

TAYNARA ANDRADE GOMES
VICTOR HUGO MARQUES MACIEL

Aplicações e desempenho de geossintéticos em obras de engenharia

Taynara Andrade Gomes
Victor Hugo Marques Maciel

Aplicações e desempenho de geossintéticos em obras de engenharia

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Isabel Cristina de Barros Trannin

G633a	Gomes, Taynara Andrade Aplicações e desempenho de geossintéticos em obras de engenharia / Taynara Andrade Gomes ; Victor Hugo Marques Maciel – Guaratinguetá, 2019. 55 f. : il. Bibliografia : f. 45-47 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2019. Orientador: Prof^a. Dr^a. Isabel Cristina de Barros Trannin 1. Geossintéticos. 2. Polímeros. 3. Geologia de engenharia. 4. Normas técnicas (Engenharia). I. Título. CDU 551:62
-------	--

Luciana Máximo

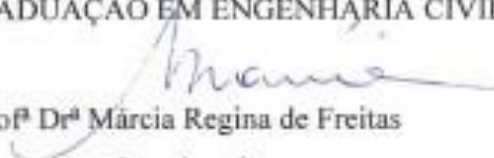
Bibliotecária-CRB-8/3595



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

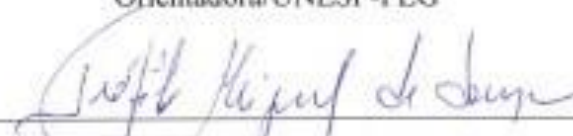
TAYNARA ANDRADE GOMES
VICTOR HUGO MARQUES MACIEL

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Profª Drª Márcia Regina de Freitas
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin
Orientadora/UNESP-FEG


Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
UNESP-FEG


Doutoranda Eliana Cristina Moraes dos Santos
UNESP-FEG

Novembro de 2019

DADOS CURRICULARES

TAYNARA ANDRADE GOMES

NASCIMENTO 12.01.1996 – São José dos Campos/SP

FILIAÇÃO Joaquim Gomes Neto
Lúcia Christina Andrade Gomes

2015/2020 Curso de Graduação em Engenharia Civil
Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”
Campus de Guaratinguetá.

VICTOR HUGO MARQUES MACIEL

NASCIMENTO 06.04.1993 – Sousa/PB

FILIAÇÃO Pedro Chaves Maciel da Silva
Poliana Lins Marques

2016/2020 Curso de Graduação em Engenharia Civil
Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”
Campus de Guaratinguetá.

Dedicamos este trabalho às nossas famílias,
que sempre nos apoiaram e se esforçaram
para que tivéssemos a oportunidade de estar
onde eles não puderam.

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias que fizeram de nós as pessoas que somos hoje, que nos incentivaram a seguir nossos objetivos e nos apoiaram para que nunca desistíssemos de realizá-los.

Aos nossos amigos que se mantiveram presente em todos os momentos, bons e ruins, de nossa caminhada pela graduação.

À Prof.^a Dr.^a Isabel Cristina de Barros Trannin, por sua atenção, dedicação e apoio não só em nossas vidas acadêmicas, mas também pessoal.

Agradecemos a todos os professores e funcionários da Unesp, campus de Guaratinguetá, que contribuíram para a nossa formação profissional e pessoal.

A todos que participaram dessa jornada, deixamos aqui o nosso muito obrigado.

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano.”

Isaac Newton

RESUMO

Nos últimos anos, os geossintéticos vêm sendo amplamente utilizados em todo o mundo em obras de engenharia, devido à simplicidade de instalação, à alta qualidade dos produtos disponíveis no mercado e ao estabelecimento de requisitos por normas, que garantem o uso adequado e seguro destes materiais. Este trabalho de graduação teve como objetivo de analisar o desempenho de geossintéticos aplicados em diferentes obras de engenharia, como contenção de talude, reforço em pavimentação e fechamento de aterro sanitário. Para isso, foram realizados três estudos de caso: da estrutura de contenção fixada na Arena Corinthians, em São Paulo (SP), do reforço do pavimento do Autódromo Ayrton Senna, em Goiânia (GO) e do fechamento do Aterro Classe 1 de Cariacica (ES). Esta análise possibilitou verificar que a aplicação de Sistema Terramesh, combinado com o uso de Geogrelhas MacGrid® WG, geocomposto MacDrain 2R e o geotêxtil MacTex N 40.2 foi eficaz para a estabilização e reforço de taludes na Arena Corinthians. A utilização de geogrelhas, geocélulas, geomembranas de PEAD, geotêxteis não tecidos, geocompostos drenantes e geotubos corrugados de PEAD garantiram a segurança e a integração do Aterro Classe 1 de Cariacica com o meio ambiente após seu fechamento. A aplicação de geocomposto MacGrid® Ar no reforço asfáltico, aumentou a vida útil do pavimento do Autódromo Ayrton Senna.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia geotécnica. Polímeros sintéticos. Normas para aplicações de geossintéticos.

ABSTRACT

Over the past years, the geosynthetics have been widely used all around the world on Engineering due to its installation simplicity, to the high quality of the products available at the market and the establishment of standard requirements that guarantee the safe and proper use of these materials. This graduation work aims to analyze the performance of geosynthetics applied to different engineering works, such as slope containment, pavement reinforcement and sanitary landfill closure. In order to do so, three case studies were conducted: the containment structure fixed on Corinthians Arena in São Paulo (SP); the pavement reinforcement on Ayrton Senna Racetrack in Goiânia (GO) and the closure of class 1 landfill in Cariacica (ES). Through the analysis it was possible to verify that the application of the Terramesh System, combined with the use of MacGrid® WG Geogrids, MacDrain 2R geocompounds and the Mactex N 40.2 geotextile, was efficient in stabilizing and reinforcing the slopes on Corinthians Arena. The use of geogrids, geocells, HDPE geomembranes, geotextiles, draining geocompounds and HDPE corrugated geopipes, were all choices that assured safety and the integration with the environment of class 1 landfill of Cariacica after closing. The application of the MacGrid® Ar geocompound as paving reinforcement has increased the pavement lifespan on Ayrton Senna Racetrack.

KEYWORDS: Geotechnical engineering. Synthetic polymers. Standardization for geosynthetics use.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de geocélula MacCel.....	17
Figura 2. Modelo de geogrelha MacGrid.....	18
Figura 3. Estrutura da Georrede.....	18
Figura 4. Geomembrana aplicada na impermeabilização do solo.....	19
Figura 5. Estrutura dos geotubos	20
Figura 6. Geobags utilizadas como barreira de contenção para proteção costeira.....	20
Figura 7. Modelo de Geocomposto INOVADRAIN.....	21
Figura 8. Modelo de Geomanta MacMat.....	21
Figura 9. Geotêxtil Tecido (à esquerda) e Geotêxtil não tecido (à direita).....	22
Figura 10. Distribuição dos setores da Arena Corinthians, em São Paulo.....	29
Figura 11. Corte da zona Oeste da Arena Corinthians, São Paulo (SP).....	30
Figura 12. Estacionamento da Arena Corinthians, em São Paulo (SP).....	30
Figura 13. Estrutura de contenção de talude da Arena Corinthians, utilizando o sistema Terramesh.....	31
Figura 14. Geogrelha instalada entre os elementos de face da estrutura em solo reforçado da Arena Corinthians, São Paulo (SP).....	31
Figura 15. Detalhe da inserção das geogrelhas entre os elementos de face do solo reforçado formando a estrutura de contenção, aplicada na Arena Corinthians, São Paulo (SP).....	32
Figura 16. Utilização dos geocomposto drenantes e geotêxteis na contenção em solo reforçado.....	33
Figura 17. Detalhe da inserção das geogrelhas entre os elementos de face do solo reforçado de contenção.....	33
Figura 18. Vista do aterro de Cariacica (ES), antes de seu fechamento em 19 de janeiro de 2017	35
Figura 19. Geocélulas preenchidas com solo.....	36
Figura 20. Vista lateral do processo construtivo do muro.....	36
Figura 21. Aterro após instalação da geomembrana PEAD.....	37
Figura 22. Aterro fechado e impermeabilizado com geomembrana de PEAD	37
Figura 23. Adição de camada de solo sobre a geomembrana de PEAD.....	38
Figura 24. Reintegração da área do aterro de Cariacica (ES) ao meio ambiente após finalização da obra.....	38
Figura 25. Pavimento do Autódromo Ayrton Senna antes da obra.....	40

Figura 26. Geocomposto MacGrid® AR utilizado como reforço asfáltico no Autódromo Ayrton Senna	41
Figura 27. Aplicação do MacGrid® AR como reforço asfáltico no Autódromo Ayrton Senna.....	41
Figura 28. Aplicação da camada de SMA (Stone Matrix Asphalt) no Autódromo Ayrton Senna	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Normas brasileiras para os geossintéticos (2019).....	48
Quadro 2- Normas Americanas para os geossintéticos (2009).....	49
Quadro 3- Normas Americanas para os geossintéticos (2009).....	50
Quadro 4- Normas americanas para os geossintéticos (2009).....	51
Quadro 5- Normas europeias para os geossintéticos (2009).....	52
Quadro 6- Normas europeias para os geossintéticos (2009).....	53
Quadro 7- Normas europeias para os geossintéticos (2009).....	54
Quadro 8- Normas internacionais para os geossintéticos (2009).....	55

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGETOP	Agência Goiana de Transportes e Obras
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	The American Society for Testing Materials
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CEN	Comissão Europeia de Normalização
CER	Comissão Europeia de Normalização
CPE	Polietileno clorado
ECB	Copolímero de etileno com betume
EN	Norma Europeia
FIA	Fédération Internationale de l'Automobile
g	Grama
HDPE	Polietileno de alta densidade
ISO	International Organization for Standardization
kN	Quilo Newton
LDPE	Polietileno de baixa densidade
LLDPE	Polietileno de baixa densidade linear
m	Metro
mm	Milímetro
NBR	Norma Brasileira
NP	Norma Portuguesa
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PET	Politereftalato de etileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Cloreto de polivinila
TR	Relatório Técnico
TS	Especificação Técnica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	EVOLUÇÃO DO USO DE GEOSSINTÉTICOS EM OBRAS DE ENGENHARIA	16
3.2	CLASSIFICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS	17
3.3	COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES DOS GEOSSINTÉTICOS	22
3.4	APLICAÇÕES DOS GEOSSINTÉTICOS	24
3.5	NORMAS VIGENTES PARA USO DE GEOSSINTÉTICOS	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1	METODOLOGIA	27
4.2	ESTUDOS DE CASO	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1	O CASO DA ARENA CORINTHIANS	29
5.2	FECHAMENTO DO ATERRO DE CARIACICA	34
5.3	O CASO DO AUTÓDROMO AYRTON SENNA	39
5.4	CONSIDERAÇÕES	42
6	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45
	ANEXO A - Quadros com as Normas brasileiras e internacionais para os geossintéticos (2019)	45

1 INTRODUÇÃO

Os geossintéticos são produtos fabricados a partir de materiais poliméricos (sintéticos ou naturais) e têm aplicação crescente na engenharia civil, sendo utilizados principalmente para solucionar problemas geotécnicos. A natureza sintética desses produtos os torna próprios para uso em obras de terra, onde um alto nível de durabilidade é exigido. Esses produtos são constituídos por uma grande variedade de materiais e formas, cada um adequado a um determinado uso ou necessidade.

Atualmente os geossintéticos têm sido utilizados em muitos tipos de obras de engenharia, devido à versatilidade de aplicações aliada à facilidade do processo de instalação na obra e o elevado controle de qualidade de fabricação dos produtos disponibilizados no mercado. Entre as principais funções dos geossintéticos destacam-se: separação, filtragem, drenagem, reforço, impermeabilização, controle de erosão, proteção e, em alguns casos, podem desempenhar simultaneamente, várias funções, aumentando ainda mais suas aplicações.

De acordo com Vertematti (2015), além da versatilidade, outro fator que tem influenciado o aumento do uso de geossintéticos nos últimos anos, é o crescimento urbano, com demanda de grandes construções, modernas e sustentáveis, que precisam ser fixadas em áreas onde o solo não apresenta a devida capacidade suporte, devido a impossibilidade de fixá-las em áreas ideais, visto que as melhores localizações foram ocupadas com outras obras. Nesta situação, a solução é construir em regiões mais instáveis, onde a necessidade de se executar obras mais seguras é fator determinante no projeto.

Neste contexto, este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo, analisar o desempenho de geossintéticos aplicados na estrutura de contenção fixada na Arena Corinthians, no reforço do pavimento do Autódromo Ayrton Senna e no fechamento do Aterro da cidade de Cariacica, no Espírito Santo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o desempenho de geossintéticos aplicados na estrutura de contenção fixada na Arena Corinthians, no reforço do pavimento do Autódromo Ayrton Senna e no fechamento do Aterro da cidade de Cariacica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Gerar informações sobre os geossintéticos disponíveis no mercado, suas propriedades, classificação e funções de materiais específicos para as diferentes aplicações em obras de engenharia.
- Analisar as principais vantagens e as possíveis limitações da utilização de geossintéticos em obras de engenharia.
- Analisar a estrutura de contenção fixada na Arena Corinthians, na cidade de São Paulo (SP); o reforço do pavimento do Autódromo Ayrton Senna, em Goiânia (GO) e o fechamento do Aterro Classe 1, da cidade de Cariacica (ES), para examinar o desempenho dos geossintéticos utilizados em cada caso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EVOLUÇÃO DO USO DE GEOSSINTÉTICOS EM OBRAS DE ENGENHARIA

Neste trabalho, vamos apresentar a evolução dos geossintéticos buscando entender o histórico desses materiais e como eles vem se desenvolvendo. Segundo Queiroz (2009), a denominação “geossintéticos” é usada para descrever, de forma geral, produtos sintéticos utilizados para a solução de problemas de engenharia civil nas áreas de geotecnia, estradas, estruturas, hidráulica e saneamento. Segundo a norma ABNT NBR ISO 10318-1:2018, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, os geossintéticos são produtos poliméricos ou naturais, processados industrialmente e, cujo desenvolvimento tem como objetivo a atuação em obras de geotecnia, onde podem desempenhar uma ou mais funções, destacando-se: controle de erosão superficial, drenagem, filtração, impermeabilização, reforço e separação.

Os geossintéticos são compostos, em sua maioria, de polímeros e aditivos, sendo o produto de um processo comum no desenvolvimento da humanidade, que sempre buscou a utilização de materiais para melhorar os seus processos de construção. São vários os exemplos que remetem a esse procedimento durante a evolução humana, como a mistura de palha com solo, nas construções dos povos antigos. Os povos romanos, providos de troncos de árvores, ergueram muros de contenção. A Grande Muralha da China, por exemplo, contou com elementos como argila e cascalho em seu desenvolvimento. A Torre de Babel, teve sua construção com solo reforçado, assim como alguns relatos descrevem construções residenciais no Irã, que contavam com reforços de bambu. Segundo Vertematti (2001), com o desenvolvimento das indústrias petroquímicas, principalmente, ao fim da Segunda Guerra Mundial, ocasionando a difusão dos plásticos, os geossintéticos expandiram-se, sendo indicado que suas utilizações primárias eram como funções de filtros, nas regiões litorâneas, nos Países Baixos e nos Estados Unidos.

Apesar de os polímeros surgirem em 1839, como o estireno, eles ainda continham bases naturais, sendo que, os primeiros sintéticos se desenvolveram apenas no começo do século XX, como a baquelita ou resina fenol-formaldeído. De acordo com Vertematti e Aguiar (2015), no Brasil, os geossintéticos começaram a ser produzidos em 1971, com a primeira grande obra inaugurada na década de 1980, a rodovia que liga Taubaté - SP a Campos do Jordão - SP, onde foram utilizados geotêxteis para o reforço do aterro da rodovia.

Atualmente, os geossintéticos têm substituído ou melhorado os procedimentos técnicos que vêm sendo praticados há décadas, pois existem mais possibilidades de aplicações e opções de materiais, buscando adequar as melhores soluções aos diferentes tipos de solos e situações, com menores custo e tempo de execução. Neste aspecto, segundo as terminologias definidas pela NBR-ISO 10318-1:2018, as principais classes de geossintéticos são: geocélulas, geogrelhas, georredes, geomembranas, geocompostos, geotubos e geotêxteis, descritos a seguir.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS

Os principais geossintéticos podem ser definidos pela NBR-ISO 10318-1:2018. A mesma norma define geocélula (Figura 1) como um produto de estrutura tridimensional, com células interligadas, que tem como objetivo confinar os materiais que estão inseridos dentro delas, tendo como função principal, o reforço e o controle da erosão do solo.

Em alguns casos essas células são preenchidas com solo, ou até concreto, para criar uma estrutura rígida e estável.

Segundo Lavoie *et al.* (2017) existem dois tipos de geocélulas, sendo uma delas feita com tiras de polietileno de alta densidade (PEAD) e a outra de polipropileno (PP).

Figura 1 – Modelo de geocélula MacCel.



Fonte: Maccaferri (2017).

A Empresa Geossintec cita como maior vantagem da Geocélula a capacidade de absorver e transferir de forma eficiente, parte das tensões verticais para horizontal, promovendo uma melhora nas características geomecânicas e aumentando a capacidade de carga do conjunto.

As geogrelhas (Figura 2), segundo Vertematti (2004), por possibilitarem a interação do ambiente onde estão confinadas, podem ser definidas como estruturas de grelhas com elementos que apresentam resistência à tração. A principal aplicação desse geossintético é como reforço em solos, tendo função semelhante ao aço no concreto armado, devido à alta resistência à tração, enquanto a compressão é resistida pelo solo, mas também pode ser usado como reforço de aterro de solos moles, bases de pavimentos, subleitos e fundações.

Figura 2 – Modelo de geogrelha MacGrid



Fonte: Maccaferri (2018).

Já a georrede é um produto que serve como núcleo drenante para drenagem de líquidos e gases em obras de engenharia (Figura 3). Possui estrutura tridimensional com grande volume de vazios e proporciona elevada capacidade de vazão, além de ótima resistência mecânica, química e ao intemperismo (TEGAPE, 2019).

Figura 3 – Estrutura da Georrede.



Fonte: Maccaferri (2017).

Entre as aplicações das georredes, destacam-se as funções de drenagem em estruturas como aterros sanitários, muros de arrimo e outros sistemas de impermeabilização.

Outros geossintéticos importante são as geomembranas, que segundo Benevenuto *et al.* (2017) podem ser definidas como mantas contínuas e flexíveis, sendo utilizadas como barreiras impermeáveis para contenção de fluidos, gases ou vapores. Este material é composto de polietileno de elevada densidade (PEAD) ou policloreto de vinila (PVC) e possui um excelente desempenho quando utilizado em sua função principal, a de impermeabilizante (Figura 4). As geomembranas são utilizadas em lagos artificiais (resultando na preservação do meio em que está inserido, considerando que pode prevenir a contaminação de níveis freáticos).

Figura 4 – Geomembrana aplicada na impermeabilização do solo.



Fonte: Prefeitura de Itararé (2018).

De acordo com a empresa de soluções geotécnicas Vegetech (2019), a baixa permeabilidade deste material permite sua aplicação em setores como piscicultura e agriculturas diversas.

Ainda destacamos os geotubos (Figura 5). Couto (2011) define como estruturas longas e cilíndricas, fabricadas a partir de têxteis sintéticos, como poliéster e propileno. Vertematti (2004) diz que geotubos são basicamente tubos-drenos sintéticos, projetados para aplicação em drenagem e substituição de tubos convencionais em concreto perfurado.

Figura 5 – Estrutura dos geotubos



Fonte: Vertematti (2004).

Couto (2011) também cita que outra forma de encontrar esse material é como Geobags (Figura 6), que atuam como quebra-mar, com função de preservar as praias.

Figura 6 – Geobags utilizadas como barreira de contenção para proteção costeira.



Fonte: Allonda [Entre 2000 e 2019].

Com diferentes formas de obtenção temos o geocompostos (Figura 7), acordo com Vertematti (2004), são materiais produzidos por superposição ou agregação de um ou mais geossintéticos, podendo ainda, conter outros materiais, sendo projetados para cumprir uma função específica.

Como exemplo, podem ser citados o geotêxtil-georrede, georrede-geomembrana ou geocomposto argiloso, sendo este último, um geotêxtil preenchido por bentonita.

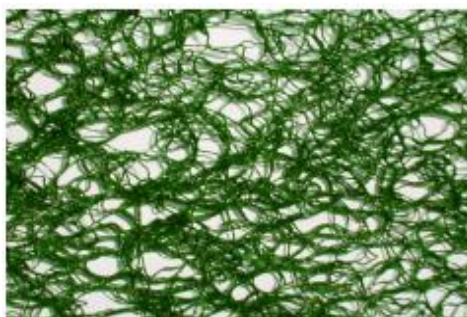
Figura 7 – Modelo de Geocomposto INOVADRAIN



Fonte: Inovageo Geossintéticos [Entre 2000 e 2019].

Podemos citar também as geomantas ou biomantas (Figura 8), que segundo Sieira (2003), são produtos utilizados em controle de erosão superficial, consistindo em estruturas tridimensionais permeáveis.

Figura 8 – Modelo de Geomanta MacMat

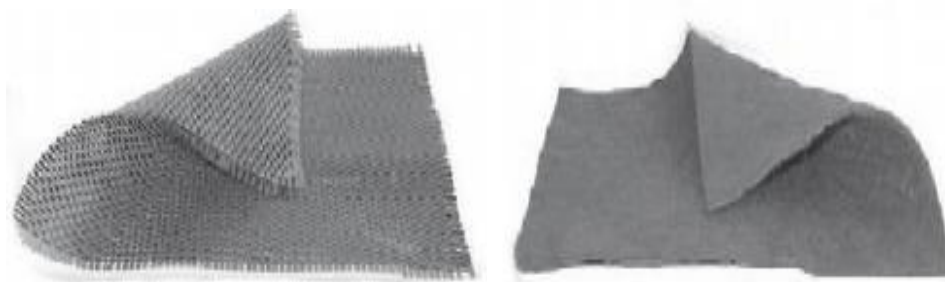


Fonte: Maccaferri (2017).

Já os geotêxteis são definidos pela NBR-ISO 10318-1:2018 como um produto têxtil bidimensional permeável, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe diversas funções em uma obra geotécnica.

De acordo com Daldegan (2017), as mantas geotêxteis podem ser classificadas em geotêxtil tecido e geotêxtil não tecido (Figura 9), sendo os geotêxteis tecido, aqueles formados por fibras ou filamentos contínuos que são entrelaçados perpendicularmente, de modo a compor um plano. Os geotêxteis não tecidos são constituídos de filamentos contínuos ligados através de agulhagem, produzidos por extrusão.

Figura 9 – Geotêxtil Tecido (à esquerda) e geotêxtil não tecido (à direita).



Fonte: Vertematti (2004).

De acordo com Daldegan (2017), com grande utilização na construção civil, o geotêxtil se apresenta de maneira fundamental no reforço de aterros, nas estruturas de drenagem, de contenção e entre outras aplicações, devido à sua eficiente adequação a diferentes ambientes, assim como, desempenho de diversas funções fundamentais.

3.3 COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES DOS GEOSSINTÉTICOS

As funções requisitadas nas diversas aplicações geotécnicas impõem propriedades específicas dos geossintéticos. Essas propriedades estão associadas aos polímeros que compõem esses materiais, e estes, por sua vez, são macromoléculas formadas por unidades menores, os monômeros.

De acordo com Costa *et al.* (2015) união de monômeros é o processo de polimerização, sendo que os polímeros sintéticos têm como componentes principais, carbono e hidrogênio, e os polímeros mais comuns para a fabricação de geossintéticos são o poliéster (PET), o polietileno (PE), a poliamida (PA), o polietileno de baixa densidade (LDPE), o polietileno de baixa densidade linear (LLDPE), o polietileno de alta densidade (HDPE), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o copolímero de etileno com betume (ECB), o polietileno clorado (CPE) e o cloreto de polivinila (PVC). Vale ressaltar que PVC, ECB E CPE são utilizados apenas na composição de geomembranas.

Carneiro (2009) relata que para que os geossintéticos apresentem bom desempenho nas funções projetadas, devem possuir um conjunto definido de propriedades. Essas propriedades estão categorizadas em físicas, mecânicas, hidráulicas e relativas à durabilidade.

Entre as diversas propriedades físicas podem ser mencionadas a massa por unidade de área, espessura, distribuição e densidade relativa dos polímeros. Enquanto as

propriedades mecânicas incluem resistência à tração, resistência ao rasgamento e resistência ao punçoamento. As principais propriedades físicas e mecânicas consideradas em projetos que utilizam geossintéticos são descritas a seguir.

Propriedades Físicas

Dentre as principais propriedades físicas podemos destacar a Massa por unidade área, também conhecida como gramatura, e expressa em g m^{-2} . É regida pela ABNT NBR ISO 9864:2013, e segundo Sieira (2003) os valores comuns para os geotêxteis tecidos variam de 100 e 300 g m^{-2} e 100 e 400 g m^{-2} para os geotêxteis não tecidos, enquanto as geogrelhas variam de 200 a 1000 g m^{-2} .

Outra importante propriedade é a Espessura (mm), sendo definida, com base na ABNT NBR ISO 9863-1:2003, como a diferença entre a superfície inferior e superior e é um dos componentes que influencia as propriedades mecânicas e hidráulicas dos geossintéticos. Com o aumento da espessura, temos também uma maior massa por unidade de área.

Além das propriedades mencionadas anteriormente, temos a Porosidade (%), que pode ser definida como sendo a distribuição e dimensão das aberturas de um geossintético, geralmente expressa por uma porcentagem do volume total do geossintético. Segundo Sieira (2003) é considerado um parâmetro de grande importância para a definição das dimensões de um geossintético. Estas dimensões, por sua vez, são relacionadas ao seu processo fabril, sendo que alguns geossintéticos possuem poros uniformes (geogrelhas), enquanto outros possuem uma faixa de tamanho (geotêxteis).

Propriedades Mecânicas

Os geossintéticos estão sujeitos a solicitações mecânicas em sua instalação e, posteriormente, durante todo o seu funcionamento. Algumas das propriedades mecânicas que devem ser consideradas em projetos, são descritas a seguir. Como a Resistência à tração (kN/m): Segundo a ABNT NBR ISO 10319:2013 a resistência à tração do geossintético indica o carregamento máximo suportado por ele, a uma velocidade constante preestabelecida, até que ele se rompa.

Ainda destacamos a Resistência à penetração por punção (kN) que corresponde, segundo Sieira (2003), à vulnerabilidade de um geossintético a compressões diferenciais ou choques provocados por quedas de materiais.

3.4 APLICAÇÕES DOS GEOSSINTÉTICOS

Com grande versatilidade, os geossintéticos são membros integrantes nas soluções de problemas de engenharia, podendo exercer a função de separação dos materiais. Os geossintéticos são usados para separar duas camadas de uma via, de forma a evitar que os materiais da base penetrem nas camadas subjacentes, e assim possibilitem a garantia das espessuras determinadas em projeto. Palmeira e Fonseca (2015) destacam como principais geossintéticos utilizados em separação de materiais, os geotêxteis, os geocompostos e as barreiras geossintéticas.

Também podem ser aplicados em filtração. Segundo Vertematti e Aguiar (2015), o uso de geossintéticos como elemento filtrante foi uma das primeiras formas de utilização desses materiais e ainda é uma das principais aplicações até hoje. Como filtro, ele permite a livre passagem de água pelo solo e retém as partículas sólidas, desempenhando uma função similar a um filtro de areia, porém sendo mais vantajoso do que este, por sua facilidade de instalação, baixo custo, espessura fina e a possibilidade de controlar as características do filtro.

Outra recorrente situação é quando, em solos com pouca permeabilidade, a presença de água em excesso pode causar um colapso indesejável quando o solo se torna saturado, por isso a importância de se usar um geossintético como dreno, de forma a carregar o fluido através do solo. Segundo Vertematti e Aguiar (2015), é possível a utilização de um ou mais geossintéticos com função drenante em um mesmo sistema de drenagem, sendo eles: Geotêxteis espessos, quando uma única camada de geotêxtil, que atua filtrando e conduzindo os fluidos em seu plano. Georredes ou geomantas, que funcionam como um núcleo drenante, substituindo materiais geralmente utilizados nos drenos convencionais como pedra britada, seixo rolado e outros que criam um grande volume de vazios. E Geocompostos drenantes, uma combinação de um geotêxtil não tecido com um núcleo drenante de PEAD, que capta os fluidos e os conduzem através de seu plano.

Os geossintéticos ainda podem ser aplicados em reforço. Sendo considerado um elemento de reforço quando é associado a um solo para melhorar suas propriedades de resistência e deformação. De acordo com Vertematti (2015), são inúmeras as vantagens da utilização de geossintéticos dessa maneira, pois possibilitam a construção em locais de difícil acesso, em locais com solos extremamente moles, reduzem o tempo de uma obra, minimizam impactos ambientais de obras de contenção, além de permitir a construção de aterros e taludes com inclinações acentuadas.

Como barreiras impermeabilizantes, segundo Vilar *et al.* (2015), os geossintéticos são usados de maneira a evitar o escoamento de líquidos e gases, garantindo reserva de água, impedindo a migração de umidade e de vapores e contendo rejeitos de origem industrial e urbana. Ainda segundo Vilar *et al.* (2015) com essa finalidade são muito usadas as geomembranas, geocompostos, geotêxteis revestidos e geocompostos argilosos.

A prevenção de processos erosivos causados pelo impacto da chuva e pelo escoamento superficial é essencial para a segurança de uma obra, considerando que os problemas relacionados com esse fenômeno são de difícil correção e alto custo, de acordo com Geroto e Marques (2015). Desta forma, ainda segundo Geroto e Marques (2015), os geossintéticos aumentam a resistência do terreno, atuando contra a ocorrência de erosão, podendo ser empregados tanto para retenção de partículas de solo, quanto para confinamento de materiais carregados durante o escoamento superficial. Assim, outra aplicação desses materiais é no controle de erosão superficial.

Os geossintéticos ainda desempenham a função de proteção e segundo Abramento e Pezzolo (2015) podem ser empregados em diversos tipos de estruturas e obras, tendo como objetivo a redução de tensões, prevenção ou redução de danos, causados a uma determinada estrutura.

3.5 NORMAS VIGENTES PARA USO DE GEOSSINTÉTICOS

Um importante tema relativo à fabricação dos geossintéticos, é a variabilidade das suas características como resultado do seu processo de manufatura. Para garantir uma uniformidade, é preciso realizar ensaios específicos, para verificar as propriedades mais importantes dos materiais produzidos. O mesmo ocorre quando o objetivo é o dimensionamento e o desempenho dos geossintéticos.

Segundo Vertematti (2004), o Comitê brasileiro de geossintéticos, foi desenvolvido em 1990, para criar normas e adequar as mesmas condições climáticas, geológicas, geotécnicas, tecnológicas e econômicas. No Anexo, serão apresentadas as normas brasileiras para classificação e utilização dos geossintéticos, em vigência no ano de 2019 (Quadro 1). No total são 18 normas. Também serão apresentadas no anexo, as normas ASTM (American Society for Testing Materials), Quadros 2,3 e 4, desenvolvidas nos Estados Unidos da América pela ANSI (American National Standards Institute) até 2009. Segundo Carneiro (2009), essas normas possuem grande apoio internacional e são as responsáveis pela classificação e normatização dos geossintéticos nos Estados Unidos.

Constituem-se em 88 normas. O anexo também apresentará as 66 normas para classificação e utilização dos geossintéticos vigentes na Europa em 2009, regularizadas pelo CEN (Comissão Europeia de Normalização) nos quadros 5,6 e 7, além das 28 normas ISO (International Organization for Standardization) de 2009, que são as normas internacionais, no Quadro 8.

O grande volume de normas produzidas fora do Brasil para a regulamentação dos geossintéticos e de suas propriedades, mostra a relevância desses materiais e contrasta com o número bem menor de normas brasileiras.

É preciso destacar as normas brasileiras ABNT NBR ISO 9863-1/2013 e a ABNT NBR ISO 10318/2018. A ABNT NBR ISO 9863-1/2013 abrange uma característica muito importante das propriedades físicas dos geossintéticos, a espessura, permitindo a determinação da espessura nominal a pressões específicas. A ABNT NBR ISO 10318/2018 define os termos relativos às funções, produtos, propriedades e outros termos empregados nas normas de geossintéticos da ABNT.

Entre as aplicações, a ABNT NBR ISO 10318/2018 contempla fundações, muros de contenção, ferrovias, barragens, reservatórios, sistemas drenantes, sistemas antierosão, túneis, disposição de resíduos, desempenhando funções de separação, reforço, filtração, proteção, alívio de tensão, controle de erosão superficial e barreira de fluxo. Lembrando que uma das vantagens de se utilizar geossintéticos é que o produto pode desempenhar diversas funções em uma mesma aplicação. Por exemplo, em aterros sobre solos moles, podemos usar geogrelhas, geocélulas, geotêxteis tecidos e, em inclusões granulares confinadas em geotêxtil em solos moles e muito moles, esse geossintético exerce as funções de separação, filtração e reforço. Muitas vezes um problema geotécnico pode demandar a combinação de vários produtos para que seja completamente resolvido, como ocorre em aterros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada revisão bibliográfica para a fundamentação técnica e científica sobre as aplicações e desempenho de geossintéticos em diferentes obras de engenharia. Para isso foram realizadas consultas em portais que contém periódicos importantes relacionados ao tema e em sites de empresas especializadas, para a obtenção de informações sobre os geossintéticos disponíveis no mercado, suas propriedades, classificação; funções e aplicações de materiais específicos para o controle de processos erosivos, impermeabilizantes e reforço em pavimento.

Posteriormente, foram analisados projetos desenvolvidos por empresas do setor para avaliar a aplicabilidade e o desempenho de geossintéticos em diferentes obras de engenharia. Essa análise incluiu a avaliação das propriedades relevantes dos geossintéticos e suas funções em atendimento aos requisitos estabelecidos por normas brasileiras. Também foram avaliadas as principais vantagens e possíveis limitações apresentadas pelas diferentes categorias de geossintéticos.

4.2 ESTUDOS DE CASO

Com o objetivo de analisar alguns cenários brasileiros representativos de obras geotécnicas e da aplicação de geossintéticos na construção civil, foram realizados três estudos de caso: a estrutura de contenção fixada na Zona Oeste da Arena Corinthians, em São Paulo – SP; o reforço do pavimento do Autódromo Ayrton Senna, em Goiânia – GO, e os geossintéticos aplicados no fechamento do Aterro Sanitário da cidade de Cariacica, no Espírito Santo.

No caso da Arena Corinthians, foi aplicado o Sistema Terramesh com a função de estabilizar talude, para reforço do solo foram aplicadas as Geogrelhas MacGrid® WG, e para a drenagem, o geocomposto MacDrain 2R juntamente com o geotêxtil MacTex N 40.2, que teve como função a retenção de finos.

Para o fechamento do Aterro Classe 1 de Cariacica, foram utilizadas geogrelhas e geocélulas para reforçar o muro de concreto armado construído em todo o perímetro do aterro, geomembranas de PEAD para impermeabilização da camada superior do aterro,

geotêxteis não tecidos para a proteção e filtração do solo, geocompostos drenantes para detecção de vazamentos e geotubos corrugados de PEAD para escoamento.

No Autódromo Ayrton Senna, foi aplicado um geocomposto, o MacGrid® Ar, resultado da associação de uma geogrelha e um geotêxtil não-tecido para o reforço asfáltico e aumento da vida útil do pavimento do autódromo.

As análises das aplicações dos geossintéticos em cada caso avaliado neste trabalho possibilitaram a obtenção de informações importantes sobre as diversas funções que estes produtos podem desempenhar em obras geotécnicas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos estudos de caso considerados neste trabalho, em que foram avaliados as diferentes aplicações e o desempenho de geossintéticos em diversas funções em obras geotécnicas são apresentados a seguir.

5.1 O CASO DA ARENA CORINTHIANS

A copa do mundo de 2014 demandou a reestruturação de algumas arenas no Brasil, assim como, a construção de outras, como a Arena do distrito de Itaquera, em São Paulo, conhecida como Arena Corinthians ou Itaquerão, que foi utilizada para a abertura deste evento. Esse estádio foi dividido em quatro setores durante o seu projeto: Norte, Sul, Leste e este, sendo o último, o setor principal, representando mais da metade das obras em projeto (Figura 10).

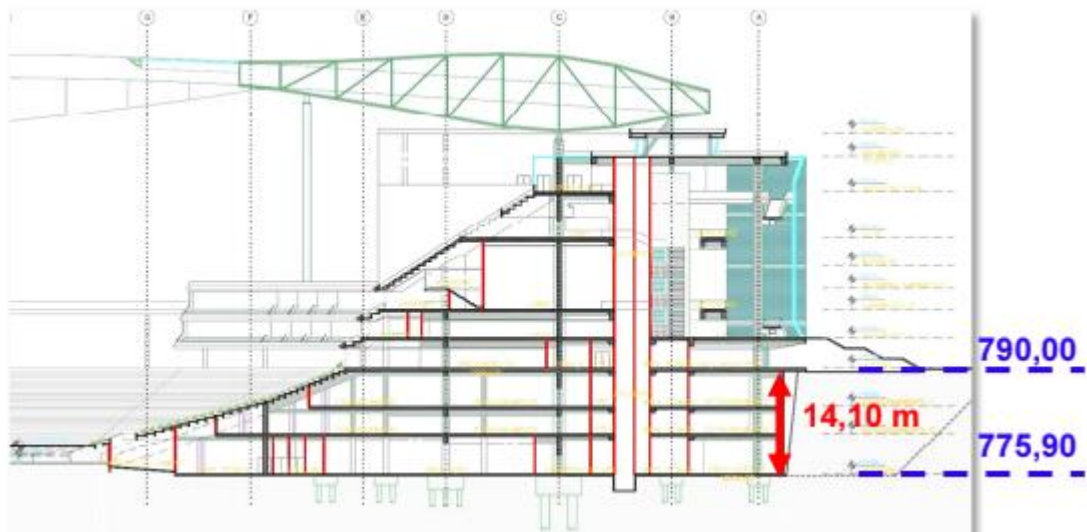
Figura 10 – Distribuição dos setores da Arena Corinthians, em São Paulo.



Fonte: Maccaferri (2012).

O setor Oeste possui um prédio de 14 metros com 11 níveis, e foi nivelado a ele onde houve a necessidade de se fixar uma estrutura de contenção com 635m de extensão e 7666m² de área de face (Figura 11).

Figura 11 – Corte da zona Oeste da Arena Corinthians, São Paulo (SP).



Fonte: Maccaferri (2012).

Segundo a empresa Maccaferri (2012), o desafio foi promover a verticalização e estabilização de um maciço de solo, sendo necessário reforçar o solo abaixo do maciço e captar e conduzir o fluxo de drenagem, visto que o objetivo era a criação de um pátio de estacionamento na parte superior do estádio (Figura 12).

Figura 12 – Estacionamento da Arena Corinthians, em São Paulo (SP).



Fonte: Site oficial Sport Club Corinthians Paulista [Entre 2014 e 2019].

A solução Terramesh System, um modelo de gabião caixa com geogrelhas, foi utilizada com intuito de estabilizar o talude (Figura 13), além de sua viabilidade técnica econômica.

Figura 13 - Estrutura de contenção de talude da Arena Corinthians, utilizando o sistema Terramesh.



Fonte: Maccaferri (2012).

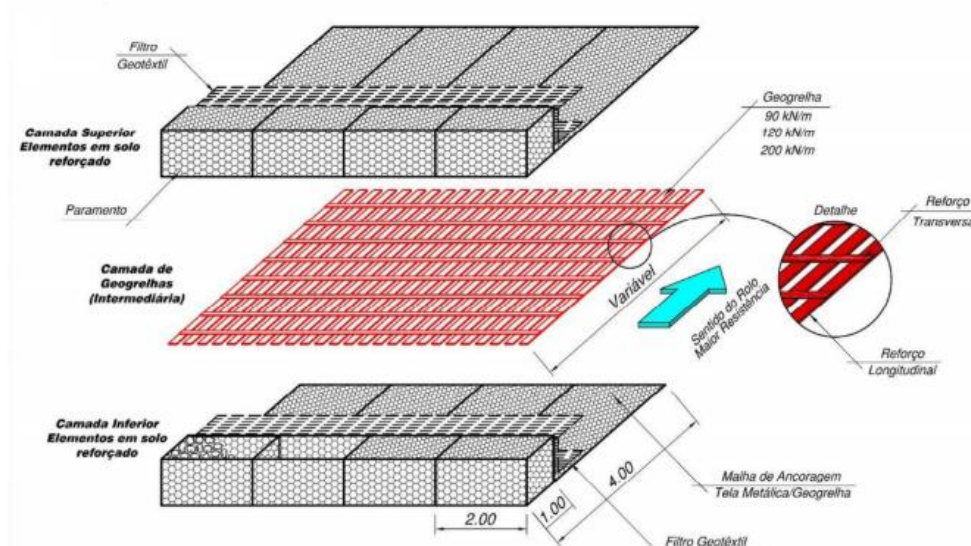
Para reforço do solo a solução foram as geogrelhas MacGrid® WG, que a empresa Maccaferri define como um elementos de face de aspecto similar aos dos gabiões (confeccionados com a malha hexagonal dupla torção, onde as faces dos elementos são feitos a partir de um único pano de malha, formando um elemento único) juntamente com geogrelhas tecidas em poliéster de alta resistência à tração e baixa deformação, que inseridas entre os elementos de face (Figura 14), exercem a função de reforços primários, formando a estrutura de contenção (Figura 15).

Figura 14 – Geogrelha instalada entre os elementos de face da estrutura em solo reforçado da Arena Corinthians, São Paulo (SP).



Fonte: Maccaferri (2012).

Figura 15 – Detalhe da inserção das geogrelhas entre os elementos de face do solo reforçado formando a estrutura de contenção, aplicada na Arena Corinthians, São Paulo (SP).



Fonte: Maccaferri (2012).

Com objetivo de evitar a saturação e possibilitar o trabalho com condição drenada, a solução da Maccaferri foi utilizar outro geocomposto, o MacDrain 2R, que possui núcleo de georrede termo soldada a dois geotêxteis não tecidos de polipropileno em alguns pontos de contato.

Além dessa solução, a Maccaferri afirma que a fim de garantir a retenção de finos e passagem d'água, como elemento filtrante e separador, na parte interna do paramento frontal da contenção, foi prevista também a instalação do geotêxtil MacTex N 40.2, composto por fibras de poliéster agulhadas não tecidas que garantiram as propriedades mecânicas e hidráulicas necessárias para bom desempenho da solução proposta (Figura 16).

Figura 16 – Utilização dos geocomposto drenantes e geotêxteis na contenção em solo reforçado.



Fonte: Maccaferri (2012).

Uma das características principais do sistema Terramesh, segundo a empresa Maccaferri (2012), é seu rápido processo executivo, pois a estrutura é edificada simultaneamente ao aterro (Figura 17).

Figura 17 – Detalhe da inserção das geogrelhas entre os elementos de face do solo reforçado de contenção.



Fonte: Maccaferri (2012).

Analisando o caso da Arena Corinthians, verificou-se que os geossintéticos foram utilizados para exercer diversas funções. A solução para a contenção de talude utilizando o Sistema Terramesh e Geogrelhas MacGrid® WG para reforço e contenção de solo foi uma alternativa simples e rápida e, como outras soluções de geossintéticos de reforço, não

exigem mão de obra especializada, além de apresentarem custos relativamente baixos, com grande competitividade econômica, quando comparadas a outras técnicas (SANTOS, 2011). O mesmo foi observado para o geocomposto MacDrain 2R e para o geotêxtil MacTex N 40.2, empregados para desempenhar a função de drenante, que também são de fácil aplicação.

A combinação destes geossintéticos foi eficaz para a estabilização e reforço de taludes na Arena Corinthians. Isso foi comprovado, segundo Santos *et al* [201-], pela instrumentação instalada para avaliar o comportamento da contenção, deformações da face, recalques diferenciais, e mobilização de esforços na fundação. Conforme, Santos *et al* [201-], as células de pressão mostraram que a fundação tem capacidade de suporte de 1,5 vezes o valor da carga aplicada, os marcos superficiais de recalques foram considerados mínimos, e os inclinômetros, para medição dos deslocamentos horizontais, encontrou valores dentro da faixa limite para o muro.

Portanto, os geossintéticos aplicados na Arena Corinthians se apresentam como a melhor solução possível para os problemas identificados. A execução simples, contrasta com outras soluções que demandariam diferentes equipamentos, como a técnica de atirantamento, por exemplo, que comparado ao reforço de solo e contenção de talude com o uso de geossintéticos se mostra menos eficiente, uma vez que o solo da região é, consideravelmente, plástico (Santos *et al*, [201-]), o que dificulta o grampeamento, e consequentemente, compromete a estabilidade e a qualidade do serviço final. Com relação ao custo, a técnica de atirantamento embora apresente menor custo que os geossintéticos, exige maior tempo para aplicação. Nesse caso, o ganho de tempo com a aplicação e a possibilidade de reutilização do solo local após a obra, compensam a diferença de custos, e tornam o uso de geossintéticos mais atrativo nessa situação.

5.2 FECHAMENTO DO ATERRO DE CARIACICA

Na cidade de Cariacica, no Estado do Espírito Santo, ocorreu o projeto de fechamento de um aterro Classe 1, que segundo a norma ABNT NBR 10.004/2004, são aqueles que aterram resíduos perigosos e representam riscos ambientais e à saúde pública.

Caressato Junior e Panta (2018) consideram essa obra uma referência para o estudo de geossintéticos no Brasil, devido à grande utilização desses produtos, como: muros reforçados com geocélulas e geogrelhas, geomembranas de PEAD para sistemas de impermeabilização, geotêxteis não tecidos para proteção e filtro, geocompostos drenantes

para sistemas de detecção de vazamentos e geotubos corrugados de PEAD para incorporação de resíduos perigosos ao meio ambiente.

O aterro possui uma área de, aproximadamente, 4.800 m² e foi utilizado para a disposição final de pó de aciaria e resíduos provenientes de processos de alto forno até seu completo fechamento em janeiro de 2017. Na Figura 18 pode ser observado o aterro antes da obra de fechamento.

Figura 18 – Vista do aterro de Cariacica (ES), antes de seu fechamento em 19 de janeiro de 2017.



Fonte: Caressato Junior e Panta (2018).

De acordo com Caressato Junior e Panta (2018), com a intenção de aumentar a vida útil do aterro e a capacidade de armazenamento para 26.000 m³ foi realizada a construção de um muro de concreto armado em todo o perímetro. Esse muro, com o fim da vida útil do aterro, foi reforçado com geogrelhas e geocélulas (Figuras 19 e 20), com objetivo de auxiliar na concepção do arranjo final dos sistemas de cobertura e drenagem projetados para o fechamento do aterro. Além de garantir estanqueidade com intuito de preservar as condições ambientais da área ao redor, essas estruturas influenciam na estabilidade do local.

Figura 19 - Geocélulas preenchidas com solo



Fonte: Caressato Junior e Panta (2018).

Figura 20 - Vista lateral do processo construtivo do muro



Fonte: Caressato Junior e Panta (2018).

O sistema de drenagem foi aplicado devido a necessidade de evitar a percolação da água no solo, considerando que este é um muro de solo reforçado (CARESSATO JUNIOR E PANTA, 2018). Para dimensionar o sistema, a drenagem foi determinada em uma trincheira preenchida com brita e revestida de geotêxtil, sendo utilizados tubos de PEAD corrugados e perfurados, para tornar mais fácil a percolação da água, e diminuir as tensões atuantes sobre os próprios tubos para o solo lateral.

Considerando que a cobertura final deveria impedir a entrada de água no conjunto, e ao mesmo tempo impedir que o material contaminante comprometesse as áreas próximas, foi escolhida para a cobertura a geomembrana de PEAD, pois, de acordo com Caressato Junior e Panta (2018), os índices de permeabilidade deste material são muito baixos.

Devido a possibilidade de existência de partículas pontiagudas, o Aterro completamente fechado (Figura 21) ainda continha uma cama de geotêxtil não tecido com função de proteção.

Figura 21 - Aterro após instalação da geomembrana de PEAD



Fonte: Caressato Junior e Panta (2018).

Para acelerar o processo de drenagem superficial, foi realizada a instalação de uma camada de geocomposto drenante, sobre a camada de geomembrana (Figura 22). De acordo com Caressato Junior e Panta (2018), a capacidade de lidar com o fluxo de fluidos é uma das características desse geocomposto drenante, já que possui uma georrede rígida de PEAD.

Figura 22 – Aterro fechado e impermeabilizado com geomembrana de PEAD.



Fonte: Caressato Junior e Panta (2018).

Ao final foi adicionado uma camada de solo de 0,40 m de espessura para cobrir a área do aterro (Figura 23). Além da função de proteção mecânica, o intuito era alcançar uma maior integração ao meio ambiente (Figura 24).

Figura 23 – Adição de camada de solo sobre a geomembrana de PEAD



Fonte: Caressato Junior e Panta (2018).

Figura 24 – Reintegração da área do aterro ao meio ambiente após finalização da obra.



Fonte: Caressato Junior e Panta (2018).

O fechamento do Aterro da cidade de Cariacica combinou diferentes aplicações de geossintéticos para, segundo Caressato Junior e Panta (2018), concluir o procedimento dentro do prazo estimado, garantindo a impermeabilização do Aterro.

A escolha dos geossintéticos se deu por conta das condições inicialmente encontradas no aterro e da intenção da empresa responsável de garantir uma integração, ao final da obra, com o meio ambiente. Outras soluções promoveriam uma maior intervenção na estrutura inicial do Aterro ou não apresentariam o mesmo comprometimento ambiental.

A estrutura flexível formada a partir dos geossintéticos, conforme Caressato Junior e Panta (2018), reduziu os possíveis efeitos de recalques diferenciais e aumentou a durabilidade, a longo prazo, da construção. Além disso, a solução escolhida possibilitou a integração com o meio ambiente através do uso da vegetação e aumentou a produtividade da obra.

Outras maneiras de impermeabilizar o aterro, como a utilização apenas de solo compactado poderiam ter sido desenvolvidas, mas sem a mesma eficiência. Ao escolher o

solo compactado, de acordo com Locastro e Angelis (2016), a obra ganha uma significativa possibilidade de redução dos custos, já que reutiliza solos próximos aos aterros, mas sem garantir um mesmo coeficiente de permeabilidade. Ainda conforme Locastro e Angelis (2016) a baixa permeabilidade é a característica mais importante desse sistema, já que garante segurança e qualidade.

Sistemas de impermeabilização com concreto, emulsões asfálticas ou sistema solo-cimento, também não são tão vantajosos quantos os geossintéticos em relação, por exemplo, a facilidade de construção, durabilidade, controle de qualidade (Bueno et al., 2004).

Analizando o caso da desativação e fechamento do Aterro Classe 1 de Cariacica (ES), os geossintéticos aplicados representaram as melhores opções para a realização desta obra. As geogrelhas e a geocélulas aplicadas, neste caso, são as principais soluções entre os geotêxteis para a função de reforço. A geomembrana de PEAD também tem sido o geossintético mais recomendado para a função de impermeabilização, devido a sua alta densidade, este material garante a preservação mais eficiente que outros geossintéticos impermeabilizantes como os geocompostos, geotêxteis revestidos e geocompostos argilosos, além de ser uma solução simples e de fácil implantação. Os geotêxteis não tecidos utilizados para a proteção da geomembrana de PEAD quanto a partículas pontiagudas, o sistema de drenagem com o geocomposto de georrede rígida com alta capacidade de transporte de fluidos e os geotubos corrugados de PEAD aplicados com a função de escoamento, são alternativas eficientes para o desempenho das funções necessárias à desativação do aterro, apesar de existirem outros geossintéticos com essas funções. Além disso, as alternativas aplicadas possibilitaram a interação da obra com o meio ambiente, atingindo um dos objetivos desse projeto. Porém, é preciso considerar que esta obra demanda cuidados com a manutenção, sendo necessária mão de obra especializada, devido à grande variedade de geossintéticos aplicados e, assim como foi observado anteriormente, é preciso evitar a exposição destes materiais às intempéries.

5.3 O CASO DO AUTÓDROMO AYRTON SENNA

Sendo um símbolo do automobilismo mundial, o Autódromo Ayrton Senna é sede de competições importantes e, no ano de 2016, com o intuito de proteger a estrutura de sua pista e recuperar a sua qualidade, a AGETOP (Agência Goiana de Transportes e Obras)

órgão do estado responsável pela administração do autódromo, resolveu procurar soluções para as patologias encontradas no pavimento do autódromo.

Segundo a empresa Maccaferri (2016), houve o surgimento de trincas e pequenas depressões no revestimento flexível da pista, o que comprometia o conforto e segurança dos usuários (Figura 25). Tais patologias se deram pela grande solicitação de tráfego e pela ação de agentes climáticos.

A base do pavimento era um pouco antiga, mas ainda estava em bom estado, com isso, o objetivo da AGETOP era aumentar a vida útil da pista e combater as patologias antigas, de maneira a evitar futuros danos a estrutura da base.

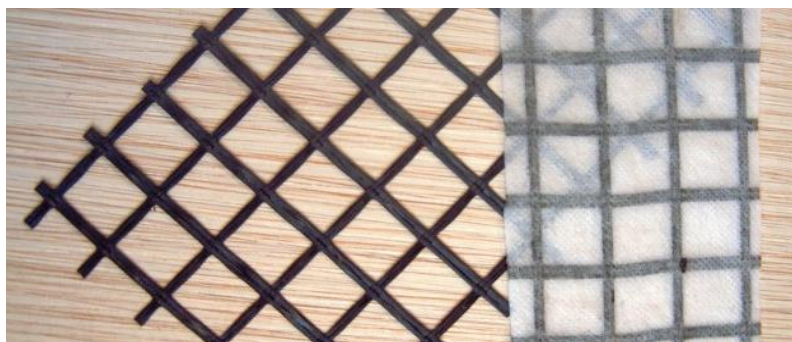
Figura 25 – Pavimento do Autódromo Ayrton Senna antes da obra.



Fonte: Maccaferri [Entre 2000 e 2019].

Dessa forma, a solução encontrada foi o uso de um geocomposto, o MacGrid® AR, resultado da associação de uma geogrelha a um geotêxtil não-tecido (Figura 26), para o reforço asfáltico.

Figura 26 – Geocomposto MacGrid® AR utilizado como reforço asfáltico no Autódromo Ayrton Senna.



Fonte: Maccaferri [Entre 2000 e 2019].

Segundo a Maccaferri (2016), foi necessário a aplicação de uma camada contínua de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) anterior a aplicação do MacGrid® AR (Figura 27), posterior a isso foi feita a aplicação de uma camada de rolamento para a finalização com uma camada de mistura asfáltica de graduação descontínua SMA (Stone Matrix Asphalt) (Figura 28)

Figura 27 – Aplicação do MacGrid® AR como reforço asfáltico no Autódromo Ayrton Senna.



Fonte: Maccaferri [Entre 2000 e 2019].

Figura 28 – Aplicação da camada de SMA (Stone Matrix Asphalt) no Autódromo Ayrton Senna.



Fonte: Maccaferri [Entre 2000 2019].

Para o reforço asfáltico do Autódromo Ayrton Senna é preciso ressaltar que se trata de um pavimento de grande solicitação, que exige uma solução mais estável e resistente, que não ceda a deformações ou rupturas facilmente.

Importante lembrar que devido ao fato de se tratar de uma pista de automobilismo, quem faz as exigências relativas a resistência da pista é a FIA (Federação Internacional de Automobilismo), reivindicações que não seriam atingidas facilmente com solução diferente à do uso de geossintéticos para o reforço do pavimento.

O recapeamento, por exemplo, é uma solução comum para a reabilitação de pavimentos em condições comprometedoras, entretanto ele é dimensionado somente para reduzir os esforços de flexão e cisalhamento, não prevenindo a ocorrência de novas trincas, enquanto o uso de geossintéticos previne novas fissuras por meio da redistribuição das tensões aplicadas sobre o pavimento. Portanto o uso do geocomposto MacGrid® AR foi a solução mais eficiente e completa para todos os problemas apresentados pelo pavimento do Autódromo Ayrton Senna.

5.4 CONSIDERAÇÕES

Com base nos diferentes casos analisados no presente trabalho foi possível verificar que os geossintéticos apresentam uma série de benefícios quando aplicados em obras de engenharia civil, isso graças a combinação de suas aplicações impermeabilizantes, de

separação, filtrantes, de contenção, proteção, e outras, somadas à facilidade de aplicação, versatilidade, leveza e viabilidade econômica (Maia, 2016).

Segundo Maia (2016), as novas tecnologias e materiais desenvolvidos para solucionar os diversos problemas de engenharia, assim como essa gama de empregos, tornam os geossintéticos alternativas convidativas ao mercado. Entretanto, ainda existe escassez de informação e falta de desenvolvimento de normas e legislações referentes a estes elementos, quando comparamos o que temos no Brasil com o que já é rotina no resto do mundo. Por outro lado, essa é uma situação que tende a mudar, visto todas as qualidades e aplicações que os geossintéticos oferecem.

Os geossintéticos não são só uma alternativa às tradicionais técnicas da geotecnia, mas uma opção real, que vem crescendo e conquistando o mercado, estes materiais têm sido a melhor solução para diversos problemas da engenharia, como os analisados neste trabalho.

É válido ressaltar que, a simplicidade de instalação e a menor necessidade de utilização de máquinas de terraplanagem de grande porte, tornam a utilização dos geossintéticos muito vantajosa do ponto de vista de preservação ambiental (IGS BRASIL, 2019).

6 CONCLUSÕES

Os objetivos traçados neste trabalho foram alcançados, já que a análise das obras escolhidas como estudos de caso permitiram visualizar diferentes geossintéticos utilizados em obras de engenharia, gerando informações sobre esses materiais.

Os estudos de caso ainda permitiram uma análise ampla das vantagens dos geossintéticos como: facilidade de instalação, baixo custo, durabilidade, rápida execução, sem necessidade de mão de obra especializada, possibilidade de integração com meio ambiente, entre outros. Não foram apresentadas limitações da aplicação, já que as obras estudadas não destacaram esses aspectos.

No caso da Arena Corinthians, de São Paulo (SP), a aplicação do Sistema Terramesh associado às Geogrelhas MacGrid® WG, ao Geocomposto MacDrain 2R e ao Geotêxtil MacTex N 40.2, garantiu a estabilização e o reforço do talude e permitiu a construção de um estacionamento no local.

A utilização de Geogrelhas, Geocélulas, Geomembranas de PEAD, Geotêxteis não tecidos, Geocompostos drenantes e Geotubos corrugados de PEAD, foi eficaz para garantir a segurança, a sustentabilidade e a integração ao meio ambiente, do Aterro Classe 1 de Cariacica (ES), após sua desativação e fechamento.

Para o caso do Autódromo Ayrton Senna, o Geocomposto MacGrid® Ar utilizado no reforço asfáltico foi a solução mais viável e recomendada, pela facilidade de instalação e pela capacidade de resistir às solicitações exigidas em uma pista de automobilismo, possibilitando aumentar a vida útil desse pavimento.

REFERÊNCIAS

- ALLONDA AMBIENTAL. **Geotube**: contenção marinha. Disponível em: <https://allonda.wixsite.com/allonda-ambiental/geotube-contencao-marinha>. Acesso em: 15 set. 2019.
- ARENA CORINTHIANS. **Serviços**. Disponível em: <https://arena.corinthians.com.br/servicos>. Acesso em: 08 set. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 10318-1**: geossintéticos: parte 1: termos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 10318-2**: geossintéticos: parte 2: símbolos e pictogramas. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 10319**: geossintéticos: ensaio de tração faixa larga. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 9863-1**: geossintéticos: determinação da espessura a pressões especificadas: parte 1: camada única. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 9864**: geossintéticos: método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BENEVENUTO, F. H. *et al.* **Uso dos geossintéticos na construção civil**. 2017. 20 f. Projeto de Pesquisa (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Toledo, Araçatuba, 2017.
- BENJAMIM, C. V. S.; GUIMARÃES, D. **Geotêxteis podem ser usados para drenagem, reforço e separação de camadas**. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/geotexteis-podem-ser-usados-para-drenagem-reforco-e-separacao-de-camadas_11191_10_0. Acesso em: 02 nov. 2019.
- C. JUNIOR, W.; PANTA, C. A. C. **Fechamento de aterro classe 1 com utilização de geossintéticos e muros reforçados com face em geocélulas de PEAD**. Campinas: Associação Internacional de Geossintéticos, 2018. 8 p.
- CARNEIRO, J. R. C. **Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental**: a importância da incorporação de aditivos químicos. 2009. 602 f. Tese (Doutorado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.
- COSTA, A. H. *et al.* Versatilidade dos geossintéticos aplica à engenharia. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 12., 2015, Resende. **Anais [...]**. Resende: Associação Educacional Dom Bosco. 13 p. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/22322229.pdf>. Acesso em: 17 set. 2019.
- COUTO, J. L. V. **Geotubos**. 2011. Disponível em: <http://agronomos.ning.com/profiles/blogs/geotubos>. Acesso em: 16 set. 2019.

DALDEGAN, E. **Manta geotêxtil: principais funções e características**. Disponível em: <http://engenhariaconcreta.com/manta-geotextil-principais-funcoes-e-caracteristicas>. Acesso em: 22 ago. 2019.

EHRLICH, M. *et al.* Aplicação em reforço de solos. *In*: VERTEMATTI, J. C. (org.). **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

IGS BRASIL. **Os geossintéticos**. Disponível em: <http://igsbrasil.org.br/os-geossinteticos>. Acesso em: 20 out. 2019.

INOVAGEO GEOSSINTÉTICOS. **Geocomposto drenante**. Disponível em: <https://inovageo.eng.br/project/geocomposto-drenante/>. Acesso em: 01 set. 2019.

LAVOIE, F. L. *et al.* **Experiência na utilização de geocélulas de polipropileno em obras de engenharia**. Disponível em: <http://geosynthetica.net.br/wp-content/uploads/003-GeoAm-Geocelulas-dePolipropileno-em-Obras-de-Engenharia.pdf>. Acesso em: 11 out. 2019.

LOCASTRO, J. K.; ANGELIS, B. L. D. Barreiras de impermeabilização: configurações aplicadas em aterros sanitários. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, jan./abr., 2016.

MACCAFERRI DO BRASIL LTDA. **Arena Corinthians**. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/download/case-histories/?wpdmdl=7485>. Acesso em: 6 jun. 2019.

MACCAFERRI DO BRASIL LTDA. **Restauração: autódromo internacional de Goiânia**. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/download/case-histories/?wpdmdl=16611>. Acesso em: 06 jun. 2019.

MACCAFERRI. **Engineering a better solution**. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/>. Acesso em: 12 set. 2019.

MAIA, N. P. **O uso de materiais geossintéticos em aterros sanitários**. 2016. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2015.2/o-uso-de-materiais-geossinteticos-em-aterros-sanitarios.pdf>. Acesso em: 06 out. 2019.

MARQUES, A. C.M; GEROTO, R.E. Aplicações em controle de erosão superficial. *In*: VERTEMATTI, J. C. (org.). **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

MEDEIROS, A. P. **Análise da aplicação de geossintéticos no aterro sanitário de Seropédica/RJ**. 2019. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/15638>. Acesso em: 10 out. 2019.

PALMEIRA, E. M; FONSECA, E. C. Aplicações em separação de materiais. *In*: VERTEMATTI, J. C. (org.). **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

PREFEITURA DE ITARARÉ. **Com recursos próprios, prefeitura de Itararé (SP) realiza implantação de geomembrana no aterro sanitário de Itararé.** Disponível em: <http://www.itarare.sp.gov.br/noticia/com-recursos-proprios-prefeitura-de-itarare-sp-realiza-implantacao-de-geomembrana-no-aterro-sanitario-municipal/>. Acesso em: 21 ago. 2019.

QUEIROZ, R. C. **Geologia e geotecnia básica para engenharia civil.** São Carlos: Rima, 2009.

SANTOS, E. C. G. **Avaliação experimental de muros reforçados executados com resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e solo fino.** 2011. 214 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SANTOS, P. J. *et al.* **Estádio em Itaquera:** muro de contenção em solo reforçado com geossintéticos. Disponível em: <http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/2015/07/CCO-2014-2o-LUGAR-Est%C3%A1dio-em-Itaquera-%E2%80%93-Muro-de-conten%C3%A7%C3%A3o-em-Solo-Refor%C3%A7ado-com-Geossint%C3%A9ticos.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2019.

SIEIRA, A. C. C. F. **Estudo experimental dos mecanismos de interação solo-geogrelha.** 2003. 360 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=4295@1>. Acesso em: 10 ago. 2019.

TEGAPE. **Geossintéticos:** georrede núcleo-drenante. Disponível em: http://tegape.com.br/atualizacao_interna/id/78/geossinteticos--georrede-nucleo-drenante. Acesso em: 09 set. 2019.

VEGETECH SOLUÇÕES EM GEOSSINTÉTICOS. **Geomembranas.** Disponível em: <https://www.vegetech.com.br/vegebag.php?prod=geomembranas>. Acesso em: 10 set. 2019.

VERTEMATTI, J. C. (org.). **Manual brasileiro de geossintéticos.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

VERTEMATTI, J. C. **Curso básico de geotêxteis.** São Paulo: Rooka'z, 2001.

VERTEMATTI, J. C. **Manual brasileiro de geossintéticos.** São Paulo: Blucher, 2004.

VILAR, O. M. *et al.* Aplicações em barreiras impermeabilizantes. In: VERTEMATTI, J. C. (org.). **Manual brasileiro de geossintéticos.** São Paulo: Editora Blucher, 2015.

ANEXO A – Quadros com as Normas brasileiras e internacionais para os geossintéticos (2019)

Quadro 1- Normas brasileiras para os geossintéticos (2019)

Norma	Especificações
ABNT NBR 15226:2005	Geossintéticos - Determinação do comportamento em deformação e na ruptura, por fluência sob tração não confinada.
ABNT NBR 15856:2010	Geomembranas e produtos correlatos - Determinação das propriedades de tração.
ABNT NBR ISO 10318-1:2018	Geossintéticos Parte 1: Termos e definições.
ABNT NBR ISO 10318-2:2018	Geossintéticos Parte 2: Símbolos e pictogramas.
ABNT NBR ISO 10319:2013	Geossintéticos - Ensaio de tração faixa larga.
ABNT NBR ISO 10320:2013	Geotêxteis e produtos correlatos - Identificação na obra.
ABNT NBR ISO 10321:2013	Geossintéticos - Ensaio de tração de emendas pelo método da faixa larga
ABNT NBR ISO 11058:2013	Geotêxteis e produtos correlatos - Determinação das características de permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento.
ABNT NBR ISO 12236:2013	Geossintéticos - Ensaio de punção estático (punção CBR) .
ABNT NBR ISO 12956:2013	Geotêxteis e produtos correlatos - Determinação da abertura de filtração característica.
ABNT NBR ISO 12957-1:2013	Geossintéticos - Determinação das características de atrito Parte 1: Ensaio de cisalhamento direto.
ABNT NBR ISO 12957-2:2013	Geossintéticos - Determinação das características de atrito Parte 2: Ensaio de plano inclinado.
ABNT NBR ISO 12958:2013	Geotêxteis e produtos correlatos - Determinação da capacidade de fluxo no plano.
ABNT NBR ISO 13433:2013	Geossintéticos - Ensaio de perfuração dinâmica (ensaio de queda de cone).
ABNT NBR ISO 25619-1:2013	Geossintéticos - Determinação do comportamento em compressão Parte 1: Propriedades na fluência à compressão.
ABNT NBR ISO 9862:2013	Geossintéticos - Amostragem e preparação de corpos de prova para ensaios.
ABNT NBR ISO 9863-1:2013	Geossintéticos - Determinação da espessura a pressões especificadas Parte 1: Camada única.
ABNT NBR ISO 9864:2013	Geossintéticos - Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos.

Fonte: ABNT (2019).

Quadro 2- Normas Americanas para os geossintéticos (2009)

Norma	Especificações
D1987-07	Standard Test Method for Biological Clogging of Geotextile or Soil/Geotextile Filters
D2643-08	Standard Specification for Prefabricated Asphalt Reservoir, Pond, Canal, and Ditch Liner (Exposed Type)
D4354-99	Standard Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing
D4355-07	Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles by Exposure to Light, Moisture and Heat in a Xenon Arc Type Apparatus
D4437-08	Standard Practice for Non-destructive Testing (NDT) for Determining the Integrity of Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes
D4491-99	Standard test methods for water permeability of geotextiles permittivity
D4533-04	Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles
D4594-96	Standard Test Method for Effects of Temperature on Stability of Geotextiles
D4595-09	Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the WideWidth Strip Method
D4632-08	Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles
D4716-08	Standard test method for determining the (in-plane) flow rate per unit width and hydraulic transmissivity of geosynthetic using a constant head
D4751-04	Standard test method for determining apparent opening size of a geotextile
D4833-07	Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products
D4873-02	Standard Guide for Identification, Storage, and Handling of Geosynthetic Rolls and Samples
D4884-09	Standard Test Method for Strength of Sewn or Thermally Bonded Seams of Geotextiles
D4885-01	Standard Test Method for Determining Performance Strength of Geomembranes by the Wide Strip Tensile Method
D4886-88	Standard Test Method for Abrasion Resistance of Geotextiles (Sand Paper/Sliding Block Method)
D5101-01	Standard test method for measuring the soil-geotextile system clogging potential by the gradient ratio
D5141-09	Standard test method for determining filtering efficiency and flow rate of the filtration component of a sediment retention device using sitespecific soil
D5199-01	Standard test method for measuring the nominal thickness of geosynthetics
D5261-92	Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles
D5262-07	Standard Test Method for Evaluating the Unconfined Tension Creep and Creep Rupture Behavior of Geosynthetics
D5321-08	Standard Test Method for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the Direct Shear Method
D5322-98	Standard Practice for Immersion Procedures for Evaluating the Chemical Resistance of Geosynthetics to Liquids Test
D5323-92	Standard Practice for Determination of 2% Secant Modulus for Polyethylene Geomembranes
D5397-07	Standard Test Method for Evaluation of Stress Crack Resistance of Polyolefin Geomembranes Using Notched Constant Tensile Load
D5493-06	Standard test method for permittivity of geotextiles under load
D5494-93	Standard Test Method for the Determination of Pyramid Puncture Resistance of Unprotected and Protected Geomembranes
D5496-98	Standard Practice for In Field Immersion Testing of Geosynthetics
D5514-06	Standard Test Method for Large Scale Hydrostatic Puncture Testing of Geosynthetics
D5567-94	Standard test method for hydraulic conductivity ratio (HCR) testing of soil/geotextile systems
D5596-03	Standard Test Method for Microscopic Evaluation of the Dispersion of Carbon Black in Polyolefin Geosynthetics
D5617-04	Standard Test Method for Multi-Axial Tension Test for Geosynthetics
D5641-94	Standard Practice for Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber

Fonte: Carneiro (2009).

Quadro 3- Normas Americanas para os geossintéticos (2009)

Norma	Especificações
D5721-08	Standard Practice for Air-Oven Aging of Polyolefin Geomembranes
D5747-08	Standard Practice for Tests to Evaluate the Chemical Resistance of Geomembranes to Liquids
D5818-06	Standard Practice for Exposure and Retrieval of Samples to Evaluate Installation Damage of Geosynthetics
D5819-05	Standard Guide for Selecting Test Methods for Experimental Evaluation of Geosynthetic Durability
D5820-95	Standard Practice for Pressurized Air Channel Evaluation of Dual Seamed Geomembranes
D5884-04a	Standard Test Method for Determining Tearing Strength of Internally Reinforced Geomembranes
D5885-06	Standard Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefin Geosynthetics by High-Pressure Differential Scanning Calorimetry
D5886-95	Standard Guide for Selection of Test Methods to Determine Rate of Fluid Permeation Through Geomembranes for Specific Applications
D5970-09	Standard Practice for Deterioration of Geotextiles from Outdoor Exposure
D5994-98	Standard Test Method for Measuring Core Thickness of Textured Geomembrane
D6088-06	Standard practice for installation of geocomposite pavement drains
D6140-00	Standard test method to determine asphalt retention of paving fabrics used in asphalt paving for full-width applications
D6213-97	Standard Practice for Tests to Evaluate the Chemical Resistance of Geogrids to Liquids
D6241-04	Standard Test Method for the Static Puncture Strength of Geotextiles and Geotextile-Related Products Using a 50-mm Probe
D6244-06	Standard Test Method for Vertical Compression of Geocomposite Pavement Panel Drains
D6244-06	Standard Test Method for Vertical Compression of Geocomposite Pavement Panel Drains
D6364-06	Standard Test Method for Determining the Short-Term Compression Behavior of Geosynthetics
D6364-06	Standard Test Method for Determining the Short-Term Compression Behavior of Geosynthetics
D6388-99	Standard Practice for Tests to Evaluate the Chemical Resistance of Geonets to Liquids
D6389-99	Standard Practice for Tests to Evaluate the Chemical Resistance of Geotextiles to Liquids
D6523-00	Standard guide for evaluation and selection of alternative daily covers (ADCs) for sanitary landfills
D6574-00	Standard test method for determining the (in-plane) hydraulic transmissivity of a geosynthetic by radial flow
D6637-01	Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method
D6637-01	Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method
D6638-07	Standard Test Method for Determining Connection Strength Between Geosynthetic Reinforcement and Segmental Concrete Units (Modular Concrete Blocks)
D6638-07	Standard Test Method for Determining Connection Strength Between Geosynthetic Reinforcement and Segmental Concrete Units (Modular Concrete Blocks)
D6706-01	Standard Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil
D6706-01	Standard Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil
D6707-06	Standard specification for circular-knit geotextile for use in subsurface drainage applications
D6767-08	Standard test method for pore size characteristics of geotextiles by capillary flow test
D6817-07	Standard specification for rigid cellular polystyrene geofoam
D6826-05	Standard specification for sprayed slurries, foams and indigenous materials used as alternative daily cover for municipal solid waste landfills
D6916-06c	Standard Test Method for Determining the Shear Strength Between Segmental Concrete Units (Modular Concrete Blocks)
D6916-06c	Standard Test Method for Determining the Shear Strength Between Segmental Concrete Units (Modular Concrete Blocks)
D6917-03	Standard guide for selection of test methods for prefabricated vertical drains (PVD)

Fonte: Carneiro (2009).

Quadro 4- Normas americanas para os geossintéticos (2009)

Norma	Especificações
D6918-03	Standard test method for testing vertical strip drains in the crimped condition
D6992-03	Standard Test Method for Accelerated Tensile Creep and Creep-Rupture of Geosynthetic Materials Based on Time-Temperature Superposition Using the Stepped Isothermal Method
D7001-06	Standard specification for geocomposites for pavement edge drains and other high-flow applications
D7005-03	Standard Test Method for Determining the Bond Strength (Ply Adhesion) of Geocomposites
D7005-03	Standard Test Method for Determining the Bond Strength (Ply Adhesion) of Geocomposites
D7008-08	Standard specification for geosynthetic alternate daily covers
D7178-06	Standard practice for determining the number of constrictions “m” of non-woven geotextiles as a complementary filtration property
D7179-07e1	Standard Test Method for Determining Geonet Breaking Force
D7179-07e1	Standard Test Method for Determining Geonet Breaking Force
D7180-05	Standard guide for use of expanded polystyrene (EPS) geofoam in geotechnical projects
D7238-06	Standard Test Method for Effect of Exposure of Unreinforced Polyolefin Geomembrane Using Fluorescent UV Condensation Apparatus
D7239-06	Standard specification for hybrid geosynthetic paving mat for highway applications
D7273-08	Standard Guide for Acceptance Testing Requirements for Geonets and Geonet Drainage Geocomposites
D7273-08	Standard Guide for Acceptance Testing Requirements for Geonets and Geonet Drainage Geocomposites
D7361-07	Standard Test Method for Accelerated Compressive Creep of Geosynthetic Materials Based on Time-Temperature Superposition Using the Stepped Isothermal Method
D7406-07	Standard Test Method for Time-Dependent (Creep) Deformation Under Constant Pressure for Geosynthetic Drainage Products
D7409-07e1	Standard Test Method for Carboxyl End Group Content of Polyethylene Terephthalate (PET) Yarns
D7489-09	Standard test method for vertical strip drains using a large scale consolidation test
D7557-09	Standard practice for sampling of expanded polystyrene geofoam specimens

Fonte: Carneiro (2009).

Quadro 5- Normas europeias para os geossintéticos (2009)

Norma	Especificações
CEN/TS 14417:2005	Geosynthetic Barriers – Test method for the determination of the influence of wetting-drying cycles on the permeability of clay geosynthetic barriers
CEN/TS 14418:2005	Geosynthetic Barriers – Test method for the determination of the influence of freezing-thawing cycles on the permeability of clay geosynthetic barriers
EN 13562: 2000	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of resistance to penetration by water (Hydrostatic pressure test)
EN 13719:2002	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of long term protection efficiency
EN 14030:2001	Geotextiles and geotextile related-products – Screening test method for determining the resistance to acid and alkaline liquids (ISO/TR 12960:1998, modified)
EN 14030:2001/A 1:2003	Geotextiles and geotextile related-products – Screening test method for determining the resistance to acid and alkaline liquids (ISO/TR 12960:1998, modified)
EN 14574:2004	Geosynthetics - Determination of the pyramid puncture resistance of supported geosynthetics
EN 15381:2008	Geotextiles and geotextile-related products - Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays
EN 15382:2008	Geotextiles and geotextile-related products - Characteristics required for use in transportation infrastructure
EN ISO 10319:2008	Geosynthetics – Wide-width tensile test (ISO 10319:2008)
EN ISO 10321:2008	Geosynthetics – Tensile test for joints/seams by wide-width strip method (ISO 10321:2008)
EN ISO 10722:2007	Geosynthetics – Index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading. Damage caused by granular material (ISO 10722:2007)
EN ISO 13426-1:2003	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of the strength of internal structural junctions – Part 1: Geocells (ISO 12426-1: 2003)
EN ISO 13426-2:2005	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of the strength of internal structural junctions – Part 1: Geocomposites (ISO 12426-2: 2005)
EN ISO 13431:1999	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of tensile creep and tensile creep rupture behaviour (ISO 13431:1999)
EN ISO 25619-1:2008	Geosynthetics - Determination of compressive behaviour - Part 1: Compressive creep properties (ISO 25619-1:2008)
EN ISO 25619-2:2008	Geosynthetics - Determination of compressive behaviour - Part 2: Determination of short-term compression behaviour (ISO 25619-2:2008)
EN ISO 9863-2:1996	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of thickness at specified pressures – Part 2: Procedure for determination of thickness of single layers of multilayer products
NP CEN/TR 15019	Geotêxteis e produtos relacionados – Controlo de qualidade em obra (CEN/TR 15019: 2005)
NP CEN/TS 14416	Barreiras Geossintéticas – Método de ensaio para a determinação da resistência às raízes (CEN/TS 14416: 2005)
NP EN 12224:2007	Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da resistência ao envelhecimento devido ao clima (EN 12224:2000)
NP EN 12225:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Método para a determinação da resistência microbiológica através de um ensaio de enterramento no solo (EN 12225:2000)
NP EN 12226:2005	Geotêxteis e produtos relacionados – Ensaio gerais para avaliação após os ensaios de durabilidade (EN 12226:2000)
NP EN 12447:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Método de ensaio selectivo para a determinação da resistência à hidrólise na água (EN 12447:2001)
NP EN 13249:2007	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização na construção de estradas e outras zonas de tráfego (excluindo vias férreas e pavimentos betuminosos (EN 13249:2000; EN 13249:2000/A 1:2005)

Fonte: Carneiro (2009).

Quadro 6- Normas europeias para os geossintéticos (2009)

Norma	Especificações
NP EN 13250:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização na construção de vias férreas (EN 13250:2000; EN 13250:2000/A 1:2005)
NP EN 13251: 2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em obras de terraplanagem, fundações e estruturas de suporte (EN 13251:2000; EN 13251:2000/A 1:2005)
NP EN 13252:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em sistemas de drenagem (EN 13252:2000; EN 13252:2000/A 1:2005)
NP EN 13253:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em obras para controlo da erosão (protecção costeira, revestimento das margens) (EN 13253:2000; EN 13253:2000/A 2:2005)
NP EN 13254:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização na construção de reservatórios e barragens (EN 13254:2000; EN 13254:2000/A 1:2005)
NP EN 13255:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização na construção de canais (EN 13255:2000; EN 13255:2000/A 1:2005)
NP EN 13256:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização na construção de túneis e estruturas subterrâneas (EN 13256:2000; EN 13256:2000/A 1:2005)
NP EN 13257:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em depósitos de resíduos sólidos (EN 13257:2000; EN 13257:2000/A 1:2005)
NP EN 13265:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em projectos de depósitos de resíduos líquidos (EN 13265:2000; EN 13265:2000/A 1:2005)
NP EN 13361:2006	Barreiras geossintéticas – Características requeridas para a utilização na construção de depósitos e barragens (EN 13361:2004)
NP EN 13362:2007	Barreiras geossintéticas – Características requeridas para utilização na construção de canais (EN 13362:2005)
NP EN 13491: 2006	Barreiras geossintéticas – Características requeridas para a utilização como barreira aos líquidos na construção de túneis e obras subterrâneas (EN 13491:2004)
NP EN 13491:2006/A 1:2008	Barreiras geossintéticas – Características requeridas para a utilização como barreira aos líquidos na construção de túneis e obras subterrâneas (EN 13491:2004/A1:2006)
NP EN 13492:2007	Barreiras geossintéticas – Características requeridas para a utilização na construção de estruturas de deposição de resíduos líquidos, estações de transferência ou confinamento secundário (EN 13492:2004)
NP EN 13492:2007/A1:2008	Barreiras geossintéticas – Características requeridas para a utilização na construção de estruturas de deposição de resíduos líquidos, estações de transferência ou confinamento secundário (EN 13492:2004/A1:2006)
NP EN 13493:2007	Barreiras geossintéticas – Características requeridas para a utilização na construção de estruturas de armazenamento e de deposição de resíduos sólidos (EN 13493:2005)
NP EN 13738:2007	Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da resistência ao arranque no solo (EN 13738:2004)
NP EN 14150: 2008	Barreiras geossintéticas – Determinação da permeabilidade aos líquidos (EN 14150:2006)
NP EN 14196:2007	Geossintéticos – Métodos de ensaio para a determinação da massa por unidade de área das barreiras geossintéticas argilosas (EN 14196:2003)
NP EN 14414:2007	Geossintéticos – Método de ensaio selectivo para a determinação da resistência química para utilização em aterros de resíduos (EN 14414:2004)
NP EN 14415:2007	Barreiras geossintéticas – Método de ensaio para a determinação da resistência à lixiviação (EN 14415:2004)

Fonte: Carneiro (2009).

Quadro 7- Normas europeias para os geossintéticos (2009)

Norma	Especificações
NP EN 14575:2007	Barreiras geossintéticas – Método de ensaio para a determinação da resistência à oxidação (EN 14575:2005)
NP EN 14576:2007	Geossintéticos – Método de ensaio para a determinação da resistência das barreiras geossintéticas poliméricas à fissuração por tensão provocada pelos agentes ambientais (EN 14576:2005)
NP EN ISO 10318	Geossintéticos – Termos e definições. (EN ISO 10318:2005) (aguarda publicação)
NP EN ISO 10319:2005	Geotêxteis – Ensaio de tracção em tiras largas (ISO 10319: 1993) (EN ISO 10319:1996)
NP EN ISO 10320:2003	Geotêxteis e produtos relacionados – Identificação em obra (EN ISO 10320:1998)
NP EN ISO 11058:2003	Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação das características de permeabilidade à água normal ao plano, sem confinamento (ISO 11058: 1999) (EN ISO 11058: 1999)
NP EN ISO 12236:2008	Geossintéticos – Ensaio de punçoamento estático (ensaio CBR) (ISO 12236:2006) (EN ISO 12236:2006)
NP EN ISO 12956:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da dimensão característica da abertura (ISO 12956: 1999) (EN ISO 12956:1999)
NP EN ISO 12957-1: 2007	Geossintéticos – Determinação das características de atrito. Parte 1: Ensaio de corte directo (ISO 12957-1:2005)
NP EN ISO 12957-2: 2007	Geossintéticos – Determinação das características de atrito. Parte 2: Ensaio em plano inclinado (ISO 12957-2:2005)
NP EN ISO 12958:2005	Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da capacidade de escoamento no seu plano (ISO 12958: 1999) (EN ISO 12958:1999)
NP EN ISO 13427:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Simulação do dano por abrasão (ensaio de bloco deslizante) (ISO 13427:1998) (EN ISO 13427:1998)
NP EN ISO 13428:2007	Geossintéticos – Determinação da eficácia de protecção de um geossintético contra danos por impacto (ISO 13428:2005) (EN ISO 13428:2005)
NP EN ISO 13433:2008	Geossintéticos – Ensaio de perfuração dinâmica (ensaios com queda de cone) (ISO 13433:2006) (EN ISO 13433:2006)
NP EN ISO 13437:2007	Geotêxteis e produtos relacionados – Método para instalação e extracção de amostras no solo e preparação de provetes para ensaios em laboratório (ISO 13437:1998) (EN ISO 13437:1998)
NP EN ISO 13438:2006	Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da resistência à oxidação (ISO 13438:2004) (EN ISO 13438: 2004)
NP EN ISO 9862:2007	Geossintéticos – Amostragem e preparação de provetes (EN ISO 9862:2005)
NP EN ISO 9863-1:2006	Geossintéticos – Determinação da espessura a pressões especificadas. Parte 1: Camadas simples (EN ISO 9863-1:2005)
NP EN ISO 9864:2006	Geossintéticos – Ensaio para a determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos relacionados (EN ISO 9864:2005)
NP ISO/TR 13434	Geotêxteis e produtos relacionados – Directrizes sobre durabilidade (ISO/TS 13434: 2008) (CR ISO 13434:1998) (aguarda publicação)

Fonte: Carneiro (2009).

Quadro 8- Normas internacionais para os geossintéticos (2009)

Norma	Especificações
ISO 10318:2005	Geosynthetics – Terms and definitions ISO 10319:2008 Geosynthetics - Wide-width tensile test
ISO 10320:1999	Geotextiles and geotextile-related products - Identification on site
ISO 10321:2008	Geosynthetics - Tensile test for joints/seams by wide-width strip method
ISO 10722:2007	Geosynthetics - Index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading - Damage caused by granular material
ISO 11058:1999	Geotextiles and geotextile-related products - Determination of water permeability characteristics normal to the plane, without load ISO 12236:2006 Geosynthetics - Static puncture test (CBR test)
ISO 12956:1999	Geotextiles and geotextile-related products - Determination of the characteristic opening size
ISO 12957-1:2005	Geosynthetics – Determination of friction characteristics – Part 1: Direct shear test
ISO 12957-2:2005	Geosynthetics – Determination of friction characteristics – Part 2: Inclined plane test
ISO 12958:1999	Geotextiles and geotextile-related products - Determination of the water flow capacity in their plane
ISO 13426-1:2003	Geotextiles and geotextile-related products - Strength of internal structural junctions - Part 1: Geocells
ISO 13426-2:2005	Geotextiles and geotextile-related products - Strength of internal structural junctions - Part 2: Geocomposites
ISO 13427:1998	Geotextiles and geotextile-related products - Abrasion damage simulation (sliding block test)
ISO 13428:2005	Geosynthetics – Determination of the protection efficiency of a geosynthetic against impact damage
ISO 13431:1999	Geotextiles and geotextile-related products - Determination of tensile creep and creep rupture behaviour
ISO 13433:2006	Geosynthetics - Dynamic perforation test (cone drop test)
ISO 13437:1998	Geotextiles and geotextile-related products - Method for installing and extracting samples in soil, and testing specimens in laboratory
ISO 13438:2004	Geotextiles and geotextile-related products - Screening test method for determining the resistance to oxidation
ISO 25619-1:2008	Geosynthetics – Determination of compression behaviour – Part 1: Compressive creep properties
ISO 25619-2:2008	Geosynthetics – Determination of compression behaviour – Part 2: Determination of short-term compression behaviour
ISO 9862:2005	Geosynthetics - Sampling and preparation of test specimens
ISO 9863-1:2005	Geosynthetics - Determination of thickness at specified pressures - Part 1: Single layers
ISO 9863-2:1996	Geotextiles and geotextile-related products - Determination of thickness at specified pressures - Part 2: Procedure for determination of thickness of single layers of multilayer
ISO 9864:2005	Geosynthetics - Test method for the determination of mass per unit area of geotextiles and geotextile-related products
ISO/TR 12960:1998	Geotextiles and geotextile-related products - Screening test method for determining the resistance to liquids
ISO/TR 20432:	Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement
ISO/TR 20432:2007	Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement
ISO/TS 13434:2008	Geosynthetics – Guidelines for the assessment of durability
ISO/TS 19708:2007	Geosynthetics - Procedure for simulating damage under interlocking concrete-block pavement by the roller compactor method

Fonte: Carneiro (2009).