensaios específicos para analisar o comportamento do geossintético no meio em que serão inseridos, chamados: ensaios de desempenho. (VERTEMATTI, 2004)

A Figura 11 apresenta as propriedades físicas, mecânicas, hidráulicas e de desempenho dos geossintéticos.

Figura 11: Quadro com as propriedades dos geossintéticos

<b>Ensaio realizado em geotêxteis e produtos correlatos</b>		
<b>Propriedades</b>	<b>Norma</b>	<b>Observações</b>
<b>Físicas</b>		
Massa por unidade de área	NBR 12568, ISSO 9864, ASTM D 3776;	Procedimentos similares são utilizados em todas as normas
Espessura nominal	NBR 12569, ISSO 9863, ASTM D5199	Procedimentos similares são utilizados em todas as normas
Porosidade	-	Determinação analítica
<b>Mecânicas</b>		
Compressibilidade	-	Tensões usuais, de 10 a 200 kPa
Resistência à tração:		Verificar dimensão de corpos de prova para

- Faixa larga - Faixa restrita ou grab - Elementos de Geogrelha - Multidirecional	NBR 12824, ATM D 4595, ISO 10319 ATM D 4632 GG1 e GG4 ASTM D 5716	cada ensaio, de acordo com norma
Resistência ao puncionamento - Estático (CBR) - Dinâmico (queda do cone)	NBR 13359, ISO 12236 NBR 14971, ISSO 133433, EN 918	Pistão com diâmetro de 50mm Cone de 500g, altura de queda de 500mm
Resistência a propagação de rasgo	ATM D 4533	-
Resistência a estouro	ASTM D 3786	-
Fluência sob tração	ISO 13431, ASTM D 5262	-
<b>Hidráulicas</b>		
Permissividade	ISO 11058	-
Transmissividade	ISO 12958	-
Filtração: - Abertura de filtração - Abertura aparente	ISO 12956 AFNOR G 38 087; ASTM D 4751	Peneiramento úmido de solo bem graduado Peneiramento a seco com esferas de vidro
<b>Desempenho</b>		
Resistência a tração confinada	-	Não há norma específica ainda. Interesse maior para geotêxteis não-tecidos
Fluência confinada	-	Não há norma específica ainda.
Resistências de interface: - Arranchamento - Cisalhamento direto - Plano inclinado	ISO 13427 e ASTM D 5321	Não há norma específica ainda Procedimento de mecânica dos solos
Resistência a abrasão	ISO 13427	-
Filtração de longa duração	ASTM D 5101	-
Danos de instalação	ISO 10722, ASTM D 5818	-

Fonte: VERTEMATTI, 2004.

- **Propriedades Físicas**

1) **Massa por unidade de área (gramatura):** é definida como sendo massa por unidade de área. Esta propriedade física está ligada ao custo do produto e sua resistência mecânica. Os

valores de gramatura devem ser comparados entre materiais da mesma família que apresentam processo de fabricação e matéria-prima iguais.

2) **Espessura nominal:** a NBR 12.569 estabelece que é a distância interna entre duas placas rígidas com área de contato de 25 cm<sup>2</sup>, que comprimem corpos de provas sob uma tensão vertical de 2kPa.

3) **Porosidade:** é a relação entre o volume dos poros e o volume total de uma amostra.. Pode ser obtida pela expressão:

$$n_{GT} = \left( 1 - \frac{\mu_A}{t_{GT} * p_f * p_w} \right) * 100\%$$

Onde:

$n_{GT}$  : porosidade;

$\mu_A$  : gramatura;

$t_{GT}$  : espessura nominal;

$p_f$  : massa específica da fibra ou filamento que constitui o geossintético;

$p_w$  = massa específica da água;

- **Propriedades Mecânicas**

1) **Compressibilidade:** é a variação da espessura do material quando carregado. O resultado desse ensaio é dado em forma de gráfico. Normalmente são empregadas tensões de 10, 20, 50, 100 e 200 kPa, entretanto, estes valores podem ser alterados de acordo com a necessidade encontrada em campo.

2) **Resistência a tração unidirecional:** este parâmetro pode ser obtido de várias formas, tentando se aproximar da condição de campo. De modo geral, este ensaio consiste em prender as extremidades de corpos de prova com um par de garras metálicas e sujeitar o conjunto a uma máquina universal de ensaio. Aplicam-se cargas de tração crescente, registrando-se as deformações correspondentes até a ruptura.

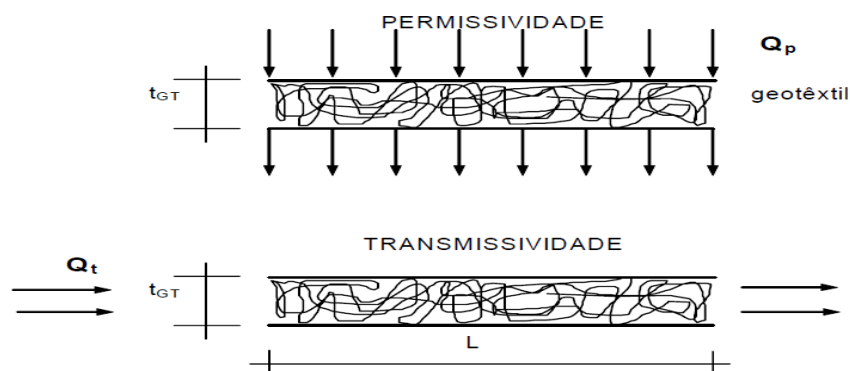
- 3) **Resistência ao Estouro:** os geossintéticos em algumas situações, como em quando utilizado no reforço de aterros sobre um vazão circular, pode ser tracionado multidirecionalmente. Para a determinação deste parâmetro é necessário cobrir o material polimérico com uma membrana flexível porque são materiais permeáveis e prende o conjunto a um molde metálico circular, e aplicar uma pressão interna crescente, que leva o conjunto ao colapso. A resistência multidirecional do material é dada pela pressão de colapso reduzida da resistência de estouro da membrana.
- 4) **Resistência à propagação de rasgos:** este parâmetro mede a resistência do geossintético a propagação do rasgo. Este material pode estar submetido à esta situação desde a sua fase inicial, pelo manuseio descuidado, sob ação de vento ou durante a vida útil. Neste ensaio faz-se uma inserção de 12 mm em corpo de prova trapezoidal, cujas laterais são pressas em garras de tração. O conjunto é levado a uma máquina universal de ensaios e se aplica força crescente até o rasgo completo do corpo de prova. A resistência de rasgos é definida como valor máximo da força aplicada.
- 5) **Resistência a Puncionamentos:** em diversas situações durante sua vida útil, como quando em contato com material granular graúdo, os geossintéticos ficam sujeitos a esforços de compressão localizados, podendo causar perfuração no material. A quantificação da resistência a esses esforços é feita fixando-se um corpo de prova às bordas de um cilindro rígido e submetendo-o a uma força estática ou dinâmica. Registra-se a força necessária para perfurar o corpo de prova e o deslocamento correspondente.
- 6) **Fluência:** é a deformação permanente dos geossintéticos quando sujeitos a esforços de longa duração. A fluência é tanto maior quando for a magnitude do carregamento aplicado e a temperatura do meio em que o geossintético está inserido. Estes materiais podem fluir sob ação de esforços cisalhantes, esforços de compressão ou esforços de tração. Para a obtenção das curvas de ruptura por fluência, carregam-se corpos de provas com níveis de carga elevados e registram-se os tempos para a ruptura dos corpos. Com estas curvas, estabelece-se um tempo de vida útil para obra e a possível carga máxima que pode ser aplicada no geossintético.

- Propriedades Hidráulicas

1) **Permeabilidade Normal a Água e Permissividade:** para a determinação da permeabilidade normal usa-se permeômetros de carga constante e de carga variável. O parâmetro de permissividade é definido como o coeficiente de permeabilidade normal pela espessura do geossintético sob determinada tensão. Esta propriedade é necessária quando o geossintético desempenha a função de dreno.

2) **Permeabilidade Planar e Transmissividade:** a transmissividade exprime a capacidade que alguns tipos de geossintético têm de conduzir fluido no seu próprio plano. A permeabilidade planar é função do esforço normal aplicado, à medida que o geossintético se comprime, a vazão no plano decresce. A transmissividade é determinada pelo produto da permeabilidade do plano e da espessura do material, sob determinada tensão normal de confinamento.

Figura 12: Parâmetros hidráulicos



Fonte: FARIAS, 2005.

3) **Abertura de Filtração:** refere-se ao maior diâmetro equivalente da maior partícula que pode atravessar o geossintético e é determinado por peneiramento úmido.

### 3.1.8. Normas Brasileiras de Geossintéticos

A grande experiência acumulada com o uso de geossintéticos provém de países do hemisfério norte, de clima temperado. Desta forma, foi criado o Comitê Brasileiro de Geossintéticos/ABNT, que vem atuando desde 1990, com a finalidade de criar normas

adequadas à nossas condições climáticas, geológico-geotécnica, tecnológicas e econômicas. (VERTEMATTI, 2004).

Figura 13: Quadro com as normas brasileiras de geossintéticos

<b>Número</b>	<b>Nome</b>	<b>Ano</b>
ABNT NBR ISO 9862	Geossintéticos - Amostragem e preparação e corpos e prova para ensaios	2013
ABNT NBR ISO 9863-1	Geossintéticos – Determinação da espessura a pressões especificadas	2013
ABNT NBR ISSO 9864	Geossintéticos – Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos	2013
ABNT NBR ISO 10318	Geossintéticos - Termos e definições	2013
ABNT NBR ISO 10319	Geossintético – Ensaio e tração faixa larga	2013
ABNT NBR ISO 10320	Geotêxteis e produtos correlatos – identificação da obra	2013
ABNT NBR ISSO 10321	Geossintéticos – Ensaio de tração e emendas pelo método da faixa larga	2013
ABNT NBR ISO 11058	Geotêxteis e Produtos Correlatos – Determinação as características e permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento	2013
ABNT NBR ISO 12236	Geossintéticos – Ensaio de puncionamento estático (punção NBR)	2013
ABNT NBR ISO 12957-2	Geossintéticos – Determinação das características de atrito Parte 2: Ensaio de plano inclinado	2013
ABNT NBR ISO 12957-1	Geossintéticos – Determinação das características de atrito Parte 1: Ensaio de cisalhamento direto	2013

ABNT NBR ISO 12956	Geotêxteis e produtos correlatos: determinação da abertura de filtração característica	2013
ABNT NBR ISO 12958	Geotêxteis e produtos correlatos – Determinação da capacidade de fluxo no plano	2013
ABNT NBR ISO 13433	Geossintéticos – Ensaio de perfuração dinâmica	2013
ABNT NBR 15224	Geotêxteis – Instalação em trincheiras drenantes	2005
ABNT NBR 15226	Geossintéticos – Determinação do comportamento em deformação e na ruptura, por fluência sob tração não confinada	2005
ABNT NBR 15228	Geotêxteis e produtos correlatos – Simulação do plano por abrasão – Ensaio de bloco deslizante	2005
ABNT NBR 15352	Mantas termoplásticas de polietileno de alta densidade e de polietileno linear para impermeabilização	2006
ABNT NBR 15856	Barreiras geossintéticas e produtos correlatos – Determinação das propriedades de tração	2010
ABNT NBR 16199	Barreiras geossintéticos termoplásticas – Instalação em obras geotécnicas e de saneamento ambiental	2013
ABNT NBR 25619 -1	Geossintéticos – Determinação do comportamento em compressão	2013

Fonte: VERTEMATTI, 2015.



### 3.2. Geossintéticos no controle da erosão

A erosão é um processo natural que pode ser acelerado ou retardado pelas características geológicas e geotécnicas dos solos e pelos agentes dinâmicos (marés, força da onda, vento). Porém, a ação do homem está sendo cada vez mais decisiva na aceleração desse processo.

A ocupação desordenada do espaço físico sem um planejamento de infraestrutura, o desmatamento da vegetação e a emissão de gases do efeito estufa geram ao meio ambiente danosas consequências. O controle e a identificação desse processo são essenciais para evitar ou minimizar os danos posteriores, muitas vezes, de difícil correção e de custo econômico elevado.

As medidas de prevenção a este processo estão normalmente associadas à implantação de sistema de drenagem e a regularização e proteção superficial das áreas de taludes. (MARQUES, 2004).

Uma alternativa bastante utilizada que consegue proporcionar uma proteção temporária e até de longo prazo no controle da erosão é o plantio de espécies vegetais. As áreas desprotegidas são um agravante no processo erosivo, visto que em dias chuvosos as gotas da chuva atingem a superfície em altas velocidades desagregando as partículas do solo. A cobertura vegetal dissipa a energia dessas gotas minimizando os impactos causados por elas no contato com o solo. (MARQUES, 2004).

Neste cenário, surge uma alternativa aos materiais naturais usualmente utilizados em obras geotécnicas, os geossintéticos.

Produtos poliméricos, os geossintéticos, nos últimos anos vêm alcançando um grande avanço tecnológico, sendo crescente o número de produtos que podem ser utilizados no controle da erosão.

A IGS (International Geosytetics Society) destaca à versatilidade dos geossintéticos, disponibilizando continuamente novos produtos, com propriedades específicas, atendendo a particularidade de cada projeto geotécnico. Os fabricantes através de estudos e observações no comportamento deste material na obra buscam sempre sua melhoria, dando ao mercado uma confiabilidade de controle tecnológico, permitindo obras mais seguras.

Estes produtos conseguem atender diversas necessidades no controle da erosão, devido suas propriedades mecânicas e hidráulicas que lhes permitem suportar solicitações extremas, sendo eficiente mesmo em solos em que as condições locais (declividade, tipo de solo, regime

pluviométrico, uso e ocupação dos terrenos, etc.) se mostram adversas e potencialmente deflagradoras de processos erosivos. (MARQUES, 2004).

A IGS destaca outra vantagem do geossintético em alternativa aos materiais naturais que é sua fácil aplicação. Os agregados naturais exigem equipamento de terraplanagem de alto porte, gerando para obra poluição ambiental e maior tempo de execução das obras.

Na implantação de um sistema de drenagem estes materiais garantem a integridade das áreas protegidas, evitando o destacamento do solo pelas gotas da chuva e reduzindo o transporte dessas partículas pelo escoamento superficial. Nos taludes, estes materiais são dispostos, protegendo-os e retendo os sedimentos carregados por processos erosivos superficiais.

Para que este material tenha um bom desempenho durante sua vida útil, Marques (2004) cita alguns requisitos necessários à verificação:

- Reter os finos provenientes dos solos subjacentes ou dos materiais erodíveis transportados;
- Resistir às velocidades de escoamento e aos esforços tangenciais provocados pelo fluxo de águas superficiais;

Os geossintéticos utilizados no controle da erosão podem ser de dois tipos: temporários e permanentes. Os materiais temporários são totais ou parcialmente degradáveis e são utilizados para auxílio no plantio de vegetação em áreas que depois de certo período a vegetação consiga desenvolver sem o auxílio do material, exemplo: as georredes e as geogrelhas.

Os materiais permanentes, segundo Marques (2004), subdividem-se em geocompostos constituídos por materiais não degradáveis, exemplo são as geomantas e as geocélulas que são utilizadas associadas à vegetação para o controle da erosão, e em sistemas semiflexíveis articulados ou armados. As geocélulas, gabiões e geofôrmas associadas a materiais inertes, como: brita, concreto, argamassa, são exemplos de sistemas semiflexíveis.

Apesar da evolução constante destes materiais no controle da erosão, Bezerra e Costa (2012), destacam o déficit de profissionais com conhecimento aquedado para projeção e execução de obras com estes materiais.

Estes mesmo autores realizaram um levantamento das empresas fabricantes de geossintéticos no Brasil e dos produtos que elas fornecem para o controle da erosão. A tabela 3 mostra as empresas e os produtos disponibilizados no mercado brasileiro de geossintético para o controle da erosão.

Figura 14: Fabricantes de geossintéticos com seus respectivos produtos para controle de erosão disponível no mercado nacional

<b>FABRICANTE</b>	<b>DESIGNAÇÃO</b>	<b>PRODUTOS</b>
TDM BRASIL	A	Geomanta e biomanta
MACCAFERRI	B	Geomanta e biomanta
MEXICHEM BIDIM	C	Manta e geocélula
ROMA	D	Tela (grama armada)
PROPEX	E	Manta
DEFLOR BIOENGENHARIA	F	Telas biodegradáveis

Fonte: BEZERRA; COSTA, 2012.

As empresas atuantes no Brasil são de origem internacional, ratificando o grande desenvolvimento destes materiais em outros países. Porém, percebe-se o avanço destes materiais na indústria brasileira, apresentando uma grande variedade de geossintéticos no mercado nacional e as empresas buscando cada vez mais aprimorar suas tecnologias. (BEZERRA; COSTA, 2012).

### 3.3. Geotêxtil no controle da erosão

Os geotêxteis são materiais poliméricos bidimensionais permeáveis bastante utilizados em obras geotécnicas, podendo exercer diferentes funções devido as suas propriedades mecânicas e hidráulicas. Estes materiais se dividem em dois grandes grupos de acordo com o seu processo de fabricação: os tecidos e não tecidos. (VERTEMATTI, 2001).

Os geotêxteis são usualmente utilizados em obras geotécnicas na proteção superficial de taludes e canais. Estes materiais agem como barreira de proteção do solo contra a ação erosiva provocada pelo vento e água, reduzindo a velocidade da água que escoar sobre essas superfícies e evitando o transporte das partículas do solo.

Figura 15: Proteção do talude com geotêxtil

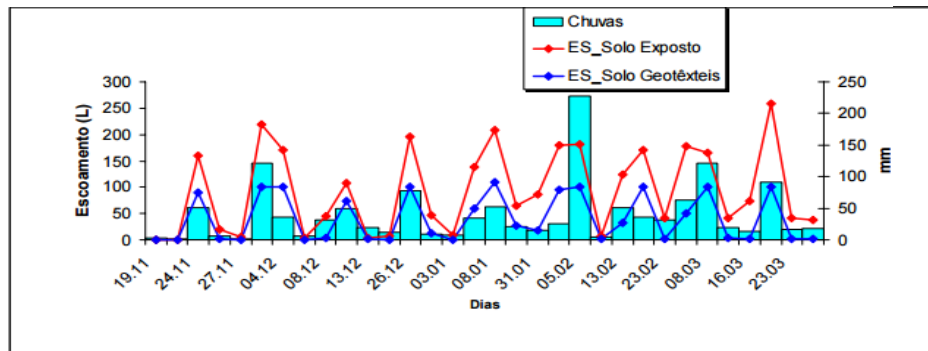


Fonte: MACCAFERRI, 2008.

Bezerra (2006) analisou e monitorou a eficiência dos geotêxteis no controle da erosão superficial, a partir de uma estação experimental na Fazenda da Glória (Uberlândia-MG) com duas parcelas de 10m<sup>2</sup> cada, uma com solo exposto e outra com geotêxteis e gramíneas, com 12 ° de declividade. Os dados da chuva foram obtidos através de pluviômetro. E para a medição do escoamento superficial e de sedimentos foram colocados gabiões no pé das parcelas.

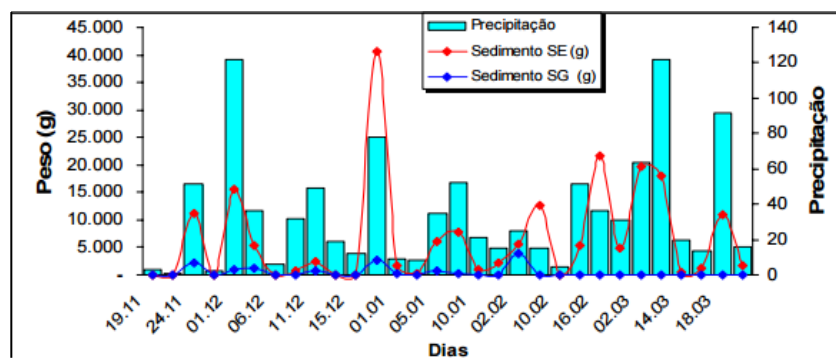
Durante o monitoramento, foram registrados 1.087,22 mm de chuvas, gerando um escoamento superficial de 2.991,6 l no solo exposto, enquanto o sistema com geotêxteis o fluxo superficial chegou a 1.289,2 l. No tocante a contenção dos processos erosivos, os resultados apontaram para uma diferença significativa no controle do transporte de sedimentos com os geotêxteis e gramíneas atingindo 13,18 kg/10 m<sup>2</sup>, enquanto o solo exposto chegou a 197,26 kg/10 m<sup>2</sup>. (BEZERRA, 2006, p. 06).

Figura 16: Escoamento x tempo



Fonte: BEZERRA, 2006.

Figura 17: Sedimento x tempo



Fonte: BEZERRA, 2006.

Os geotêxteis também podem assumir a função de reforço de solo em superfícies susceptíveis a erosão ou erodidas.

Este material é aplicado em sucessivas camadas, envelopando o material granular, dando reforço ao solo e dispensando o uso das pesadas estruturas de arrimo. O material utilizado pode ser o próprio solo local e o revestimento da face da estrutura pode ser feita por: vegetação, alvenaria comum, concreto projetado ou muro de blocos articulados. (VERTEMATTI, 2001).

Figura 18: Vista frontal do muro reforçado



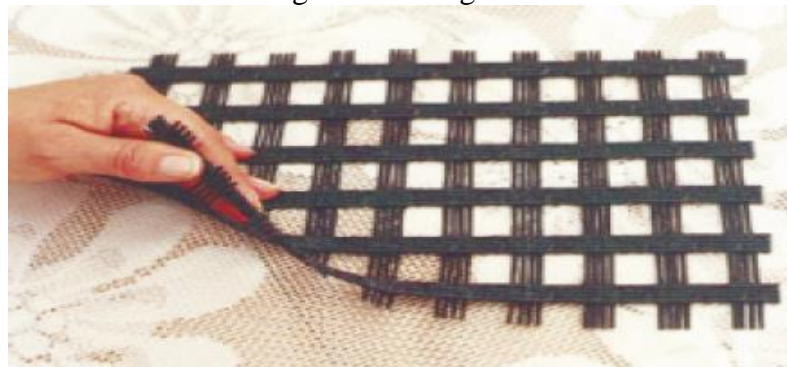
Fonte: VERTEMATTI, 2001.

### 3.4. Geogrelha no controle da erosão

Assim como os geotêxteis, as geogrelhas desempenham a função de reforço dos solos no controle da erosão.

Vertematti (2001) define geogrelhas como estruturas planas em forma de grelha, cujas aberturas permitem interação com o meio em que estão confinadas.

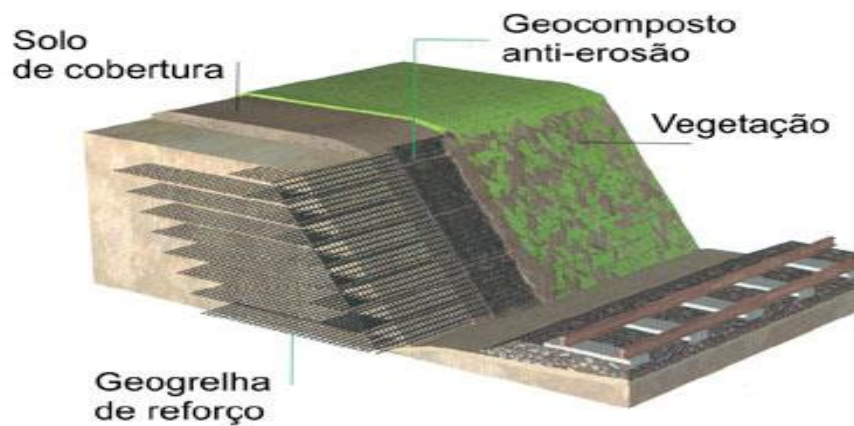
Figura 19: Geogrelha



Fonte: VERTEMATTI, 2001.

Em geral, as geogrelhas são mais resistentes que os geotêxteis. Os geotêxteis são mantas contínuas que separam a massa de solo em camadas. Por outro lado, as geogrelhas são vazadas, permitindo uma maior interação e ancoragem no meio inserido. (GEOFOCO, 2012).

Figura 20: Utilização de geogrelha para reforço do solo



Fonte: Site da Geossintec.

### 3.5. Geomanta no controle da erosão

Um dos tipos de material polimérico utilizado no controle da erosão é a geomanta, geossintético de estrutura tridimensional permeável. (VERTEMATTI, 2001).

As geomantas são utilizadas em solos com condições adversas que favorecem a erosão, como: terrenos inclinados, áreas desprotegidas e lugares que sofrem a ação do escoamento superficial de água. Este geossintético protege as áreas onde é aplicado, mantém a umidade do solo, retém as partículas do solo e ajuda na germinação das sementes. Com o seu uso, a área propícia a erosão passa a ser resistente a este processo. (CARLINTO, 2014).

Figura 21: Geomanta



Fonte: FARIAS, 2005.

Como já dito, os geossintéticos podem ser temporários ou permanentes. O tipo de geomanta temporário é conhecido como biomanta. Este material auxilia no plantio de espécies e sofre degradação conforme a vegetação cresce. As principais vantagens da utilização da biomanta são: proteção superficial ao talude contra as intempéries, redução do escoamento superficial de água e fornecimento de nutrientes ao solo por ser um material degradável, servindo de matéria orgânica. (CARLINTO, 2014).

A biomanta possui restrição para taludes com inclinação muito acentuada, nesta situação a água da chuva pode deixar a biomanta muito pesada e desestabilizá-la. Para utilizá-la neste caso é necessário que se faça uso de uma rede para manter o geossintético estável. (MACCAFERRI, 2013).

Figura 22: Biomanta composta 100% de fibra de coco



Fonte: BEZERRA; COSTA, 2012.

Existem duas formas de aplicação das geomantas no solo. Na primeira, as geomantas tem função apenas de reforçar a vegetação, ela é aplicada na superfície e depois semeada e preenchida com o solo vegetal. Na segunda, a geomanta é aplicada já preenchida com o solo, quando a vegetação cresce vai se solidarizando ao material polimérico, oferecendo ao sistema resistência ao fluxo e retenção do solo. (VERTEMATTI, 2004).

Sobral et al. (2011), propuseram uma solução em geomanta para um dos principais pontos turísticos do Estado do Rio, Angra dos Reis, que sofreu processo de erosão em vários taludes e encostas devido a fortes chuvas que ocorreu no ano de 2009. A solução foi concebida e realizada. Após a realização, Sobral et al., descreveram as vantagens da utilização das geomantas do ponto de vista técnico:

Como se tratava de um local, cujo desenvolvimento vegetativo é bastante acelerado, não justificaria a utilização de um revestimento em concreto como ocorre

na maioria das obras em solo grampeado, algo que agrediria esteticamente o ambiente local. A geomanta reforçada além de permitir um certo grau de rigidez ao paramento frontal devido à baixa deformação do elemento de reforço, agrega todas as vantagens de um TRM (Turf Reinforced Mat), propiciando um talude mais elegante do ponto de vista geotécnico-ambiental. (Sobral et al., 2011, p. 05)

E também citaram as vantagens analisando do ponto de vista econômico:

Além do apelo ambiental e visual proporcionado pela utilização do geossintético a solução proposta permitiu uma redução de cerca de 70% na redução de custos em relação à solução trivial de revestimento em concreto projetado normalmente utilizada nestes tipos de obras. (Sobral et al., 2011, p.06).

Figura 23: Talude com a geomanta reforçada - Obra de Angra dos Reis - RJ



Fonte: SOBRAL et al., 2011.

Figura 24: Três meses após a colocação da geomanta reforçada - Obra de Angra dos Reis- RJ



Fonte: SOBRAL et al., 2011.



### 3.5.1. Métodos de Plantio

- Semeadura por microcoveamento: para o plantio por este método são feitas covas na superfície da estrutura, com profundidade suficiente para receber as sementes e insumos, evitando seu carreamento para áreas não desejadas. (SANTOS, 2015)
- Hidrossemeadura: é usada quando se necessita de correção do solo e nutrição da vegetação a ser introduzida. É aplicado um jato com uma massa pastosa composta por fertilizantes, sementes e matéria orgânica. Este jato adere e cola na superfície do terreno, formando uma camada protetora consistente, que fixa as sementes e protege provisoriamente contra intempéries. (DEINFRA- SC).

### 3.5.2. Procedimento de Projetos

Para a utilização das geomantas no controle de processos erosivos é necessário à verificação dos valores limites baseado em norma, apresentados nas tabelas 4 e 5, para assegurar ao geossintético o desempenho de propriedades importante para o desempenho da sua função durante toda a sua vida útil.

Figura 25: Critérios de seleção de geomantas para reforço de vegetação

Propriedade	Normas de referência	Valor-limite
Espessura	ASTM D- 1777	13 mm (mín.)
Porosidade	-	95% (mín.)
Cobertura de solo	-	30% (mín.); 60% (máx.)
Rigidez	ASTM D- 1388	40.000 mg. Cm (máx.)
Resiliência	-	80% (mín.)
Resistência a tração	ASTM D- 1682	1,9 Kn/m (mín.)
Deformação	ASTM D- 1682	70% (máx.)
Estabilidade ao ultravioleta	ASTM D-4355	80% (mín.)
Durabilidade	-	90% (mín.)

Fonte: CARROL et al., 1992, apud VERTEMATTI, 2004.

Figura 26: Critério de seleção de geomantas para controle de erosão e revegetação

Propriedade	Normas de referência	Valor-limite
Espessura	ASTM D- 1777	6 mm (mín.)
Porosidade	-	95% (mín.)
Cobertura de solo	-	50% (mín.); 80% (máx.)
Rigidez	ASTM D- 1388	40.000 mg. Cm (máx.)
Resiliência	-	80% (mín.)
Resistência a tração	ASTM D- 1682	1,4Kn/m (mín.)
Deformação	ASTM D- 1682	70% (máx.)
Estabilidade ao ultravioleta	ASTM D-4355	80% (mín.)
Durabilidade	-	60% (mín.)

Fonte: CARROL et al., 1992, apud VERTEMATTI, 2004.

Vertematti (2004) cita como parâmetro crítico na seleção dos geossintéticos utilizados no controle da erosão a resistência ao fluxo. Nas geomantas este parâmetro se torna essencial à verificação por elas terem função de fixar e desenvolver a vegetação.

Na análise hidráulica do sistema os principais parâmetros são: velocidade, duração do fluxo e resistência das camadas contra erosão. (FARIAS, 2005).

A principal verificação geotécnica é a infiltração de água no solo. É necessária a realização de ensaios de permeabilidade na área a ser aplicada a geomanta para que se caracterize e estude o solo e assim, analisar a estabilidade do talude e a necessidade de obras de drenagem para garantir uma maior estabilidade.

Outro importante processo é a escolha do tipo de vegetação, para isto se faz necessário o estudo do clima e características do solo para escolher a vegetação mais adequada para a área de aplicação da geomanta.

### 3.6. Geocélula no controle da erosão

Segundo Vertematti (2004), a geocélula é um tipo de geossintético que apresenta estrutura tridimensional aberta, constituída de células interligadas, que confinam mecanicamente os materiais neles inseridos.

Figura 27: Geocélula



Fonte: VERTEMATTI, 2004.

Este material polimérico exerce, predominantemente, duas funções: reforço e controle da erosão.

Em áreas desprotegidas, sem cobertura vegetal e que por algum motivo não possa ser interrompido o fluxo de água a geocélula age impedindo o fluxo de água e a desagregação de partículas do solo nestas áreas.

Farias (2005), ressalta as vantagens do sistema de confinamento celular, pois se apresenta como uma ótima solução para os processos erosivos, principalmente, nas obras como: proteção de taludes e revestimento de canais. O confinamento oferece ao sistema alta resistência às forças hidráulicas de arraste, inibindo o processo erosivo. Nos taludes, outra vantagem é a eliminação da migração de material para a sua parte inferior.

Na proteção de taludes revestidos com vegetação, as geocélulas confinam este solo evitando a desagregação das suas partículas, principalmente, nas áreas onde se encontram as raízes, acarretando proteção ao plantio e aumentando a resistência dessa vegetação. Já nos taludes que não possuem vegetação, este geossintético confina o solo, acarretando em uma maior resistência das suas partículas e evitando o carreamento de partículas pelo escoamento hidráulico e pela ação da gravidade. (FARIAS, 2005).

Nos canais revestidos de vegetação as geocélulas aumentam a resistência dessa vegetação, pois as protegem, principalmente, na zona de enraizamento. (FARIAS, 2005).

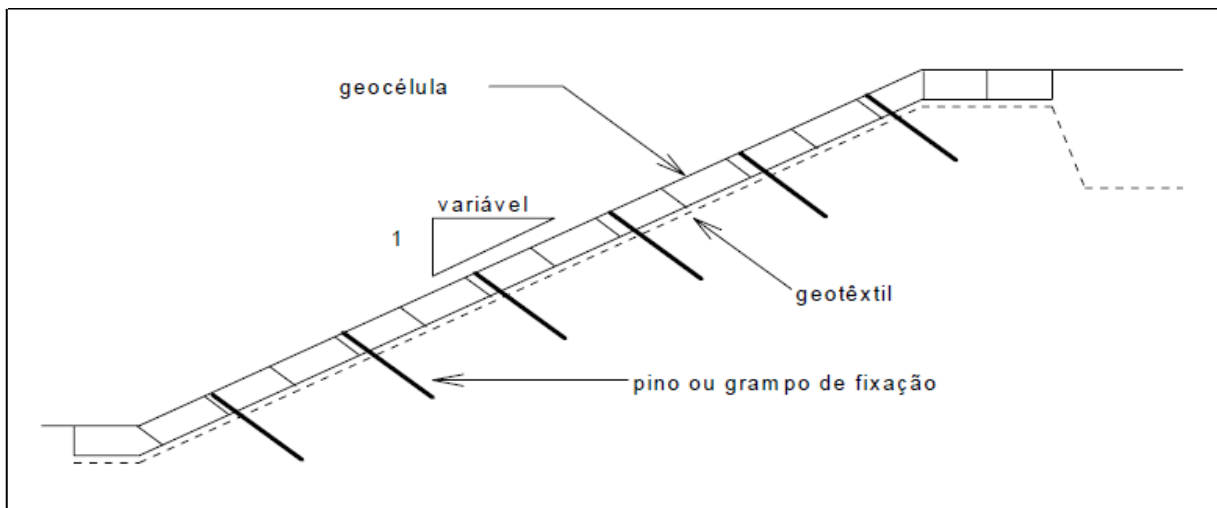
### **3.6.1. Procedimento de Projetos**

O dimensionamento das geocélulas no controle da erosão depende da sua utilização e do local onde será instalado.

Farias (2005), cita algumas recomendações importantes para o dimensionamento de geocélulas:

- Preparar o talude para a colocação da geocélula, suavizando sua inclinação, visto que a inclinação está diretamente ligada à estabilidade do talude;
- Em obras costeiras, em que a geocélula fica suscetível as variações da maré, deve-se dimensionar o geossintético levando em consideração estes impactos hidrodinâmicos. Nestes casos tem se utilizado o concreto como material de enchimento da geocélula;
- Na fixação do geossintético deve ser feito a ancoragem tanto na base como na crista do talude. Também é necessária a colocação de grampos ao longo do maciço, através das geocélulas.
- Entre o solo natural e o material de enchimento é recomendando a utilização de geotêxtil. Na fase de enchimento, o geotêxtil terá função de separação e durante a sua vida útil atua como um elemento de drenagem, evitando subpressões devido à mudança rápida de nível do lençol freático, permitindo o escoamento da água pelo plano da manta e de filtração, impedindo o carreamento das partículas do solo.

Figura 28: Seção transversal típica de proteção de talude com geocélula



Fonte: FARIAS, 2005.

### 3.7. Geotubos no controle da erosão

Ortiz, Santo Junior e Ladchumananandasivam (2003), definem geotubos como estruturas formadas por sacos de geotêxtil, cheios de areia ou materiais capazes de serem dragados. Estes geossintéticos são aplicados em obras de controle de erosão marinha e fluvial.

Durante seu processo de enchimento a água passa através do geotêxtil e os solos ficam presos dentro do tubo. A estrutura vai se consolidando, permitindo a obtenção de uma estrutura maciça, capazes de resistir à abrasão, cortes e tolerar a degradação biológica e química gerada no meio natural. (ORTIZ; SANTO JUNIOR; LADCHUMANANANDASIVAM, 2003).

Castro, Escobar, Martins (2009), destacam a grande aceitação dessa tecnologia em projetos de controle da erosão em função das questões ambientais. Em substituição ao enrocamento e o concreto, soluções mais utilizadas em obras costeiras, os tubos geotêxteis evitam a importação de material diferente àquele habitat e o transporte complexo, devido ao difícil acesso. Em ambientes costeiros as forças são elevadas, resultando em materiais (rochas, concreto, etc.) de grande dimensão para se atingir a estabilidade. Os geotêxteis permitem serem criados no próprio local, nas dimensões necessárias, suportando os esforços gerados no ambiente marinho. (CASTRO; ESCOBAR; MARTINS, 2009).

Um exemplo de obra utilizado essa tecnologia, ocorreu na cidade de Sea Isle no estado de New Jersey (EUA), foram utilizados geotubos para proteção da orla e restauração da avenida que vinha sofrendo com o impacto das ondas. Nesta obra foram utilizados 1200 metros lineares de tubos de geotêxtil cheios com areia. As figuras 19 e 20 mostram os tubos de geotêxtil instalados durante a após forte tempestade, mostrando sua eficiência, permanecendo intactos.

Figura 29: Tubo geotêxtil durante tempestade



Fonte: CASTRO; ESCOBAR; MARTINS, 2009.

Figura 30: Tubo de geotêxtil após a tempestade



Fonte: CASTRO; ESCOBAR; MARTINS, 2009.

## 4. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE EROSÃO UTILIZANDO GEOSINTÉTICOS

### 4.1. Introdução

Neste trabalho será dimensionado um sistema de controle de erosão utilizando geossintético para um talude fictício erodido, formado de solo silte arenoso, com as características descritas abaixo:

Geometria do talude:

- $H$  (altura) = 8 m
- $\Omega$  (inclinação da fase) =  $74^\circ$

Parâmetros do solo (silte arenoso):

- $\gamma$  (Peso Específico) =  $18 \text{ KN/m}^3$
- $\phi$  (Ângulo de Atrito) =  $35^\circ$

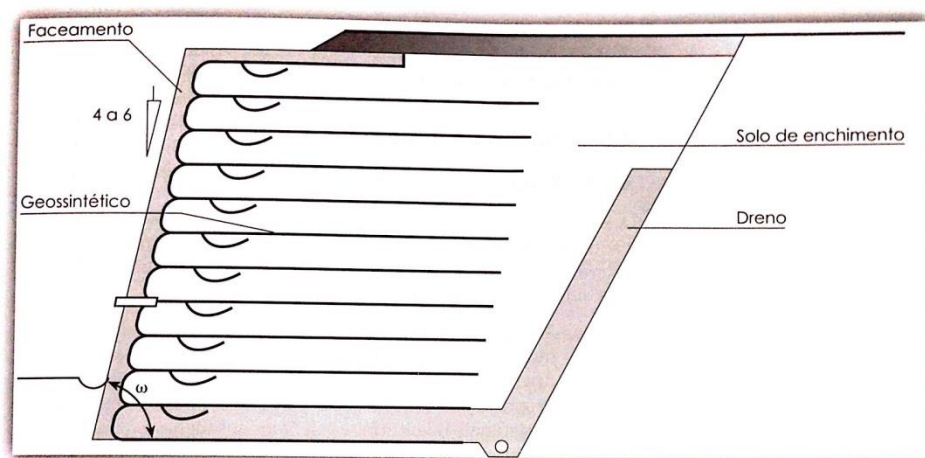
A solução proposta neste trabalho será a utilização de geossintéticos para reforço do talude e para o plantio. O reforço do solo com geossintéticos são comumente feitos pelo geotêxtil e a geogrelha, que se mostram eficazes, principalmente, porque apresentam uma boa resistência a tração e promovem uma adequada interação com o solo. (TEIXEIRA, 2003).

Neste trabalho iremos fazer o dimensionamento para o geotêxtil.

Para o recobrimento do talude pode-se utilizar a geomanta ou a biomanta. Para inclinações acentuadas recomenda-se a utilização da geomanta. Como irão ser calculadas soluções para diferentes inclinações, utilizaremos neste estudo a geomanta.

O revestimento do talude com a biomanta ou geomanta permite a revegetação, protegendo o talude da ação erosiva das gotas de chuva e da erosão decorrente do escoamento superficial, diminuindo a força cinética do escoamento e aumentando o poder de infiltração do solo.

Figura 31: Seção transversal de solo reforçado com geossintéticos



Fonte: VERTEMATTI, 2004.

Sieira (2009) destaca que este método de reforço do solo se dá pela transferência de esforços para os elementos resistentes. Esta transferência é controlada por dois fatores: a resistência à tração do geossintético sob condições confinadas e a resistência ao arrancamento do geossintético da massa de solo.

Os geotêxteis e as geogrelhas quando comparados às outras técnicas usuais de reforço, apresentam grandes vantagens em relação à instalação. Benjamin, gerente da BIDIM, apresenta como vantagens a eliminação de exploração de jazidas e a possibilidade de trabalhar mesmo em dias chuvosos, gerando economia e deixando a obra mais rápida. (Site da AECWEB).

No site da AECWEB, Benjamin, gerente da BIDIM, também fala da desvantagem das mantas geotêxtil que é a degradação causada por raios ultravioletas. Os geotêxteis e as geogrelhas precisam de cuidados na hora do manuseio, estocagem e instalação dos para que suas funções não sejam comprometidas. Para a utilização destes materiais em reforço de solos

é necessário à verificação da resistência a tração. A execução de geossintéticos em obras de reforço é simples e será exemplificada mais à frente.

Para o recobrimento do talude pode-se utilizar: a geomanta ou a biomanta. Para inclinações acentuadas recomenda-se a utilização da geomanta. Como irão ser calculados soluções para diferentes inclinações, utilizaremos neste estudo a geomanta. As geomantas, ao contrário das biomantas, podem ser utilizadas para taludes com inclinação acentuada.

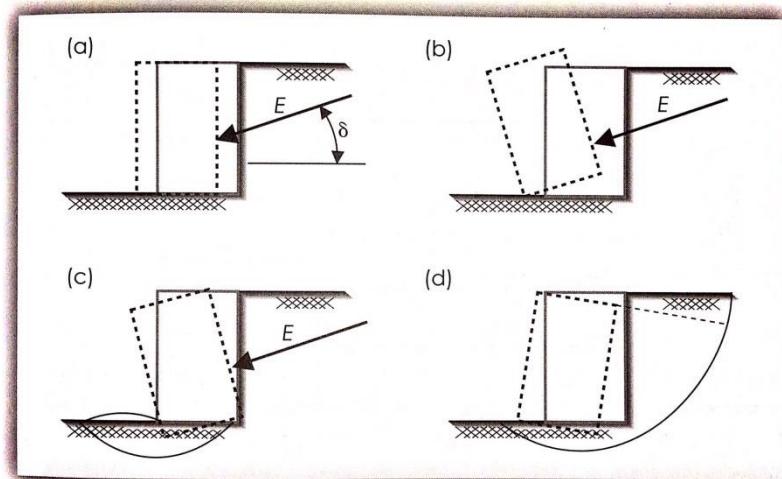
## 4.2. Metodologia Utilizada

Segundo Vertematti (2004), o cálculo de estruturas reforçadas é geralmente, dividida em duas etapas: análise da estabilidade externa e interna da estrutura.

### 4.2.1. Estabilidade Externa

Na estabilidade externa verifica-se a possibilidade de ocorrência de quatro mecanismos: deslizamento da base, tombamento, capacidade de carga da fundação e ruptura global.

Figura 32: Mecanismos para análise da estabilidade externa de maciços reforçados



Fonte: VERTEMATTI, 2004.

Para a verificação da estabilidade externa do talude, foi considerado o comportamento semelhante ao de um muro de peso. O empuxo da zona não reforçada foi determinado pelas teorias de Rankine.



### 4.2.2. Estabilidade Interna

A estabilidade interna é um aspecto particular no dimensionamento de solos reforçados, a ruptura pode ocorrer devido à instabilidade interna, quando as solicitações impostas ao reforço são maiores do que àquelas que o mesmo pode suportar ou quando a ancoragem for insuficiente gerando o escorregamento do reforço na massa de solo. Para evitar a ruptura interna o valor da tensão máxima atuante ( $T_{m\acute{a}x}$ ) deve ser menor do que o valor esperado para a resistência de projeto do geossintético ( $T_d$ ) multiplicado por um fator de segurança, da mesma forma para não ocorrer a ruptura devido à perda de ancoragem a  $T(m\acute{a}x)$  não deverá ser maior do que o valor da resistência de arranchamento do reforço ( $P_r$ ). (VERTEMATTI, 2004).

Para o dimensionamento da estabilidade interna de solos reforçados existem diversas metodologias, neste trabalho iremos utilizar o método desenvolvido por Jewell (1991), baseado no equilíbrio limite estudado por Jarret e Mc Gown (1988).

### 4.3. Dimensionamento

- Variáveis utilizadas:

$E$  = Empuxo;

$\gamma$  = Peso Específico do solo;

$H$  = Altura do talude;

$K_a$  = Coeficiente de empuxo de terras no estado ativo;

$\phi$  = Ângulo de atrito

$e_v$  = espaçamento vertical entre as camadas de geossintéticos;

$K_{req}$  = coeficiente de empuxo ativo requerido;

#### 4.3.1. Estabilidade Externa

- Determinação do comprimento de reforço ( $L_r$ )

a) Cálculo do empuxo na zona não reforçada

$$E = \frac{1}{2} \times \gamma * H^2 \times K_a \text{ (Equação 01)}$$

b) Verificação do deslizamento

$$Lr \geq 0,75 \frac{H \times Ka}{\tan \phi} \text{ (Equação 02)}$$

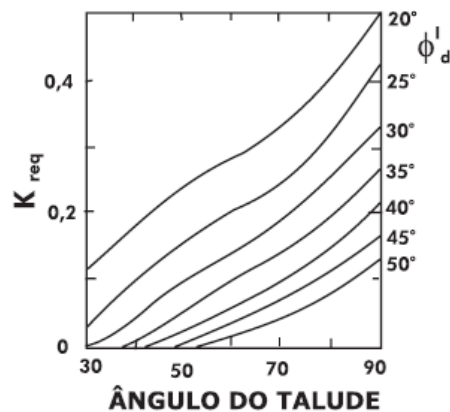
c) Verificação do tombamento

$$Lr \geq \sqrt{\frac{2}{3} \times Ka \times H^2} \text{ (Equação 03)}$$

#### 4.3.2. Estabilidade Interna

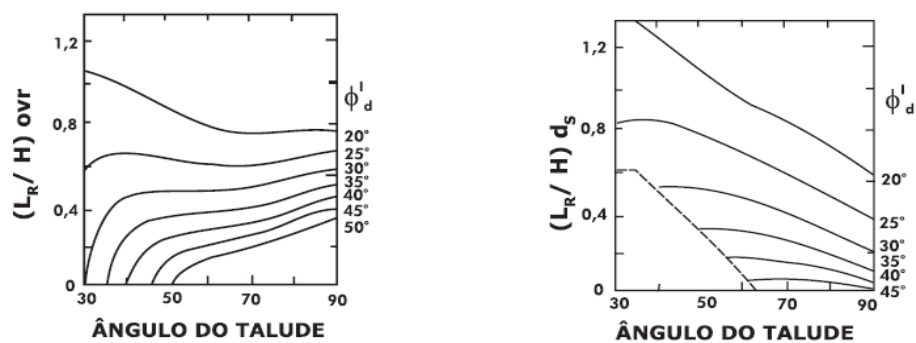
Para o cálculo da estabilidade interna, usam-se ábacos para obter o coeficiente de empuxo ativo requerido ( $K_{req}$ ) e os comprimentos de reforço mínimo ( $L_r$ ).

Figura 33: Ábaco do empuxo necessário



Fonte: VERTEMATTI, 2004.

Figura 34: Ábacos de estabilidade global e escorregamento



Fonte: VERTEMATTI, 2004.

### 4.3.3. Resistência Requerida

A resistência requerida é calculada pela equação 04. Para o cálculo da resistência mínima ( $T_o$ ) que o geossintético deve apresentar, devem-se adotar fatores de redução parciais que tem o objetivo de considerar a redução nas propriedades dos geossintéticos, devido às condições de instalação e das solicitações durante a vida útil da obra.

$$T_{req} = ev \times K_{req} \times \gamma \times H \text{ (Equação 04)}$$

$$T_o = \frac{T_{max}}{FRt} \text{ (Equação 05)}$$

### 4.4. Resultados

Foram dimensionados taludes com diferentes inclinações para a análise do comportamento dos geossintéticos quando aplicados em taludes com inclinações acentuadas e mais brandas. Os resultados obtidos no dimensionamento do talude, analisando a estabilidade externa, estão na Tabela 1. Na Tabela 2 encontram-se os resultados em relação à estabilidade interna e o comprimento mínimo de reforço. Por último na Tabela 3, encontram-se as resistências requeridas mínima que o geossintético precisa ter para garantir a estabilidade do talude.

Tabela 1: Comprimento mínimo para garantir a estabilidade externa da estrutura

Estabilidade Externa				
Ka	Empuxo	Verificação de deslizamento - Lr (m)	Verificação de Tombamento - Lr (m)	Verificação de tensões na base - Lr (m)
0,270	155,520	2,310	3,394	4,157

Fonte: elaboração do autor.

Tabela 2: Comprimento mínimo para garantir a estabilidade interna e a global

Estabilidade interna							
Ângulo	Ângulo de atrito de dimensionamento	Kreq	Lr/H (estabilidade interna)	Lr/H (estabilidade contra o deslizamento da base)	Lr (m) - estabilidade ineterna	Lr (m) - estabilidade contra o deslizamento da base	Lr mínimo
80	29,020	0,270	0,590	0,300	4,720	2,400	4,720
<b>74</b>	<b>29,020</b>	<b>0,230</b>	<b>0,580</b>	<b>0,400</b>	<b>4,640</b>	<b>3,200</b>	<b>4,640</b>
60	29,020	0,170	0,570	0,480	4,560	3,840	4,560
50	29,020	0,110	0,570	0,510	4,560	4,080	4,560

Fonte: elaboração do autor.

Tabela 3: Resistência requerida mínima

Ângulo	Resistência Requerida (KN/m) - Treq	FRt	Resistência Requerida (KN/m) - Treq
80	15,552	2,2	34,2144
<b>74</b>	13,248	<b>2,2</b>	<b>29,1456</b>
60	9,792	2,2	21,5424
50	6,336	2,2	13,9392

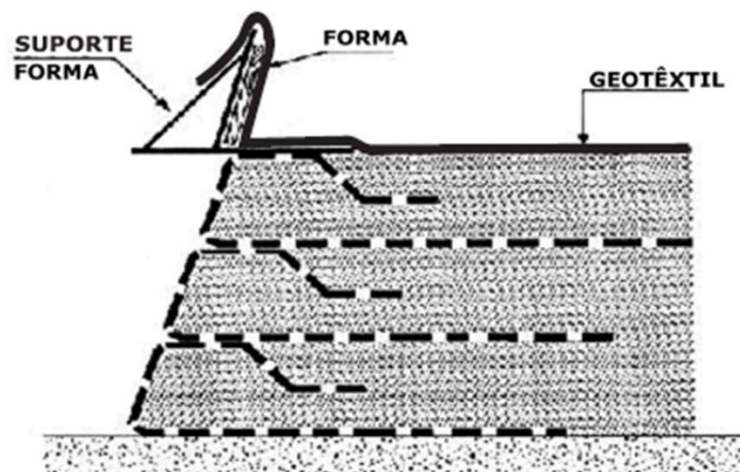
Fonte: elaboração do autor.

#### 4.5. Execução

A execução do reforço do solo é feita por fôrmas de madeira que possibilitam a correta inclinação superficial da fase. A fôrma é colocada na base do talude e vai subindo junto com as camadas. Se o reforço for suficientemente largo ele pode ser colocado paralelamente, caso contrário, o geotêxtil é desenrolado perpendicularmente ao muro e costurado ou sobreposto, em geral, 30 cm.

O aterro é colocado sobre o geotêxtil e compactado, escava-se um pequeno trecho a uma distância aproximada de 50 cm da face do talude, no qual a extremidade livre do geotêxtil é dobrada e encaixada. E o mesmo procedimento é feito para as próximas camadas.

Figura 35: Construção de talude reforçado com geotêxtil



Fonte: VERTEMATTI, 2004.

A geomanta será utilizada como uma cobertura superficial do talude, com a finalidade de reduzir o impacto das gotas da chuva e o desprendimento de partículas durante o escoamento.

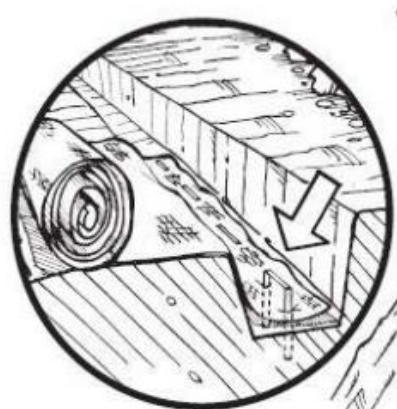
Estas mantas sintéticas são aplicadas juntamente com sementes, que ao se desenvolverem reforçam a proteção já oferecida pela geomanta.

A geomanta por ser um material leve, permite ser transportada pelos próprios funcionários, facilitando a instalação em locais de difícil acesso.

A instalação das geomantas deve obedecer às seguintes instruções:

- 1) Regularização do talude: é necessária a regularização do talude, removendo quaisquer materiais que possam atrapalhar a execução, proporcionando um melhor posicionamento e adesão da geomanta ao talude.
- 2) Posicionamento das geomantas: o material é fornecido em bobinas e deve ser posicionadas o topo em direção a base do talude, desenrolado a bobina de cima para baixo. A ancoragem da manta é feita no topo do talude e ao longo de sua extensão são colocados grampos metálicos. A MACCAFERI recomenda que a ancoragem seja feita escavando-se uma canaleta de 30 x 30 no topo do talude, fixando a geomanta com grampos metálicos e reaterrando a canaleta com solo compactado manualmente.
- 3) Em caso de transpasses, é necessário que seja feito com 30 cm de sobreposição, fixados com grampos metálicos.

Figura 36: Detalhe da ancoragem da geomanta

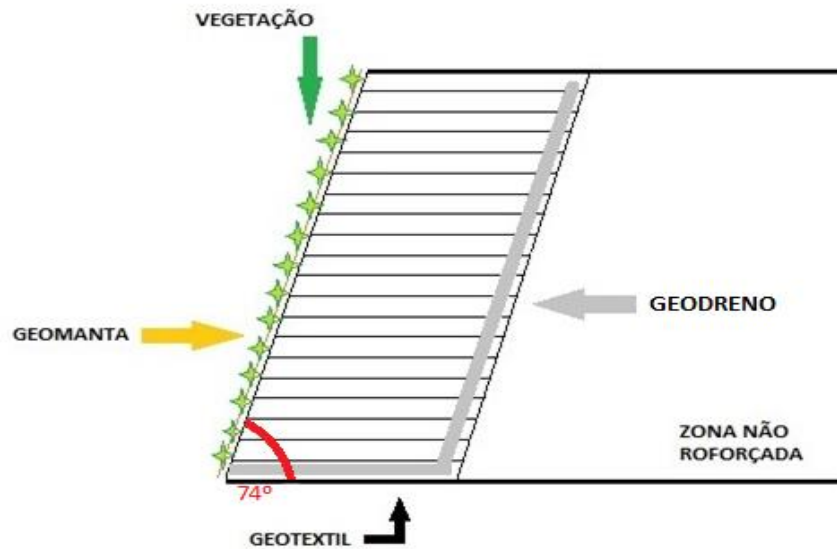


Fonte: MACCAFERI, 2007.

- 4) Plantio: durante esta fase são aplicados além das sementes, fertilizantes e adubos, de forma a melhorar o substrato e propiciar o desenvolvimento da vegetação. O plantio

pode ser feito por dois métodos: semeadura por microcoveamento ou hidrossemeadura.

Figura 37: Detalhe do talude dimensionado



Fonte: elaboração do autor.

#### 4.6. Custo do talude analisado

Para a análise de custos do talude dimensionado, acrescentaram-se outras possíveis soluções utilizando as geogrelhas e as biomanta para a comparação com a solução adotada.

As tabelas 4 e 5 mostram os custos unitários e os materiais utilizados.

Tabela 4: Custos de serviços e materiais baseados no SINAPI Junho/2016

Fonte	Código	Unid.	Serviço	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
SINAPI	74154/001	m <sup>3</sup>	Escavação carga/transporte de material de material de 1ª categoria com trator sobre esteira	148,48	4,69	R\$ 696,37
SINAPI	74005/001	m <sup>3</sup>	Compactação mecânica, sem controle de GC	148,48	4,53	R\$ 672,61
SINAPI	4018	m <sup>2</sup>	Geotextil nao tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster RT 31	371,2	18,81	R\$ 6.982,27
SINAPI	34804	m <sup>2</sup>	Geogrelha tecida com filamentos de poliéster+PVC, resistência longitudinal : 90 kn/m, resistencia transversal: 30 kn/m	371,2	27,45	R\$ 10.189,44
SINAPI	4517	m	Peça de madeira nativa/regional 2,5x7,0 cm (sarrafo para forma)	2	1,21	R\$ 2,42
MACCAFERRI	MACCAFERRI	m <sup>2</sup>	GEOMANTA MACMAT 10.1 - 2X50	36,92	15,78	R\$ 582,60
MACCAFERRI	MACCAFERRI	m <sup>2</sup>	FIBRA DE COCO BIOMAC CC 400	36,92	7,47	R\$ 275,79
MACCAFERRI	MACCAFERRI	m <sup>2</sup>	GEODRENO F.T. EST MACDRAIN	4,29	18,5	R\$ 79,37

Fonte: elaborado pelo autor.

Na tabela 5 apresentam-se os custos para cada solução.

Tabela 5: Custos para diferentes soluções com geossintéticos

	Solução 01: geotêxtil + geomanta	Solução 02: geotêxtil + biomanta	Solução 03: Geogrelha + geomanta	Solução 04: Geogrelha + Biomanta
Total (R\$)	R\$ 9.015,64	R\$ 8.708,84	R\$ 12.222,81	R\$ 11.836,64

Fonte: elaborado pelo autor.

Os geotêxteis possuem custo menor do que as geogrelhas, porém, em obras que necessitam de uma resistência a tração elevada, os geotêxteis possuem restrições e aconselha-se a utilização das geogrelhas.

A biomanta, além de apresentar um preço menor do que as geomantas são uma solução mais favorável ao meio ambiente, por seu material ser biodegradável. Porém, como já foi dito, as biomantas possuem restrição de inclinação, não podendo ser utilizada em obras com declividade acentuada.

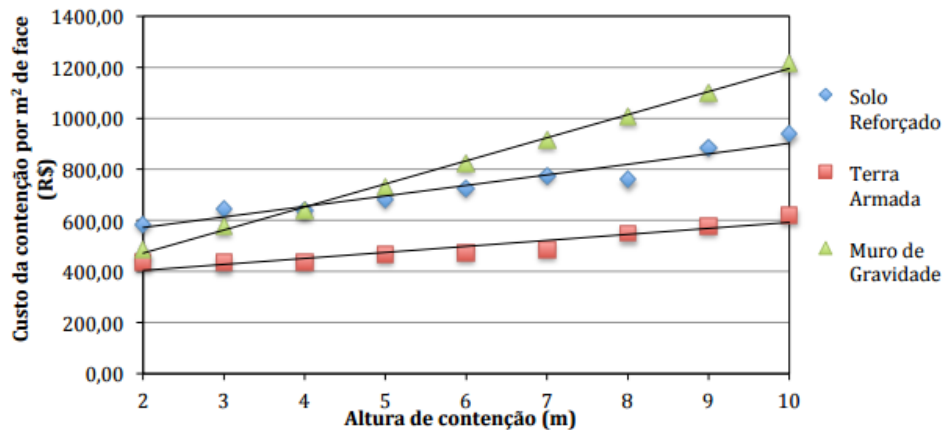
#### **4.7. Análise de Custo**

##### **4.7.1. Estudos de Casos**

4.7.1.1. Avaliação dos custos construtivos de estruturas de contenção no município de Natal/R – (PESSOA, 2016).

Pessoa (2016) dimensionou e analisou os custos de diferentes técnicas de estabilização de taludes: muro de gravidade, solo reforçado por geossintético e terra armada, para um intervalo de alturas de 2 a 10 metros. Para este estudo foi utilizado o solo arenoso típico da cidade de Natal – RN. A figura 33 apresenta os resultados obtidos da comparação econômica entre as três técnicas.

Figura 38: Gráfico comparativo de custos entre técnicas de contenção avaliadas



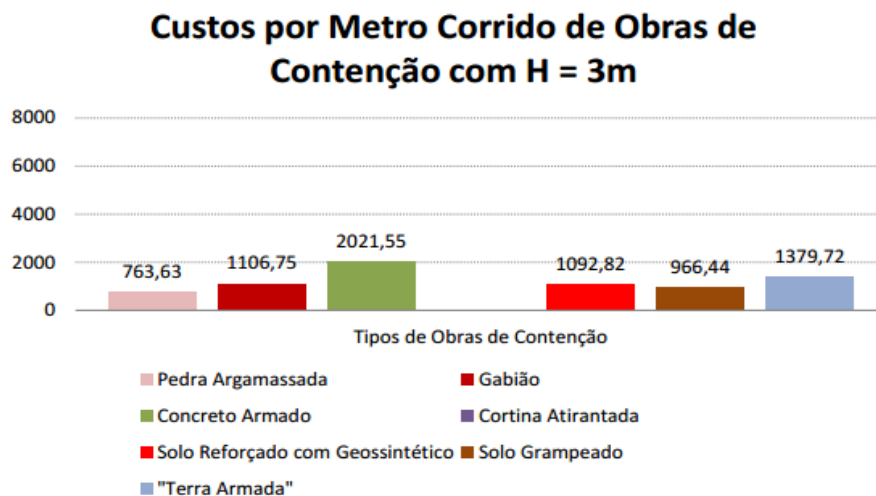
Fonte: PESSOA, 2016.

#### 4.7.1.2. Análise custo-benefício de obras de contenção – (LEITE, 2011)

Leite (2011), com a finalidade de elaborar uma análise orçamentária de diferentes técnicas de estabilização de taludes, dimensionou as seguintes estruturas: muro de pedra argamassada, muro de gabião, muro de concreto armado, cortina atirantada, solo grampeado, contenção em “terra armada” e solo reforçado com geossintéticos.

Para viabilizar a análise econômica comparativa foi admitida uma situação ideal em que todas essas obras seriam possíveis de serem construídas para conter o talude. Foram consideradas duas alturas de talude, a primeira  $H=3$  metros e depois  $H=6$  metros. As figuras 34 e 35 apresentam os custos para cada técnica.

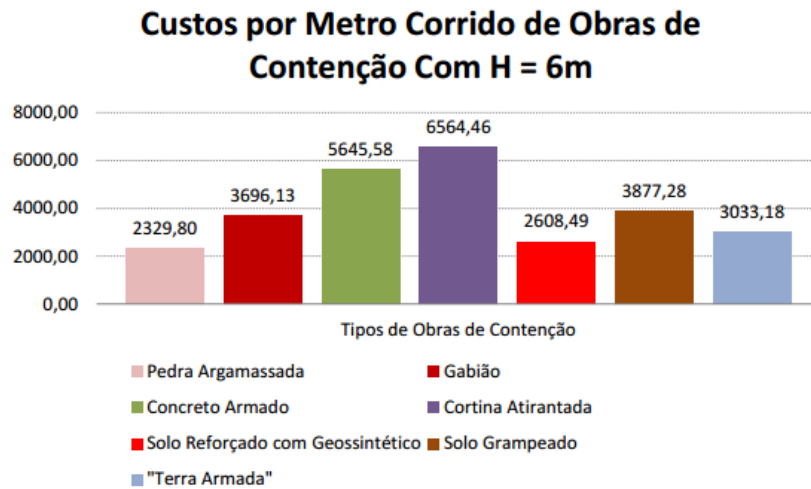
Figura 39: Custo por obra para um talude de 3 metros



Fonte: LEITE, 2011.



Figura 40: Custo por obra para um talude de 6 metros



Fonte: LEITE, 2011.

## 5. ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO

Nos dois estudos de caso, apesar do reforço do solo com geossintético não ser o mais econômico, percebemos, a viabilidade econômica desta técnica.

No primeiro caso a terra armada foi mais econômica que o reforço utilizando geossintético, divergindo do segundo caso. No primeiro estudo de caso a técnica mais econômica para todo o intervalo de altura analisado foi à terra armada e o de preço elevado o muro de gravidade, sendo mais econômico do que os geossintéticos apenas no intervalo de 1 a 3 metros de altura do talude.

No segundo estudo de caso a terra armada para taludes de 3 e 6 metros foi a alternativa mais econômica.

Essas divergências podem se dar devido ao tipo de solo e as condições geotécnicas das regiões consideradas.

Devemos salientar que a escolha pelo reforço adequado do talude não depende só da análise econômica, é importante também estudar os seguintes fatores: rapidez de execução, disponibilidade de mão de obra qualificada, tipo de solo e distância das jazidas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os geossintéticos apresentam um constante desenvolvimento na construção civil do Brasil. Os fabricantes aperfeiçoam cada dia mais as suas tecnologias, trazendo para o mercado materiais com um alto controle tecnológico e cada vez mais resistentes as intempéries.

Essa evolução dos geossintéticos no mercado nacional pode ser percebida em congressos, simpósios, com números crescentes de trabalhos científicos apresentados por brasileiros sobre os geossintéticos.

Através do presente estudo foi possível constatar que o uso de geossintéticos em obras de controle da erosão, apresenta uma série de vantagens em sua aplicação. As principais delas estão relacionadas ao meio ambiente, a economia, a prática de execução e a segurança. Estes materiais quando comparados a outras técnicas de controle da erosão, apresentam menor impacto ambiental, devido à diminuição de exploração de jazidas e viabilizam, tanto do ponto de vista construtivo como econômico, obras em locais de difícil acesso e com distâncias acentuadas até as jazidas.

Um importante passo no desenvolvimento dessa tecnologia foi à criação do Comitê Brasileiro de Geossintéticos que desenvolveu normas de acordo com as condições climáticas do nosso país, possibilitando uma utilização mais segura destes materiais. Ainda existem muitos casos, que por falta de norma brasileira, necessita-se consultar normas internacionais, mas percebemos o crescente avanço do Brasil neste sentido.

Na escolha de uma técnica de controle de erosão a ser utilizada, é necessário um estudo prévio de viabilidade econômica, de estabilidade e bom funcionamento do sistema a ser implementado de forma a assegurar o emprego do material mais adequado e avaliar as demais opções.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Associação Brasileira de Geossintéticos – Portal IGS Brasil.** Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/>>. Acesso em: 18 de novembro de 2016.

**AECWEB. Geotêxteis podem ser usados para drenagem, reforço e separação de camadas.** Disponível em: < [http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/geotexteis-podem-ser-usados-para-drenagem-reforco-e-separacao-de-camadas\\_11191\\_10\\_0](http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/geotexteis-podem-ser-usados-para-drenagem-reforco-e-separacao-de-camadas_11191_10_0)>. Acesso em: 5 de novembro de 2016.

BEZERRA, V. M. N.; COSTA, C. M. L.. **Análise da especificação de geossintéticos disponíveis no mercado nacional para controle de erosão em taludes.** In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 8, 2012, Palmas. **Anais...** . Palmas: Connepi, 2012. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/5502/2208>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

CAMPOS, Camila Jorge Moretti de. **AValiação DA ERODIBILIDADE PELO MÉTODO INDERBITZEN EM SOLO NÃO SATURADO DA REGIÃO DE BAURU - SP.** 2014. 154 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Unesp - Universidade Estadual Paulista, Bauru - São Paulo, 2014.

CASTRO, Nathalia Paiva Barbosa de; ESCOBAR, Luiz Gustavo Burihan; MARTINS, Paula de Mello. **O USO DA TECNOLOGIA DE TUBOS DE GEOTÊXTIL PARA CONTROLE DE EROSÃO MARINHA E FLUVIAL.** 2009. Disponível em: <<file:///C:/Users/petronio/Downloads/Artigo-Nathalia-Controle-erosao-tubos-geotextil.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

Departamento Estadual de Infraestrutura. **HIDROSSEMEADURA.** Secretaria de Estado de Infraestrutura – Estado de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.deinfra.sc.gov.br/download/bid/hidrossemeadura.pdf>>. Acesso em: 11 de novembro de 2016.

FARIAS, Rideci de Jesus da Costa. **UTILIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM SISTEMAS DE CONTROLE DE EROSÕES.** 2005. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

FOLHA DE S. PAULO. Previsão de aumento do nível do mar piora. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2013/09/1346434-previsao-de-aumento-do-nivel-do-mar-piora.shtml>>. Acesso em: 26 de novembro de 2016.

Geofoco. **Reforço de solo com geogrelha.** Disponível em: < <http://geofoco.com.br/reforco-de-solo-com-geogrelha-2/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2016.

GUIMARÃES, Bernardo Filipe Costa. **Erosão Costeira e Produção de Blocos para Obras de Proteção com Enrocamento.** 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2012.

IMESON, Anton; CURFS, Michiel. **Erosão do Solo**. Disponível em: <[http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/B1\\_Booklet\\_Final\\_PT.pdf](http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/B1_Booklet_Final_PT.pdf)>. Acesso em: 3 nov. 2016.

LEITE, Guilherme Urquiza. **ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE OBRAS DE CONTENÇÃO**. 2011. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - Pb, 2011.

LOPES, Maria de Lurdes; LOPES, Margarida Pinho. **A Durabilidade dos Geossintéticos**. Disponível em: <<https://www.wook.pt/livro/a-durabilidade-dos-geossinteticos-maria-de-lurdes-lopes/9587308>>. Acesso em: 3 nov. 2016.

MACAFFERRI. **Manual Técnico: Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos**. São Paulo, Brasil. 2008.

ORTIZ, Rocio Norabuena; SANTOS JUNIOR, Olavo; LADCHUMANANANDASIVAM, Rasiah. **TUBOS DE GEOTÊXTIL APLICADOS A OBRAS DE DEFESA COSTEIRA**. In: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA IX CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS, 2., 2003, Natal - RN. **TUBOS DE GEOTÊXTIL APLICADOS A OBRAS DE DEFESA COSTEIRA**. Natal: Abequa, 2003. p. 1 - 5.

PESSOA, Rafael Gaspar. **AVALIAÇÃO DOS CUSTOS CONSTRUTIVOS DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO NO MUNICÍPIO DE NATAL/RN**. 2016. 17 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-rn, 2016.

SANTOS, Daniele Pereira dos. **ESTRUTURA DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO**. 2014. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, Luana Maria dos. **Erosão em taludes de corte - métodos de proteção e estabilização**. 2015. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2015.

SENA, Miguel Vaz. **Modelação de Evolução da Linha de Costa Influência do Uso de Séries Sintéticas de Agitação**. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa - Portugal, 2010.

SOBRAL, Monique Lacerda de V. et al. **REVESTIMENTO FLEXÍVEL COM GEOMANTA REFORÇADA PARA SOLO GRAMPEADO EM TALUDES DE ANGRA DOS REIS**. Angra dos Reis / Rj / Brasil: Portal Igs Brasil, 2011. 6 p.

TATTO, Janaina. **COMPORTAMENTO DE FILTROS GEOTÊXTEIS EM TALUDES SUJEITOS A IMPACTOS DE ONDAS**. 2014. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

VERTEMATTI, José Carlos, **Curso Básico de Geotêxteis**. ABINT. São Paulo, Brasil, 2001.

VERTEMATTI, José Carlos. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

VERTEMATTI, José Carlos. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

VII CONNEP - CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7., 2012, Palmas -to. **Análise da especificação de geossintéticos disponíveis no mercado nacional para controle de erosão em taludes**. Palmas -to: Ifto, 2012. 7 p.

OBER. **Boletim Técnico: Estruturas de contenção em solo reforçado com geotêxtil não tecido**. Disponível em: < <http://www.obergeo.com.br/catalogo/Geofort-Solo-Reforcado.pdf>>. Acesso em: 13 de novembro de 2016.