

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFAAT  
ENGENHARIA CIVIL

CLÁUDIA ASSUNÇÃO  
CRISTIAN BONIOLO  
DANIEL SIEBERT  
HENRIQUE AVONI  
TOMMY KURAMOTO

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMA DE CONTENÇÃO  
EM SOLO REFORÇADO E MURO A GRAVIDADE DE GABIÕES

ATIBAIA -SP

2019

CLÁUDIA ASSUNÇÃO

CRISTIAN BONIOLO

DANIEL SIEBERT

HENRIQUE AVONI

TOMMY KURAMOTO

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMA DE CONTENÇÃO EM SOLO  
REFORÇADO E MURO A GRAVIDADE DE GABIÕES

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Universitário  
UNIFAAT, para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Civil .

Orientador: Prof<sup>o</sup> Msc. Ribamar de Jesus  
Gomes

ATIBAIA - SP

2019

## **AGRADECIMENTO**

Agradecemos primeiramente a Deus por nos permitir chegar até aqui, aos nossos pais e familiares que de uma forma ou outra se dedicaram a nos auxiliar e motivar nesse período, agradecemos em especial ao Professor Msc. Ribamar de Jesus Gomes pela orientação, apoio e dedicação para com o grupo, a todos os professores que contribuíram para nosso aprendizado e formação profissional. Enfim, a todos que de algum modo nos impulsionaram a seguir em frente.

## RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso traz o histórico de duas técnicas empregadas no reforço de solos em contenções dentro da engenharia civil e as necessidades que fomentaram o desenvolvimento de cada uma das técnicas, com ênfase no reforço de solo utilizando as malhas e grelhas, os pontos mais relevantes, suas primeiras aplicações que surgiram por volta do ano 3000 A.C, sua evolução ao longo do tempo através do processo de industrialização, que só foi possível devido ao grande desenvolvimento da indústria têxtil, discorrendo sobre os diversos tipos de materiais e suas principais aplicações nos dias atuais. Tem como objetivo principal nortear a melhor escolha entre os dois sistemas de contenção, o primeiro método, o reforço de solo com os geossintéticos, especificamente as geogrelhas, uma tecnologia que pode ser considerada recente quando comparada com o gabião, que está entre os métodos mais utilizados nos dias atuais. Através de projetos distintos, desenvolvidos com o auxílio de softwares, cada um com suas especificações técnicas, porém com a necessidade de atender os mesmos fins, comparando a capacidade da resistência das tensões aplicadas em diferentes alturas, onde o método que apresentar os melhores resultados com o menor custo, este será o mais viável.

**Palavras-chave:** Geossintéticos, geogrelha, gabião, reforço, comparação

## **ABSTRACT**

The present course conclusion paper brings together the history of two techniques used in soil reinforcement in civil engineering containment and the needs that fostered the development of each technique, with emphasis on soil reinforcement using meshes and grids, the most relevant points, their first applications that appeared around the year 3000 BC, their evolution over time through the industrialization process, which was only possible due to the great development of the textile industry, discussing the various types of materials and their main applications today. Its main objective is to guide the best choice between the two containment systems, the first method, soil reinforcement with geosynthetics, specifically geogrids, a technology that can be considered recent compared to gabion, which is among the most used today. Through different projects, developed with the aid of software, each with its own technical specifications, but with the need to meet the same purposes, comparing the stress resistance capacity applied at different heights, where the method that presents the best results with the lowest cost this will be the most viable

**Keyword:** Geosynthetics, geogrid, gabion, reinforcement, comparison

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Crescimento de vendas de alguns tipos de geossintéticos a partir dos anos 70.....	19
<b>Figura 2:</b> Principais Eventos sobre Geossintéticos.....	22
<b>Figura 3:</b> Elementos do Sistema de Terra Armada.....	24
<b>Figura 4:</b> Principais tipos de muro à gravidade.....	25
<b>Figura 5 :</b> Muro de arrimo por flexão.....	25
<b>Figura 6:</b> Muro de gabião.....	27
<b>Figura 7:</b> Gabião Tipo Caixa.....	28
<b>Figura 8:</b> Diferentes tipos de geotêxteis: a) geotêxtil tecido, b) geotêxtil não tecido ligado quimicamente, c) geotêxtil não tecido ligado termicamente, e c) geotêxtil não tecido ligado mecanicamente (por agulhagem).....	31
<b>Figura 9:</b> Exemplo de geocélula sendo aplicada.....	32
<b>Figura 10:</b> Modelo de Georrede.....	33
<b>Figura 11:</b> Modelo de Geomembrana.....	34
<b>Figura 12:</b> Modelo de Geocomposto juntamente ao geotêxtil.....	34
<b>Figura 13:</b> Modelo de geogrelha.....	35
<b>Figura 14:</b> Detalhes de sobreposição da geogrelha.....	36
<b>Figura 15:</b> Métodos de Ensaio de Cisalhamento Direto e Arrancamento.....	37
<b>Figura 16:</b> Métodos usuais para construção de aterros sobre solos moles.....	40
<b>Figura 17:</b> Curva de força por deformação de filamentos dos polímeros.....	42
<b>Figura 18:</b> Componentes do Geossintéticos.....	43
<b>Figura 19:</b> Esquema de ligação mecânica por agulhagem de geotêxteis não tecidos.....	44
<b>Figura 20:</b> Interação geogrelha e solo.....	56
<b>Figura 21:</b> Solo reforçado com geossintético (HUESKER).....	57
<b>Figura 22:</b> Método de ensaio SPT.....	59
<b>Figura 23:</b> Análise da estabilidade externa.....	61
<b>Figura 24:</b> Análise da estabilidade interna.....	62
<b>Figura 25:</b> Movimento de tombamento de uma estrutura.....	63
<b>Figura 26:</b> Coeficiente de segurança para tombamento.....	63
<b>Figura 27:</b> Coeficiente de segurança para estabilidade global.....	64

<b>Figura 28:</b> Sistema de auto envelopamento.....	65
<b>Figura 29:</b> Sistema de blocos segmentais.....	66
<b>Figura 30:</b> Sistema de painéis modulares. ....	67
<b>Figura 31:</b> Projeto de reforço com face em gabião.....	68
<b>Figura 32:</b> Muro verde. ....	69
<b>Figura 33:</b> Visão da interface geral do programa GAWACWIN BR 2.0© ao ser iniciado. .....	70
<b>Figura 34:</b> Características adotadas para o muro de gabião.....	71
<b>Figura 35:</b> Exemplo das camadas para um muro de gabião com 5 metros de altura. .	72
<b>Figura 36:</b> Propriedade do solo de fundação no software GAWACWIN 2.0 BR.....	74
<b>Figura 37:</b> Propriedades da camada superior do terrapleno. ....	76
<b>Figura 38:</b> Propriedades do solo de aterro utilizados no projeto .....	77
<b>Figura 39:</b> Visão geral da seção em análise para contenção com altura igual a 5 metros. ....	78
<b>Figura 40:</b> Visão geral da interface do MACSTARS 2000©.....	80
<b>Figura 41:</b> Preenchimento dos dados do solo regional.....	81
<b>Figura 42:</b> Preenchimento dos dados do solo de aterro. ....	81
<b>Figura 43:</b> Modelagem do solo regional. ....	82
<b>Figura 44:</b> Visão geral solo regional modelado. ....	82
<b>Figura 45:</b> Preenchimento do bloco de reforço para a altura de 5 metros.....	83
<b>Figura 46:</b> Visão geral da seção em análise.....	84
<b>Figura 47:</b> Perfil da contenção com gabiões. ....	85
<b>Figura 48:</b> Geometria de um muro reforçado com geossintético.....	86
<b>Figura 49:</b> Resultado MACSTARS 2000©.....	87
<b>Figura 50:</b> Análise geogrelha.....	87
<b>Figura 51:</b> Gráfico comparativo dos custos unitários.....	90

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Principais obras em território nacional que aconteceram entre 1971 e 2002. .....	21
<b>Tabela 2:</b> Tipo e função dos geossintéticos.....	29
<b>Tabela 3:</b> Propriedades dos polímeros (adaptado. Pilarczyk, 2000).....	42
<b>Tabela 4:</b> Resistência aos processos de degradação .....	51
<b>Tabela 5:</b> Classificação da severidade do meio exposto .....	52
<b>Tabela 6:</b> Critério para classificação da capacidade de sobrevivência de geossintéticos. .....	53
<b>Tabela 7:</b> Fatores de Redução. ....	53
<b>Tabela 8 :</b> Fatores de redução em função do tipo de aplicação do geossintético.....	54
<b>Tabela 9:</b> Fatores de redução para geogrelha e geotêxtil.....	55
<b>Tabela 10:</b> Fator de redução em função do tipo de polímero. ....	55
<b>Tabela 11:</b> Peso específico dos solos. ....	59
<b>Tabela 12:</b> Detalhamento do custo unitário gabião. ....	88
<b>Tabela 13:</b> Detalhamento do custo unitário da geogrelha. ....	89
<b>Tabela 14:</b> Planilha custo x Altura .....	89
<b>Tabela 15 :</b> Planilha de Custos.....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS

- A.C -Antes de Cristo
- Km – Quilômetro ;
- KN/m -Quilo Newton por metro;
- M – Metro
- Pol. – Polegada
- N/mm<sup>2</sup> -Newton por Milímetro Quadrado
- Mpa – Mega-Pascal;
- g/cm<sup>2</sup> - Grama por centímetro quadrado;
- g/m<sup>2</sup> - Grama por metro quadrado;
- Kpa – Quilo-Pascal;
- Mm – Milímetro;
- Mm/min – Milímetro por minuto;
- °C – Grau centígrado;
- h -Horas
- T – Tração;
- C – Compressão;
- Kg – Quilograma;
- Cm – Centímetro;
- N – Número de golpes;
- Tf/ft<sup>2</sup> - Tonelada-força por pé quadrado;
- KN/m<sup>3</sup> - Quilo-newton por metro cúbico;

## LISTA DE SIGLAS

- IGS- International Geosynthetics Society
- DNER – Departamento Nacional de Estrada e Rodagem;
- PET – Poliéster,
- PA – Poliamida,
- PE – Polietileno,
- LDPE – Polietileno de baixa densidade,
- LLDPE – Polietileno de baixa densidade linear,
- PEAD – Polietileno de alta densidade,
- PP – Polipropileno,
- PS – Poliestireno,
- PVC – Cloreto de Polivinila,
- ECB – Copolímero de etileno com betume,
- CPE – Polietileno clorado
- NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
- GT – Geotêxteis
- GL – Geocélulas
- GN – Georredes
- GM – Geomembrana
- GCO – Geocompostos
- GG – Geogrelhas
- ASTM-Norma Americana(American Society for Testing and Materials)
- GGE – Geogrelha extrudada
- GGB – Geogrelha soldada
- GGW – Geogrelha Tecida
- U.V- Ultra Violeta
- PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
- CEN – Comissão Européia de Normatização
- TC- Comissões Técnicas
- ISO- International Organization for Standardization

- Ph- Potencial Hidrogeniônico;
- CFGG-NF -Norma Francesa
- SPT- Standart Penetration Test
- NSPT- Number Standart Penetration Test
- TPU- Tabela de Preços Unitários

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\eta_{gt}$  - Densidade relativa dos polímeros ou porosidade;
- $Ma$  – Gramatura;
- $Tgt$  – Espessura do Geossintético;
- $\rho_f$  – Densidade do Filamento;
- $\gamma_a$  – Massa específica da água;
- $Tmáx$  - Tensão máxima a tração;
- $Ff$  - Coeficiente redutor por fluência;
- $Fi$  - Fator relativo a danos mecânicos;
- $Fe$  - Fator relativo as incertezas estatísticas;
- $Fd$  – Danos Mecânicos;
- $Fenv / Fa$  – Efeitos do meio ambiente;
- $Fm$  – Material de Reforço;
- $\Phi$  – Angulo de Atrito Interno do Solo;
- $\gamma_a$  – Peso Especifico do Solo;
- $FStomb$  – Coeficiente de Segurança para Tombamento;
- $Mres$  – Momento de Resistência;
- $Msolic$  – Momento Solicitante;
- $FSglobal$  – Coeficiente de Segurança para Estabilidade Global;
- $\sum Mresist$  – Somatória dos Momentos de resistência;
- $\sum Minstabilizantes$  – Somatória dos Momentos Instabilizantes;
- $FSdesl$  – Coeficiente de Segurança para Deslizamento;
- $\sum Fresist$  – Somatória dos Esforços Resistentes;
- $\sum Fsolicitante$  – Somatória dos Esforços Solicitantes.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. JUSTIFICATIVA.....	17
3. OBJETIVO.....	17
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
4.1. HISTÓRICO DOS GEOSSINTÉTICOS.....	17
4.2. REFORÇO DE SOLO E CONTENÇÕES.....	22
4.2.1. TERRA ARMADA.....	23
4.2.2. MURO DE GRAVIDADE .....	24
4.2.1. MURO DE FLEXÃO .....	25
4.2.2. GABIÃO .....	26
4.2.2.1. GABIÃO TIPO CAIXA:.....	27
4.2.3. GEOSSINTÉTICOS .....	28
4.3. PRINCIPAIS TIPOS DE GEOSSÍNTÉTICO.....	28
4.3.1. GEOTEXTÊIS .....	30
4.3.2. GEOCÉLULAS – GL .....	32
4.3.3. GEORREDES – GN.....	33
4.3.4. GEOMEMBRANAS - GM .....	33
4.3.5. GEOCOMPOSTOS - GCO.....	34
4.3.6. GEOGRELHAS – GG.....	35
4.4. FUNÇÕES E APLICAÇÕES DOS GEOSSÍNTÉTICOS.....	37
4.4.4. REFORÇO DE SOLO: .....	38
4.4.4.1 DRENAGEM .....	38
4.4.4.2 FILTRAÇÃO:.....	38
4.4.4.3 SEPARAÇÃO:.....	38

4.4.4.4	BARREIRAS: .....	39
4.4.4.5	CONTROLE DE EROÇÃO SUPERFICIAL: .....	39
4.5	FABRICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS (POLÍMEROS).....	41
4.6	PROPRIEDADES DOS GEOSSINTÉTICOS .....	44
4.6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	45
4.6.2	PROPRIEDADES FÍSICAS:.....	45
4.6.2.1	MASSA POR UNIDADE DE AREA:.....	45
4.6.2.2	ESPESSURA: .....	46
4.6.2.3	DENSIDADE RELATIVA DOS POLÍMEROS OU POROSIDADE [NGT] (%): 46	
4.6.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS:.....	46
4.6.3.1	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO.....	47
4.6.3.2	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO POR PUNCIONAMENTO:.....	47
4.6.3.3	FLUÊNCIA: .....	48
4.7	PROPRIEDADES PARA O DIMENSIONAMENTO.....	49
4.8	CARACTERÍSTICAS DOS FATORES DE REDUÇÃO .....	50
4.8.1.1	FATOR DE REDUÇÃO A FLUÊNCIA.....	50
4.8.1.2	FATOR DE REDUÇÃO DEVIDO A DEGRADAÇÃO DO MEIO AMBIENTE.....	50
4.8.1.3	REDUTOR DEVIDO A FATORES MECÂNICOS.....	52
4.8.1.4	FATOR DE REDUÇÃO POR EMENDAS.....	53
4.9	ESTUDO DA GEOGRELHA.....	56
4.10	ANÁLISE DO SOLO.....	58
4.10.1	ANÁLISE DE ESTABILIDADE INTERNA E EXTERNA.....	61
4.10.2	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS.....	64
4.11	FACEAMENTO DE MUROS E CONTENÇÃO.....	64

4.11.1	AUTO ENVELOPAMENTO.....	65
4.11.2	BLOCOS SEGMENTAIS.....	65
4.11.3	PAINÉIS MODULARES .....	66
4.11.4	GABIÃO .....	67
4.12	MURO VERDE.....	68
5	METODOLOGIA.....	69
5.1	DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO .....	69
5.1.1	MURO EM GABIÃO .....	69
5.1.2	PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO.....	70
5.1.3	REFORÇO COM GEOGRELHA.....	78
5.1.3.1	INTERFACE E PARÂMETROS DO MACSTAR 2000.....	79
5.2	CUSTOS E COMPARATIVOS ENTRE AS SOLUÇÕES.....	85
5.2.1	PLANILHA DE CUSTOS E QUANTITATIVOS.....	88
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
7	BIBLIOGRAFIA.....	93

# 1.INTRODUÇÃO

O uso de geossintéticos na área da construção civil vem se destacando por sua variedade de aplicações, trazendo consigo características para solucionar problemas referentes a contenções de solos, estruturação de pontos instáveis, drenagem, etc.

Comparando os geossintéticos a modelos de contenções tradicionais pode-se dizer que os geossintéticos são os facilitadores dos processos, atuando de forma mais rápida com maior qualidade e dependendo do porte da obra, até mais econômico.

De acordo com Palmeira (2018), geossintéticos podem ser caracterizados como uma estrutura polimérica ou fibrosa capaz de conter taludes instáveis, permitir a drenagem em locais que não permitem acúmulo de água e também servindo para o direcionamento das águas pluviais evitando assim possíveis erosões no ambiente, tudo isso graças a sua estruturação ser resistente ao tracionamento. Sua formulação possui baixa influência de carga sobre o solo a ser contido graças as características de materiais poliméricos, que possuem peso próprio bem menor quando comparado á outros métodos construtivos como por exemplo os de alvenaria, onde o mesmo incide num nível maior de sobrecarga, dessa forma os geossintéticos não sobrecarregam as contenções mas somente desempenham sua função de suportar as estruturas.

Há hoje no mercado diversos tipos de geossintéticos e cada um possui sua função específica ou mais indicada para cada tipo de empreendimento. Os mais utilizados são: geotêxteis, geogrelhas, geomembranas, georredes etc.

Aborda-se uma síntese sobre os tipos, funções e utilizações de geossintéticos, porém dá-se maior ênfase às geogrelhas que são o foco de nosso estudo e, portanto trataremos um maior detalhamento sobre sua utilização.

## **2.JUSTIFICATIVA**

O presente trabalho é mais uma ferramenta de pesquisa dentro engenharia civil, que norteia a escolha entre duas contenções para um mesmo objetivo, através do comparativo de uma contenção projetada com gabião e outra com o geossintético. Todas as análises apresentadas são baseadas nos projetos desenvolvidos neste trabalho.

Tais soluções possuem contribuição direta para obras onde será necessária a estruturação de aterros, seja para aumentar a área útil de um terreno, ou nos projetos de rodovias e pavimentação, onde pode haver uma grande movimentação de terra em sua execução.

## **3.OBJETIVO**

Tem como objetivo, o comparativo de custos entre dois sistemas de contenção, um utilizando geossintético, especificamente as geogrelhas, uma tecnologia relativamente nova e em expansão, e outro o gabião, método mais utilizado para tal fim.

Através de projetos distintos, porém com o mesmo fim, atendendo as especificações de cada método, neste caso os comparativos são aplicados nos custos de material e mão de obra e a execução propriamente dita, chegando à conclusão do que é mais viável nos dois aspectos que foram estudados.

## **4.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. HISTÓRICO DOS GEOSSINTÉTICOS**

Os geossintéticos podem ser considerados uma tecnologia recente na construção civil, mas na história da civilização, a ideia de reforçar o solo para suportar cargas vem de muito antes. Há mais de três mil anos os babilônios usavam técnicas de reforço de solo na construção de zigurates. Também na África e sul da Ásia se usavam fibras de diferentes materiais, como bambu, juta, cana, cânhamo, para reforçar e construir muros de terra.

O uso de materiais sintéticos na indústria têxtil só se deu após o desenvolvimento de alguns polímeros ao longo do início do século XX, como o Policloreto, em 1913, o Poliéster e a Poliamida em 1930, o Polietileno em 1949, sendo todos produzidos comercialmente somente anos depois. (VERTEMATTI et al, 2015)

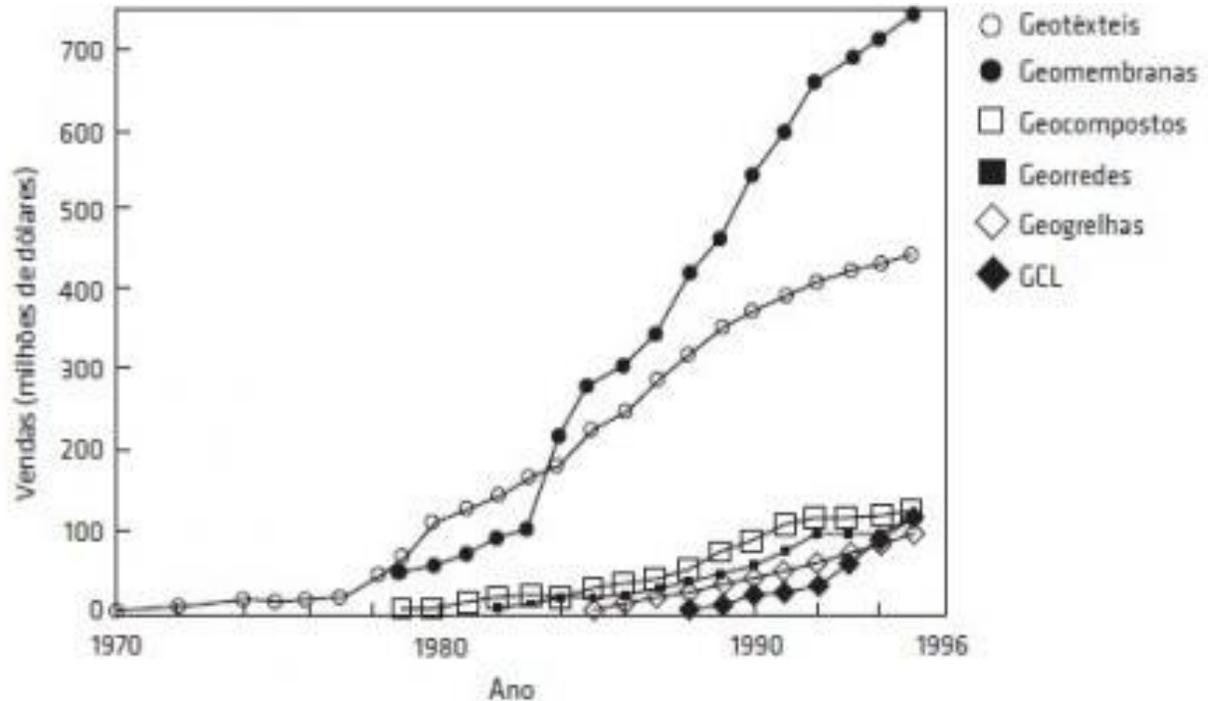
Os pioneiros no conceito de geossintético como conhecemos foi o Departamento de Rodovias da Carolina do Sul (South Carolina Highways Department), que durante os anos de 1926 a 1935 conduziu uma série de ensaios de campo usando fibras de algodão tratado com asfalto para reforçar e proteger um trecho de solo. O resultado mostrou que as rodovias estavam em boas condições e as fibras reduziram rachaduras e falhas localizadas. Embora os resultados fossem impressionantes para a época, a técnica não foi difundida devido a entrada do concreto reforçado no mercado. (MAITY et al, 2017)

Segundo Maity, em 2017, o engenheiro francês Henri Vidal patenteou o que chamou de Terra Armada, muito utilizada até hoje, e que, apesar de não ser geossintético, introduziu a técnica de melhoramento das propriedades mecânicas do solo por meio da adição de reforços.

A década de 70 foi importante para os geossintéticos, com a crescente aplicação camadas de reforço em grandes taludes e aterros, e seu uso para prolongar a vida útil de rodovias e ferrovias. Nessa época também surgiu a primeira fábrica de geotêxtil não tecido no Brasil; vários grupos técnicos foram criados ao redor do mundo para desenvolvimento de normas. Em 1977 foi realizada a “International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics”, na França, que introduziu muitos novos usuários ao campo de geossintéticos, e conectou muitas companhias, universidades e engenheiros que já vinham estudando os materiais. Nesta conferência foram introduzidos os termos Geotêxtil e Geomembrana pela primeira vez pelo pelo engenheiro J. P. Giroud. (VERTEMATTI et al, 2015).

A figura 01 mostra o crescimento das vendas de geossintéticos de 1970 a 1996.

**Figura 1:** Crescimento de vendas de alguns tipos de geossintéticos a partir dos anos 70.



**Fonte:** Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente (Ed.Oficina de Textos).

Em 1982 e 1986 aconteceram a segunda e terceira edição da conferência de geossintéticos, chamada de “International Conference of Geotextiles”, na qual os geotêxteis se tornaram o padrão de estudo. Em 1983 foi criado a IGS, “International Society on Geotextiles”. Na época começou a se utilizar geossintéticos na recuperação de áreas poluídas e na construção de obras de contenção e proteção ambiental. Ainda nos anos 80 foi executada no Brasil a primeira obra de grande porte com reforço de solo, na rodovia que liga Taubaté a São José dos Campos (VERTEMATTI et al, 2015).

Esta obra, realizada na rodovia Floriano Rodrigues Pinheiro (SP-123), altura do Km 35, rodovia que liga Taubaté a São José dos Campos, no Vale do Paraíba, aconteceu em 1986, e consiste em um talude de solo reforçado com geossintético, com o objetivo de recuperar um talude que se rompeu com as fortes chuvas. A altura total do declive era de 30 metros e sua largura era de aproximadamente 50 metros, porém somente parte dela foi reforçada. O talude reforçado tinha 10 metros de altura e a base de reforço

aproximadamente 50 metros. Para reforçar camadas de 60 centímetros de altura por 7 metros de comprimento foi usado não-tecido poliéster de 22kN/m em metade muro e tecido de polipropileno de 22kN/m na outra metade. Nos pontos críticos o recalque ficou dentro do esperado e a obra foi considerada um sucesso, abrindo caminho para essa tecnologia no Brasil. (Disponível em: <https://www.geosynthetica.net.br/primeiro-talude-de-solo-reforcado-com-geossinteticos-brasileiro-completa-30-anos/>. Acesso em: Ago, 2019)

Na década de 90 surgiram muitos produtos diferentes dentro dos geossintéticos, que até então se enquadravam apenas em geotêxteis e geomembranas, foi então criado o termo “Geossintético” para designar toda essa gama de produtos (VERTEMATTI et al, 2015). Em 1997 foi fundada a Associação Internacional de Geossintéticos (IGS) no Brasil, que até 2012 contava com mais de 150 associados por todo o Brasil (Fonte: IGS Brasil).

Na década de 90 surgiram muitos produtos diferentes dentro dos geossintéticos, que até então se enquadravam apenas em geotêxteis e geomembranas, foi então criado o termo “Geossintético” para designar toda essa gama de produtos (VERTEMATTI et al, 2015). Em 1997 foi fundada a Associação Internacional de Geossintéticos (IGS) no Brasil, que até 2012 contava com mais de 150 associados por todo o Brasil (Fonte: IGS Brasil).

A tabela 01 mostra algumas das principais obras com utilização de geossintéticos que ocorreram no Brasil, no período de 1971 a 2002;

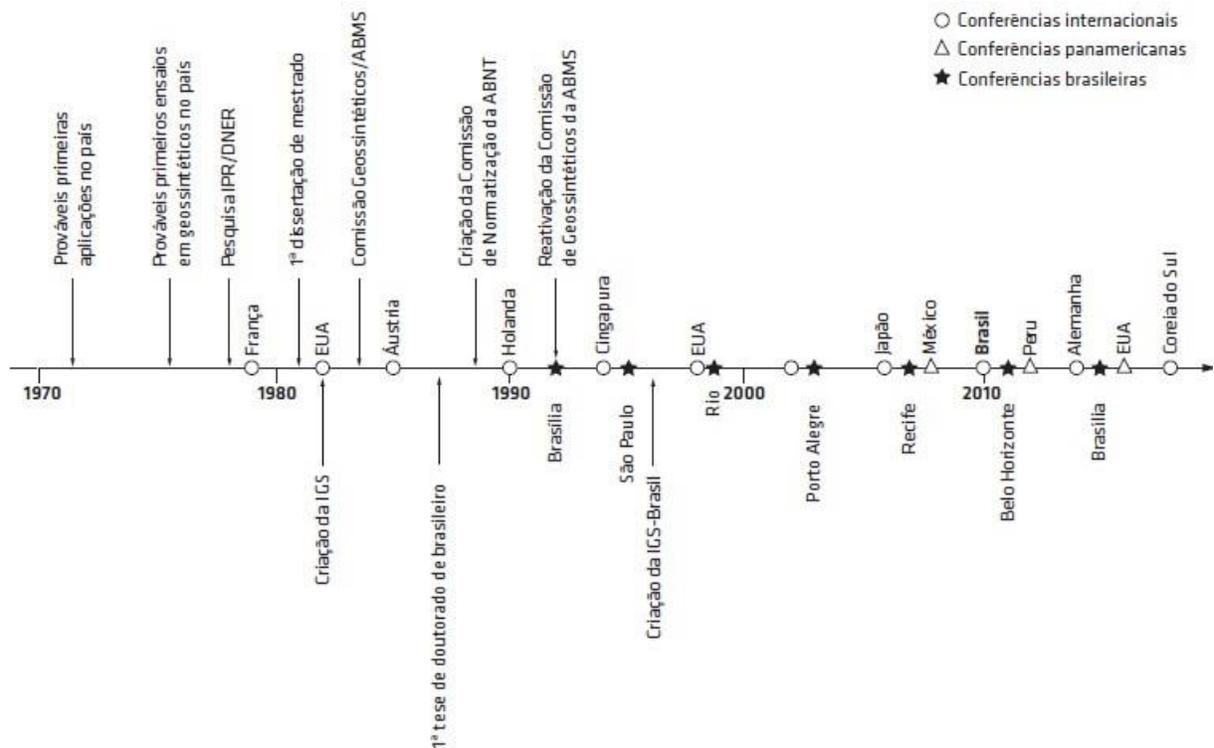
**Tabela 1:** Principais obras em território nacional que aconteceram entre 1971 e 2002.

Aplicação	Data	Local	Detalhamento/Nome da obra/Contratante
Aterro sobre solo mole	1971	Angra dos Reis (RJ)	Camada de separação e reforço na BR-101; Rodovia Rio-Santos; DNER
Drenagem profunda	1975	Araraquara (SP)	Drenos longitudinais profundos em silo horizontal enterrado; Ceagesp
Enrocamentos marítimos	1977	Angra dos Reis (RJ)	Contenção de aterro mecânico; Terminal de ilha grande; Petrobrás
Barragem de terra	1978	Bagé (RS)	Tapete drenante da barragem de terra de Sanga Rasa
Diques contínuos de geotêxtil	1980	São Luís (MA)	Aterros hidráulicos para construção de conjuntos habitacionais; DNOS
Revestimento impermeabilizante	1980	Salvador (BA)	Canal do sistema de adução de Pedra do Cavalo
Lastro ferroviário	1981	São Paulo (SP)	Camada separadora entre o lastro e o subleito; Fepasa
Recapeamento asfáltico	1982	Campinas (SP)	Camada inibidora da reflexão de trincas SP-65; Rodovia D. Pedro I; Dersa
Revestimento impermeabilizante	1983	São Luís (MA)	Tanque de resíduos industriais; Alcoa
Revestimento impermeabilizante	1997	Sorocaba (SP)	Tanque de água de incêndio; Copenor
Revestimento impermeabilizante	2002	Itiquira (MT)	Canais de adução da UHE, de Itiquira
Revestimento impermeabilizante	2002	Barcarena (PA)	Bacias de deposição de rejeitos da Alunorte

**Fonte:** Vertematti(2004, p.6).

A figura 02 mostra os principais eventos envolvendo geossintéticos no mundo, de 1970 a 2010.

**Figura 2: Principais Eventos sobre Geossintéticos.**



**Fonte:** Palmeira, 2018.

Com o aumento do interesse do mercado brasileiro nos geossintéticos, em 2001 deu-se início a elaboração do Manual Brasileiro de Geossintéticos, lançado após três anos de desenvolvimento, e em 2015 foi lançada a segunda edição do Manual, atualizada com as novas tecnologias desenvolvidas ao longo desses 10 anos. (VERTEMATTI et al, 2015).

#### **4.2. REFORÇO DE SOLO E CONTENÇÕES**

Segundo SIEIRA (2003), uma forma de aumentar a resistência do solo é incluir componentes que trabalhem de maneira estrutural no maciço terroso, para tanto é utilizada a técnica de reforço de solos, que se aplica na adição de elementos, que podem ser de material natural, sintético ou metálico; permitindo, em obras de terra, a melhoria do comportamento global da área reforçada.

Conforme exposto por Wheeler (1996), os solos têm boa resistência à compressão, porém baixa resistência à tração, com a aplicação do método de reforço de solo em um maciço de terra, sob tensões laterais obtemos maior resistência a deformabilidade por conta da ampliação dos esforços de tração do componente de reforço (Apud, SIEIRA, 2003).

Ao longo do tempo, novas necessidades foram surgindo, construções mais pesadas e elaboradas, os terrenos com solos melhores foram sendo consumidos pelas edificações, restando apenas aqueles que não comportam certas estruturas. A alternativa para viabilizar projetos foi atacar a cerne do problema, o solo. Com os avanços da tecnologia na construção civil, foram surgindo diversas técnicas diferentes de reforço de solo, com suas vantagens e desvantagens e aplicações específicas, visando melhorar as características construtivas do solo. Algumas das técnicas mais comuns para reforço estão apresentadas a seguir:

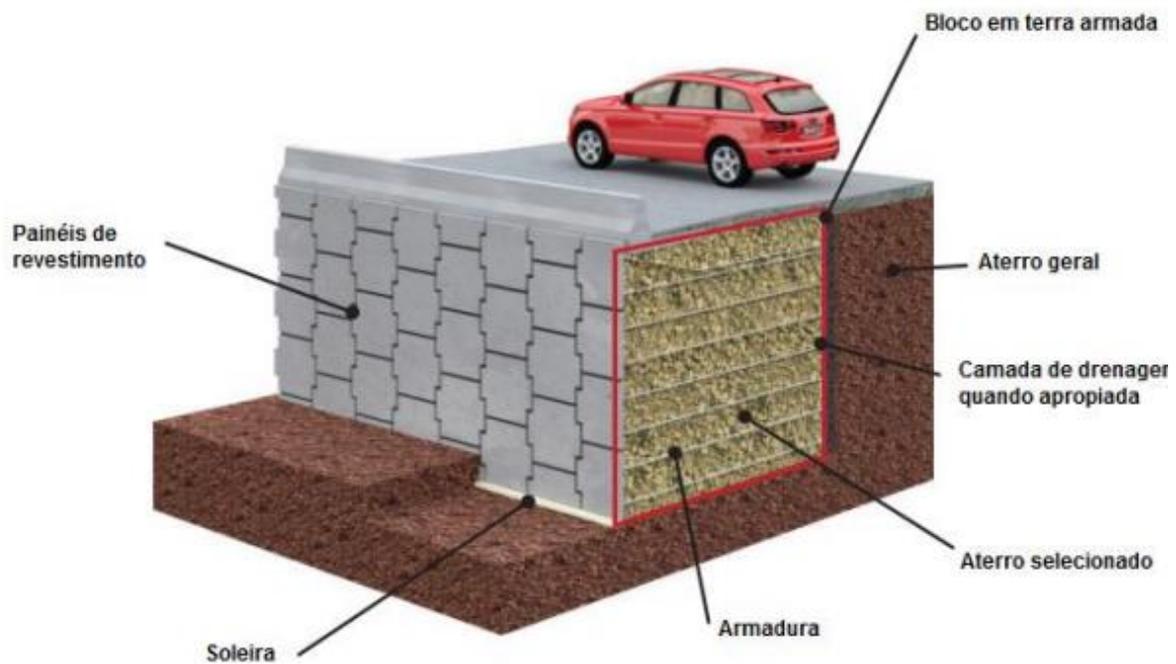
#### **4.2.1. TERRA ARMADA**

Esta técnica de reforço de solo é uma das mais comuns quando se trata de estabilização em taludes, muito usada em auto-estradas, no meio urbano e regiões montanhosas. Fitas metálicas são colocadas entre as camadas do aterro, para dar estabilidade e criar atrito entre o solo e o reforço, costumam ter no comprimento cerca de 70% da altura do talude; estas fitas são ligadas as placas pré-moldadas de concreto, que apesar de não possuírem função estrutural, impedem instabilizações locais e erosão da face.

Sistema construtivo que age de modo flexível juntamente com elementos lineares que contribuem para suportar e distribuir as tensões do solo, aumentando a capacidade de resistência do solo, agindo como uma estrutura monolítica graças a distribuição de esforços dos elementos de amarração. Em sua face devem ser inseridas placas pré-moldadas denominadas escamas para sustentar o maciço e dispor a fixação das fitas. (Catalogo de terra armada da empresa Engerground. Disponível em: [http://engeground.com.br/catalogos/terra\\_armada.pdf](http://engeground.com.br/catalogos/terra_armada.pdf). Acesso em Setembro, 2019).

A figura 3 mostra os elementos que compõem o sistema de contenção de terra armada.

**Figura 3:** Elementos do Sistema de Terra Armada



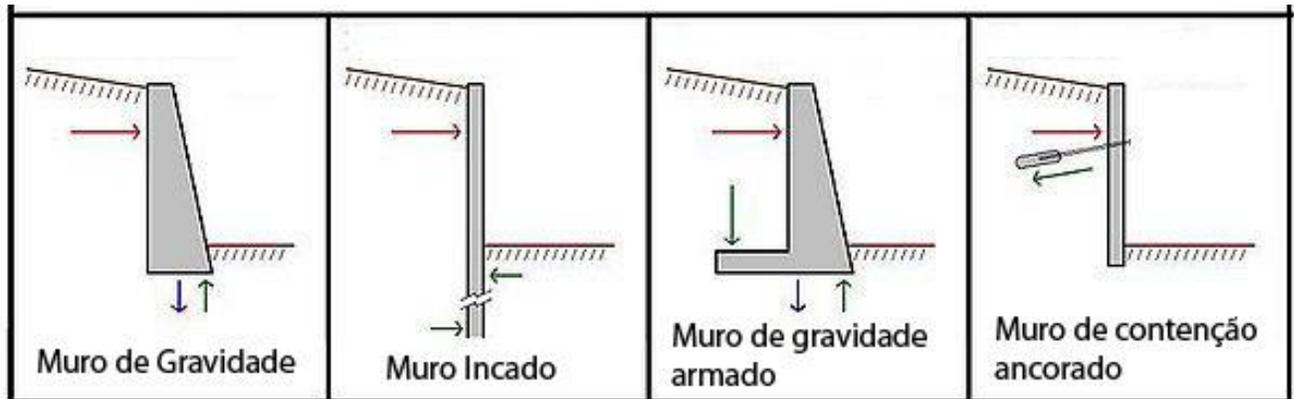
**Fonte:** Adaptado de Terre Armeé (2014)

#### **4.2.2. MURO DE GRAVIDADE**

Muros de gravidade são aqueles que utilizam o peso próprio para garantir a contenção e estabilidade de taludes, normalmente utilizado em pequenos desníveis. Podem ser de concreto simples, concreto ciclópico, ou com pedras, argamassadas ou não. (Clube do concreto (2013) Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br>. Acesso em Setembro, 2019)

A figura 4 apresenta alguns tipos de muro à gravidade.

**Figura 4:** Principais tipos de muro à gravidade.



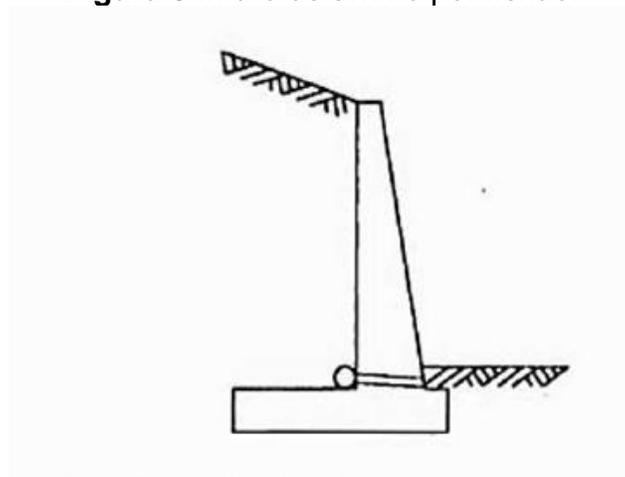
**Fonte:** Clube do concreto (2013) Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br>. Acesso em Setembro, 2019.

#### 4.2.1. MURO DE FLEXÃO

São muros de arrimo, normalmente em formato de "L" que resistem aos empuxos da terra por flexão, utilizando o peso do próprio maciço de terra para manter-se em equilíbrio. Normalmente são feitos em concreto armado, porém se tornam inviáveis para alturas acima de 5 a 7 metros. (Clube do concreto (2013) Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br>. Acesso em Setembro, 2019)

A figura 5 mostra um exemplo de muro de arrimo por flexão.

**Figura 5 :** Muro de arrimo por flexão.



**Fonte:** Fundações - Teoria e Prática (2009)

#### **4.2.2. GABIÃO**

Os gabiões são um dentre os diversos tipos de materiais utilizados para contenção de solo, este em particular muito utilizado no Brasil devido sua vantagem financeira quando comparada com outras soluções, como suas vantagens técnicas que não são encontradas nas outras soluções. (Figura 6)

Esta solução de muro de arrimo apesar de ser muito difundida e ter sua primeira utilização ter disso na Itália na década de XIX, começou a ser utilizada ativamente no país a partir da década de 70, se tornando nos presentes dias uma das soluções mais utilizadas, com obras por toda extensão do país. (Barros, 2010)

Essas contenções podem ser utilizadas em estabilização de taludes, obras hidráulicas e viárias, além de outras diversas áreas.

Devido a grande preocupação ambiental para que as obras de construção civil, uma das grandes responsáveis por geração de resíduos, tenham menos impacto ambiental, os gabiões se encaixam bem neste quesito, pois possuem baixo impacto no meio ambiente durante sua construção tanto quanto durante seu período útil de obra. (Barros, 2010)

Apesar de no início os muros do tipo gabião parecerem menos eficientes economicamente do que o muro de concreto ciclópico por exemplo, segundo Barros (2010), se a estrutura for executada corretamente, os muros gabiões devido sua flexibilidade estrutural e rigidez de componentes, se adaptam melhor a recalques e acomodações do solo sem perda de eficiência.

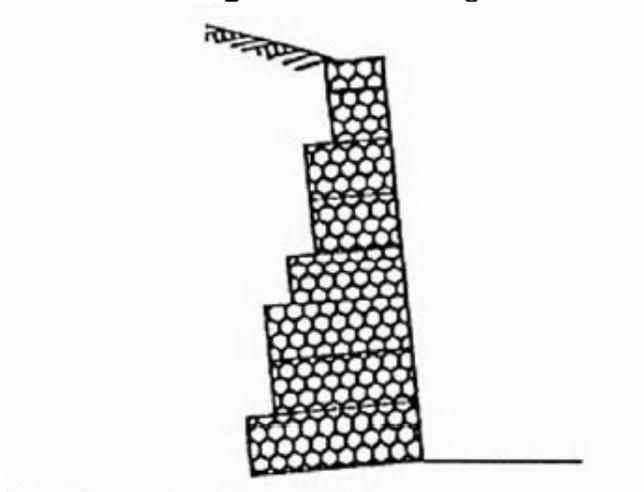
Segundo Barros (2010) gabiões são elementos modulares, com formas variadas, confeccionados a partir de telas metálicas em malha hexagonal de dupla torção que, preenchidos com pedras de granulometria adequada e costurados juntos, formam estruturas destinadas à solução de problemas geotécnicos, hidráulicos e de controle de erosão.

Todas as unidades são unidas entre si por meio de um arame de amarração fazendo com que a estrutura seja monolítica.

Todas as unidades são unidas entre si por meio de um arame de amarração fazendo com que a estrutura seja monolítica.

Os muros de gabião são constituídos por gaiolas metálicas preenchidas com pedras arrumadas manualmente e construídas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal com dupla torção. As dimensões usuais dos gabiões são: comprimento de 2m e seção transversal quadrada com 1m de aresta. No caso de muros de grande altura, gabiões mais baixos (altura = 0,5m), que apresentam maior rigidez e resistência, devem ser posicionados nas camadas inferiores, onde as tensões de compressão são mais significativas. Para muros muito longos, gabiões com comprimento de até 4m podem ser utilizados para agilizar a construção (Gerscovich, 2009).

**Figura 6:** Muro de gabião.



**Fonte:** Fundações - Teoria e Prática (2009).

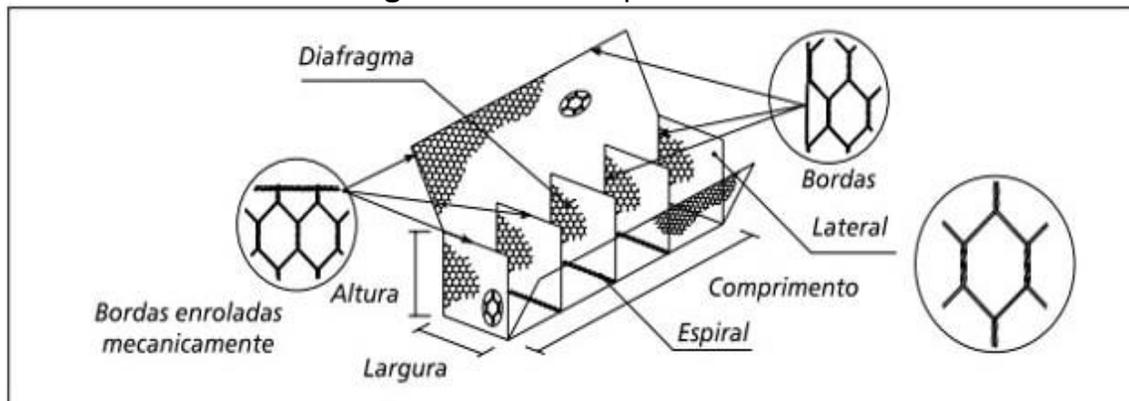
#### **4.2.2.1. GABIÃO TIPO CAIXA:**

O gabião tipo caixa é uma estrutura metálica, em forma de paralelepípedo, produzida a partir de um único pano de malha hexagonal de dupla torção, que forma a base, a tampa e as paredes frontal e traseira. A este plano base são unidos, durante a fabricação, painéis que formarão as duas paredes das extremidades e os diafragmas. Depois de retirado do fardo, cada elemento deve ser completamente desdobrado e montado em obra, assumindo a forma de um paralelepípedo. E posteriormente transportado e instalado, conforme definido em projeto e amarrado ainda vazio, aos gabiões adjacentes. (Barros, 2010)

Deve ser preenchido com material pétreo, com diâmetro médio nunca inferior à menor dimensão da malha hexagonal.

A rede, em malha hexagonal de dupla torção, é produzida com arames de aço com baixo teor de carbono, revestidos com uma liga de zinco, alumínio (5%) e terras raras (Revestimento Galvanizado) que confere proteção contra corrosão. (Barros, 2010). A figura 7 exemplifica um gabião do tipo caixa.

**Figura 7:** Gabião tipo caixa.



**Fonte:** Catálogo Macaferri.

#### **4.2.3. GEOSSINTÉTICOS**

Os geossintéticos, apesar de terem aplicações em outras áreas, sua principal utilização é como elemento de reforço, função que tem gerado maior crescimento nas aplicações e na oferta de novos tipos de geossintéticos. Como elemento de reforço, pode atuar em reforço de solo moles, muros e taludes reforçados, reforços em fundações, aterro sobre cavidades e reforço de base de pavimentos. Mais a frente neste trabalho serão apresentados os principais tipos, assim como suas aplicações.

#### **4.3. PRINCIPAIS TIPOS DE GEOSSINTÉTICO**

Segundo o Instituto Brasileiro de Geossintéticos (disponível em <https://igsbrasil.org.br/os-geossinteticos>. Acesso em Março, 2019), os diversos tipos de geossintéticos podem ser classificados de acordo com o tipo de material de fabricação e sua aplicação. Estes são alguns dos diversos e mais comuns tipos de geossintéticos

encontrados no mercado: geotêxteis, geogrelhas, georredes, geomembranas, geocompostos, geocompostos argilosos, geotubos, geocélulas, geoexpandido.

A tabela 2 apresenta os principais tipo de geossinteticos presentes hoje no mercado, assim como suas funções.

**Tabela 2:** Tipo e função dos geossintéticos.

Tipo	Função						
	Reforço	Separação	Drenagem	Filtração	Barreira	Proteção	Outra
Geoblocos							✓ (1)
Geocélulas	✓					✓	✓ (2)
Geocompostos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Geocontêineres			✓			✓	✓
Geofôrma			✓			✓	✓ (2;9)
Geodrenos			✓	✓			
Geoespaçadores			✓				
Geofibras	✓						
Geogrelhas	✓						✓ (3)
Geomantas						✓	✓ (4)
Geomembranas		✓			✓	✓	
Georredes			✓				
Geotêxteis	✓	✓	✓	✓	✓ (5)	✓	✓ (3;5)
Geotiras	✓						
Geotubos			✓				
EKG(8)			✓				✓ (7)
Tubos Geotêxteis			✓			✓	✓ (8;9)

Notas:(1)Material de preenchimento ou aterros de baixa densidade e redução de pressões sobre estruturas de contenção;(2)Estrutura de contenção,quando empilhadas convenientemente;(3)Confinamento de material granular em colunas granulares;(4)Dependendo do produto,fixação para favorecimento de germinação de sementes;(5)se o geotêxtil não tecido impenhado por asfalto,como barreira capilar ou barreira para sedimentos;(6)camada de aderência /interface entre materiais;(7)melhoria e descontaminação de terrenos;(8)drenos eletrocínéticos;(9)estruturas de contenção favorecimento ou restauração de habitat marinhos naturais,alteração de características hidráulicas(geração ou desvio de ondas,por exemplo)

**Fonte:** (Adaptado de Palmeira ,2018).

Ferreira Gomes (2001) diz que relacionado aos materiais da composição das fibras, temos os naturais e químicos. As fibras naturais (algodão, lã, seda, linho) raramente são usados devido a baixa durabilidade por serem biodegradáveis. As fibras de polímeros sintéticos são as mais utilizadas, dentre elas o poliéster (PET) e o polipropileno.

Em seu texto, Ferreira Gomes (2001) também cita outros tipos de materiais utilizados também.

A designação dos polímeros sintéticos bem como a sigla pela qual muitas vezes são conhecidos, são as seguintes:

- PET – Polyester,
- PA – Poliamida,
- PE – Polietileno,
- LDPE – Polietileno de baixa densidade,
- LLDPE – Polietileno de baixa densidade linear,
- PEAD – Polietileno de alta densidade,
- PP – Polipropileno,
- PS – Poliestireno,
- PVC – Cloreto de Polivinila,
- ECB – Copolímero de etileno com betume, e
- CPE – Polietileno clorado.

Os três últimos materiais sintéticos (PVC, ECB e CPE), só são usados para fabricação de geomembranas. (Ferreira Gomes, 2001)

A NBR 12553 nos define a terminologia, abreviações e características básicas da seguinte forma:

#### **4.3.1. GEOTEXTÊIS**

Na família dos geossintéticos, os geotêxteis são os que contêm uma gama maior de utilizações, são produtos têxteis flexíveis que apresentam boa capacidade de drenagem e reforço. (Ferreira Gomes, 2001)

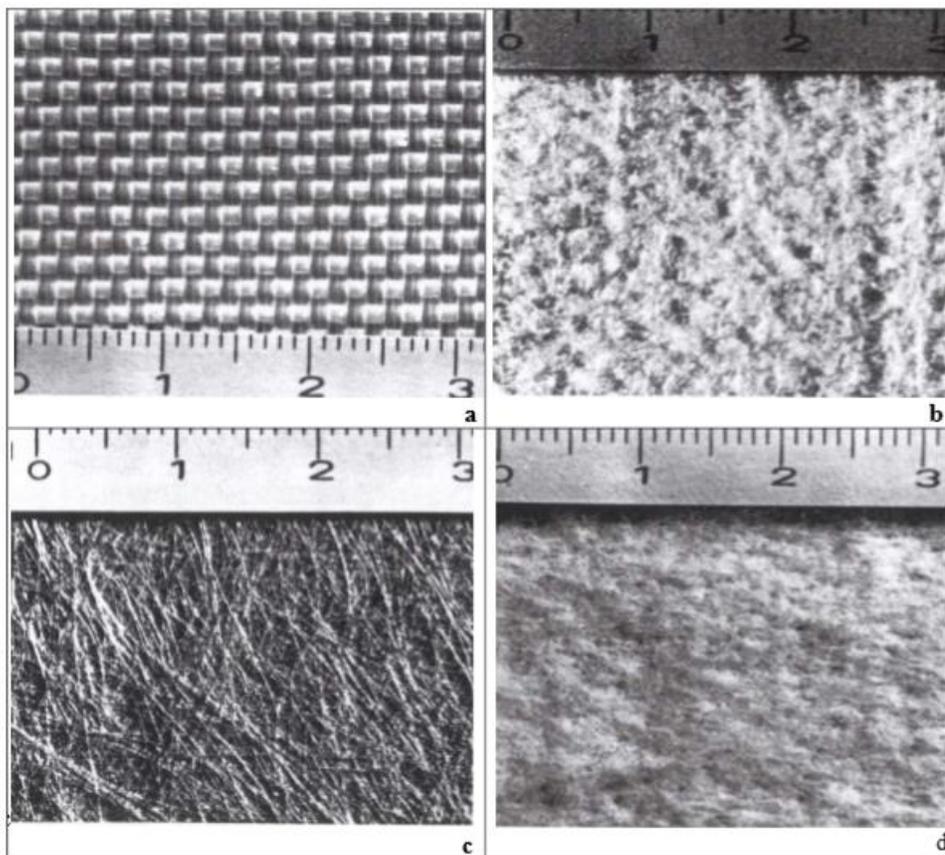
Segundo Ferreira Gomes, podemos dividir os geotêxteis em dois grandes grupos, dependendo do arranjo estrutural das suas fibras: tecidos e não-tecidos. Nos geotêxteis tecidos, obtém-se a malha através de fios ou filamentos entrelaçados direcionalmente com máquinas têxteis convencionais. Nos geotêxteis não-tecidos, as fibras podem ser interligadas de forma direcional ou aleatória dependendo do processo da qual é feita.

Esse interligamento pode ser um processo mecânico com agulhas (agulhagem), processo térmico, por pressão e temperatura de dois rolos aquecidos (termo ligado), processo químico utilizando resina ou emulsões (resinado).

Segundo Ferreira Gomes (2001, p. 11) “Além das principais categorias de geotêxteis, há ainda outros tipos, tais como, os geotêxteis tricotados, os tecidos de bandas largas, os geotêxteis alveolares, os geotêxteis acolchoados e outros”.

A figura 8 mostra detalhes dos diferentes tipos de ligações dos geotêxteis.

**Figura 8:** Diferentes tipos de geotêxteis: a) geotêxtil tecido, b) geotêxtil não tecido ligado quimicamente, c) geotêxtil não tecido ligado termicamente, e c) geotêxtil não tecido ligado mecanicamente (por agulhagem).



**Fonte:** Adaptado de Palmeira (2018).

#### 4.3.2. GEOCÉLULAS – GL

As geocélulas se assemelham as geogrelhas, porém enquanto as geogrelhas são bidimensionais, as geocélulas são estruturas tridimensionais. (Leonardo Meneses, 2004)

Leonardo Meneses (2004) define as geocélulas como estruturas tridimensionais constituídas de um conjunto de células interligadas que se assemelham aos favos de uma colmeia. Desenvolvida inicialmente para uso militar, na década de 70, utilizada para rápida construção de estradas para pouso e decolagem em regiões desérticas ou praianas. Foi rapidamente assimilada para fins civis e logo comercializada.

A figura 9 mostra um exemplo de aplicação de geocélula.

**Figura 9:** Exemplo de geocélula sendo aplicada.



**Fonte:** Macaferri (2018).

#### **4.3.3. GEORREDES – GN**

Normalmente são encontradas em formato de redes losangulares de uma ou mais camadas, e costumam ser utilizadas para conduzir grandes vazões de fluidos por possuir grande porosidades. (VERTEMATTI et al, 2015).

A figura 9 mostra um exemplo de aplicação de georrede.

**Figura 10:** Modelo de Georrede



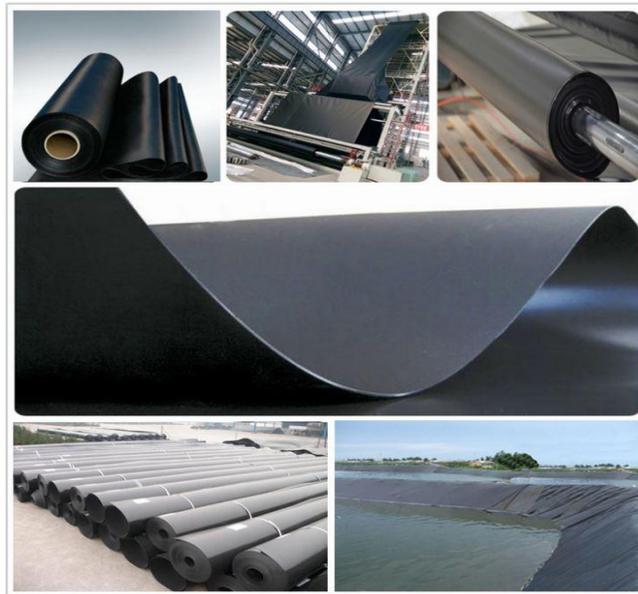
**Fonte:** Website Tegape. Disponível em: <http://www.tegape.com.br>. Acesso em setembro, 2019.

#### **4.3.4 GEOMEMBRANAS - GM**

São mantas ininterruptas e sempre flexíveis, encontradas em vários tipos de material sintético, ao contrário das georredes, as geomembranas tem baixa permeabilidade e são utilizadas para conter fluidos diversos. (VERTEMATTI et al, 2015).

A figura 11 apresenta um modelo de geomembrana.

**Figura 11:** Modelo de Geomembrana.



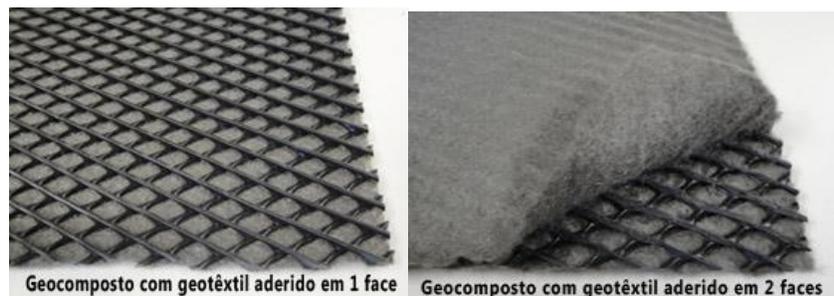
**Fonte:** Website Fggeogrid. (Disponível em: <http://www.fggeogrid.com> . Acesso em Setembro, 2019)

#### 4.3.5 GEOCOMPOSTOS - GCO

Como o próprio nome sugere, os geocompostos, são mescla, entre dois ou mais tipos de geossintéticos, que tem o fim de atingir mais de um objetivo, ou simplesmente potencializar a aplicação principal, como por exemplo, as georredes que tem a função de conduzir fluidos e precisa resistir quando o solo está saturado e por sua vez acaba aplicando mais carga no material. (VERTEMATTI et al, 2015).

A figura 12 mostra um modelo de geocomposto.

**Figura 12:** Modelo de Geocomposto juntamente ao geotêxtil.



**Fonte:** Geofoco Brasil. Disponível em: <http://geofoco.com.br/o-que-sao-geocompostos/> . Acesso em setembro, 2019.

#### 4.3.6 GEOGRELHAS – GG

Geogrelhas são estruturas em forma de grelha, que, apesar de parecidas com o geotêxtil, normalmente são mais rígidas e possuem grande aberturas em sua malha, permitindo o travamento do solo através das mesmas. As primeiras geogrelhas foram fabricadas na Inglaterra, pela Netlon, e posteriormente levada para os EUA pela Tensar. (VERTEMATTI et al, 2015).

A figura 13 mostra um tipo de geogrelha.

**Figura 13:** Modelo de geogrelha



**Fonte:** Website Fixsolo. Disponível em:

[www.fixsolo.com.br/produtos/geogrelhas/fortrac](http://www.fixsolo.com.br/produtos/geogrelhas/fortrac). Acesso em Setembro, 2019

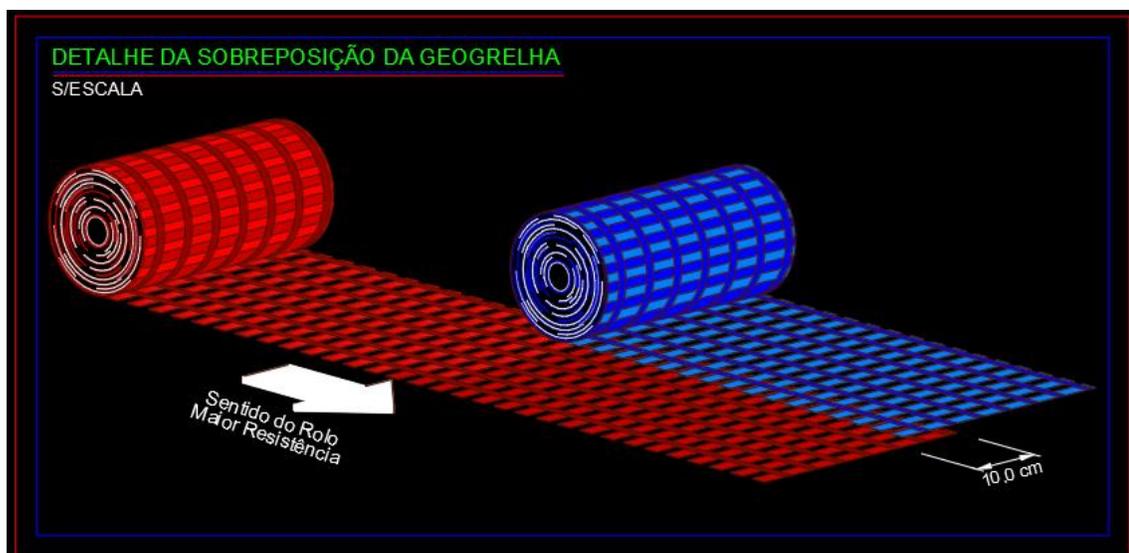
Segundo Sidnei Teixeira (2013), existe uma propensão em se padronizar as terminologias dos geossintéticos e, portanto das geogrelhas. Conforme a NBR ISO 10318-A (2018) a geogrelha pode ser definida como “estrutura polimérica plana, constituída por uma malha aberta e regular de elementos de tração completamente conectados, que podem ser unidos por extrusão, solda ou “interlooping” ou entrelaçamento, e cujas aberturas são maiores que os elementos constituintes”

Os principais polímeros utilizados são o polietileno de alta densidade (PEAD), poliéster (PET) e Polipropileno (PP).

De acordo com Palmeira (2018), as geogrelhas apresentam anisotropia, propriedade em que o material demonstra maior resistência a certo tipo de esforço em uma certa direção. A Geogrelha apresenta anisotropia de resistência e rigidez a tração nas direções normal e paralela ao eixo do rolo. As uniaxiais apresentam esta anisotropia em uma direção maior que a outra, normalmente a direção normal e paralela ao eixo, já as biaxiais apresentam valores próximos de resistência em ambas direções.

A figura 14 apresenta um detalhe da sobreposição de geogrelha e sentido de aplicação da malha.

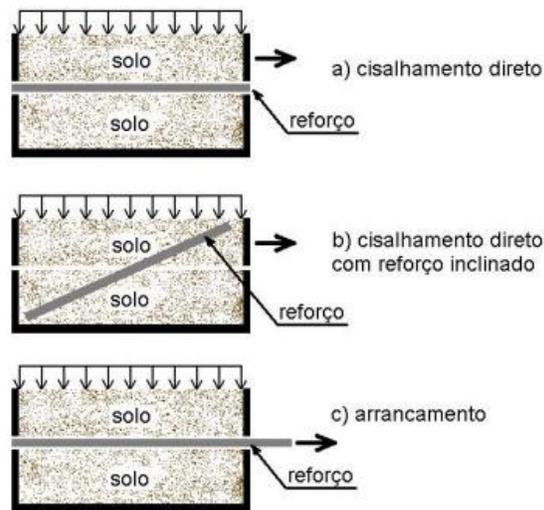
**Figura 14:** Detalhes de sobreposição da geogrelha.



**Fonte:** Beton Geotech.

Para uma melhor análise quanto a disposição das geogrelhas devemos utilizar de alguns parâmetros de testes, dentre eles usualmente utilizam-se o Método de Ensaio de Cisalhamento Direto e o Ensaio de Arrancamento, como mostrado na figura 15.

**Figura 15:** Métodos de Ensaio de Cisalhamento Direto e Arrancamento.



**Fonte:** Ingold (1984).

O ensaio de arrancamento consiste basicamente da análise da perda de aderência entre solo e geogrelha decorrente do tracionamento do material. Ensaio este que depende da qualidade do solo onde abrangem aspectos tais como sua granulometria. Dessa forma obtemos uma relação em que quanto maior for seu confinamento, maior será a resistência de arrancamento.

Ensaio de cisalhamento direto: Uma adaptação do modelo tradicional do cisalhamento. Consiste em aplicar uma carga sobre o solo e assim analisar o comportamento da geogrelha. Para isso usa-se dois métodos de análise: o de caixa livre e o de caixa fixa.

Para o de caixa fixa o material é alocado ou colado sobre uma base rígida, seja ela de madeira ou metal, e assim utilizando o carregamento para demonstrar o comportamento da malha. No método de caixa livre as duas faces acima e abaixo da geogrelha são dispostas com solo e assim executada a análise.

#### **4.4 FUNÇÕES E APLICAÇÕES DOS GEOSSÍNTÉTICOS**

Os geossintéticos são aprimorados desde sua origem, segundo Vertematti, em 1950 as aplicações começaram a ser diversificadas, além do reforço de solo em contenções e fundações, mas a drenagem, filtração, barreiras, proteção, separação entre

matérias, controle de erosão superficial e outras finalidades, devido a grande diversidade dos formatos e materiais empregados em sua fabricação. Seguem as funções na atualidade.

#### **4.4.4 REFORÇO DE SOLO:**

É a mais antiga popular entre as diversas funções dos geossintéticos e a colocação de múltiplas telas com intervalos regulares entre as camadas de uma contenção, proporcionando o aumento considerável de resistência mecânica dos solos. (VERTEMATTI et al, 2015).

##### **4.4.4.1 DRENAGEM**

Segundo o Instituto Brasileiro de Geossintéticos (disponível em <https://igsbrasil.org.br/os-geossinteticos>. Acesso em Março, 2019), é a coleta para condução de águas subterrâneas ou pluviais e outros fluidos no plano de um geotêxtil. Um exemplo prático, são os drenos de taludes e muros de contenção, também pode ser utilizado para acelerar a consolidação de solos moles em aterros e fundações.

##### **4.4.4.2 FILTRAÇÃO:**

Basicamente serve para retenção de um solo ou partículas que estão submetidas a esforços hidromecânicos, permitindo somente a passagem do fluido desejado, agindo semelhantemente a um filtro de área. (VERTEMATTI et al, 2015).

##### **4.4.4.3 SEPARAÇÃO:**

Quando se tem dois materiais com uma distribuição de partículas diferentes, que não podem ser misturados, usa-se uma camada de geotêxtil, como em camadas antes do subleito de estradas pavimentadas, onde o material mole anterior pode se misturar alterando o peso específico de projeto, trazendo deformação pavimento. (VERTEMATTI et al, 2015).

#### **4.4.4.4 BARREIRAS:**

Diferente da filtração, a utilização do geotêxtil neste caso serve para impedir ou limitar a migração de fluidos entre as camadas de solo. Um excelente exemplo é utilizado em aterros sanitários, onde o solo que recebe os dejetos não pode ser contaminado pelo mesmo. (VERTEMATTI et al, 2015).

#### **4.4.4.5 CONTROLE DE EROSÃO SUPERFICIAL:**

O uso dos geossintéticos neste caso é para evitar ou limitar o movimento do solo advindo de fluidos que transitam sobre o mesmo causando um processo de erosão, o exemplo mais comum é das enxurradas de água pluvial que podem movimentar taludes e encostas.

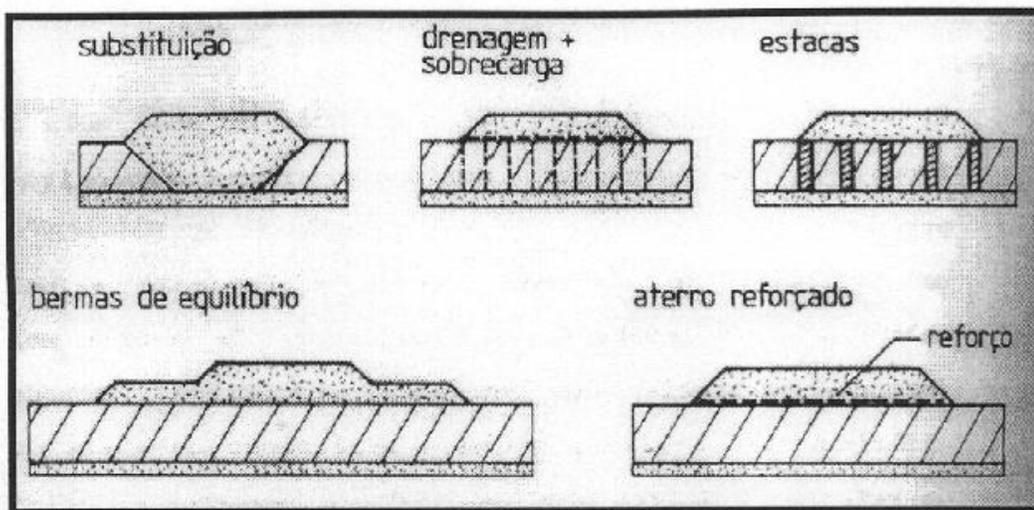
PALMEIRA (2018) divide aplicação de geossintéticos nos seguintes tópicos:

- Geossintéticos em reforço de obras viárias;
- Geossintéticos em aterros sobre solos moles;
- Contenções e taludes íngremes reforçados com geossintéticos;
- Fundações diretas em aterros reforçados com geossintéticos;
- Solos reforçados com fibras;
- Reforço de aterros sobre vazios.

A aplicação de geossintéticos em obras viárias é realizada para evitar trincas ao longo da pavimentação, compreendendo em um sistema anti-reflexão de trincas, reforço e separação de base e impermeabilização; proporcionando ampliação da vida útil do pavimento. O sistema de anti-reflexão de trincas é construído com uso de geotêxteis com betume, compondo uma camada que encaminha a direção das trincas para horizontal, fazendo com que reduza o crescimento/desenvolvimento das trincas. No reforço de base, os geotêxteis contribuem para redução da espessura do material utilizado na pavimentação, resultando na diminuição dos custos da obra, neste caso os geossintéticos também favorecem a resistência mecânica do pavimento, pode-se utilizar as geogrelhas e geocélulas no reforço do solo para pavimentação. (GARCEZ, 1999)

No caso de aterros sobre solos moles, além da utilização de geossintéticos para reforço do solo, também há a aplicação de elementos geossintéticos formando um sistema drenante, como podemos observar na figura a seguir (Figura 16). Os drenos farão trabalho de acelerar os recalques, ao passo água é lançada para fora do solo o recalque vai se atenuando até que o maciço atinja estabilidade. A importância da utilização do geossintético tanto como reforço quanto como sistema drenante é justamente garantir estabilidade (interna e externa) do aterro para evitar ruptura. (GARCEZ, 1999)

**Figura 16:** Métodos usuais para construção de aterros sobre solos moles.



**Fonte:** (PALMEIRA, 1992) \*Apud GARCEZ, 1999.

Para aterros em solos moles os geossintéticos mais utilizados são os geotêxteis e as geogrelhas. (VERTEMATTI et al, 2015).

Conforme exposto por SIERA (2003), construir taludes íngremes com geossintéticos garante redistribuição das tensões e controle das deformações, além de reduzir o volume de solo aterrado, os taludes com geossintéticos podem ser mais íngremes. Para este tipo de obra utiliza-se as geogrelhas (poliméricas), as quais exercem o papel de ancoragem e transmissão de carga pela interação por atrito com o solo, têm como grande característica baixa deformabilidade e alta resistência à tração.

FABRIN (1999), mostra que a utilização de geossintéticos em fundações diretas implica no aumento da capacidade de carga da fundação reforçada, para tanto para o cálculo do dimensionamento é avaliado o número de camadas do geossintético, o comprimento de ancoragem e a distância entre as camadas. Para aplicação de reforço na fundação os passos construtivos são: escavação, escoramento dos taludes da vala, colocação dos reforços, instalação da estrutura da fundação, reaterro da vala e por fim preenchimento da estrutura.

#### **4.5 FABRICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS (POLÍMEROS)**

As possibilidades de utilização dos polímeros geossintéticos em projetos de engenharia são inúmeras, podendo desempenhar funções de filtragem, drenagem, separação, proteção, reforço e estanqueidade. Além de exercer funções essenciais, sua grande utilização vem por conta de suas vantagens financeira, alta disponibilidade, facilidade de execução em obra e além do baixo impacto ambiental (Neves, 2003).

Apesar de suas enormes vantagens, assim como qualquer outro composto suas propriedades não foram feitas para desempenhar certas funções. O principal fator que interfere nos tipos de atividades que serão atribuídas para aquele tipo de composto, são seus materiais constituintes (polímeros e aditivos) tanto quanto o processo de fabricação do geossintético. Vale ressaltar que as propriedades de cada geossintético podem ser alteradas de acordo com intempéries que o material está sujeito quando instalado na obra. Tais quais podem ser, efeitos da fluência/relaxação, das radiações UV, da hidrólise e dos ataques químicos e biológicos (Neves, 2003).

Segundo Giroud (1990), citado por Palmeira (1992), o dimensionamento de cada solução a ser utilizada, depende diretamente da forma como o geossintético foi fabricado, pois assim como dito antes, este processo de criação é o que determina as características do material. Neste sentido torna-se de extrema importância ter o conhecimento dos polímeros e suas características para que se tenha o dimensionamento correto e mais financeiramente viável.

Segundo Vidal (1992), a maioria dos geossintéticos são constituídos de termoplásticos. Os termoplásticos são materiais de natureza orgânica que possuem a característica de amolecer e endurecer de acordo com a temperatura ao qual estão

submetidos (Figura 17). Tais materiais tem como composição polímeros obtidos a partir do carvão e do petróleo cujo monômero base é uma molécula de carbono e hidrogénio e, às vezes, nitrogênio e cloro.

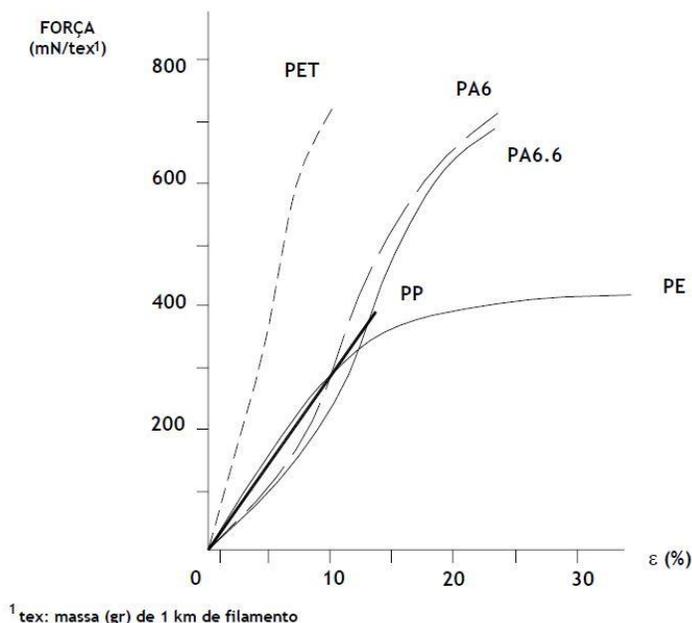
A tabela 03 mostra algumas das propriedades dos polímeros mais utilizados.

**Tabela 3:** Propriedades dos polímeros (adaptado. Pilarczyk, 2000).

POLÍMERO CONSTITUIENTE	MASSA ESPECÍFICA kg/m <sup>3</sup>	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO N/mm <sup>2</sup>	MÓDULO DE ELASTICIDADE N/mm <sup>2</sup>	DEFORMAÇÃO NA CEDÊNCIA %
PET	1380	800-1200	12000-18000	8-15
PP	900	400-600	2000-5000	10-40
PET	PEBD	80-250	200-1200	20-80
	PEAD	350-600	600-6000	10-45
PA	1140	700-900	3000-4000	15-30
PVC	1250	20-50	10-100	50-150

**Fonte:** (adaptado. Pilarczyk, 2000).

**Figura 17:** Curva de força por deformação de filamentos dos polímeros



**Fonte:** (adaptado. Pilarczyk, 2000).

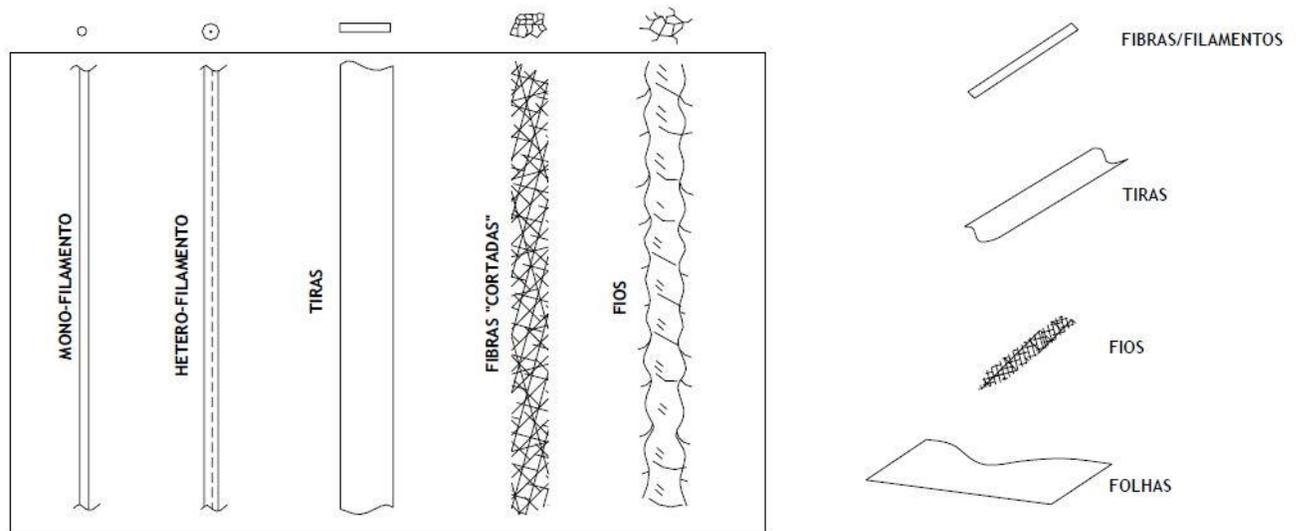
Da análise da tabela 3 e da figura 17 concluiu-se que o poliéster é o polímero mais resistente e menos deformável, logo seguido das poliamidas. O polipropileno e o polietileno de alta densidade apresentam idênticas características de resistência e

deformação. Por sua vez, o polivinílico de cloro é o polímero menos resistente e o mais deformável. É, no entanto, de realçar a elevada gama de variação dos valores das propriedades para um dado polímero (Neves, 2003).

A primeira fase de fabricação dos geossintéticos constitui na produção dos polímeros que compõem o mesmo na forma esférica ou granular.

A segunda fase consiste na produção dos componentes dos geossintéticos. Neste estágio de fabricação o polímero é derretido (podendo juntar-se aditivos com o objetivo de melhorar determinadas propriedades, sobretudo as relacionadas com a durabilidade) obtendo-se por extrusão ou fiação contínua os seguintes componentes mais comuns: filamento contínuo circular, tira plana contínua, fios e folha ou película (Figura 18).

**Figura 18:** Componentes do Geossintéticos.



**Fonte:** Lopes(1992)

Segundo Luciana Paiva das Neves, a título de exemplo os aditivos que possuem tanta importância na formação dos polímeros, estão os estabilizadores de viscosidade, que controlam o grau de polimerização durante o processo de fabricação; os inibidores

de envelhecimento, para proteção contra a degradação resultante da exposição à luz solar ou por termo oxidação; e os corantes.

A terceira e última fase de fabricação, é a transformação desses materiais no produto final que será utilizado em obra.

As geogrelhas são os compostos mais utilizados nos reforços de contenção, por este motivo o agrupamento e formação será focado neste tipo de geossintético.

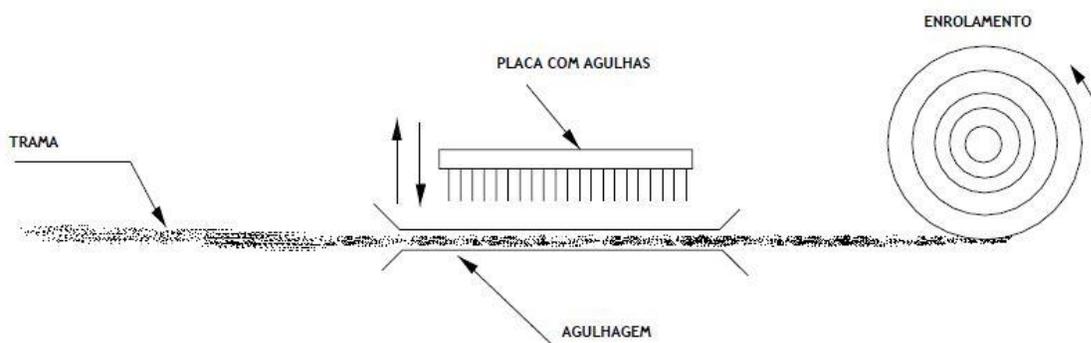
Os processos mais utilizados para a junção dos filamentos do geossintético é dado por forma mecânica, térmica ou química.

A ligação térmica é obtida através de aquecimento. Pelo fato dos compostos terem diferentes origens e materiais, uma das formas de liga-los é através da fusão, aquecendo e fundindo os materiais no ponto de contato o que os torna termo ligados.

A ligação química é conseguida por adição de um ligante químico (resina sintética, por exemplo). Neste caso, os produtos obtidos são chamados de geotêxteis não tecidos ligados quimicamente.

Por muitas vezes o processo de junção dos filamentos dos geossintéticos se dá pela forma mecânica chamada agulhagem. (Figura 19)

**Figura 19:**Esquema de ligação mecânica por agulhagem de geotêxteis não tecidos.



Fonte: (Lopes, 1992 e 1998).

#### 4.6 PROPRIEDADES DOS GEOSSINTÉTICOS

#### **4.6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Para que qualquer material usado na construção civil, e, execute uma determinada tarefa de maneira satisfatória, devem ser considerados diversos aspectos como, o tempo útil da obra, a que tipo de manuseamento irá estar exposta, a forma de instalação etc., através desse conhecimento e domínio das propriedades pode se desenvolver uma aplicação mais eficiente.

O fato dos geossintéticos estarem sendo usados em um grande número de obras ser recente e seu crescimento ter acontecido de forma rápida, as normatizações para seus ensaios não acompanharam o mesmo ritmo tendo cada país seguido de forma separada. (Oficina de Textos, 2018)

O comportamento do material está diretamente relacionado com as condições de ensaio ao qual são submetidos, por este fato podemos obter resultados diferentes dependendo da localidade do laboratório executor do ensaio.

Com o intuito de normatizar e acabar com esses problemas a Comissão Europeia de Normalização (CEN) criou em 1989 as Comissões Técnicas (TC) TC189 e JWG TC189/TC254. Estes visam não só a harmonização dos ensaios, como também as propriedades gerais para diversas aplicações desses materiais (Barroso e Lopes, 1997).

#### **4.6.2 PROPRIEDADES FÍSICAS:**

As propriedades físicas dos geossintéticos são definidas a partir dos ensaios em laboratório e independem das condições de uso. As principais propriedades físicas dos geossintéticos, dentre eles as geogrelhas, são a massa por unidade de área, a espessura e a densidade relativa dos polímeros que os compõem (Neves, 2003).

##### **4.6.2.1 MASSA POR UNIDADE DE AREA:**

Massa por unidade de área é um indicador do quão bem estruturado é o geossintético. Os valores usuais desta unidade estão na faixa de 100 g/cm<sup>2</sup> e 300g/cm<sup>2</sup> para os geotêxteis tecidos, 100 e 400g/m<sup>2</sup> para os não tecidos e entre 200g/m<sup>2</sup> e 1000g/m<sup>2</sup> para geogrelhas (ISO 9864/88).

#### 4.6.2.2 ESPESSURA:

Segundo a norma internacional ISO 9863/88 e brasileira NBR 12569/92, a espessura nominal medida em mm, a uma dada pressão, são as distâncias entre o ponto superior e inferior do material.

Em um âmbito geral, é considerada uma pressão de 2kPa. Os valores atuais normalmente estão na faixa de 0,2 e 5mm para geotêxteis não tecidos e 0,2 e 1,5mm para os tecidos.

As relações entre a espessura e a pressão define a compressibilidade destes materiais, o que afeta diretamente os comportamentos hidráulicos e mecânicos.

#### 4.6.2.3 DENSIDADE RELATIVA DOS POLÍMEROS OU POROSIDADE [NGT] (%):

Normalmente definida em função da gramatura ( $M_A$ ) e da espessura ( $L_{GT}$ ) do geossintético, da densidade do filamento ( $\rho_f$ ) e da massa específica da água a 4°C ( $\gamma_a$ ), segundo a expressão (ISO 9864/88).

**Equação 1:** Densidade relativa dos polímeros ou porosidade

$$\eta_{GT} = 1 - \frac{M_A}{t_{GT} \cdot \rho_f \cdot \gamma_a} \quad (1)$$

#### 4.6.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS:

Em todas as fases da obra, o geossintético está sujeito a ação de diversos esforços mecânicos.

Durante algumas fases em especial, é necessário um olhar especial em alguns esforços, na fase de instalação são: resistência à tração, resistência à penetração e à perfuração, resistência a danos de instalação e resistência à abrasão.

E durante a vida útil da obra, os principais esforços são: resistência à tração, resistência à penetração e à perfuração, resistência ao deslizamento na interface, resistência ao arrancamento e resistência à fluência.

#### **4.6.3.1 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO**

Os modos como o geossintético reage aos esforços de tração depende de inúmeras variáveis como: tipo de polímero constituinte, estrutura, processo de fabricação, etc.

Segundo a norma brasileira (NBR12824/93) e a norma americana (ASTM D-4595), os ensaios de faixa larga que determina a resistência a tração não confinada, são realizados com corpos de prova de 200mm de largura e 100mm de comprimento, sofrendo um esforço de tração a velocidade de 200mm/min. O comprimento refere-se a distância entre duas garras nas extremidades da amostra do composto geossintético.

Vale ressaltar que norma francesa (CFGG-NF G38-014) adota largura e comprimento diferentes das normas brasileira e americana, sendo o comprimento de 100mm e a largura de 500mm, o que acarreta em valores de tração em torno de 10% superior as outras normas.

No caso das geogrelhas é necessário um estudo prévio para se definir suas dimensões representativas ótimas, isso dá por conta das geogrelhas serem em formato de malha (Yeo, 1985).

Para as geomembranas, ainda não existe um padrão específico para se realizar os ensaios. Existem duas propostas diferentes, uma delas seria a execução com corpos de prova semelhantes aos geotêxteis (ASTM, American Society for Testing and Materials) e a outra em corpos de prova em forma de alteres (AFNOR, Association Française de Normalization).

Os resultados destes ensaios de tração são obtidos pela relação entre a força por unidade de largura ( $\frac{kN}{m}$ ) e a deformação longitudinal (em %).

#### **4.6.3.2 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO POR PUNÇIONAMENTO:**

Os geossintéticos quando aplicados em obra, podem sofrer descontinuidade por conta de furos em sua malha (no caso das geogrelhas) ou também sofrer por punçionamento.

A resistência do geossintético relacionado a este fenômeno é medido através da capacidade do composto resistir a compressões diferenciais ou a choques provenientes de quedas (ISO 13433/99).

Segundos as normas ISO 12236/96 e NBR 13359/95, a resistência a punção estática é determinada utilizando-se punção tipo CBR.

Para o teste de danos de impacto é utilizado o ensaio de determinação da resistência ao punção dinâmico (ISO 13433/99).

Os parâmetros da interface solo-geossintético podem ser obtidos a partir de ensaios de cisalhamento e arrancamento diretos, a escolha depende do tipo de interação que está acontecendo para o tipo específico de utilização.

#### **4.6.3.3 FLUÊNCIA:**

A fluência reflete o comportamento elasto-viscoplástico dos geossintéticos e representa a deformação ao longo do tempo que estes materiais sofrem sob carregamento constante (CAZZUFFI et al., 1997.). Em estrutura de reforço, o geossintético sofre uma ação permanente de tração, por este motivo é de tanta importância a determinação deste fator.

Pelo fato dos materiais poliméricos estarem sujeitos a fluência, o efeito da mesma ao longo da vida útil da obra deve ser levado em conta.

Segundo Bush (1990), o nível de fluência de um material está diretamente relacionado à porcentagem de carga máxima e à temperatura em que ele se encontra.

A temperatura não possui tanta influência quando fica abaixo da temperatura de transição vítrea (cerca de +75°C para o poliéster, - 15°C para o polipropileno e -100°C para polietilenos de alta densidade). Porém quando acima desse valor, o material se torna extremamente deformável (BUSH,1990).

Algumas matérias primas são menos suscetíveis a ação da fluência, como o poliéster e a poliamida, enquanto outros como propileno e o polietileno são mais suscetíveis. Essa característica pode ser amenizada com tratamentos físico-químicos.

De acordo com a norma ISO 13431/98, para avaliação de como o composto de comporta em relação a deformação e da ruptura por fluência, são propostos alguns métodos.

Na análise de comportamento em deformação, a norma sugere aplicar 4 níveis de carga, um para cada corpo de prova, selecionados entre 5 e 60% da resistência máxima (ISO 10319/93). Medindo-se as deformações ao longo de 1000h de análise.

Para a ruptura por fluência, a norma propõe 4 níveis de carga (3 corpos para cada nível), selecionados entre 50 e 90% da resistência máxima, sendo o período de análise até que ocorra a ruptura. Os resultados de ensaios de fluência são apresentados em forma de isócronas de tensão versus deformação, ou em função do tempo para a ruptura por fluência.

#### **4.7 PROPRIEDADES PARA O DIMENSIONAMENTO.**

Para a utilização de geossintéticos em reforços algumas propriedades e características materiais devem atender para que possa se fazer uso com as devidas prevenções quanto à segurança. Podemos citar, por exemplo, em sua capacidade de resistência ao tracionamento visto que podem ser analisadas através dos ensaios de arrancamento. De modo simplificado, a estrutura do solo acrescida de um reforço geossintético deverá possuir a função de estabilização do solo a ser contido, isento da influência de fatores externos do ambiente e tornar a estrutura utilizável sem riscos à civilização.

De acordo com Palmeira (1999) o reforço deve agir para estabilizar as tensões provenientes do carregamento, atuando efetivamente de modo a garantir o equilíbrio do maciço em decorrência do tracionamento.

Baseados nas características de aplicação das geogrelhas, existem 3 parâmetros a serem considerados durante o emprego do material, que são:

**Resistência útil de longo prazo:** Onde suas características devem permanecer desde sua aplicação até a fase de serviço aplicada ao longo do tempo;

**Módulo de rigidez:** Propriedade que garanta que o material não sofrerá com a fluência decorrente dos carregamentos exercidos sobre a mesma;

**Interação do solo:** Permitir que a comunicação entre geossintético e solo se façam de modo que o atrito envolvido seja capaz de sustentar o solo sem que haja movimentações.

Como exemplo podemos citar o modelo de cálculo da tensão de projeto demonstrado por Palmeira(2018), em seu Livro "Geossintéticos em Geotecnia e Meio

Ambiente” em que ele utiliza um equacionamento simplificado para o dimensionamento de tensões de utilização da geogrelha:

$$Tp = \frac{Tmáx}{Ff*Fi*Fe} \quad (1)$$

Sendo:

*Tmáx* =tensão máxima a tração;

*Ff* =coeficiente redutor por fluência;

*Fi* =fator relativo a danos mecânicos;

*Fe* =fator relativo as incertezas estatísticas;

## **4.8 CARACTERÍSTICAS DOS FATORES DE REDUÇÃO**

### **4.8.1.1 FATOR DE REDUÇÃO A FLUÊNCIA**

Característica que o material apresenta quando submetido compressão do elemento onde ocasiona o efeito de alongamento do material. Para Prevorsek (1977), o nível de fluência está relacionada a sua estrutura molecular. O fator de redução a fluência é definido pela relação entre a carga de ruptura admissível e a carga que ocasiona ao material o efeito da fluência.

### **4.8.1.2 FATOR DE REDUÇÃO DEVIDO A DEGRADAÇÃO DO MEIO AMBIENTE**

Dependendo do tipo de ambiente, o geossintético pode sofrer mais ou menos devido a fatores climáticos e químicos, decorrente disso se faz necessário um fator de redução que minimize as incertezas em que o meio ambiente fornece.

Outro grande influenciador é a temperatura em que o material é exposto, de acordo com a norma americana ASTM D794, indica o procedimento a ser realizado diante do comportamento da amostra exposta a elevadas temperaturas. Resumidamente

o material é inserido em um forno onde a temperatura é gradualmente aumentada até o momento de ruptura do elemento, sempre permitindo para o processo, uma circulação de ar constante, avaliando assim o nível de resistência ao calor. (ASTM D 794)

A exemplo da influência dos raios solares (foto-oxidação), a norma ASTM D 4355 descreve o procedimento para ensaios, onde o geossintético é exposto à luz de lâmpadas especiais ultravioletas que simulam a radiação solar. Esse procedimento avalia a perda da resistência pela radiação.

Dependendo do tipo de material empregado, a Hidrólise também contribui para a perda de resistência. Essa reação faz quebrar as moléculas do material, enfraquecendo suas fibras decorrente da exposição em água, geralmente com o Ph alterado.

Além disso, englobado a este fator estão também envolvidos outros agentes responsáveis pela diminuição da resistência como Ph desbalanceado, presença de matéria orgânica, fungos e níveis de oxidação, etc.

Na tabela 04 o nível de resistência é exemplificado com base nos tipos de polímeros empregados.

**Tabela 4:** Resistência aos processos de degradação

		PP	PET	PEAD	PA
Degradação química	álcalis	2 a 3	1	3	2
	ácidos	3	2	3	1
Foto-oxidação	com tratamento	3	3	3	2
	sem tratamento	1	1	1	1
Hidrólise		1	0 a 1	2	1
Termo-oxidação		0	3	1	2
Degradação biológica		2	2	3	2

Legenda: 3 – resistência muito elevada 2 - elevada 1 - média 0 - baixa

**Fonte:** Azambuja (1999).

#### 4.8.1.3 REDUTOR DEVIDO A FATORES MECÂNICOS

Durante a instalação o material pode sofrer danos devidos a solos ou mesmo britas envolvidas com alta granulometria, podendo ocasionar rasgos ou mesmo perfurações no geossintético reduzindo assim seu efeito de resistência, geralmente ocorre durante a compactação, decorrente do tipo de aparelho compactador e também do tipo de solo ,podendo ser de origem mais argilosa ou siltosa, variando sua granulometria (Tabela 5). Esse redutor é definido pela razão entre a resistência original do material e a resistência do material já exposto aos danos.

**Tabela 5:** Classificação da severidade do meio exposto

Tipo de Equipamento	Aterro	Espessura da Camada		
		< 15cm	15-30cm	> 30cm
leve e rebocado	areia fina a grossa com grãos sub-arredondados	baixa	baixa	baixa
	areia e cascalho bem graduados com grãos de sub-arredondados a sub-angulares, $\phi_{max} < 75mm$	moderada	baixa	baixa
	cascalho mal graduado com grãos angulosos, $\phi_{max} < 75mm$	muito alta	alta	moderada
pesado e autopropelido	areia fina a grossa com grãos sub-arredondados	moderada	baixa	baixa
	areia e cascalho bem graduados com grãos de sub-arredondados a sub-angulares, $\phi_{max} < 75mm$	alta	moderada	baixa
	cascalho mal graduado com grãos angulosos, $\phi_{max} < 75mm$	NR	muito alta	alta

Legenda: NR = não recomendável

**Fonte:** Azambuja (1999)

Para Christopher e Holtz(1984), os geotêxteis e as geogrelhas podem ser caracterizados em três níveis de capacidade de sobrevivência ,sendo elas: baixa, moderada e alta-características essas baseadas em aspectos estruturais e mecânicos do geossintético empregado.

De forma resumida, a tabela 06 exemplifica os critérios aqui citados, onde com base em Azambuja (1994), a perda das propriedades originais está intimamente ligada ao tipo de dano e a frequência em que ele é gerado.

**Tabela 6:** Critério para classificação da capacidade de sobrevivência de geossintéticos.

Capacidade de Sobrevivência	Geotêxteis		Geogrelhas	
	Tecidos	Não tecidos	Flexíveis	Rígidas
Baixa	$M_A \leq 135$	$M_A \leq 135$		
Moderada	$135 < M_A \leq 150$	$135 < M_A \leq 200$	$T \leq 55$	$T < 55$
Alta	$M_A > 150$	$M_A > 200$	$T > 55$	$T \geq 55$

Legenda:  $M_A$  = massa por unidade de área ou gramatura ( $g/m^2$ )  
 $T$  = resistência à tração ( $kN/m^2$ )

**Fonte:** Adaptado de Azambuja (1994)

#### 4.8.1.4 FATOR DE REDUÇÃO POR EMENDAS

Devido a aplicação de materiais em que necessitem emendas, um fator de redução deve ser incluído ao dimensionamento, já que as emendas geram pontos de menor resistência. As emendas podem ser: soldadas, costuradas, travadas ou super posicionadas. Os ensaios de resistência para obtenção deste fator podem ser obtidos através dos procedimentos existentes na norma ABNT NBR ISSO 10321(2013).

De acordo com as análises (Greenwood e Jewell,1989), podemos nos basear quanto aos fatores de reduções através de tabela abaixo, em que seus resultados foram desenvolvidos basicamente das características do material geossintético e de seu comportamento perante o solo aplicado.

**Tabela 7:** Fatores de Redução.

Danos mecânicos	$f_d$	Mínimo: 1,0 podendo aumentar para: 1,6
Efeitos do meio ambiente	$f_{env}$	Mínimo: 1,0 para pH fora do intervalo 4 a 10: *
Material de reforço	$f_m$	Não extrapolado: 1,3 extrapolação para o ciclo de 1 $\log_{10}$ : 1,5

\* a ser determinado.

**Fonte:** Adaptado de Greenwood & Jewell(1989).

Para Avezani Neto (2013), fatores essenciais a serem considerados são as características do solo e da malha geossintética, isto é, manter um padrão quanto aos parâmetros do solo e a geometria da contenção.

Abaixo estão mais alguns fatores de redução indicados para cada tipo de aplicação (Adaptado de Koerner,1998).

**Tabela 8** :Fatores de redução em função do tipo de aplicação do geossintético.

<b>Aplicação</b>	<b>Solicitação <sup>1</sup></b>	<b>F<sub>d</sub></b>	<b>F<sub>f</sub> <sup>2</sup></b>	<b>F<sub>a</sub></b>
Aterro sobre solos moles	T	1,1-2,0	2,0-3,5	1,0-2,0
Barreira de silte	T	1,1-1,5	1,5-2,5	1,0-1,7
Capacidade de Carga	T	1,1-2,0	2,0-4,0	1,0-2,0
Estruturas de retenção: Reforço	T	1,1-2,0	2,0-4,0	1,0-2,0
Estruturas de retenção: Filtros	C	----	1,5-2,0	----

**Fonte:** Adaptado de Koerner(1998)

<sup>1</sup> (T = Tração ; C = Compressão / Cisalhamento)

<sup>2</sup> (Os valores inferiores são recomendados para obras de curta duração ou obras nas quais as deformações por fluência não comprometam a funcionalidade)

Para dimensionamento específico para geogrelha e geotêxtil a empresa Macaferri através de seus estudos e baseando-se nas análises de Koerner(1998), elaborou as seguintes tabelas.(Ver tabela 9 a e 9 b)

**Tabela 9:**Fatores de redução para geogrelha e geotêxtil.

Aplicação		$f_d$	$f_f$	$f_a$
Muros e Taludes	Geotêxteis	1,1 a 2,0	2,0 a 4,0	1,0 a 2,0
	Geogrelhas	1,1 a 1,4	1,6 a 3,0	1,0 a 2,0
Aterro sobre Solo Mole	Geotêxteis	1,0 a 1,4	2,0 a 3,0	1,0 a 2,0
	Geogrelhas	1,1 a 1,4	1,6 a 3,0	1,0 a 1,8
Reforço de Fundação	Geotêxteis	1,2 a 2,0	2,0 a 4,0	1,0 a 2,0
	Geogrelhas	1,2 a 1,5	2,0 a 3,0	1,0 a 2,0
Rodovias Não-pavimentadas	Geotêxteis	1,1 a 2,0	1,1 a 2,5	1,0 a 1,8
	Geogrelhas	1,1 a 1,6	1,5 a 2,5	1,0 a 1,8

Tabela 4.1. Fatores de Redução em Função do Tipo de Aplicação para Geotêxteis e Geogrelhas (Adaptado de Koerner, 1998)

**Fonte:** Manual técnico de Reforço de solos-Macaferri, adaptado de Koerner(1998).

**Tabela 10:** Fator de redução em função do tipo de polímero.

	França		Alemanha	
	PET	PP, PE	PET	PP, PE
$f_f$	2,5	5,0	2,5	5,0
$f_d$	1,5		1,5	
$f_a^1$	1,05		2,0	
$f_e^2$	1,0		1,0	

Tabela 4.2. Fatores de Redução em Função do Tipo de Polímero (Adaptado de Vidal et al, 1999)

Legenda: PET: poliéster      PP: polipropileno      PE: polietileno  
<sup>1</sup> (sem impacto ambiental)      <sup>2</sup> (sem emendas)

**Fonte:** Manual técnico de Reforço de solos-Macaferri, adaptado de Vidal et al(1999)

Tais fatores geralmente são disponibilizados pelo fabricante ou buscados em fontes e tabelas confiáveis.

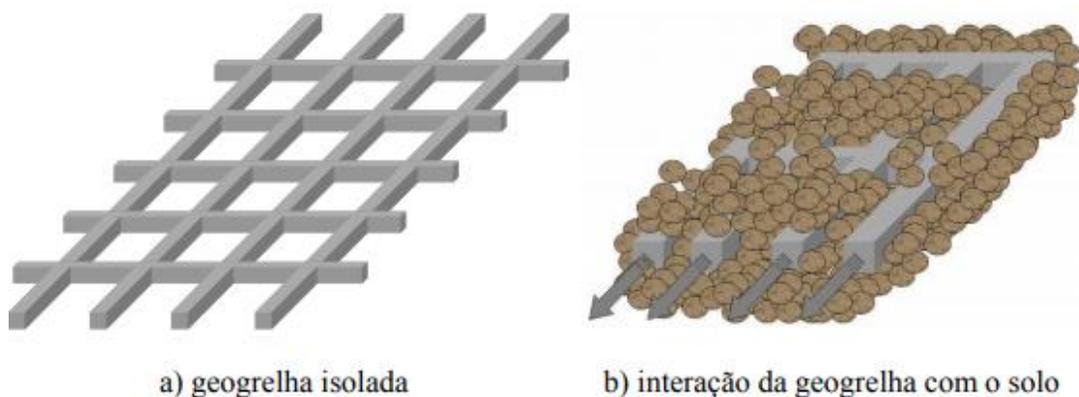
#### 4.9 ESTUDO DA GEOGRELHA

De modo a extinguir essa situação inesperada e surgindo como uma vantagem, a utilização da geogrelha dispensa esse tipo de aflição, já que a mesma pode ser utilizada em quaisquer tipos de solo, agindo como reforço estabilizando o maciço, contribuindo para que o solo trabalhe de forma monolítica, graças à boa integração solo-geogrelha (Figura 20). Este método traz uma simplificação na execução e no menor tempo gasto. Conforme exposto por SIERA (2003), construir taludes íngremes com geossintéticos garante redistribuição das tensões e controle das deformações e além de reduzir o volume de solo aterrado, os taludes com geossintéticos podem ser mais íngremes. Para este tipo de obra utiliza-se as geogrelhas (poliméricas), as quais exercem o papel de ancoragem e transmissão de carga pela interação por atrito com o solo e têm como grande característica, a baixa deformabilidade e alta resistência à tração.

Para Brugger apud Rocha (2016) as geogrelhas são mais indicadas a este tipo de finalidade por possuírem a malha mais aberta em relação a outros geossintéticos conduzindo a uma ancoragem melhor definida com o solo.

De acordo com Borges(2003) apud Souza(2016) ocorre um melhoramento na estabilidade global da estrutura de modo que os esforços são transferidos do solo para a geogrelha reduzindo assim as deformações, que em geral ocorreriam sem um reforço.

**Figura 20:** Interação geogrelha e solo



**Fonte:** Abramento(1998).

Ainda de acordo com Brugger(2016), para a construção das camadas entre solo e geogrelha podem ser considerada as seguintes alturas verticais entre camadas - a cada 30, 40, 50 cm, de modo que haja distâncias múltiplas entre camadas. Com base nas análises de Siera (2003), o aumento de camadas de reforço contribui para o aumento da resistência e rigidez do montante aplicado. De modo que a cada camada adicionada, a finalização é efetuada sobrepondo a última camada de geogrelha a uma nova camada de solo, agindo como uma amarração entre camadas, trazendo maior rigidez ao bloco, detalhe visível na figura 21.

Hoje em dia graças às geogrelhas, taludes com inclinações maiores podem ser desenvolvidos, sem trazer riscos à estabilidade da estrutura (HUESKER).

**Figura 21:** Solo reforçado com geossintético (HUESKER).



**Fonte:** (Huesker,2018).

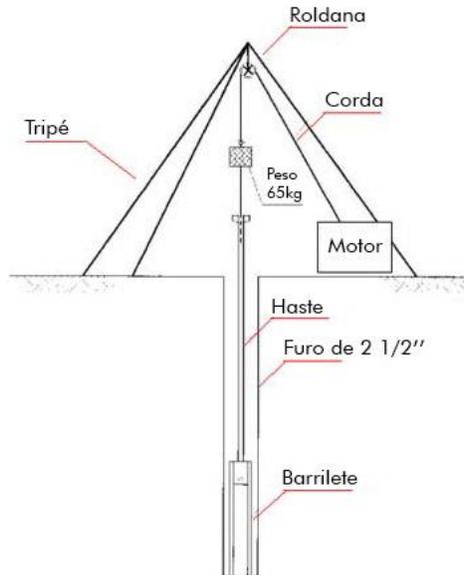
Conforme exposto por Elias et all(2001) apud Becker (2009), para a utilização da malha de geogrelha é necessária a utilização de solos mais granulares dispensando o uso de materiais muito finos para o aterro, de modo que, solos muito finos dificultam a interação entre os elementos de reforço, tornando assim uma desvantagem quanto ao uso das geogrelhas em comparação á outros métodos de contenção e reforço.

#### **4.10 ANÁLISE DO SOLO**

Para fazermos o dimensionamento dos muros de contenção de aterro, e posteriormente seu comparativo, temos que utilizar as mesmas condições para o solo e para o solo de aterro. Condições estas que, se não houver análise em laboratório para detalhamento mais específico, podem ser determinados através de métodos empíricos de cálculo.

Um parâmetro muito utilizado consiste no ensaio de SPT esquematizado na figura 22, descrito na Norma ABNT NBR 6484 (2001) que avalia as condições do solo através do método que consiste em medir o nível de dificuldade em que o amostrador sofre para o cravamento no interior do solo, que conforme Schnaid (2000) apud Welter (2014) consiste em cravar utilizando um martelo de 65 kg caindo de uma altura de 75 cm , que de modo simplificado relaciona a quantidade de golpes que o elemento precisa executar para se cravar 45 cm do amostrador, desprezando-se os primeiros 15 cm, de modo que, quanto menor o número de golpes, menos resistente se encontra o solo da região e vice-versa.

**Figura 22:** Método de ensaio SPT.



**Fonte:** Guia da Engenharia, 2018. Disponível em: [www.guiadaengenharia.com](http://www.guiadaengenharia.com). Acesso em: Nov/2019

Utilizando a correlação entre os golpes N do ensaio, podemos chegar a alguns valores das condições do solo analisado.

As condições de solo fixadas para o cálculo do comparativo são:

#### **Peso específico do solo:**

Para o peso específico, podemos utilizar a tabela desenvolvida por Godoy (1972), que são valores aproximados originados de seus estudos.

**Tabela 11:** Peso específico dos solos.

<b>N (golpes)</b>	<b>Consistência</b>	<b>Peso específico (KN/m<sup>3</sup>)</b>
≤ 2	Muito mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Média	17
11 - 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

**Fonte:** Godoy (1972)

### **Ângulo de atrito interno do solo:**

Para a estimativa do ângulo de atrito interno do solo, Godoy (1983) sugere a seguinte correlação utilizando o ensaio NSPT:

$$\Phi = 28^\circ + 0,4 \cdot N \quad (2)$$

Enquanto Teixeira (1996) utiliza:

$$\Phi = (20 \cdot N)^{1/2} + 15^\circ \quad (3)$$

### **Ângulo de inclinação do terreno adjacente:**

É o grau de inclinação do terreno adjacente a contenção.  $0^\circ$  significa que o terreno é reto, e não a influência de peso da terra além daquela em contato direto com o muro de contenção; (DPI-INPE).

### **Coesão:**

Para se estabelecer a coesão, no método empírico, Teixeira e Godoy (1996) sugerem a utilização da seguinte fórmula:

$$C = 10 \times N \text{ (KPa)} \quad (4)$$

De modo a considerar valores regionais para o solo e a experiência do professor orientador Msc. Ribamar de Jesus Gomes, temos os seguintes parâmetros adotados para solos de aterro e solo local da instalação do reforço:

### **Solo de Aterro:**

- $\gamma_a = 18 \text{ KN/m}^3$
- $\phi = 30^\circ$
- $C = 5 \text{ KPa}$

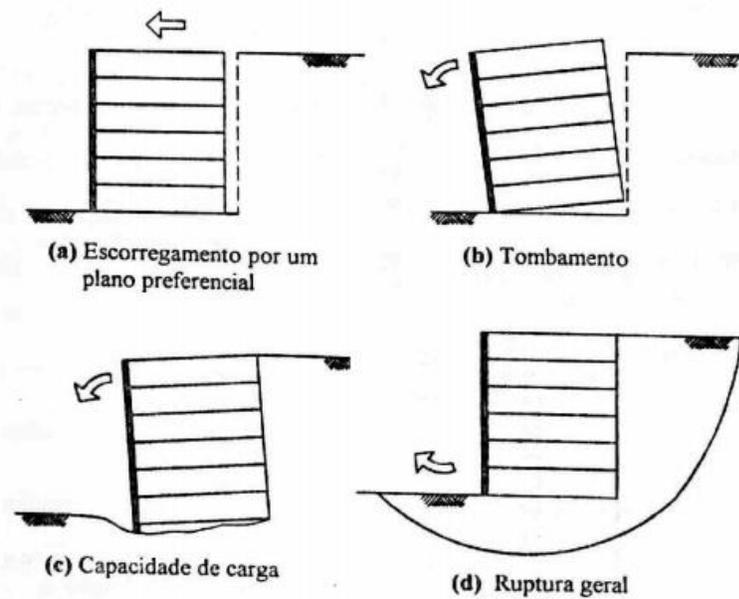
### **Solo Natural da região:**

- $\gamma_a = 15 \text{ KN/m}^3$
- $\phi = 25^\circ$
- $C = 10 \text{ KPa}$

#### 4.10.1 ANÁLISE DE ESTABILIDADE INTERNA E EXTERNA

De acordo com Plácido&Kamiji (2011) os geossintéticos são econômicos e de fácil aplicação, porém para a análise de uma estrutura de solo reforçado deve-se atentar para duas etapas: verificação da estabilidade externa e verificação da estabilidade interna. Conforme GARCEZ (1999), a estabilidade interna leva em conta a estabilidade do conjunto reforçado, considerando para o dimensionamento, a resistência à tração do geossintético, o atrito entre o solo e o elemento de reforço e também a resistência em ligações da malha geossintética. Já para verificação da estabilidade externa, para o cálculo deve-se considerar a resistência ao tombamento, a resistência ao escorregamento e a capacidade de carga da fundação, assim como exemplificado na figura 23.

**Figura 23:** Análise da estabilidade externa.

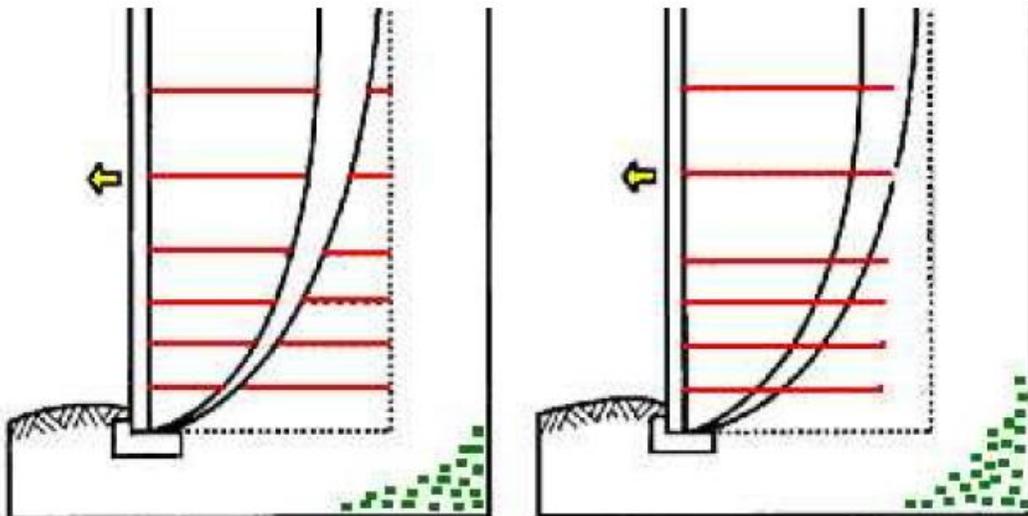


**Fonte:** (SILVA, 1996, Apud PEDROSO, 2000).

Quando o comprimento de ancoragem não é suficiente ocorre o arrancamento do geossintético. A primeira parte da figura 23 indica que não há resistência à tração ocasionando a ruptura do solo com utilização do geossintético como reforço. Já na

segunda parte o reforço suporta à tração, mesmo com uma ruptura do solo interna, não há ruptura do reforço. (SIERA, 2003).

**Figura 24:**Análise da estabilidade interna.

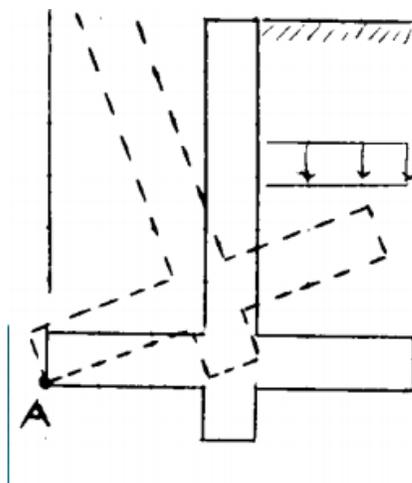


**Fonte:** (SIERA, 2003).

Através das teorias elaboradas por Rankine e Coulomb, sobre estabilidade de reforço e comportamento do solo, o software Gawacwin (MACAFERRI) executa todas as análises dispostas a fim de demonstrar os resultados através de relatórios, a viabilidade e segurança do projeto e assim correlacionando seus resultados à fatores de segurança que garantem a estabilidade do reforço, que neste caso trata-se da execução de muro de gabião. Com base em Gerscovich(2012), podemos definir os seguintes fatores de segurança: contra o tombamento, fator de estabilidade global e contra deslizamento da base, dados estes que contemplam no desenvolvimento das análises do software utilizado.

Através do equacionamento já inserido no software, que relaciona o momento resistente ao momento solicitante, foi definido o valor mínimo do fator de segurança contra tombamento (Figura 25) definido abaixo:

**Figura 25:** Movimento de tombamento de uma estrutura.



Fonte: Adaptado de Gerscovich(2012).

**Figura 26:** Coeficiente de segurança para tombamento.

$$FS_{TOMB} = \frac{M_{RES}}{M_{SOLIC}} \geq 1,5$$

**Fonte:** Adaptado de Gerscovich(2012).

Definindo então FS TOMB mínimo de projeto sendo a relação resultante em maior ou igual a 1,5 (Figura 26).

Da mesma forma, devemos analisar o fator de segurança quanto a estabilidade global do maciço demonstrado através da equação, onde relaciona a somatória dos momentos resistentes com a somatória dos momentos instabilizantes do elemento:

**Figura 27:** Coeficiente de segurança para estabilidade global.

$$FS_{\text{global}} = \frac{\sum M_{\text{resistentes}}}{\sum M_{\text{instabilizantes}}} \quad \left| \begin{array}{l} > 1,3 \text{ obras provisórias} \\ > 1,5 \text{ obras permanentes} \end{array} \right.$$

**Fonte:** Adaptado de Gerscovich(2012).

Para este fator, podemos definir dois valores de coeficientes baseados em obras provisórias e obras permanentes, sabendo-se que neste estudo a análise é feita como uma obra permanente

Por fim, porém não menos importante, define-se o fator contra o deslizamento de solo que consiste na razão entre os esforços resistentes com os esforços solicitantes:

$$FS_{\text{desl}} = \frac{(\sum F_{\text{Resist.}})}{(\sum F_{\text{solicitante}})} \geq 1,5$$

#### **4.10.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS**

Para o dimensionamento de reforço de solo em questão foram adotados como material resistente a geogrelha Mac grid da Macaferri, muito indicada para este tipo de obra, garantindo maior estabilidade e que promove boa interação entre o solo, assim dissipando suas tensões. Para o mesmo foram analisadas as condições da estrutura contra o tombamento, deslizamento e estabilidade global exposta anteriormente. As verificações foram assim apresentadas através do Software disponibilizado pela empresa Macaferri denominado Mackstar, onde através de seus comandos foram adicionados os parâmetros de solo e características geológicas, bem como a utilização do faceamento e disposição das malhas de geogrelha.

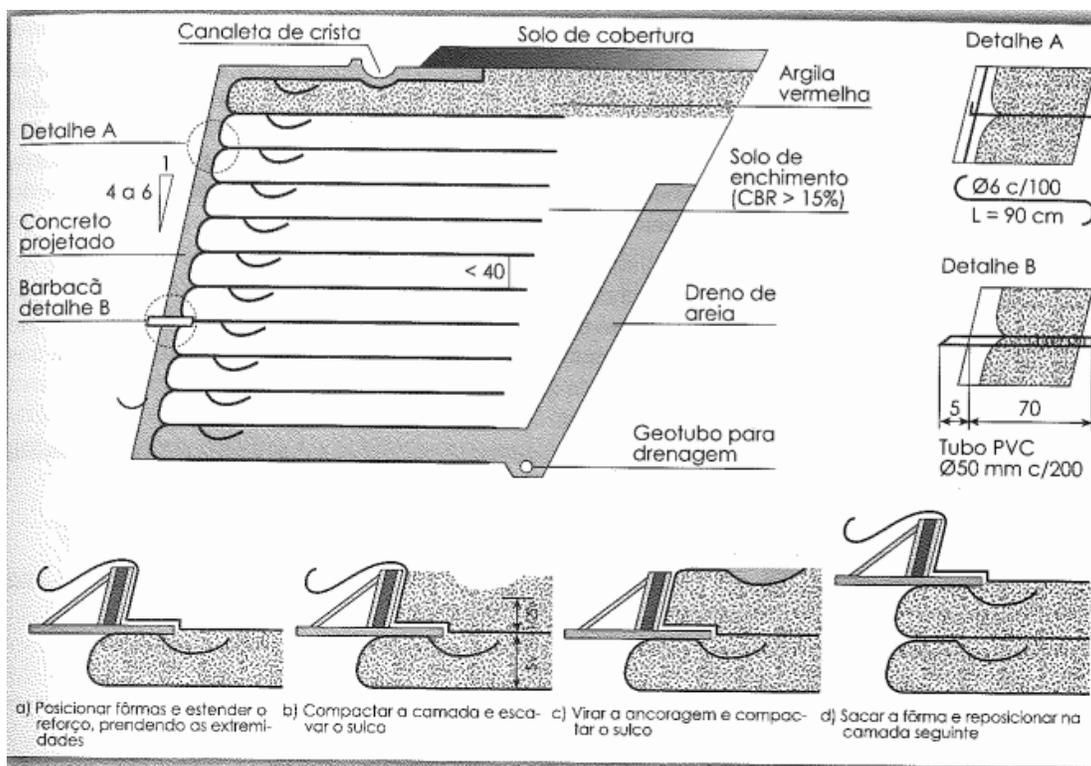
#### **4.11 FACEAMENTO DE MUROS E CONTENÇÃO**

Seja para um muro ou talude de corte ou aterro, a proteção da sua face exposta é importante para evitar o efeito de agentes erosivos, processos de deslocamento e desgastes da estrutura de contenção. Vertematti (2001) cita em seu livro alguns sistemas de faceamento, entre eles estão auto envelopados, blocos segmentais, híbridos e painéis modulares. Gabiões ou muros verdes também são outros métodos usados.

#### 4.11.1 AUTO ENVELOPAMENTO.

O sistema de autoenvelopamento consiste em usar o próprio geossintético para fazer o confinamento entre duas camadas de reforço. Este método é utilizado com geotêxteis, tem baixo custo e exige uma forma lateral para compactação das camadas, porém sua estética final não é muito boa, então pode-se usar uma camada de concreto projetado para acabamento, assim como na figura 28. (VERTEMATTI, 2001)

**Figura 28:** Sistema de auto envelopamento.



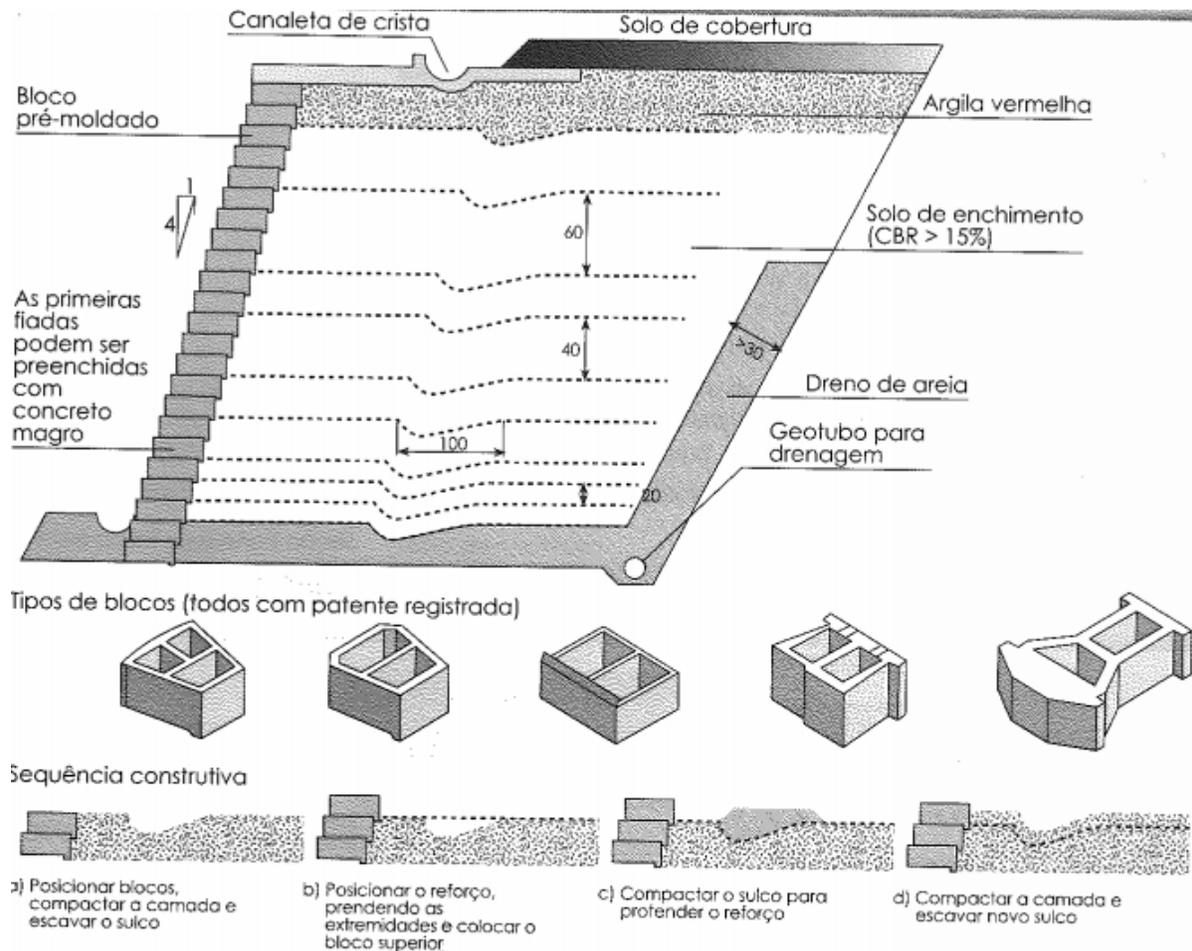
**Fonte:** Vertematti (2001).

#### 4.11.2 BLOCOS SEGMENTAIS.

Este sistema utiliza blocos pré-fabricados como forma lateral das camadas de aterro e como próprio paramento final. Normalmente utilizado com geogrelhas, os blocos são montados manualmente e possuem um sistema de travamento entre si, favorecendo

o alinhamento do talude e a ancoragem do reforço, assim como na figura 29. (VERTEMATTI, 2001)

**Figura 29:** Sistema de blocos segmentais.



**Fonte:** Vertematti (2001).

#### 4.11.3 PAINÉIS MODULARES

Este método é usado normalmente com o sistema de terra armada. Os painéis modulares também são usados como forma das camadas e como faceamento, porém apresentam uma interação mais complexa entre os elementos de reforço e a face. São indicados para muros onde a estética prevaleça, pois os painéis são mais esbeltos, e não permitem deformações construtivas significante, assim como na figura 30. (VERTEMATTI, 2001)

**Figura 30:** Sistema de painéis modulares.

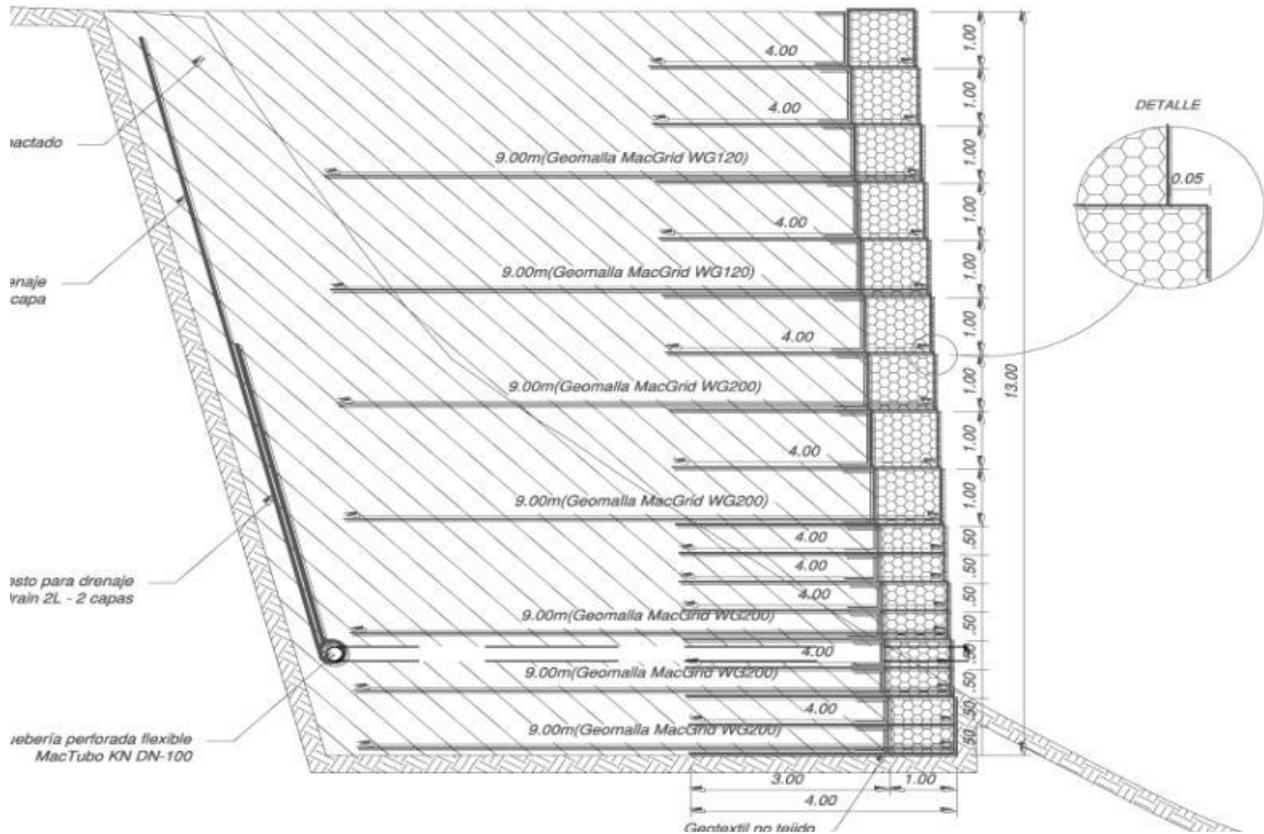


**Fonte:** Vertematti (2001).

#### **4.11.4 GABIÃO**

O uso de gabião também é comum como elemento de faceamento. A empresa Maccaferri possui o sistema patenteado Terramesh, que faz interação entre o reforço e os gabiões. A utilização deste pode ser interessante também para o conceito de meio ambiente, pois permite o crescimento de vegetação nos gabiões, assim como na figura 31.

**Figura 31:** Projeto de reforço com face em gabião.



**Fonte:** Maccaferri.

#### 4.12 MURO VERDE

A empresa Huesker apresenta uma solução de reforço com geogrelha e faceamento com plantio de vegetação direta ou com aplicação de uma hidromanta de revestimento (Figura 32).

**Figura 32:** Muro verde.



**Fonte:** Huesker (Disponível em: <https://www.huesker.com.br/produtos/geossinteticos/sistemas/fortrac-muro-verde.html>  
Acesso em Setembro, 2019)

## **5 METODOLOGIA**

### **5.1 DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO**

#### **5.1.1 MURO EM GABIÃO**

O dimensionamento da contenção do tipo gabião foi realizado através do programa GAWACWIN BR 2.0©, que é um algoritmo desenvolvido pela empresa MACAFERRI para análise de estabilidade de muros de gabião.

A MACAFERRI é uma empresa italiana fundada no ano de 1879, a companhia é extremamente renomada no nicho de contenções de solo, atuando em inúmeros países, tendo como ramo de atuação além das estruturas de contenção, as obras de infraestrutura, de proteção costeira e fluvial, agronegócio e diversas outras áreas da engenharia.

O GAWACWIN BR 2.0© faz a análise da estabilidade global do conjunto solo/estrutura utilizando o método do “equilíbrio limite” e as teorias de vários

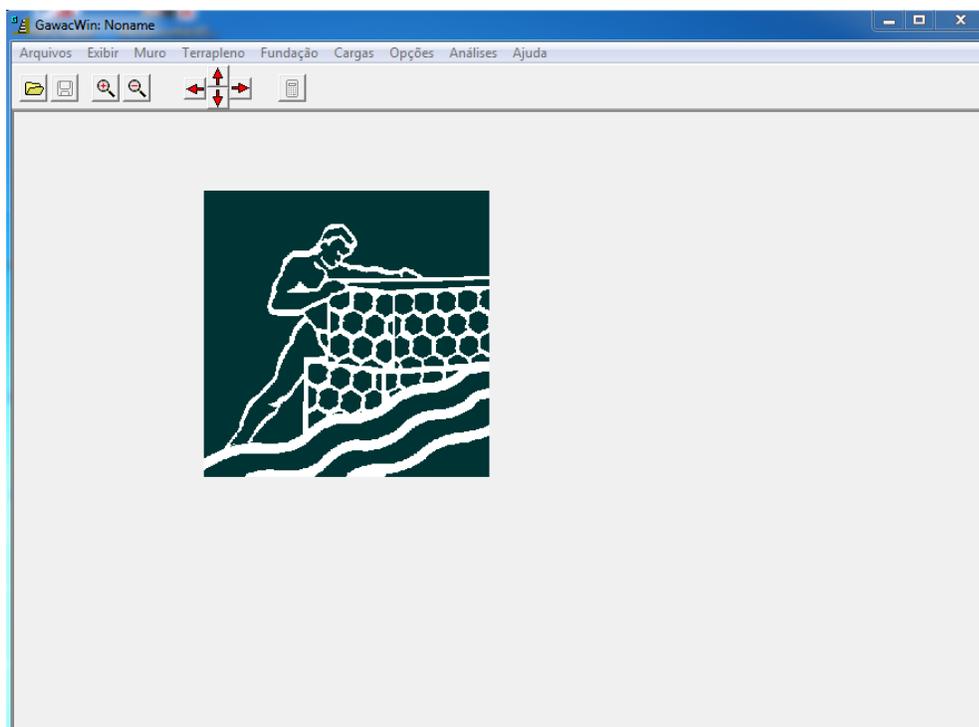
pesquisadores como Rankine, Coulomb, Meyerhof, Hansen e Bishop. Para as características dos gabiões, o algoritmo adota padrões desenvolvidos e comercializados pelo grupo MACAFERRI.

A análise da estabilidade é feita de forma bidimensional, sendo necessário que o usuário forneça a seção do problema analisado com as dimensões, a altura necessária da estrutura de contenção e as características dos solos em que será instalado. A ressalva de que a análise bidimensional é mais pessimista do que a tridimensional, assim tornando os valores apresentados no relatório final sempre a favor da segurança.

### 5.1.2 PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO.

A interface do GAWACWIN© (Figura 33), é dividida em abas com cada uma delas representando dados a serem inseridos pelo usuário de acordo com as características do problema que será analisado.

**Figura 33:** Visão da interface geral do programa GAWACWIN BR 2.0© ao ser iniciado.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Iniciando a interface do programa temos as abas “Arquivos” e “Exibir”, da qual a primeira permite que projetos já modelados possam ser iniciados, como também salvar o projeto que está sendo desenvolvido no momento.

A segunda aba faz com que o usuário navegue entre a seção em análise permitindo a aproximação do projeto, para que o mesmo seja visto com mais detalhes caso necessário.

No item localizado na barra superior da interface que se intitula “Muro”, as informações e características da contenção devem ser estabelecidas. No presente trabalho foram utilizados valores de porosidade, inclinação, peso específico e malha de diâmetro do arame de acordo com projetos mais comuns realizados para este tipo de contenção (Figura 34). Ressaltando outro dado presente na interface, o geotêxtil no terrapleno tem função de melhorar a drenagem e escoamento de água proveniente de chuva, porém com a adição deste geossintético se tem a perda de 5% no atrito entre solo/estrutura, o valor desta perda foi definido de acordo com a experiência do Professor Msc. Ribamar de Jesus Gomes.

**Figura 34:** Características adotadas para o muro de gabião.

A imagem mostra uma janela de diálogo intitulada "Dados sobre o muro". Ela possui duas abas: "Dados Gerais" (selecionada) e "Camadas". Os campos de entrada e opções são os seguintes:

- Inclinação (graus): 6,00
- Peso específico (kN/m³): 18,00
- Porosidade (%): 30,00
- Malha e diâmetro do arame: 8x10, ø 2.7 mm CD
- Geotêxtil no terrapleno
- Redução no atrito (%): 5,00
- Geotêxtil sob a base
- Redução no atrito (%): [campo vazio]

Na base da janela, há três botões: "OK", "Cancelar" e "Ajuda".

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

As alturas totais do muro, foram sendo testadas variando de metro em metro iniciando com uma contenção de 2 metros e a última possuindo 10 metros.

As caixas de gabião foram sendo adicionadas sempre com 1 metro de altura e seu comprimento variando a cada 0,50 metros, ou seja, a primeira caixa sempre terá 1,00 metro de comprimento e a que lhe sucede terá 1,50 metros, a próxima 2,00 metros, assim sucessivamente até que a altura da contenção desejada seja alcançada. Esta variação das alturas pelo comprimento das caixas, pode ser alterada na aba de camadas assim como na figura 35.

**Figura 35:** Exemplo das camadas para um muro de gabião com 5 metros de altura.

Camada	Largura (m)	Altura (m)	Desloc. (m)
1	4,00	0,50	
2	3,00	1,00	0,50
3	2,50	1,00	0,50
4	2,00	1,00	0,50
5	1,50	1,00	0,50
6	1,00	1,00	0,50

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O próximo item a ser caracterizado pelo usuário através do item terraplano no GAWACWIN©, são as características do solo em que será feita a contenção. As camadas de solo devem ser lançadas de acordo com suas características físicas e em conforme a situação em que a contenção irá permanecer após a instalação.

A modelagem das camadas é feita através do lançamento de pequenos trechos até que a seção do terrapleno completa seja formada. O primeiro passo para a formação é a definição do solo de fundação.

O solo de fundação será o terreno que irá ficar em contato direto com a estrutura de contenção. O software solicita os dados de preenchimento da altura inicial, comprimento, inclinação, peso específico, ângulo de atrito, coesão e por fim, como dados adicionais máxima pressão admissível e altura do nível d'água.

Os valores utilizados para cada um desses itens, foram os seguintes:

**Altura inicial (m):**

Para a altura inicial o valor é de 0,50 metros em virtude da configuração do gabião que será utilizada em que se tem uma pequena caixa de gabião na base da estrutura atuando como fundação da contenção e também para que evitar o contato direto das caixas no solo.

**Comprimento (m):**

Incógnita com valor nulo por não possuir utilidade no projeto desenvolvido.

**Inclinação (graus):**

Este campo tem a função no caso do terreno no nível da primeira caixa de gabião possuir algum tipo de inclinação, neste projeto foi adotada a situação em que não existe neste terreno, portanto o valor numérico se mantém nulo.

**Peso específico do solo ( $\frac{kN}{m^3}$ ):**

O solo regional foi adotado com valor de  $15 \frac{kN}{m^3}$ , com base na experiência e prática utilizados atualmente no mercado.

### Ângulo de atrito (graus):

O ângulo de atrito para o terreno de fundação foi adotado com o valor de 25°.

### Coesão (kPa)

Quanto a coesão para o terreno de fundação, foi adotado o valor de 10 kPa.

### Máxima pressão admissível ( $\frac{kN}{m^2}$ ) e altura do nível da água (m):

A máxima pressão admissível e o valor de nível de água não serão utilizados, permanecendo ambos valores nulos. Ambos valores estão relacionados a presença de água no solo em algum nível que possa interferir na resistência do solo. Para esta análise foi desconsiderada a presença de nível de água.

Preenchendo todos os valores temos a aba de fundação completa, assim como na figura 36 mostra.

**Figura 36:** Propriedade do solo de fundação no software GAWACWIN 2.0 BR.

Dados sobre a fundação

Superfície superior

Altura inicial (m): 0,50

Comprimento (m):

Inclinação (graus): 0,00

Propriedades do solo

Peso específico (kN/m<sup>3</sup>): 15,00

Âng. de atrito (graus): 25,00

Coesão (kN/m<sup>2</sup>): 10,00

Dados adicionais

Máx. pressão adm. (kN/m<sup>2</sup>):

Altura do nível d'água (m):

OK

Cancelar

Ajuda

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O próximo item a ser configurado são os dados sobre o restante do terrapleno, através da aba de terrapleno e adicionando mais uma camada a seção do terreno.

Os dados a serem inseridos pelo usuário para a definição da próxima camada são parecidos com os de fundação anteriormente descritos com a exclusão de alguns itens. As informações necessárias são altura inicial, inclinação, peso específico, ângulo de atrito e coesão.

**Altura inicial (m):**

Para a altura inicial o valor é nulo, pois como o solo de terrapleno se forma a partir do solo de fundação, se faz necessária a definição do mesmo apenas acima da camada de fundação.

**Inclinação (graus):**

Esta camada de solo terá a inclinação de 45 graus, por conta de ser o corte que será realizado no terreno para que então seja empregado um solo de aterro no restante da seção. O ângulo de 45 foi adotado por ser a inclinação mais estável com o mínimo de solo a ser cortado.

**Peso específico do solo ( $\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ ):**

Para o solo regional foi adotado com valor de  $15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ , com base na experiência e prática utilizados atualmente no mercado.

**Ângulo de atrito (graus):**

Para o ângulo de atrito do terreno de fundação foi adotado com o valor de 25°.

**Coesão (kPa)**

A coesão para o terreno de fundação foi adotada com o valor de 10 kPa. Então temos o outro perfil de solo natural da região definido, como ilustrado na figura 37.

**Figura 37:** Propriedades da camada superior do terrapleno.

Modificar no terrapleno a camada 1

Geometria da camada

Altura inicial (m): 0,00

Inclinação (graus): 45,00

Propriedades do solo

Peso específico (kN/m³): 15,00

Âng. de atrito (graus): 25,00

Coesão (kN/m²): 10,00

OK Cancelar Ajuda

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Por fim se define o solo de aterro que será o em contato com a contenção que estamos analisando.

As propriedades do solo de aterro que o GAWACWIN© necessita para a análise ser realizada são, novamente o peso específico, o ângulo de atrito e a coesão também se fazendo necessária.

#### **Peso específico do solo ( $\frac{kN}{m^3}$ ):**

O solo de aterro foi adotado com valor de  $18 \frac{kN}{m^3}$ , com base na experiência e prática utilizadas atualmente no mercado.

#### **Ângulo de atrito (graus):**

O ângulo de atrito para o terreno de fundação foi adotado com o valor de  $30^\circ$ .

#### **Coesão (kPa):**

A coesão para o terreno de fundação foi adotada com o valor de 5 kPa.

**Figura 38:** Propriedades do solo de aterro utilizados no projeto

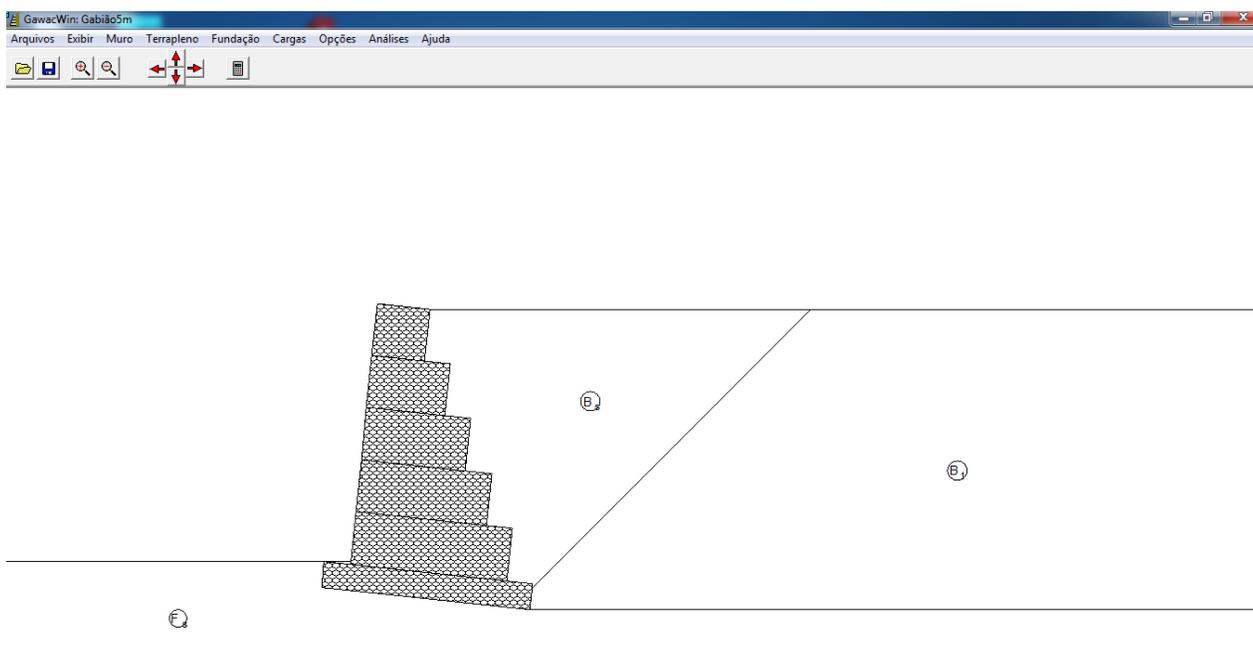
Dados sobre o terrapleno	
<b>Superfície superior</b>	
Inclinação do 1º trecho (graus):	0,00
Comprimento do 1º trecho (m):	0,00
Inclinação do 2º trecho (graus):	
<b>Propriedades do solo</b>	
Peso específico (kN/m³):	18,00
Âng. de atrito (graus):	30,00
Coesão (kN/m²):	5,00
OK    Cancelar    Ajuda	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Com a seção do solo e os dados do muro de contenção de gabião definidos, temos o perfil em que fez se a análise (Figura 39).

E então clicando no botão que assemelha com uma calculadora, o programa realizar as análises e emite um relatório com base nos dados inseridos anteriormente.

**Figura 39:** Visão geral da seção em análise para contenção com altura igual a 5 metros.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os dois valores de maior importância deste relatório são os coeficientes de segurança contra deslizamento e o contra tombamento. Ambos valores devem obedecer a figura 27 para que essas medidas de muro sejam validadas e possam ser utilizadas.

Nos relatórios emitidos, vide arquivos em anexo, nenhuma das alturas de muros variando dos 2 metros até os 10 metros ficaram fora de norma.

### **5.1.3 REFORÇO COM GEOGRELHA.**

Para o estudo do reforço de solo realizado com a geogrelha utilizou-se o programa MACSTAR 2000© que é um software desenvolvido e de propriedade da empresa MACAFERRI.

Este software pode realizar análises de estabilidade global com diversos tipos de produtos da empresa como o MacGrid® que são as geogrelhas desenvolvidas pela empresa, que é o produto em análise no presente trabalho.

O programa possui complexidade mais elevada quando comparado com o anterior, o GAWACWIN BR 2.0©. Isso se dá muito por conta das diversas soluções de contenção que podem ser analisadas isoladas ou em conjunto em forma de reforços adicionais e em contrapartida o GAWACWIN BR 2.0© permite apenas a análise de muros de gabião.

Assim como anteriormente, se faz necessário o fornecimento da seção do problema a ser solucionado e as propriedades do solo a serem analisados para que as verificações sejam feitas.

#### **5.1.3.1 INTERFACE E PARÂMETROS DO MACSTAR 2000.**

O layout de interface do programa é simples e dividido em abas assim como o GAWACWIN (Figura 40). A primeira informação que o software pede ao usuário quando se cria um novo projeto é a norma com que todas as análises serão feitas.

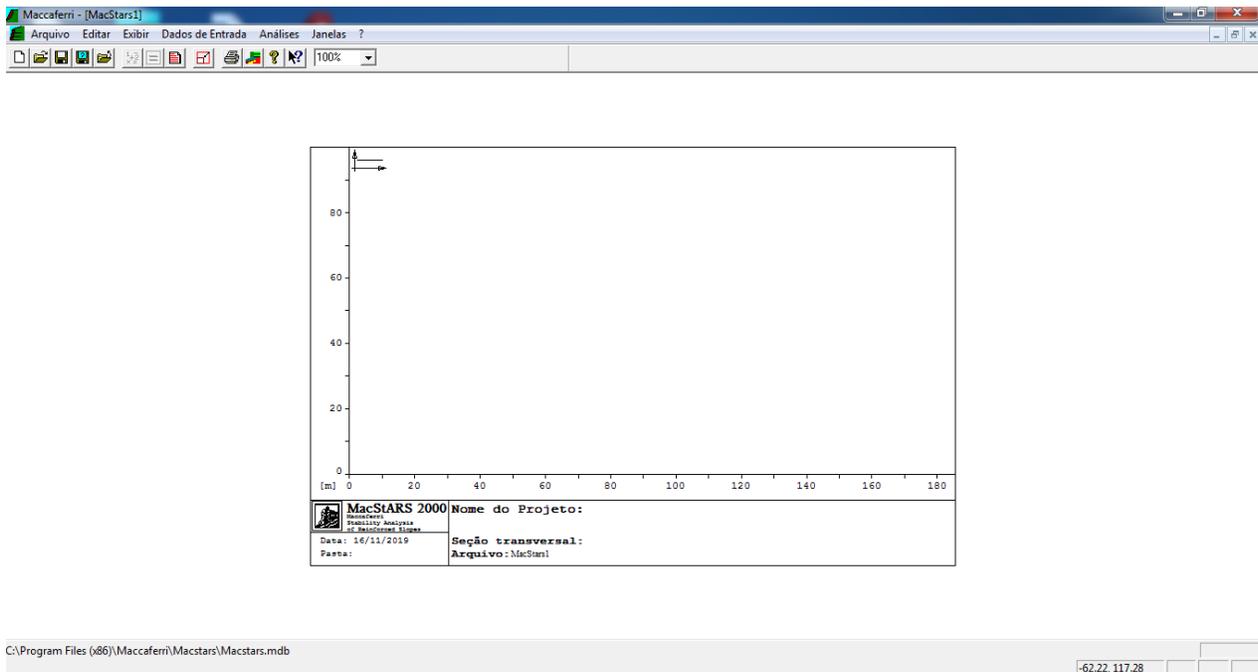
Na presente análise o conjunto de normas escolhido foi o British Standard BS 8006, por ser conjuntos desenvolvidos e aprimoradas ao longo de mais de um século pelos britânicos.

Assim como pode ser encontrado no BSI Standards Publication (2010, pág. 9):

*“[...]Este padrão britânico contém recomendações e conselhos para aplicação de técnicas de reforço de solo [...] [...]o padrão é baseado no formato de estado limite em termos de condições parciais de materiais e cargas para diversas aplicações[...]”.*

Após a escolha do conjunto de normas, a interface do programa se mostra através de dois eixos que serão a base para a modelagem da seção e das análises de estabilidade.

**Figura 40:** Visão geral da interface do MACSTARS 2000©.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O primeiro passo a ser realizado é a configuração dos solos que serão utilizados na análise, a inserção desses dados se dá através da aba localizada na barra superior com nome de “Dados de estrada” e no subcampo “propriedades dos solos”. Então temos a janela em que os parâmetros são definidos.

Este preenchimento de valores deve ser feito para cada solo que possuir diferentes características dentro da seção de análise. Na presente análise tem-se dois tipos de solo que foram batizados de “SOLO REGIONAL” (Figura 41) e “ATERRO” (Figura 42).

Os valores de coesão, ângulo de atrito e peso específico se mantiveram os mesmos que os definidos na análise do muro de gabião.

Sendo o “SOLO REGIONAL” os valores do solo natural da região e o “ATERRO” os valores numéricos do solo de aterro que está em contato com a contenção.

**Figura 41:** Preenchimento dos dados do solo regional.

The image shows a software dialog box titled "Propriedades dos solos". The "Nome" field is set to "SOLO RE". The "Descrição" field is empty. The "Parâmetros necessários para o cálculo dos assentamentos" section includes a "Cor" field with a dark red color swatch. The "Coesão [KPa]" field contains the value "10", the "Ângulo de atrito [°]" field contains "25", and the "Ru" field contains "0". The "Fator multiplicador para o ângulo de atrito" dropdown menu is set to "Soil material factor tan(phi)". The "Peso específico unitário [KN/m³]" section has "Peso específico natural" and "Peso específico saturado" both set to "15". The "Fator multiplicador" dropdown menu is set to "Soil unit mass". Buttons for "OK", "Novo", "Apagar", "Renomear", "Cancelar", and "?" are visible on the right side.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 42:** Preenchimento dos dados do solo de aterro.

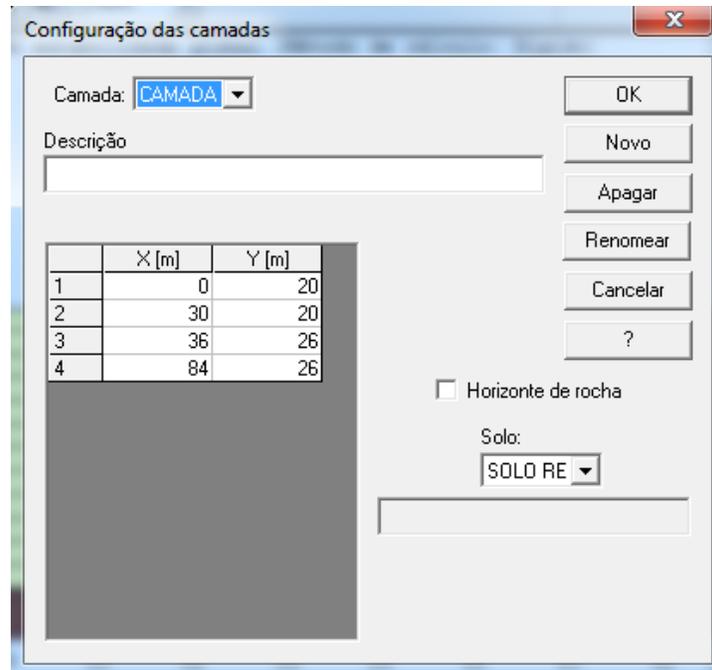
The image shows a software dialog box titled "Propriedades dos solos". The "Nome" field is set to "ATERRO". The "Descrição" field is empty. The "Parâmetros necessários para o cálculo dos assentamentos" section includes a "Cor" field with a yellow color swatch. The "Coesão [KPa]" field contains the value "5", the "Ângulo de atrito [°]" field contains "30", and the "Ru" field contains "0". The "Fator multiplicador para o ângulo de atrito" dropdown menu is set to "Soil material factor tan(phi)". The "Peso específico unitário [KN/m³]" section has "Peso específico natural" and "Peso específico saturado" both set to "18". The "Fator multiplicador" dropdown menu is set to "Soil unit mass". Buttons for "OK", "Novo", "Apagar", "Renomear", "Cancelar", and "?" are visible on the right side.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Definidas as propriedades dos solos da seção, a modelagem dos mesmos pode ser iniciada. Esta modelagem deve ser feita através de coordenadas com o usuário inserindo os valores da ordenada e da abscissa sempre de forma absoluta, ou seja, o

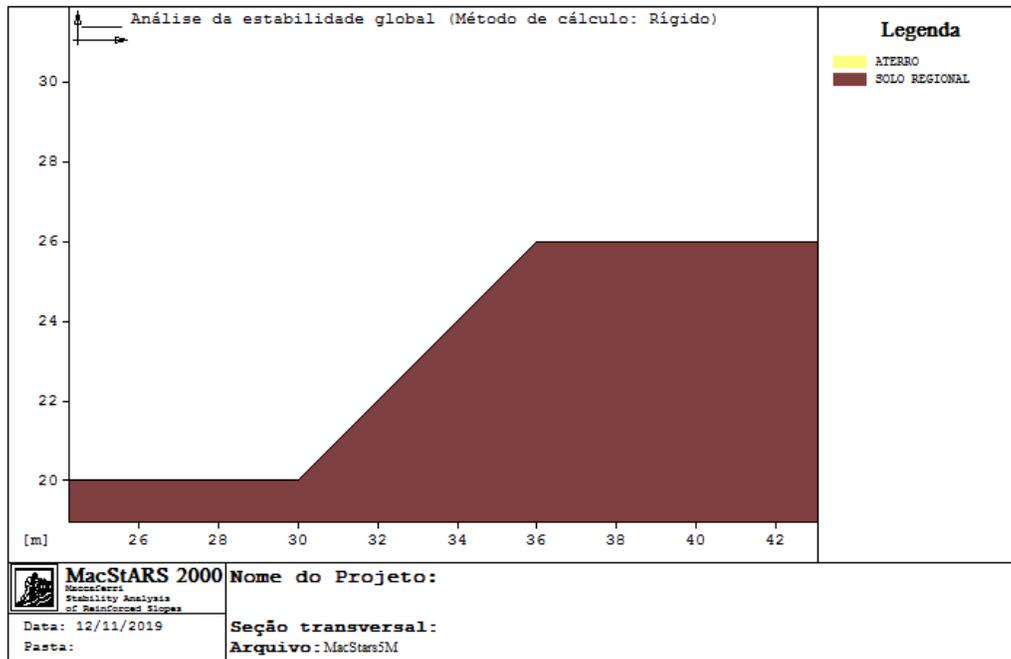
software sempre tomará como base para os valores inseridos o ponto de referência (0,0), assim como pode ser visto na figura 43 e figura 44.

**Figura 43:** Modelagem do solo regional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 44:** Visão geral solo regional modelado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com todas as características de solo definidas, a escolha do reforço pode ser feita. Através da aba “Dados de entrada” e o subcampo “Blocos” é feita a definição das características do reforço que será utilizado.

Nesta etapa de definição o programa pede ao usuário que selecione alguns itens dentre os produtos da empresa, o que se refere as geogrelhas é o MacGrid® assim como exemplificando na figura 45.

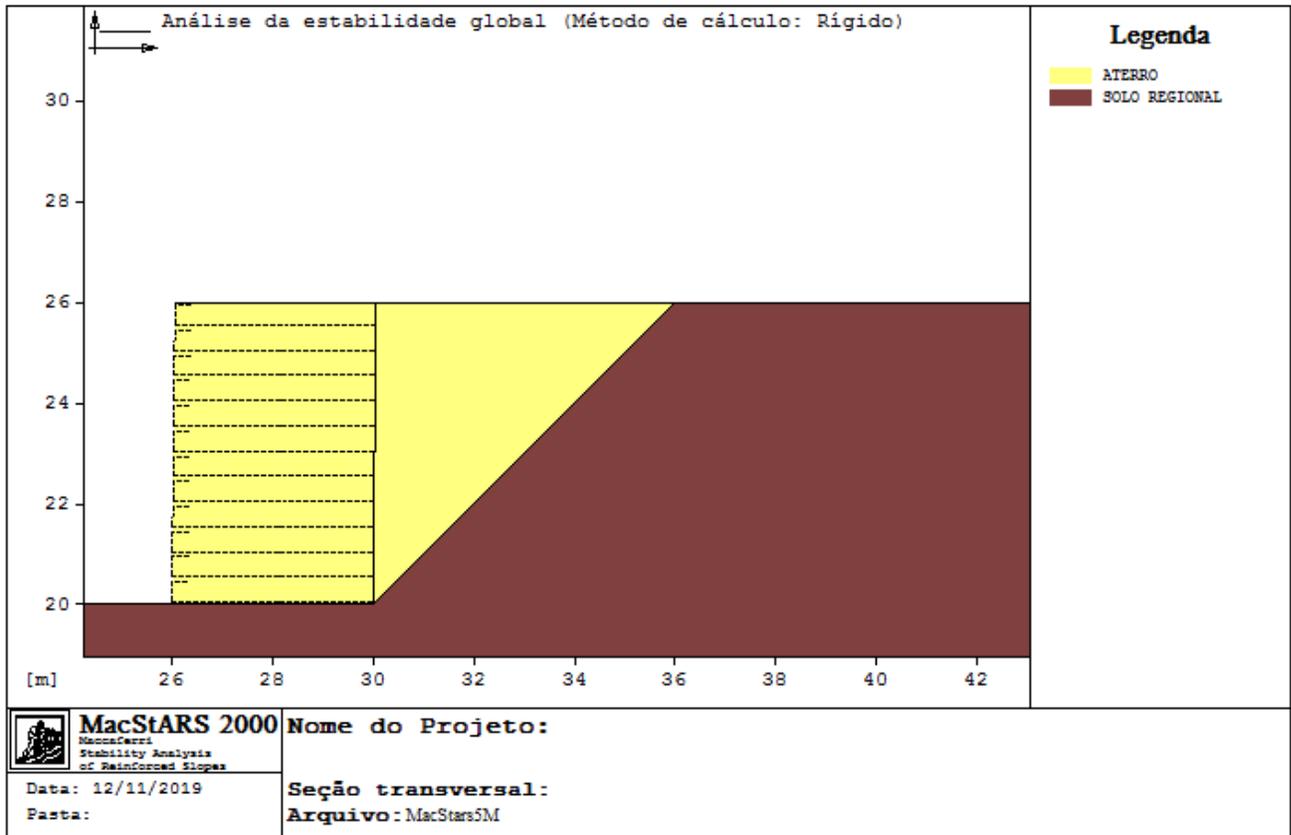
**Figura 45:** Preenchimento do bloco de reforço para a altura de 5 metros.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O valor do comprimento do reforço é aproximadamente 65% do valor da altura total do bloco de reforço, nesse exemplo para o bloco de 5 metros o comprimento utilizado foi de 4 metros. O espaçamento faz referência a distância que as geogrelhas possuem entre si, este valor pode variar entre 0,30m e 0,50m e o comprimento da ancoragem superior o quanto a geogrelha está ancorada na camada superior.

Os outros itens localizados posteriormente dizem respeito quanto a posição do bloco que é feito através de coordenadas absolutas análogo a forma de modelagem do solo. Então com os blocos e o solo modelados, a análise de estabilidade interna se faz possível.

**Figura 46:** Visão geral da seção em análise.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Por fim, para a realização da análise de estabilidade global é necessário acessar a aba “Análises” e o subcampo “estabilidade global”. A primeira informação requisitada é se análise será para o ELS (estado limite e serviço) ou ELU (estado limite último), a escolhida para a análise foi o ELU, outra informação necessária é a superfície circular e o método a ser utilizado, o escolhido foi o método de Bishop.

Com isso a análise é feita através do campo “Análises” e subcampo “Calcular”, para as configurações utilizadas com a geogrelha tipo 040 e 0,50 metros de espaçamento, todos reforços variando de 2 a 10 metros ficaram dentro dos limites de norma para obras permanentes ( $F_s > 1,50$ ), vide arquivos em anexo. Por conta do faceamento não interferir e não ter função estrutural, o mesmo não foi considerado no momento das análises

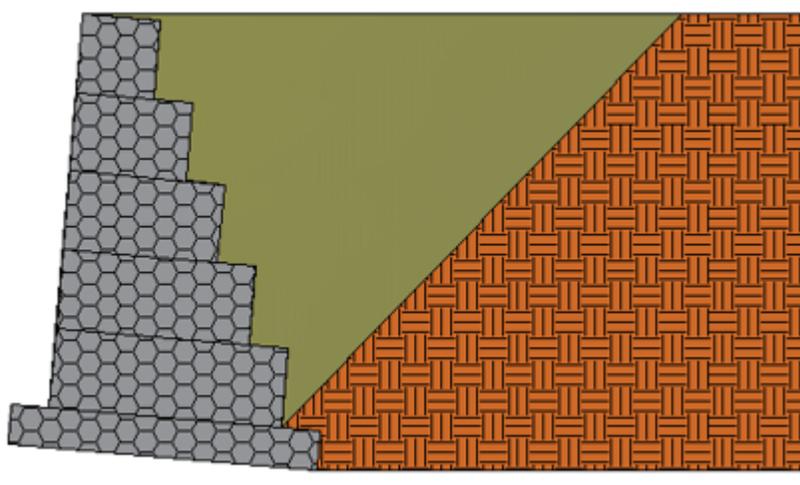
## 5.2 CUSTOS E COMPARATIVOS ENTRE AS SOLUÇÕES.

Para comparação entre custos de execução de contenção construída em sistema convencional, à gravidade, utilizando gabião e contenção utilizando o geossintético geogrelha foi utilizado dados disponibilizados pela Secretária de Logística e Transporte do Estado de São Paulo, através do Departamento de Estradas e Rodagem (DER) e o Desenvolvimento Rodoviário S.A.

Através da TPU (Tabela de Preços Unitários - Desonerados) analisa-se os custos de cada contenção. Para a análise dos custos foi necessário separar os itens de ambos os tipos de contenções, seguindo os sistemas construtivos indicadas neste trabalho.

Para contenção com gabiões, nos casos estudados utiliza-se: as caixas de gabiões, geotêxtil para drenagem e compactação de aterro.

**Figura 47:** Perfil da contenção com gabiões.

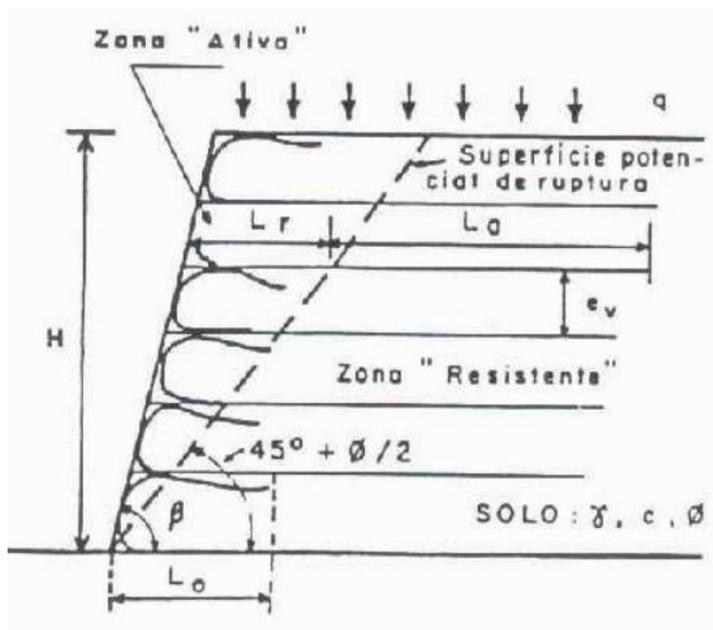


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para contenção com a geogrelha, conforme indicado pela MACCAFERRI, para muros verticais com face em concreto, o sistema construtivo é feito com geotiras poliméricas aplicadas horizontalmente ao longo do aterro compactado conforme a execução das camadas, para tanta é preciso verificar a ancoragem das geotiras. Neste caso os itens para compor a comparação de custos são: geogrelha, geotêxtil, aterro e faceamento. Para levantamento quantitativo da geogrelha é preciso verificar a ancoragem e espaçamento entre as tiras do material (Figura 48).

Para verificação da ancoragem, segundo SIEIRA (2003), é preciso verificar dois pontos importantes: tanto o comprimento ancorado como o comprimento na zona ativa. Para a obter a ancoragem, de acordo com o método de RANKINE (Apud SIEIRA, 2003) e BROMS (Apud SIEIRA, 2003) obtêm-se como comprimento mínimo de ancoragem de 1,0m para a condição de ruptura ativa.

**Figura 48:** Geometria de um muro reforçado com geossintético.



Fonte: SIEIRA, 2003.

**Figura 49:** Resultado MACSTARS 2000©.

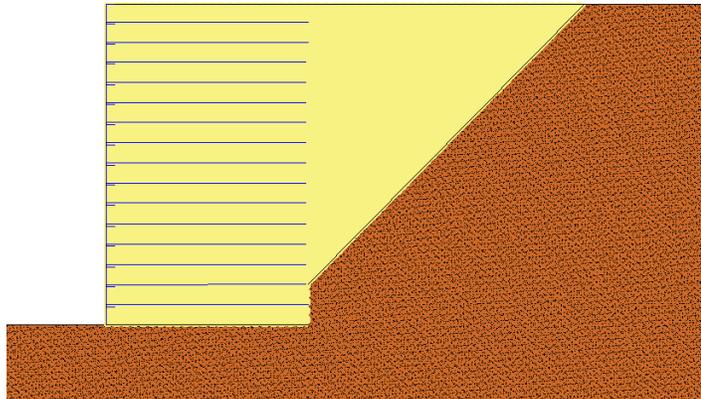
### PROPRIEDADES DOS REFORÇOS UTILIZADOS

Maccaferri - MacGrid - MacGrid WG - 040

Resistência à Tração	[kN/m]	40.00
Taxa de deformação plástica		0.00
Coefficiente de deformação elástico	[m <sup>3</sup> /kN]	0.00e+00
Rigidez do reforço	[kN/m]	400.00
Comprimento de ancoragem Mínimo	[m]	0.15
Fator de seg. contra a ruptura (pedregulho)		2.03
Fator de seg. contra o arrancamento (Pull-out)		1.00
Fator de seg. contra a ruptura (areia)		1.69
Fator de seg. contra o arrancamento (Pull-out)		1.00
Fator de seg. contra a ruptura (areia siltosa)		1.69
Fator de seg. contra o arrancamento (Pull-out)		1.00
Fator de seg. contra a ruptura (argila arenosa)		1.69
Fator de seg. contra o arrancamento (Pull-out)		1.00
Fator de interação reforço/reforço		0.20
Coefficiente de interação reforço-brita		0.90
Coefficiente de interação reforço-areia		0.90
Coefficiente de interação reforço-silte		0.70
Coefficiente de interação reforço-argila		0.50

**Fonte:** MACSTARS 2000©.

**Figura 50:** Análise geogrelha.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O espaçamento entre as geogrelhas contribui para a distribuição linear das tensões nas face do muro. O espaçamento pode ser definido de duas formas: constante

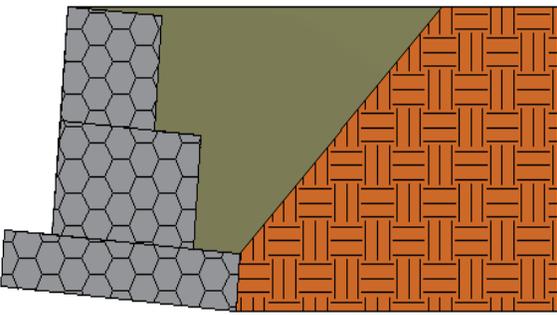
ou variável. Com espaçamento constante resulta-se em maior rigidez no maciço reforçado. (SIEIRA, 2003)

Para acabamento do faceamento de muros de contenção pode ser executado de diversas maneiras, conforme exposto por Plácido&Kamiji, utilizar blocos pré-moldados permite um acabamento visual mais atraente. Para o cálculo dos insumos considerou-se blocos pré-moldados para o faceamento.

### 5.2.1 PLANILHA DE CUSTOS E QUANTITATIVOS

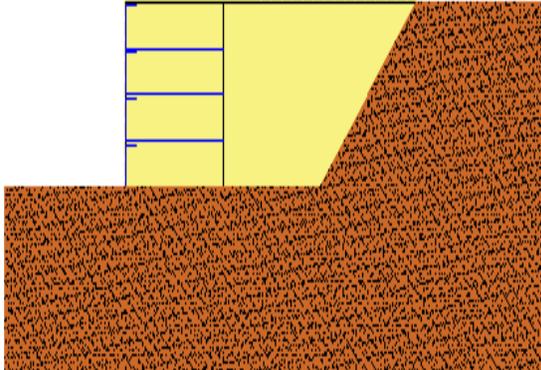
Abaixo na tabela 12 e 13, podemos ver um exemplo de como os custos unitários foram agregados nos dois métodos, com  $h=2m$  e na tabela 14, somente o valor total de cada método a medida que o  $h>2m$ .

**Tabela 12:** Detalhamento do custo unitário gabião.

		<b>GABIÃO DE 2 METROS</b>		
MATERIAIS PARA O GABIÃO COM 2METROS				
INSUMOS	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	TOTAL
GABIAO TIPO CAIXA, ZINCO ALUMINIO, NBR 8964, ALTURA DE 1,00M	3,75	M <sup>3</sup>	R\$ 376,21	R\$ 1.410,79
ATERRO DE JAZIDA PRÓXIMA	3,8	M <sup>3</sup>	R\$ 31,78	R\$ 120,76
GEOCOMPOSTO DRENANTE (1 LADO PERM.) 1L 12MM	4,5	M <sup>2</sup>	R\$ 21,71	R\$ 97,70
<b>VALOR TOTAL</b>				<b>R\$ 1.629,25</b>

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 13:** Detalhamento do custo unitário da geogrelha.

<b>GEOGRELHA 2 METROS</b>				
MATERIAIS PARA O REFORÇO EM GEOGRELHAS COM 2 METROS				
INSUMOS	Quant.	Unid.	Valor Uni.	Total
PROTECAO DE TALUDE C/ BLOCO PRE-MOLD. SEXTAVADO 30X30X5CM INTERTRAV.	2	M <sup>2</sup>	R\$ 129,71	R\$ 259,42
COMPACT. MANUAL C/ REATERRO DE SOLO LOCAL	9,98	M <sup>3</sup>	R\$ 31,78	R\$ 317,16
GEOGRELHA PVC RESIST. TRANSV. 20 KN/M - RESIST. LONGIT. 40 KN/M.	10,8	M <sup>2</sup>	R\$ 24,13	R\$ 260,60
<b>VALOR TOTAL</b>				<b>R\$ 837,19</b>

**Fonte:** Elaborado pelo autor

**Tabela 14:** Planilha custo x Altura

Mtodo	h (m)	Valor total (R\$)	Método	h (m)	Valor total (R\$)
Gabião	2	R\$ 1.629,25	Geogrelha	2	R\$ 837,19
Gabião	3	R\$ 2.575,61	Geogrelha	3	R\$ 1.447,91
Gabião	4	R\$ 3.800,70	Geogrelha	4	R\$ 2.090,42
Gabião	5	R\$ 5.262,51	Geogrelha	5	R\$ 2.805,34
Gabião	6	R\$ 6.920,90	Geogrelha	6	R\$ 3.478,08
Gabião	7	R\$ 8.914,77	Geogrelha	7	R\$ 4.342,62
Gabião	8	R\$ 11.095,72	Geogrelha	8	R\$ 5.259,54
Gabião	9	R\$ 13.581,67	Geogrelha	9	R\$ 6.335,96
Gabião	10	R\$ 16.126,07	Geogrelha	10	R\$ 7.454,28

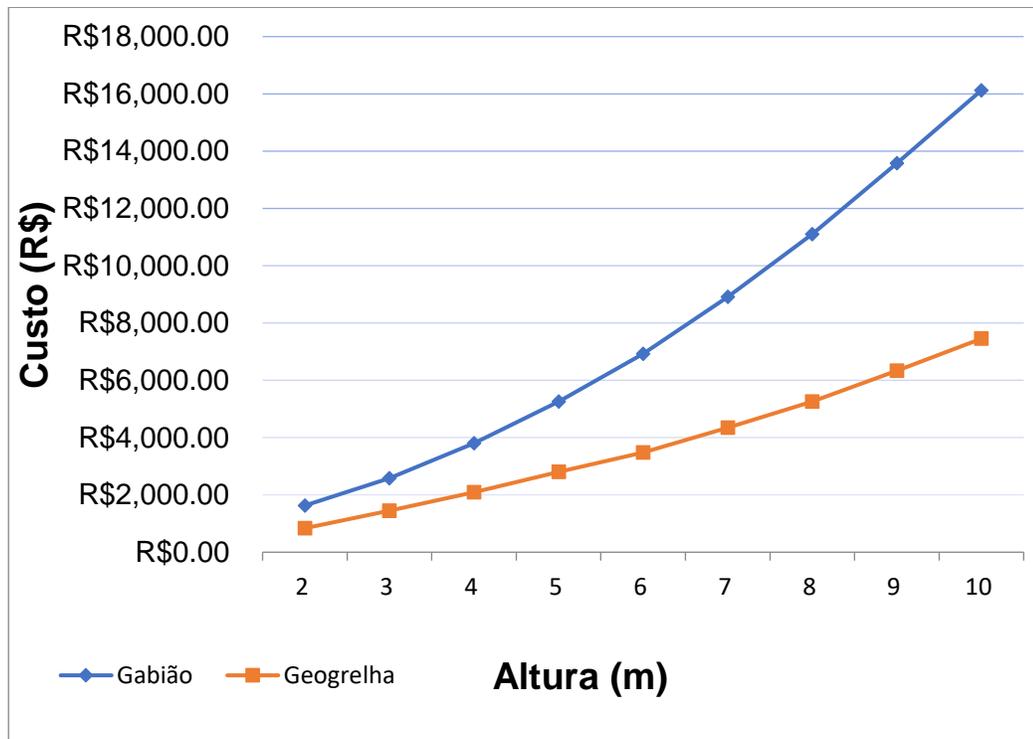
**Fonte:** Elaborado pelo autor

**Tabela 15 :Planilha de Custos**

h (m)	Diferença	Geogrelha	%
2	R\$ 792,06	R\$ 837,19	95%
3	R\$ 1.127,69	R\$ 1.447,91	78%
4	R\$ 1.710,28	R\$ 2.090,42	82%
5	R\$ 2.457,17	R\$ 2.805,34	88%
6	R\$ 3.442,81	R\$ 3.478,08	99%
7	R\$ 4.572,15	R\$ 4.342,62	105%
8	R\$ 5.836,17	R\$ 5.259,54	111%
9	R\$ 7.245,71	R\$ 6.335,96	114%
10	R\$ 8.671,79	R\$ 7.454,28	116%

**Fonte:** Elaborado pelo autor

**Figura 51:** Gráfico comparativo dos custos unitários.



**Fonte:** Elaborado pelo autor

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo apresentar um levantamento de custos e fazer um comparativo entre duas formas de contenção de aterros, que são muros de gabião e reforço de solo com geossintéticos. Com novas tecnologias e novos métodos surgindo para chegar ao mesmo resultado final, faz-se importante saber qual será o mais viável financeiramente, e qual será a melhor solução para a sua obra.

Após uma análise dos tipos de geossintéticos, sendo que cada qual tem sua função específica, decidiu-se usar a geogrelha como ferramenta de estudo, pois é a mais utilizada em contenções, devido a sua malha gerar melhor atrito entre as camadas de solo.

A aplicação de geossintéticos em solos com variação do teor de umidade apresentam variações de resistência ao arrancamento, podendo influenciar diretamente no dimensionamento do reforço. Com base nos estudos de Junior & Souza (2016), os valores de fatores de segurança e tensões máximas em diferentes tipos de solo, demonstrou a diminuição da resistência da interação de solos coesivos quando comparados aos solos arenosos.

De acordo com Teixeira a resistência está relacionada à granulometria dos grãos do solo, com isso solos coesivos por apresentarem diâmetros de grãos muito pequeno apresentam uma menor resistência na interação entre solo e geogrelha (Teixeira, 2003 apud Cecconi, 2018).

Utilizando os softwares específicos para cálculo de estruturas em gabião (MACSTARS©) e geogrelhas (GAWACWIN©), disponibilizados pela Empresa Macaferri, e orçamento baseado nos custos disponibilizados pelo DER-SP chegou-se à conclusão de que muros e taludes com geogrelhas são mais viáveis economicamente, de aplicação mais simplificada e evitando altas cargas de peso próprio do próprio elemento-reforço, mantendo uma proporção nos preços aumentando conforme as alturas são dimensionadas, porém sempre em uma larga vantagem quando comparada ao custo dos gabiões. Já os gabiões apresentam um custo inicial maior, e um preço que cresce exponencialmente com o aumento do talude, tornando-o assim uma alternativa menos lucrativa, útil para contenções de portes menores, porém exigindo do local grandes áreas para a disposição de sua base.

A partir destes resultados, vemos que as novas tecnologias desenvolvidas para a construção civil, como os geossintéticos, vêm para apresentar soluções mais econômicas e diferenciadas, e nos mostrar que o desenvolvimento é importante para este setor. Ainda assim, encontramos algumas resistências do mercado da construção quanto ao uso dos geossintéticos devido a se compreender em um método mais simples e econômico, porém por fugir dos modelos tradicionais em que se utilizam muitos elementos massivos para se conter ou resistir determinados taludes, as geogrelhas ainda são vistas com um certo preconceito das construtoras, mas isso vêm mudando com os anos e as mesmas estão sendo mais empregadas nesses e em muitos outros tipos e áreas construtivas e a tendência é de que os geossintéticos passem a tomar o lugar dos modelos tradicionais de estruturas em solos.

## 7 BIBLIOGRAFIA

CHATTOPADHYAY, Bikash Chandra; MAITY, Joyanta. Ground Improvement Techniques. **Phindia**. [S.l.], p.424, 1 Maio, 2017

PEDRONI, Bruno . **Primeiro Talude de Solo Reforçado com Geossintético Brasileiro Completa 30 Anos**.2016. Disponível em: <https://www.geosynthetica.net.br/primeiro-talude-de-solo-reforcado-com-geossinteticos-brasileiro-completa-30-anos/> Acesso em: Ago,2019

TEIXEIRA, Sidnei Helder Cardoso(2003). **Estudo de Interação Solo-geogrelha em Testes de Arrancamento e a sua Aplicação na Análise e Dimensionamento de Maciços Reforçados**. 218p. Tese(Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003

KOERNER, R. M. (1999). **Designing with Geosynthetics**. 4. Ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999 761p.

PLÁCIDO, R.R.; KAMIJI, T. S. M. **Soluções Inovadoras: Geossintéticos para contenção**. SINDUSCON, novembro, 2011[T2] .

SIEIRA, Ana Cristina Castro Fontenla. **Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Geogrelha**. Abril de 2003. 353[T3] p. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

VERTEMATTI, José Carlos. **Curso básico de geotêxteis**. Comitê Técnico Geotêxtil – CTG. Associação Brasileira das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos Técnicos – ABINT. Rooka'z. 1ªEdição, Janeiro, 2001.

BECKER, Leonardo de Bona. **Comportamento de Geogrelhas em Muro de Solo Reforçado e em Ensaios de Arrancamento**. Rio de Janeiro, Agosto de 2006. 322p. Tese de Doutorado-Departamento de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

GEOGRELHA-Informações Básicas. **Geofoco Brasil**, 2009. Disponível em <<http://geofoco.com.br/>>. Acesso em Maio, 2019.

SAYÃO, Alberto. SIEIRA, Ana Cristina. SANTOS, Petrucio. **Manual técnico de Reforço de Solo**. Maccaferri do Brasil. 26 Mar/2015. 168p

PALMEIRA, Ênio Marques. **Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente**. Editora Oficina de Textos. 368 p. Ago, 2018.

AVEZANI NETO, José Orlando; WEBER DE CAMPOS, Marcus Vinicius. **Aplicação De Geogrelhas em Obras Viárias**. Revista Fundações e Obras Geotécnicas Ed.64. Editora Rudder. 14 de janeiro de 2016. (p.42).

MACAFERRI-América Latina. **Geogrelha Tecida de Super Alta Tenacidade para Reforço de Solos-MacGrid WG**. Especificações Técnicas. Rev.00. 2014. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/produtos/geogrelhas-macgrid>. Acesso em: Ago, 2019.

GEROTO, Regis Eduardo; RODRIGUES, Ary Paulo; Schmidt, Cristina F. **Uso de Geogrelhas para a Construção de um Muro em Solo Reforçado com 25 m de Altura na Rodovia dos Tamoios**. IGS Brasil, [s.l.], 17 jun, 2018.

ASTM D4439-18, **Standard Terminology for Geosynthetics**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

ASTM D 794. **Standard Practice for Determining Permanent Effect of Heat on Plastics**, ASTM International, West Conshohocken, PA,1993.

AVEZANI NETO, José Orlando; HAYASHIDA, E.M., 2013. **Levantamento e comparação dos custos de diferentes soluções de estruturas de contenção em aterro**. VI Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas-COBRAE, Angra dos Reis. Rio de Janeiro, 2013)

EHRlich, M.; GOMES, R.C.; SAYÃO, A.S.F.; AZAMBUJA, E. (2015). **Muros e taludes de solo reforçado**. Manual Brasileiro de Geossintéticos. Cap. 4.5. São Paulo: Oficina de Textos

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Manual de Drenagem de Rodovias, (Rio de Janeiro, Brasil, 1990)

INBEC-PÓS GRADUAÇÃO. **Geossintéticos: A tecnologia certa para obras de Geotecnia**. 2018. Revista Mercado.

Oficina de texto-Artigo. **Desenvolvimento de Geossintéticos no Brasil**. 2018. Editora Oficina de Textos. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br> . Acesso em: Dezembro de 2019

KAKUDA, F.M. **Estudos de Ensaio de Arrancamento de Geogrelha com Utilização de um Equipamento Reduzido**. 124p 2005-Tese .Escola de Eng. De São Carlos

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12236: Geossintéticos – Ensaio de Puncionamento Estático (punção CBR)**, 2013.

EHRlich, M. **Deformações em Muros de Solos Reforçados**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS, 2., 1995, São Paulo. v. 1

CFGG. AFNOR G38017. **Association Française de Normalisation** -French Committee on Geotextiles, 1986.

**AVESANI NETO, J. O. ;BUENO, B. S; FUTAI, M. M. Análise de Ensaios de Placa em Reforços de Geocélula sob a Ótica de Modelos Numéricos.** In: COBRAMSEG,2012, Porto de Galinhas, PE, 7p.

ABRAMENTO, M. **Durabilidade e comportamento de longo prazo de geossintéticos. Parte 1-Durabilidade dos materiais.** In:SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS, 2.,1995, São Paulo. v.1

CECCONI, Aline. **Avaliação Mecânica de um Solo Reforçado com Geogrelha.**2018. Tese.75p. Caxias do Sul-RJ

JUNIOR. P.R.G.L.; SOUZA,R.F.C. **Análise do comportamento de estruturas de contenção reforçadas por geogrelha e blocos articulados de concreto.** COBRAMSEG,2016.Belo Horizonte-MG

**Catalogo de Terra Armada da empresa Engerground.** Disponível em: [http://engerground.com.br/catalogos/terra\\_armada.pdf](http://engerground.com.br/catalogos/terra_armada.pdf). Acesso em Setembro, 2019

FERREIRA GOMES, L. M. (2001). **Geotextêis e suas Aplicações.** Seminário: A indústria Têxtil nos Caminhos da Inovação. Univerisdade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.

VERTEMATTI, José Carlos. **Manual brasileiro dos geossintéticos.** 2ª edição, São Paulo. Blucher, 2015