



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

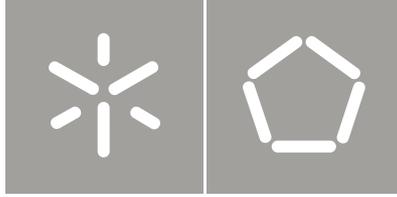
Justino da Costa Soares

Projectar com Geotêxteis:
Estudo da Aplicação em Timor Leste

Justino da Costa Soares
Projectar com Geotêxteis:
Estudo da Aplicação em Timor Leste

UMinho | 2011

Setembro de 2011



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Justino da Costa Soares

Projectar com Geotêxteis:
Estudo da Aplicação em Timor Leste

Tese de Mestrado
Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor Aires F. L. Camões de Azevedo

Co-Orientadora:
Professora Doutora Castorina F. S. Vieira

AGRADECIMENTOS

- Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela saúde e pelas oportunidades que tive durante o período de estadia em Portugal para a realização deste mestrado.
- Gostaria de agradecer à Universidade do Minho, ao Departamento Engenharia Civil, pela oportunidade a apoiar durante a minha estadia nessa instituição.
- Agradeço, em especial, ao Professor Doutor Luís Bragança Director do curso de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis pelo apoio e incentivo recebidos no decurso de todo o curso.
- Aos Professores do curso de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis da Universidade do Minho, pela dedicação e por todo o conhecimento partilhado.
- À secretária da pós-graduação do Departamento Engenharia Civil, Dr^a Cristina Fernandes, pelos conselhos e, pela preocupação, carinho e amizade.
- Desejo endereçar um agradecimento muito especial aos meus orientadores:
 - Ao Professor Aires Camões, agradeço pela sua orientação, a preocupação, a atenção e pela grande disponibilidade manifestada ao longo da realização deste trabalho;
 - À Professora Castorina Vieira, agradeço a preocupação, a atenção, a paciência, a dedicação, a colaboração, a confiança depositada, a presteza, o especial carinho e a boa vontade sempre demonstradas, desde o período inicial de realização dos ensaios até à conclusão desta dissertação.
- Ao Professor Said Jalali, um agradecimento especial pela sua orientação, atenção, preocupação, colaboração, confiança, boa vontade de ajuda desde o plano Dissertação até ao início da realização deste trabalho.
- À Professora Maria de Lurdes Lopes, pela dedicação e por toda a partilha de conhecimentos, nomeadamente sobre geossintéticos, durante as aulas que tive o privilégio de assistir na FEUP.

- À Universidade do Porto, através do Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade de realizar os meus ensaios no Laboratório de Geossintéticos.
- À secretária de Materiais da Construção (SMC) da FEUP, Ana Raquel Matos Machado pela sua vontade em ajudar e pelo carinho e amizade.
- Aos meus colegas, Ana Rosete, David Carlos, Flávio Oliveira e Pedro Lopes, um agradecimento especial pelas suas ajudas e pela amizade demonstrada aquando da realização dos ensaios no Laboratório de Geossintéticos da FEUP.
- À IPAD, pelo apoio financeiro concedido.
- À Universidade Nacional de Timor Lorosae (UNTL), pela oportunidade e motivação durante o período de estadia em Portugal que me permitiu frequentar e concluir esta dissertação de mestrado.
- Ao Ministério das Obras Públicas de Timor Leste, através do Director de Pesquisa e Director das Estradas, pelas informações transmitidas acerca dos solos e sobre as condições de drenagem em Timor Leste.
- Um enorme obrigado a todos os meus colegas do curso de Mestrado, cuja amizade e companheirismo caracterizaram o curso de Mestrado de Construção e Reabilitação Sustentáveis do ano 2009 ate 2011 na Universidade do Minho.
- Agradeço ainda à minha família, especialmente à minha amada esposa Filomena Freitas, e aos meus três filhos: Miroslavio, Julieta e Natalício, pelo amor, carinho e dedicação. Mesmo longe de mim durante o meu período em Portugal sempre sento o vosso apoio desde o inicio ate à redacção final desta Dissertação. Para eles, todo o meu amor e reconhecimento. É por eles e para eles que faço tudo.

RESUMO

Os produtos geossintéticos são constituídos por uma grande variedade de materiais e formas, cada um adequado a um determinado uso ou necessidade. Em geotecnia as principais obras que utilizam esses materiais são: aeroportos, ferrovias, rodovias, aterros, estruturas de contenção, reservatórios, canais e barragens.

Porém as aplicações de período de vida longo são as mais comuns (30 a 60 anos ou mais).

As aplicações mais comuns para os geossintéticos são:

- - Reforço estrutural de obras de terra principalmente taludes,
- - Impermeabilização de barragens, aterros sanitários e outros,
- - Protecção superficial contra erosão,
- - Separador de materiais como por exemplo em drenagens
- - Funcionamento como filtro

O desempenho dos geotêxteis procura assegurar as seguintes funções:

- Protecção e reforço, que consiste na prevenção ou limitação de danos locais de um dado elemento ou material e na melhoria das propriedades mecânicas do solo ou de outros materiais de construção;
- Separação, ou seja, a prevenção da mistura de solos com outros materiais;
- Filtragem, isto é, a retenção do solo ou de outras partículas sujeitas a forças hidrodinâmicas permitindo a passagem de líquidos através do geotêxtil;
- Drenagem, a qual envolve a recolha e o transporte das águas pluviais, subterrâneas e/ou outros líquidos.

Pelas razões apontadas, propôs-se um estudo das aplicações de geossintéticos com o objectivo de contribuir para o desenvolvimento sustentável do sector da construção civil em Timor Leste.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade, Durabilidade e Sustentabilidade dos materiais
Construções é garantirem a longa vida dos projectos das infra-estruturas.

ABSTRACT

Geosynthetic products are made of a variety of materials and shapes, each suitable for a specific use or need. The main geotechnical works using such materials are: airports, railroads, highways, and embankments, retaining structures, reservoirs, canals and dams.

The applications of long-lived are the most common (30 to 60 years or older).

The most common applications for geosynthetics are:

- - Structural strength of earth works mainly embankments,
- - Waterproofing of dams, landfills and other
- - Protection against surface erosion,
- - Separator material such as drainages
- - Works as a filter

The performance of geotextiles seeks to ensure the following functions:

- Protection and enhancement, which is the prevention or limitation of places of a given element or material and improving the mechanical properties of soil or other materials;
- Separation, also, prevention of soil mixing with other materials;
- Filtration, which the retention of soil or other particles subjected to hydrodynamic forces allowing the passage of fluids through the geotextile;
- Drainage, which involves the collection and transport of storm water, groundwater and / or other liquids.

For these reasons, we proposed to study the applications of geosynthetics in order to contribute to the sustainable development of construction sector in East Timor.

KEYWORDS: Quality, Durability and Sustainability of constructions materials and ensure long life of infrastructure projects.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DO TEXTO	xi
ÍNDICE DE QUADROS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xxi
CAPÍTULO 1 – Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 – Geossintéticos	5
CAPÍTULO 3 – Ensaio Laboratoriais	41
CAPÍTULO 4 – Estudo da Aplicação de Geotêxteis em Timor	
Leste	93
CAPÍTULO 5 – Considerações Finais	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1 – Introdução	1
1.1. Situação actual em Timor Leste	1
1.2. Objectivo	3
1.3. Metodologia e fases dos trabalhos de investigação	4
CAPÍTULO 2 – Geossintéticos	5
2.1. Introdução	5
2.2. Classificação dos geossintéticos	6
2.2.1. Geotêxteis	8
2.2.2. Geogrelhas	10
2.2.3. Geocompósitos	10
2.2.4. Geocélulas	11
2.2.5. Georedes	12
2.2.6. Geomembranas	13
2.3. Funções dos geossintéticos	13
2.3.1. Protecção	14
2.3.2. Separação	16
2.3.3. Filtragem	18
2.3.4. Drenagem	20
2.3.5. Reforço	24
2.3.6. Controlo de Erosão Superficial	26
2.3.7. Barreira de Fluidos	27
2.3.8. Considerações gerais	28
2.4. Propriedades dos Geossintéticos	29
2.4.1. Propriedades Físicas	30
2.4.2. Propriedades Mecânicas	30
2.4.3. Propriedades Hidráulicas	32
2.4.4. Durabilidade	33
2.4.5. Relações entre as funções e as propriedades	34

2.5.	Normalização aplicável ais ensaios de geossintéticos	35
------	--	----

CAPÍTULO 3 – Ensaio Laboratoriais

3.1.	Considerações gerais	41
3.2.	Determinação da massa por unidade de área (MUA).....	41
3.3.	Determinação da espessura.....	45
3.4.	Ensaio de Punção	46
3.4.1.	Ensaio de punção estático	46
3.4.2.	Ensaio de punção dinâmico	53
3.5.	Ensaio de tracção	56
3.6.	Ensaio de Permeabilidade no plano normal ao plano do material	67
3.6.1.	Descrição do equipamento e procedimentos de ensaio	67
3.6.2.	Resultados dos ensaios.....	82
3.7.	Dimensão característica das aberturas.....	89

CAPÍTULO 4 – Estudo da Aplicação de Geotêxteis em Timor Leste

4.1.	Problemas de drenagem em Timor Leste	93
4.2.	Caracterização de um solo de Timor Leste	97
4.2.1.	Granulometria.....	97
4.2.2.	Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP).....	98
4.2.3.	Ensaio CBR.....	100
4.3.	Dimensionamento de um sistema de filtragem com geotêxteis.....	102

CAPÍTULO 5 – Considerações Finais

	Referências Bibliográficas	111
--	----------------------------------	-----

ÍNDICE DE QUADROS

Capítulo 2 – Geossintéticos

Quadro 2.1. Exemplo de geossintéticos que podem desempenhar determinadas funções: primária e secundária (Pinho Lopes e Lopes, 2010).....	29
Quadro 2.2. - Relações entre as funções e as propriedades dos geossintéticos (Pinho-Lopes, 1998 e Paula, 2003).....	34
Quadro 2.3 – Normas de terminologia, identificação e amostragem dos geossintéticos (adaptado de IGS Portugal, 2011).....	35
Quadro 2.4 - Normas referentes às exigências para os geossintéticos com vista à marcação CE (adaptado de IGS Portugal, 2011).....	36-37
Quadro 2.5 - Normas para ensaios mecânicos de geossintéticos (adaptado de IGS Portugal, 2011).....	37-38
Quadro 2.6 – Normas referentes à durabilidade dos geossintéticos (adaptado de IGS Portugal, 2011).....	38-39
Quadro 2.7 - Normas para ensaios hidráulicos de geossintéticos (adaptado de IGS Portugal, 2011).....	40

Capítulo 3 – Ensaios Laboratoriais

Quadro 3.1 – Resultados dos ensaios para determinação da MUA e da espessura do geotêxtil P40.....	43
Quadro 3.2 – Resultados dos ensaios para determinação da MUA e da espessura do geotêxtil P70.....	44
Quadro 3.3 – Resultados dos ensaios para determinação da MUA e da espessura do geocompósito RP50.....	44
Quadro 3.4 - Resultados do ensaio de punçoamento estático para o geotêxtil P40.....	50
Quadro 3.5 - Resultados do ensaio de punçoamento estático para o geotêxtil P70.....	50
Quadro 3.6 - Resultados do ensaio de punçoamento estático para o geocompósito RP50.....	50
Quadro 3.7 – Resultados dos ensaios de punçoamento dinâmico P40.....	55
Quadro 3.8 – Resultados dos ensaios de punçoamento dinâmico RP50.....	56

Quadro 3.9 – Resultados dos ensaios de punção dinâmica P70.....	56
Quadro 3.10 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geotêxtil P40 (direcção MD).....	59
Quadro 3.11 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geotêxtil P40 (direcção CD).....	61
Quadro 3.12 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geotêxtil P70 (direcção MD).....	62
Quadro 3.13 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geotêxtil P70 (direcção CD).....	63
Quadro 3.14 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geocompósito RP50 (direcção longitudinal).....	65
Quadro 3.15 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geocompósito RP50 (direcção transversal).....	66
Quadro 3.16 - Tabela a preencher no decorrer do ensaio de cada provete para ensaios permeabilidade normal ao plano.....	81
Quadro 3.17 - Velocidades de escoamento V_{20} para os 5 provetes do geotêxtil P40.....	82
Quadro 3.18 – Permeabilidade normal ao plano (VI_{H50}) para os 5 provetes do geotêxtil P40.....	84
Quadro 3.19 - Velocidades de escoamento V_{20} para os 5 provetes do geotêxtil P70.....	85
Quadro 3.20 – Permeabilidade normal ao plano (VI_{H50}) para os 5 provetes do geotêxtil P70.....	86
Quadro 3.21 - Velocidades de escoamento V_{20} para os 5 provetes do geocompósito RP50.....	87
Quadro 3.22 – Permeabilidade normal ao plano (VI_{H50}) para os 5 provetes do geocompósito RP50.....	89

Capítulo 4 – Estudo da Aplicação de Geotêxteis em Timor Leste

Quadro 4.1- Recomendações de Cálculo de Filtros em Geotêxtil (Lopes, 2010).....	104
Quadro 4.2- Características geométricas de um solo de Timor Leste.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1 – Introdução

Figura 1.1 - Condições de drenagem em Timor Leste.....2

Figura 1.2 - Condições das estradas rurais em Timor Leste.....2

Capítulo 2 – Geossintéticos

Figura 2.1 - Funções dos geossintéticos (Moreira, 2009): a) drenagem; b) filtragem; c) protecção; d) reforço; e) separação; f) controlo de erosão superficial; g) barreira de fluidos.....6

Figura 2.2 - Exemplos de geotêxteis (Lopes, 2010): a) geotêxtil tecido com tira e monofilamento; b) geotêxtil tecido com multifilamento e monofilamento; c) geotêxtil não tecido mecanicamente ligado (agulhado); d) geotêxtil não tecido termicamente ligado.....7

Figura 2.3 - Exemplos de geogrelhas (Moreira 2009): a) geogrelha uniaxial de uniões integrais; b) geogrelha biaxial de uniões integrais; c) geogrelha de uniões tecidas; d) geogrelha de uniões fundidas; e) geogrelha com uniões efectuadas por laser.....7

Figura 2.4 – Exemplos de geotêxteis tecidos.....9

Figura 2.5 – Exemplo de geotêxtil não-tecido.....9

Figura 2.6 - Exemplo de uma geogrelha.....10

Figura 2.7 - Exemplos de geocompósitos.....11

Figura. 2.8 - Exemplo de geocélulas.....12

Figura 2.9 – Exemplo de georedes.....12

Figura 2.10 - Exemplos de aplicação de geomembrana.....13

Figura 2.11 - Aplicações de geotêxteis na protecção.....15

Figura 2.12 - Aplicação de geossintéticos na protecção contra erosão em taludes.....15

Figura 2.13 - Exemplo de utilização de geossintéticos no estádio do Maracanã, Rio de Janeiro (2005), (<http://www.aecweb.com.br> e <http://www.geomaks.com> obra: PanAmericano 2007).....17

Figura 2.14 - Exemplo de aplicação de geotêxteis em separação, (<http://www.geomaks.com> obra: PanAmericano 2007).....18

Figura 2.15 - Exemplo Ilustrativo do processo filtragem.....	19
Figura 2.16 - Exemplo de aplicação de geossintéticos na filtragem (http://www.bidim).....	20
Figura 2.17 - Exemplos de drenagem horizontal e vertical respectivamente (Voskamp, 2001).....	21
Figura 2.18 - Utilizações geossintéticos nas obras de drenagem, (http://www.geomaks.com obra: PanAmericano 2007).....	22
Figura 2.19 - Exemplo de aplicação de geossintéticos na drenagem, (http://www.roma.ind.br/geossintetico/geocomposto-drenagem.html).....	23
Figura 2.20 - Outra aplicação de geossintético na construção com função de drenagem, (http://www.geomaks.com obra: PanAmericano 2007).....	24
Figura 2.21 - Exemplo de aplicações de geotêxteis em pavimentos, (http://www.geomaks.com obra: PanAmericano 2007).....	26
Figura 2.22 - Exemplo da aplicação de geossintéticos no controlo da erosão, (http://www.revistatechne.com.br).....	27
Figura 2.23 - Exemplo de aplicação de geossintéticos como barreira de fluidos (http://mundodaimpermeabilização.blogspot.com/2009/geomembranas.html).....	28

Capítulo 3 – Ensaios Laboratoriais

Figura 3.1 - Determinação da massa por unidade de área dos geossintéticos: a) medição da área do provete; b) pesagem do provete.....	42
Figura 3.2 – Determinação da espessura de um geotêxtil.....	45
Figura 3.3 - Ensaio punçoamento estático.....	47
Figura 3.4 - Ensaio de punçoamento estático: a) início de ensaio; b) deformação do provete; c) rotura do provete.....	48
Figura 3.5 – Aspecto do geotêxtil após a realização do ensaio punçoamento estático.....	49
Figura 3.6 - Curvas força – deslocamento para os 5 provetes ensaiados do geotêxtil P40.....	51
Figura 3.7 - Curvas força - deslocamento para os 5 provetes ensaiados do geotêxtil P70.....	52
Figura 3.8 - Curvas força - deslocamento para os 5 provetes ensaiados do geocompósito RP50.....	52

Figura 3.9 - Preparação de um provete para o ensaio de punçoamento: a) provete; b) provete preparado para ensaio.....	53
Figura 3.10 - Preparação do equipamento para o ensaio de punçoamento dinâmico: a) colocação do provete condicionado; b) descida da guarda.....	54
Figura 3.11 - Pós ensaio de punçoamento dinâmico: a) punçoamento provocado pelo cone; b) medição da abertura com o cone de medição.....	55
Figura 3.12 - Equipamento de ensaio universal do LGS.....	57
Figura 3.13 - Preparação do provete para o ensaio de tracção e disposição nas cunhas.....	58
Figura 3.14 - Aspecto de um provete do geotêxtil P70 após a realização do ensaio de tracção.....	59
Figura 3.15 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geotêxtil P40 na direcção de fabrico (MD).....	60
Figura 3.16 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geotêxtil P40 na direcção perpendicular à de fabrico (CD).....	61
Figura 3.17 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geotêxtil P70 na direcção de fabrico (MD).....	63
Figura 3.18 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geotêxtil P70 na direcção perpendicular à de fabrico (CD).....	64
Figura 3.19 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geocompósito RP50 na direcção longitudinal.....	65
Figura 3.20 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geocompósito RP50 na direcção transversal.....	66
Figura 3.21 - Equipamento de ensaio da permeabilidade no plano normal ao do material existente no LGS.....	67
Figura 3.22 - Equipamento laboratorial do LGS para determinação da permeabilidade dos geossintéticos.....	68
Figura 3.23 - Esquema de equipamento para determinação da permeabilidade normal ao plano de geossintéticos: 1) Entrada de fluxo; 2) Fluxo recolhido; 3) Provete; 4) Perda de carga (NP EN ISO 11058, 2003).....	68
Figura 3.24 - Equipamento de ensaio da permeabilidade normal ao plano do material: vista geral, com os reservatórios superior e inferior.....	69
Figura 3.25 - Equipamento hidromecânico de bombagem.....	69

Figura 3.26 - Partes transparentes do circuito: a) Inferior; b) Superior.....	70
Figura 3.27 - Plataforma em madeira.....	71
Figura 3.28 - Sistema para colocação dos provetes: a) Vista exterior; b) Vista interior.....	71
Figura 3.29 - Grelha metálica: a) Face superior; b) Face inferior.....	72
Figura 3.30 - Tubos piezométricos: a) Montante do provete; b) Jusante do provete.....	73
Figura 3.31 - Tubos em acrílico para observação da carga hidráulica.....	74
Figura 3.32 - Sistema detector de água: a) Sensor; b) Sistema de ajuste; c) Escala graduada.....	74
Figura 3.33 - Verificação da perda de carga: a) Contacto entre água e sensor; b) Intervalo na escala graduada.....	75
Figura 3.34 - Válvulas para ajuste do escoamento: a) de grandes dimensões; b) de pequenas dimensões.....	76
Figura 3.35 – Sistema de descarga.....	76
Figura 3.36 – Provete: a) Após o corte; b) Em saturação em água.....	78
Figura 3.37 – Provete: a) Colocação; b) Colocação da grelha; c) Aperto do sistema; d) Processo de colocação concluído.....	79
Figura 3.38 - Teste de detectar a presença de bolhas de ar no equipamento: a) perda de carga de 50mm; b) igualdade das cargas hidráulicas.....	80
Figura 3.39 – Quantificação da água passada através do provete: a) Recolha da água; b) Pesagem da água.....	81
Figura 3.40 – Relação V_{20} -perda de carga para os 5 provetes do geotêxtil P40.....	83
Figura 3.41 - Curvas de regressão quadrática obtidas para os cinco provetes do geotêxtil P40.....	84
Figura 3.42 – Relação V_{20} -perda de carga para os 5 provetes do geotêxtil P70.....	85
Figura 3.43 - Curvas de regressão quadrática obtidas para os cinco provetes do geotêxtil P70.....	86
Figura 3.44 – Relação V_{20} -perda de carga para os 5 provetes do geocompósito RP50.....	87

Figura 3.45 - Curvas de regressão quadrática obtidas para os cinco provetes do geocompósito RP50.....	88
Figura 3.46 – Ensaio de determinação da dimensão da abertura no LGS: a) Provete colocado no equipamento; b) Solo colocado sobre o provete; c) Peneiração por via húmida (Moreira, 2009).....	90
Figura 3.47 – Determinação de O_{90} a partir da curva granulométrica do solo passado através de um geotêxtil (Moreira, 2009).....	90

Capítulo 4 – Estudo da Aplicação de Geotêxteis em Timor Leste

Figura 4.1 – Condições construções de drenagem em Timor Leste.....	93
Figura 4.2 - Problemas de drenagens e erosões que afectam qualidade das estradas.....	94
Figura 4.3 - Problemas de filtragem e drenagem no campo de futebol em Díli, Timor Leste.....	94
Figura 4.4 - Aplicações de geossintéticos em sistemas de drenagem: a) filtro em drenos de vala; b) filtros sob base de pavimentos e cobertores de drenagem; c) drenos num muro de suporte; d) filtros envolvendo tubos de drenagem; e) drenos de superfície; f) drenos em barragens de terra (Holtz, 1998).....	95
Figura 4.5 - Curva de distribuição granulométrica de um solo de Timor Leste.....	98
Figura 4.6 - Limite Liquidez.....	99
Figura 4.7 - Resistência penetração.....	101
Figura 4.8 - Teor de água relacionamento densidade seca (PROCTOR).....	101

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ASTM - American Society for Testing Materials

CBR - Califórnia Bearing Ratio

CD - Direcção perpendicular à de fabrico

CE - Comissão Europeia

CEN - Comissão Europeia de Normalização

C_u - Coeficiente de uniformidade

CV - Coeficiente de variação [%]

DAA - dimensão aparente de abertura

DEA - dimensão equivalente de abertura

D_{10} - diâmetro efectivo do solo, dimensão correspondente a 10% de material passado numa curva granulométrica

$D_{a\%}$ - dimensão correspondente a a% de material passado numa curva granulométrica

EN - Norma Europeia

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GCL - geocompósito argiloso (Barreira geossintética argilosa)

IGS - International Geosynthetic Society

ISO - Organização Internacional de Normalização

k - coeficiente de permeabilidade

k_n - Coeficiente de permeabilidade perpendicular ao plano do material [m/s]

k_s - Coeficiente de permeabilidade do solo

LGS - Laboratório de Geossintéticos da FEUP

LL - limite de liquidez

LP - limite de plasticidade

MD - Direcção de fabrico

M - massa da água

MUA - massa por unidade de área [g/m^2]

NP - Norma Portuguesa

n - Porosidade do geotêxtil

O_{95} - dimensão equivalente da abertura dos poros do geotêxtil

PET - poliéster

prEN – projecto de Norma Europeia

PP - polipropileno

RT - factor correctivo

T - temperatura

PVC - Policloreto de vinilo

V - volume

$V_{I_{H50}}$ - índice de velocidade para perda de carga de 50mm [m/s]

Capítulo 1

Introdução

1.1. Situação actual em Timor Leste

Timor Leste depara-se, ainda, com problemas relacionados com a drenagem da água proveniente das enxurradas durante o período chuvoso. O clima de Timor Leste, com duas estações definidas pelo regime de monções – a época seca (Junho a Outubro) e a época das chuvas (Novembro a Maio) – não apresenta grandes variações de temperatura. Contudo, em função do grau de precipitação, temperatura média anual e altitude, podem identificar-se três regiões climáticas distintas: a zona norte e a zona sul com um clima mais seco, com temperaturas que se situam, aproximadamente, à volta e quase sempre acima, dos 23/24 graus; e a zona montanhosa, mais central, que apresenta uma maior densidade pluviométrica e temperaturas mais baixas.

Os problemas daí decorrentes são bem conhecidos. As inundações, no mínimo, podem interromper o trânsito de veículos nas cidades e, pior, podem causar problemas de saúde.

Em casos mais gravosos, as inundações (Figura 1.1) podem provocar surtos de dengue em pessoas que vivem em áreas de maior risco ambiental. A ocorrência das enxurradas pode, também, causar poluição dos rios locais e, devido à falta de infiltração natural no solo, os lençóis subterrâneos não são recarregados.



Figura 1.1 - Condições de drenagem em Timor Leste.

As estradas rurais em Timor Leste são estruturas viárias importantes para o desenvolvimento rural, económico e social da nação, permitindo o escoamento de produtos agrícolas e industriais, além do acesso aos serviços gerais. A erosão provocada pelas águas das chuvas (Figura 1.2) no leito e margens das estradas está intimamente relacionada com a deficiente drenagem, tornando-se num dos principais factores para a sua degradação.



Figura 1.2 - Condições das estradas rurais em Timor Leste.

A drenagem artificial muitas vezes não é suficiente para melhorar a infiltração da água no solo. Em muitas regiões, sem o recurso a sistema de drenagem torna-se impossível impedir problemas de inundações. Portanto, tendo presente as dificuldades de drenagem em Timor Leste, pretende-se contribuir para a sua solução, propondo para tal, a utilização de geossintéticos.

Juntamente com a constituição dos sistemas de drenagem, pretende-se utilizar geossintéticos como forma de controlo e prevenção de erosões, funcionando como protecção contra a erosão superficial provocada pelo impacto da chuva e pelo fluxo de água superficial.

Esta utilização, a ser implementada, presume-se que contribuirá para resolver os problemas associados a erosões resultantes do efeito da água da chuva. Pretende-se, também, avaliar as potencialidades da aplicação dos geotexteis em sistemas de drenagem urbana, recorrendo à adopção das melhores práticas.

Uma das aplicações mais comuns dos geossintéticos é em obras de drenagem. Giroud J. P. (1986), propôs a utilização da expressão "transmissividade" de fluidos para denominar a drenagem através dos geossintéticos, visto que estes captam e conduzem os fluidos, no seu plano, em direcção a um colector principal.

1.2. Objectivo

O objectivo principal deste trabalho consiste na aquisição de conhecimentos no âmbito da aplicação dos geossintéticos em obras de engenharia civil, na realização de alguns dos ensaios com vista à caracterização mecânica e hidráulica dos geossintéticos e no dimensionamento de geossintéticos em aplicações específicas.

Este estudo é uma oportunidade para aumentar os conhecimentos sobre a utilização de geossintéticos em obras de engenharia civil, além de permitir abordar as seguintes temáticas:

1. Estado do conhecimento e revisão das práticas actuais e dos problemas existentes associados com a infra-estrutura dos sistemas de drenagem e estruturas de suporte de terras e taludes;
2. Estado de arte e revisão das práticas actuais e das vantagens e limitações associadas à utilização de geossintéticos nas funções acima indicadas;
3. Identificar os métodos de dimensionamento de geossintéticos em obras de drenagem e aplicar os mesmos às condições dos solos e à topografia de Timor;
4. Realização de ensaios visando essencialmente a caracterização mecânica e hidráulica dos geossintéticos.

1.3. Metodologia e fases dos trabalhos de investigação

A metodologia adoptada para o desenvolvimento deste trabalho pode ser resumida nas seguintes actividades principais:

1. Pesquisa e análise bibliográfica sobre a aplicação de geossintéticos, avaliando as vantagens e limitações da sua utilização nas obras de engenharia civil;
2. Pesquisa e análise bibliográfica sobre o tema da drenagem e reforço. A pesquisa visa especificamente a situação em Timor Leste;
3. Caracterização de um solo tipo de Timor Leste. Escolha de métodos de dimensionamento mais adequados para este tipo de solos, especialmente no que diz respeito à drenagem;
4. Realização de ensaios laboratoriais a fim de caracterizar alguns geossintéticos utilizados habitualmente com função de separação, de filtro e de reforço.

Capítulo 2

Geossintéticos

2.1. Introdução

O termo geossintético é definido, segundo a *International Geosynthetic Society (IGS)* como um material polimérico (sintético ou natural), usado em contacto com solo, rocha ou outro material geotécnico em Obras de Engenharia Civil.

Segundo Lopes M. L. (2010), a aplicação de fibras e telas na estabilização e melhoramento de solos data de há milhares de anos. Com efeito, os babilónios já usavam esses materiais no reforço de solos há três mil anos. Com o mesmo objectivo, os chineses aplicavam madeira, bambu e raízes e os romanos utilizavam juncos em madeira. A estes materiais acrescentou-se, na Idade Média, as peles de animais.

No século XX, apesar da primeira referência à aplicação de telas datar de 1926 (reforço de pavimentos de estradas nos Estados Unidos da América), a sua utilização sistemática só surge após o aparecimento dos polímeros sintéticos, na década de 40, associado ao desenvolvimento das técnicas de fabrico de geotêxteis com estes materiais, quer tecidos (década de 50), quer não-tecidos (década de 60).

Segundo Pinho Lopes e Lopes (2010), os geossintéticos são materiais recentes que, no entanto, tiveram um rápido desenvolvimento. As principais razões deste sucesso devem-se ao aparecimento de uma vasta gama de produtos que vieram constituir boas soluções para uma variedade de situações difíceis, apresentando-se, quando comparados com outras soluções mais tradicionais, como materiais com qualidade de fabrico, rapidez, simplicidade de aplicação e baixo custo.

Pinto (2005) refere que os geossintéticos contam já com uma forte presença nas obras de engenharia civil pelas vantagens técnicas, económicas e pela rapidez de aplicação que apresentam no desempenho das suas funções relativamente aos materiais ditos tradicionais. São predominantemente usados em obras de carácter geotécnico e podem desempenhar, isolada ou simultaneamente, várias funções (Figura 2.1): drenagem, filtragem, protecção, reforço, separação, controlo da erosão e barreira de fluidos.

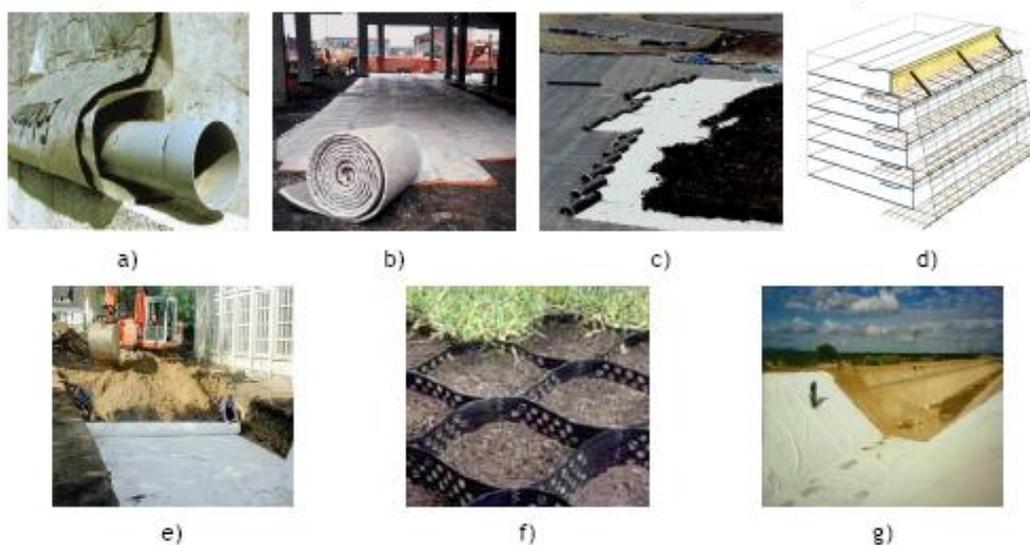


Figura 2.1 - Funções dos geossintéticos (Moreira, 2009): a) drenagem; b) filtragem; c) protecção; d) reforço; e) separação; f) controlo de erosão superficial; g) barreira de fluidos.

2.2. Classificação dos geossintéticos

Os geossintéticos são, na maior parte dos casos, elementos obtidos a partir de polímeros sintéticos que se colocam à superfície ou no interior de obras de terra com vista a melhorar o seu desempenho, podendo exercer, basicamente, funções de drenagem, filtragem, separação, protecção, reforço, controlo de erosão superficial e barreira de fluidos.

Embora as propriedades dos geossintéticos sejam muito influenciadas pelos tipos de polímeros que os constituem, a classificação destes materiais assenta, essencialmente, nas diferenças estruturais que decorrem dos diversos processos de fabrico, sendo que, numa primeira aproximação, podem ser

divididos em permeáveis e impermeáveis. Os geotêxteis (Figura 2.2) e os produtos relacionados, dentro dos quais se destacam as geogrelhas (Figura 2.3), as georredes, as geomalhas, os geotapetes e as geocélulas constituem o grupo dos geossintéticos permeável. O grupo dos geossintéticos impermeável é constituído pelas barreiras geossintéticas – poliméricas (geomembranas) e argilosas (geocompósitos bentoníticos).

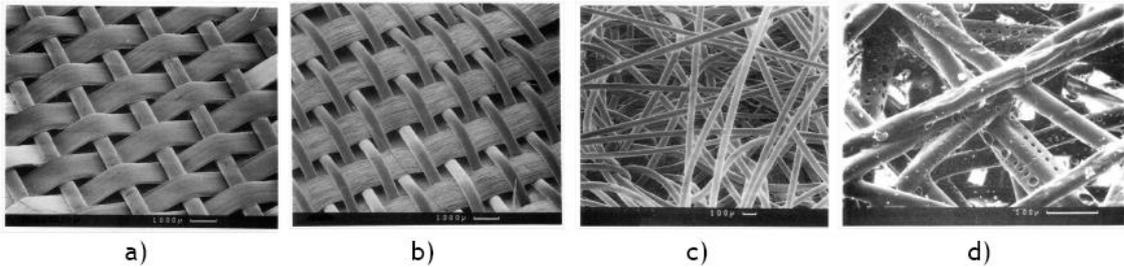


Figura 2.2 - Exemplos de geotêxteis (Lopes, 2010): a) geotêxtil tecido com tira e monofilamento; b) geotêxtil tecido com multifilamento e monofilamento; c) geotêxtil não tecido mecanicamente ligado (agulhado); d) geotêxtil não tecido termicamente ligado.

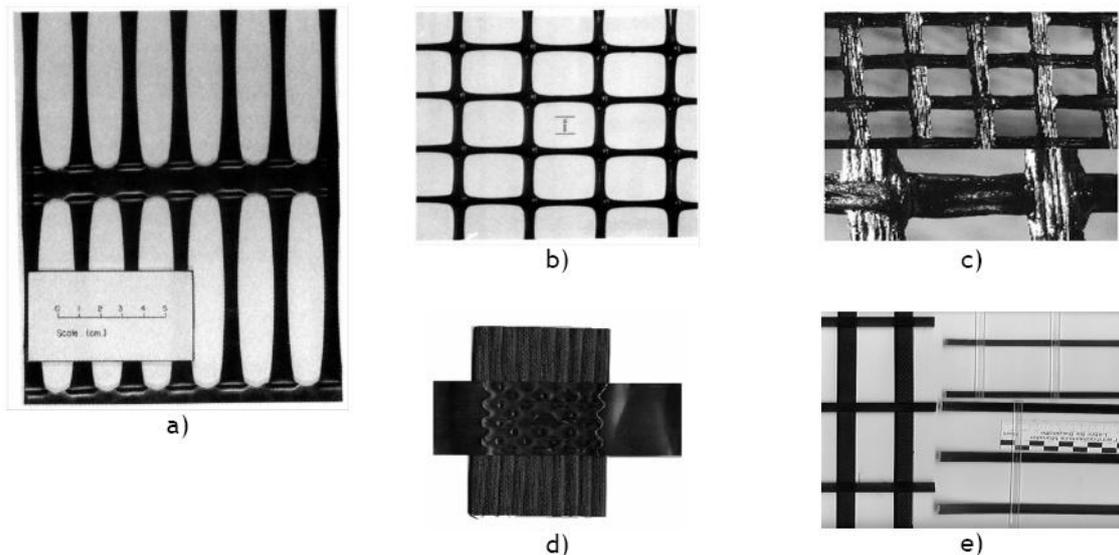
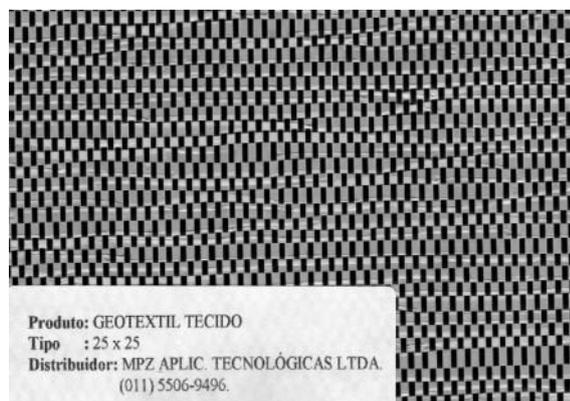


Figura 2.3 - Exemplos de geogrelhas (Moreira 2009): a) geogrelha uniaxial de uniões integrais; b) geogrelha biaxial de uniões integrais; c) geogrelha de uniões tecidas; d) geogrelha de uniões fundidas; e) geogrelha com uniões efectuadas por laser.

2.2.1. Geotêxteis

Os geotêxteis são telas contínuas de fibras ou filamentos, tecidas, não tecidas, tricotadas ou costuradas. As telas são flexíveis e permeáveis, tendo em geral o aspecto de um têxtil. Os geotêxteis são utilizados para separação, filtragem, drenagem, reforço e controlo de erosão (IGS-Portugal, 2011).

Apesar da grande diversidade de geotêxteis, é possível identificar duas classes principais: a dos geotêxteis tecidos e a dos geotêxteis não tecidos. Os geotêxteis tecidos (Figura 2.4) são fabricados segundo os princípios de tecelagem tradicionais recorrendo a teares cada vez mais versáteis e sofisticados. Os componentes básicos tradicionalmente utilizados no fabrico de geotêxteis tecidos são o monofilamento, o multifilamento, ou uma combinação dos dois. No entanto, ultimamente, tem-se tornado comum o fabrico destes materiais com tiras. A espessura dos geotêxteis tecidos fabricados a partir de mono e multifilamentos varia entre 1mm e 2mm. Nos geotêxteis tecidos obtidos a partir de tiras, a espessura é habitualmente inferior a 0,5mm. Os geotêxteis não tecidos, por outro lado, são compostos por fibras cortadas ou filamentos contínuos distribuídos aleatoriamente e interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos (Figura 2.5).



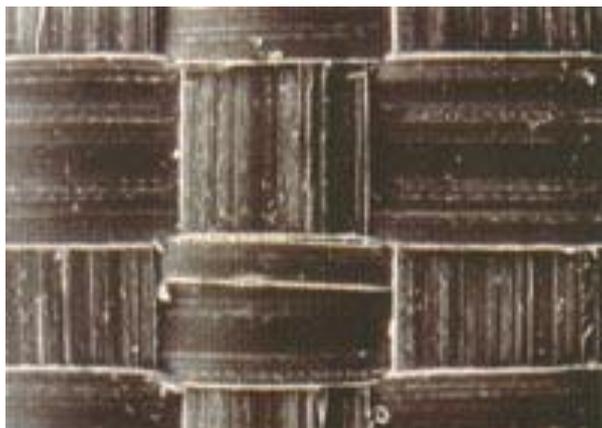


Figura 2.4 - Exemplos de geotêxteis tecidos.



Figura 2.5 – Exemplo de geotêxtil não-tecido.

Segundo Ferreira (2001), os geotêxteis ao serem aplicados, têm na maioria das vezes desempenho em funções diferentes; por exemplo, quando se pretende efectuar a drenagem de um local e se envolve uma zona de cascalho com geotêxtil, este tem a função de dreno, de separador e de filtragem: tem a função de dreno porque a água percola ao longo dele com muita facilidade; tem a função de separador porque uma zona de solo natural com muitos finos, não fica em contacto com o cascalho, evitando a mistura de materiais e por sua vez a colmatação de dreno; tem a função de filtragem, pois o geotêxtil deixando passar a água e retendo o solo, funciona como um filtro. Assim, devido às suas múltiplas funções os geotêxteis têm aplicabilidade em muitíssimas obras de engenharia, como estradas, taludes, barragens da terra, canais, túneis, caminhos de ferro, muros de suporte, fundações de edifícios, campos de golfe, campos de futebol, aterros sanitários, cemitérios, aeroportos, e muitas outras.

2.2.2. Geogrelhas

As geogrelhas são geossintéticos muito abertos com uma configuração do tipo grelha, em que a área das aberturas é superior à área das barras que a constituem (IGS-Portugal, 2011). Podem ser fabricadas por ligação dos pontos de intersecção de barras perpendiculares de polímero (ligações por laser, tecidas, fundidas, etc.) ou por perfuração de uma folha de polímero, seguida de estiramento (geogrelhas de ligações integrais). Na Figura 2.6 é possível observar-se um exemplo de aplicação de uma geogrelha.

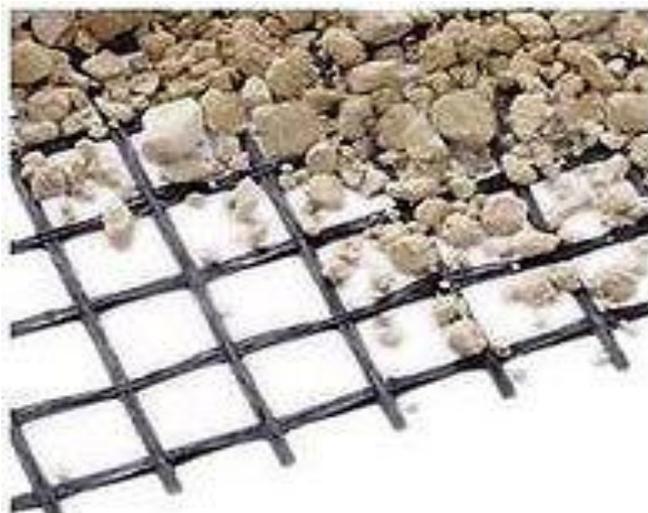


Figura 2.6 - Exemplo de uma geogrelha.

2.2.3. Geocompósitos

Os geocompósitos são geossintéticos fabricados pela combinação de dois ou mais tipos de geossintéticos. Exemplos incluem: geotêxtil-georrede, geotêxtil-geogrelha, georrede-geomembrana, ou geocompósito argiloso (GCL). Os geocompósitos drenantes prefabricados ou geodrenos (PVDs) são constituídos por um núcleo plástico drenante envolvido por um filtro de geotêxtil (IGS-Portugal, 2011).

Segundo Pinho Lopes e Lopes (2010), os geocompósitos são associações de diferentes materiais, que incluem pelo menos um geossintético. De entre os geocompósitos mais comuns destacam-se os geocompósitos bentoníticos, os

geocompósitos de drenagem e os geocompósitos de reforço. Estes materiais são classificados de acordo com a função que vão desempenhar.

Santos (2007), refere que os geocompósitos resultam da combinação de vários tipos de geossintéticos (geotêxteis, geogrelhas, georredes, geomembranas etc.). Por vezes, é necessário combiná-los com materiais naturais (areia, brita, fibras naturais, solos, etc.) para que os geocompósitos possam desempenhar funções associadas e simultâneas, como por exemplo de: separação, reforço, filtração, drenagem e barreira de gases e líquidos. Na Figura 2.7 apresenta-se a configuração de dois tipos diferentes de geocompósitos.

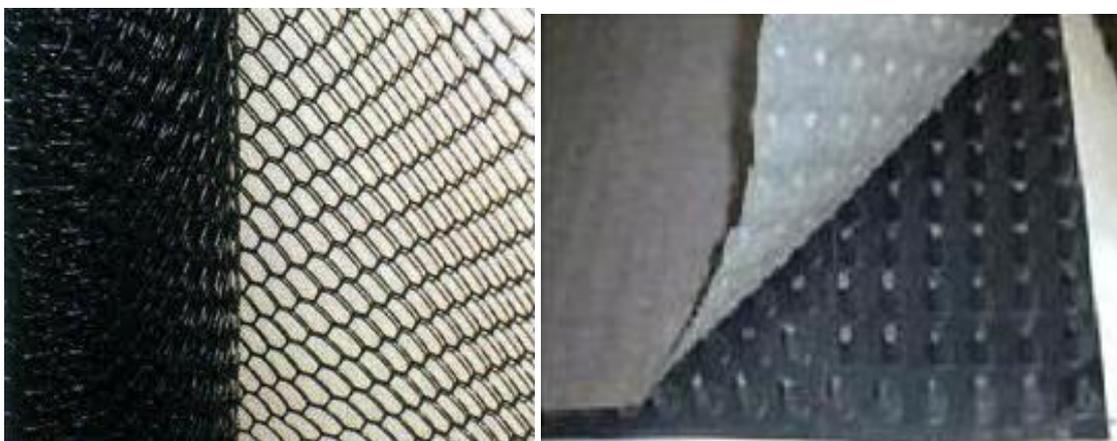


Figura 2.7 - Exemplos de geocompósitos.

2.2.4. Geocélulas

As geocélulas são estruturas celulares tridimensionais, relativamente espessas, construídas a partir de tiras poliméricas (Figura 2.8). As tiras são ligadas de forma a formar células interligadas que são preenchidas com solo, ou em algumas situações com betão. Tiras de 0,5 m a 1 m de largura de geogrelhas podem ser interligadas com cordões poliméricos para formar geocélulas mais espessas, designadas por geocolchões.



Figura. 2.8 - Exemplo de geocélulas.

2.2.5. Georedes

As georedes são obtidas por extrusão de duas séries de elementos paralelos poliméricos que se cruzam segundo um determinado ângulo. A rede forma uma tela permeável que é utilizada para transportar fluidos ou gases (IGS-Portugal, 2011). Na Figura 2.9 apresenta-se uma georede.



Figura 2.9 – Exemplo de georedes.

2.2.6. Geomembranas

As geomembranas são barreiras geossintéticas poliméricas, ou seja, são telas contínuas flexíveis fabricadas a partir de um ou mais materiais sintéticos. São relativamente impermeáveis e são utilizadas como barreira aos fluidos, gases ou vapores. Dois exemplos de aplicação de geomembranas podem ser observados na Figura 2.10.



Figura 2.10 - Exemplos de aplicação de geomembrana.

2.3. Funções dos geossintéticos

Os geossintéticos incluem uma variedade de materiais, constituídos por polímeros sintéticos, especialmente fabricados para serem usados nos domínios da engenharia geotécnica, ambiental, hidráulica e dos transportes. Podem distinguir-se as seguintes funções principais para um geossintético: protecção, separação, filtragem, drenagem, reforço, contenção de líquidos/gases (barreira de fluidos) e controlo de erosão. Em certos casos, o geossintético pode desempenhar simultaneamente várias funções.

Outras funções poderiam ser mencionadas, no entanto essas, poderão considerar-se casos particulares das anteriormente apresentadas.

Para que os geossintéticos cumpram as suas funções há uma série de propriedades que eles devem respeitar, no que diz respeito às suas características, como é o caso da sua espessura, da sua massa por unidade de superfície, da sua porosidade, da transmissibilidade, da permissividade, da resistência à tracção, da resistência ao rasgamento, da resistência ao

punçoamento e da deformabilidade. Segundo Gomes (2001), as necessidades sobre aquelas características variam em função da sua aplicação.

Os geossintéticos ao serem aplicados, têm na maioria das vezes que desempenhar funções diferentes; por exemplo, quando se pretende efectuar a drenagem de um local e se envolve uma zona de cascalho com geotêxtil, este tem a função de dreno, de separador e de filtragem:

- tem a função de dreno porque a água percola ao longo dele com muita facilidade;
- tem a função de separador porque uma zona de solo natural com muitos finos, não fica em contacto com o cascalho, evitando a mistura de materiais e por sua vez a colmatação do dreno;
- tem a função de filtragem, pois o geotêxtil deixando passar a água e retendo o solo, funciona como um filtro.

Assim, devido às suas múltiplas funções os geossintéticos têm aplicabilidade em muitíssimas obras de engenharia, como estradas, taludes, barragens de terra, canais, túneis, caminhos de ferro, muros de suporte, fundações de edifícios, campos de golfe, campos de futebol, aterros sanitários, cemitérios, aeroportos e muitas outras.

2.3.1. Protecção

De acordo com a NP EN ISO 10318, a função de protecção consiste em evitar ou limitar a danificação local de um determinado elemento ou material através da utilização de um geotêxtil ou produto relacionado. Desta forma, um geossintético desempenha a função de protecção quando é colocado entre dois materiais, de forma a absorver e distribuir as tensões e deformações transmitidas ao material a ser protegido. O geossintético deve, então, exhibir propriedades mecânicas e espessura adequadas e deve apresentar continuidade (Pinho Lopes e Lopes, 2010).

Gomes (2001) refere que uma situação muito típica do uso dos geotêxteis em protecção consiste na aplicação em aterros sanitários (Figura 2.11), a envolver as geomembranas, de modo a proteger estas últimas principalmente devido a acções de punçoamento provocadas por materiais de forma angulosa, protegendo-as de possíveis perfurações. A estrutura do geotêxtil proporciona

um efeito de amortecimento, sendo a redistribuição das tensões provocadas pelas cargas, tanto mais eficaz quanto mais espesso e compacto for o geotêxtil. Situação idêntica é adoptada em tanques, canais e lagoas.

Os geotêxteis, nesta função, são também utilizados por baixo de enrocamentos e outros materiais de revestimento. Sem o geotêxtil a acção das ondas e o movimento da água poderiam causar a erosão do solo abaixo da estrutura de enrocamento, podendo comprometer a integridade da obra.



Figura 2.11 - Aplicações de geotexteis na protecção.

Segundo Gomes (2001), os geossintéticos podem, também, ser usados como protecção contra a erosão, quer em taludes, superfícies planas, canais, obras marítimas e muitos outros casos. Na Figura 2.12 encontra-se um exemplo de utilização de geossintéticos como protecção contra a erosão em taludes.



Figura 2.12 - Aplicação de geossintéticos na protecção contra erosão em taludes.

2.3.2. Separação

O geossintético pode ser utilizado para separar duas camadas de solo de granulometrias diferentes. Por exemplo, os geotêxteis são usados em pavimentos rodoviários, para evitar que os materiais da camada da base penetrem na camada subjacente, preservando desta forma a espessura da camada da base e a integridade do pavimento. Neste caso, os geotêxteis permitem, também, evitar que os solos finos da fundação contaminem as camadas de base do pavimento, constituídas por materiais granulares.

Segundo Gomes (2001), com a função de separação pretende-se que o geotêxtil demarque duas camadas de diferentes materiais, de modo a evitar contaminações, misturas ou até mesmo o seu contacto.

De acordo com a NP EN ISO 10318, a função de separação consiste em evitar a mistura entre dois materiais adjacentes, solos ou materiais de aterro, pela utilização de um geotêxtil ou produto relacionado. Para exercer esta função, o geossintético necessita de ter características mecânicas e hidráulicas apropriadas aos solos em causa.

De acordo com Santos (2007), com a função de separação, o geotêxtil é colocado entre duas camadas de materiais diferentes, de modo que a integridade e a funcionalidade de ambos permaneçam intactas, sem a permissão de uma possível mistura entre as mesmas. Como exemplo destas aplicações cita-se filtros de transição em obras geotécnicas, separações entre camadas velhas e novas de pavimentos rodoviários, separação em camadas de fundação de pavimentos, etc.

Na engenharia geotécnica, a separação ocorre de duas maneiras. A primeira maneira é através da incorporação de uma camada adicional de solo, porém, essa solução pode ser muito dispendiosa. A outra forma de maior custo/benefício e eficácia consiste na utilização de um geotêxtil de separação.

Uma situação muito típica do uso dos geotêxteis, em separação, é a aplicação em estradas, caminhos-de-ferro, aeroportos e estacionamento. Esta é uma função muito importante em vias pavimentadas, especialmente quando se

realizam sobre solos coesivos moles. A sua utilização impede a mistura entre o subsolo e os materiais dos aterros a usar em obras; note-se que a principal causa dos defeitos de vias pavimentadas ou não, é a contaminação da base constituída de agregado e a resultante perda de resistência da mesma; os geotêxteis, proporcionando a separação associada às funções de reforço e drenagem, melhoram as características funcionais da via e a sua durabilidade. Uma utilização muito comum como separador, em associação à drenagem, é a aplicação nos modernos muros de gabiões, entre o muro de pedra e o aterro ou o terreno natural, permitindo assim que solo com finos não penetre no muro, evitando a sua colmatação, o conseqüente aumento de pressões hidrostáticas no tardo do muro e, eventualmente, o seu derrube.

Outra utilização muito frequente como separador, associado à drenagem e filtragem, consiste no uso em drenos clássicos, ou, então, em drenagens especiais, à semelhança do que se efectua, por exemplo, nas áreas desportivas modernas ou campos de futebol (Figura 2.13), em que uma fina camada de cascalho, entre dois níveis de geotêxtil, poderá ajudar a resolver os problemas de drenagens.



Figura 2.13 - Exemplo de utilização de geossintéticos no estádio do Maracanã, Rio de Janeiro (2005), (<http://www.aecweb.com.br> e <http://www.geomaks.com> obra: PanAmericano 2007).

Outra das utilizações modernas é a aplicação dos geotêxteis na construção de áreas verdes e de lazer (Figura 2.14), permitindo a não contaminação dos terrenos com húmus ou, até, otimizando os consumos de água de rega.



Figura 2.14 - Exemplo de aplicação de geotêxteis em separação, (<http://www.geomaks.com> obra: PanAmericano 2007).

2.3.3. Filtragem

No desempenho da função de filtragem, o geossintético actua de forma semelhante a um filtro de areia permitindo que a água se mova através do solo, enquanto retém todas as partículas do solo a montante (IGS-Portugal, 2011). Por exemplo, em obras rodoviárias, os geotêxteis são usados para evitar o arrastamento de finos para a camada granular drenante ou para os drenos longitudinais, mantendo o escoamento através do sistema. São igualmente utilizados sob enrocamentos e outros materiais granulares em obras de protecção costeira e fluvial para evitar a erosão do solo.

Segundo Gomes (2001), com a função de filtragem pretende-se que o geotêxtil, ao deixar-se atravessar perpendicularmente ao seu plano, permita a passagem de líquidos ao mesmo tempo que impede a passagem das partículas desse solo.

Santos (2007) refere que a função de filtragem (Figura 2.15) envolve a passagem de fluidos ou de gases transversalmente ao maior plano da manta.

O geotêxtil funciona como um filtro, onde retém partículas maiores que a sua abertura de filtragem o parâmetro que caracteriza a dimensão dos poros na manta sintética, à medida que permite a passagem de fluidos ou gases pelo mesmo. Portanto, é o equilíbrio do sistema solo-geotêxtil que permite a passagem de líquidos, com certa perda de massa de solo, para uma determinada vida útil estipulada em projecto. As suas principais funções são a permeabilidade, a retenção de partículas, além da capacidade de fluxo para longos períodos de vida útil.

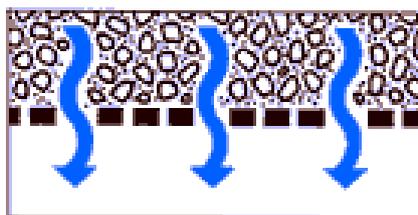


Figura 2.15 - Exemplo Ilustrativo do processo filtragem.

Nas barragens de terra e nas drenagens em geral, em que nos processos clássicos para evitar o arrastar dos finos (*piping*) eram efectuados filtros com vários níveis, ou anéis de solos arenosos com diferentes granulometrias, tarefa sempre difícil e morosa em obra, são aplicações que actualmente não há necessidade de efectuar, devido ao uso dos geossintéticos. Outra utilização importante na função de filtro é a aplicação dos geotêxteis no tardo de muros de suporte.

De acordo com a NP EN ISO 10318, a função de filtragem consiste em reter o solo ou outras partículas sujeitas a forças hidrodinâmicas, enquanto permite a passagem de fluidos para o interior ou através de um geotêxtil ou produto relacionado. Para permitir o fluxo livre do fluido, fazendo simultaneamente a retenção do solo no sentido do fluxo, o material deve ter características hidráulicas e dimensão de aberturas adequadas.

A compatibilidade solo – geossintético é muito importante em termos de fluxo a longo prazo, de forma a evitar a colmatção.

A Figura 2.16 representa um exemplo de aplicação de geossintéticos com função de filtragem.



Figura 2.16 - Exemplo de aplicação de geossintéticos na filtragem
(<http://www.bidim>).

2.3.4. Drenagem

De acordo com a NP EN ISO 10318, a função de drenagem consiste em recolher e transportar águas pluviais, águas freáticas e outros fluidos ao longo do plano de um geotêxtil ou de um produto relacionado.

Os geossintéticos funcionam como drenos quando são colocados de forma a permitirem a passagem de fluidos (líquidos ou gás) ao longo do seu plano, pelo que a drenagem consiste no equilíbrio do sistema solo-geossintético que permite a circulação livre de fluido (sem perda de solo) no seu plano por um período de tempo indefinido.

A drenagem pode ser dividida em horizontal ou vertical, como é ilustrado na Figura 2.17, e é utilizada para estruturas em contacto com o solo onde é necessário eliminar a pressão causada pela presença de água no solo ou onde a simples impermeabilização não é suficiente para evitar infiltrações indesejáveis.

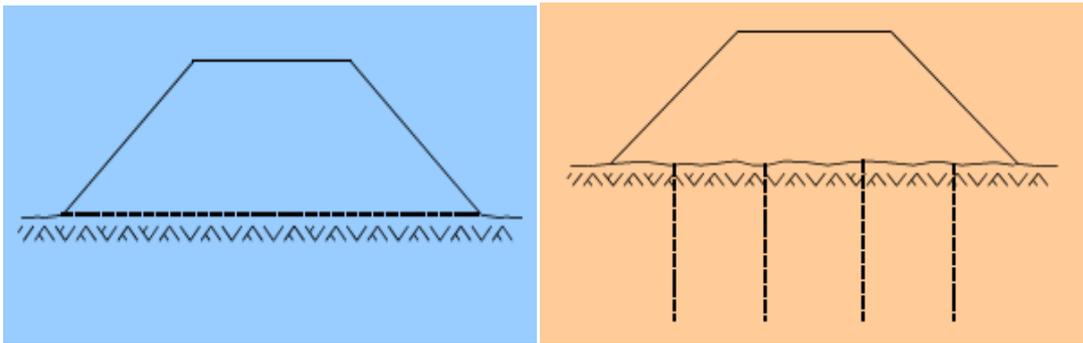


Figura 2.17 - Exemplos de drenagem horizontal e vertical respectivamente (Voskamp, 2001).

Segundo Pinho Lopes e Lopes (2010), as exigências fundamentais são as de assegurar a evacuação da água ou gás no plano do geossintético com uma pequena perda de carga, o que se consegue garantindo que este apresente espessura e compressibilidade adequadas e que a dimensão das aberturas seja tal que impeça a passagem de sólidos e o bloqueio ou colmatção. Refiram-se alguns exemplos de aplicação de geossintéticos com a função de drenagem:

- a. Sistemas de geocompósitos drenantes em barragens de terra;
- b. Sistema de drenagem entre duas geomembranas, para aumentar a segurança de um sistema de impermeabilização (muitas vezes em geotêxtil);
- c. Sistema de revestimento de túneis, em que é aplicado um geotêxtil ou um geocompósito de drenagem ao longo do perímetro da secção do túnel;
- d. Núcleo de geocompósitos de drenagem em muros de suporte ou encontro de pontes;
- e. Dreno horizontal na base de um aterro sobre solos moles (Figura 2.17);
- f. Drenos verticais para aceleração da consolidação de solos argilosos moles, entre muitos outros (Figura 2.17).

Segundo Gourc e Palmeira (1988), os geossintéticos podem ser utilizados eficazmente como drenos e filtros em obras de engenharia conjuntamente ou em substituição dos materiais granulares tradicionais. Os geossintéticos são mais fáceis de instalar em obra e geralmente apresentam um custo competitivo

em situações em que os materiais granulares disponíveis não cumprem as especificações de projecto, são escassos ou têm a sua utilização restringida por legislação ambiental.

Segundo Gomes (2001), com a função de drenagem pretende-se que o geotêxtil, recolha e transporte fluidos. Um exemplo de uma aplicação com função de drenagem é apresentado na Figura 2.18.



Figura 2.18 - Utilizações geossintéticos nas obras de drenagem, (<http://www.geomaks.com> obra: PanAmericano 2007).

De acordo com Silva (2007), a drenagem por gravidade é verificada nos seguintes casos:

- Drenos-chaminés em barragens;
- Dissipadores das pressões intersticiais atrás de paredes de contenção;
- Interceptores de fluxo, como drenos do tipo *espinha-de-peixe*;
- Abaixo de geomembranas para condução da água ou gás.

Na maioria dos casos, os geocompósitos drenantes filtram, captam e concentram as águas drenadas do solo. No entanto, por serem estruturas esbeltas, podem não ser capazes de conduzir toda a água acumulada ao longo dos drenos, cujos comprimentos podem atingir dezenas ou centenas de metros. Assim, é usual associar-se um geotubo à extremidade do geocompósito drenante para acumular e conduzir as águas do dreno até o local de descarga.

De acordo com Silva (2007), há inúmeras utilizações de geossintéticos na drenagem de fluidos em obras geotécnicas, destacando-se as seguintes:

- Drenagem profunda e subsuperficial de pavimentos rodoviários;
- Drenagem agrícola;
- Cortinas drenantes de edifícios
- Revestimentos de margens de canais e reservatórios;
- Jardins e obras de terra em geral;
- Estruturas de contenção;
- Túneis (*cut-and-cover*);
- Aterros sanitários (no sistema de revestimento da base e na cobertura);
- Lagoas de efluentes industriais e de dejectos animais;
- Campos desportivos;
- Terraços;
- Reabilitação de taludes.

As Figuras 2.19 e 2.20 ilustram outros exemplos de utilização de geotêxteis na drenagem.



Figura 2. 19 - Exemplo de aplicação de geossintéticos na drenagem, (<http://www.roma.ind.br/geossintetico/geocomposto-drenagem.html>).



Figura 2.20 - Outra aplicação de geossintético na construção com função de drenagem, (<http://www.geomaks.com> obra: PanAmericano 2007).

Ao considerar as condições de capacidade de fluxo, particularmente dos geotêxteis, existem duas categorias a serem consideradas, as quais determinam o tipo de obra na qual será aplicado o material: o fluxo gravitacional, direccionado pela inclinação do posicionamento do geotêxtil e o fluxo sob pressão, no qual a água será conduzida de locais de elevada pressão para locais de baixa pressão, independentemente da orientação do geotêxtil.

Os tipos de geossintéticos utilizados para drenagem e filtração são habitualmente os geotêxteis e os geocompósitos drenantes. Estes materiais podem ser usados em obras como estruturas de contenção, aterros, controlo de erosão, áreas de colocação de resíduos, etc.

2.3.5. Reforço

Segundo Gomes (2001), com a função de reforço, o geotêxtil faz uso da sua capacidade de resistência à tracção para resistir a tensões ou restringir deformações nas estruturas geotécnicas. A resistência à tracção permite que

os geotêxteis funcionem como armadura, melhorando a qualidade do solo, aumentando a sua capacidade de suporte e a estabilidade do mesmo.

Segundo os folhetos técnicos da IGS (IGS-Portugal, 2011), o geossintético actua como um elemento de reforço no seio dum maciço terroso ou em associação com o solo para produzir um compósito com melhores propriedades resistentes e de deformabilidade do que o solo não reforçado. Por exemplo, os geotêxteis e as geogrelhas são utilizados para aumentar a resistência à tracção do solo com o objectivo de possibilitar a construção de estruturas de solo reforçado com inclinações verticais (muros) ou sub-verticais (taludes). O reforço possibilita a construção de aterros sobre solos extremamente moles e a execução de taludes com inclinações superiores às inclinações possíveis com solos não reforçados. Os geossintéticos (geralmente as geogrelhas) são igualmente empregues para a transferência de esforços entre vazios que possam desenvolver-se sob as camadas granulares de fundação das infraestruturas de transporte, devido ao carregamento, ou sob os sistemas de cobertura dos aterros de resíduos.

O geossintético actua, ao deformar-se, como um distribuidor de cargas sobre uma superfície maior. As propriedades de interface, nomeadamente o atrito entre o solo e o geotêxtil, permitem assegurar uma boa transmissão e repartição das tensões no meio envolvente.

As aplicações dos geossintéticos com a função preponderante de reforço, em relação às outras funções, organizam-se em três grandes grupos:

- i) Fundação de aterros ou de qualquer tipo de pavimento sobre solos moles;
- ii) Reforço de aterros e em particular na construção de taludes de aterro e obras de contenção;
- iii) Restauração de pavimentos, intercalando o geotêxtil entre o pavimento fissurado e o novo revestimento (Figura 2.21).

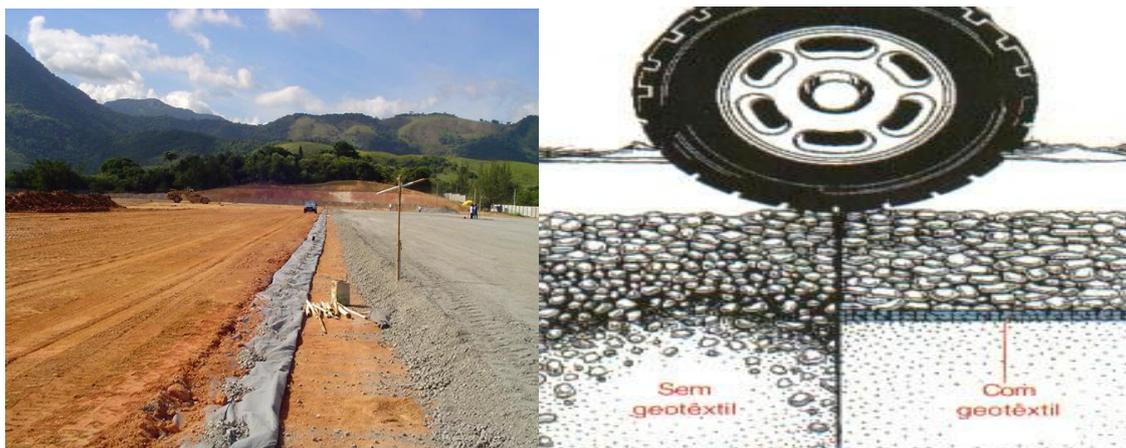


Figura 2.21 - Exemplo de aplicações de geotêxteis em pavimentos, (<http://www.geomaks.com> obra: PanAmericano 2007).

De acordo com a NP EN ISO 10318, a função de reforço não é mais do que a utilização do comportamento tensão–extensão de um geotêxtil ou produto relacionado para melhorar as propriedades mecânicas do solo ou outros materiais de construção. Os geossintéticos, sendo materiais que resistem a esforços de tracção, podem ser utilizados para complementar materiais que não possuam essa capacidade.

A função de reforço pode ser exercida em duas situações:

- a. Quando os geossintéticos exercem acção mecânica de membrana, ou seja, quando são colocados entre duas camadas sujeitas a pressões diferentes e a sua tensão equilibra a diferença de pressões entre duas camadas, conduzindo ao reforço global;
- b. Quando são colocados no interior de maciços para suportar tensões de tracção, obviando assim a incapacidade destes para resistirem a esforços deste tipo.

O reforço de solos funciona como um melhoramento mecânico do solo, permitindo que este suporte esforços de corte superiores aos que suportaria de outra forma (Pinho Lopes e Lopes, 2010).

2.3.6. Controlo de Erosão Superficial

De acordo com a NP EN ISO 10318, a função de controlo da erosão superficial consiste na utilização de um geotêxtil ou produto relacionado para evitar ou

limitar os movimentos de solo ou outras partículas na superfície de, por exemplo, um talude.

Assim, os geossintéticos são colocados sobre os maciços, protegendo-os da acção de agentes atmosféricos, tráfego, etc. Este tipo de função tem vindo a ganhar importância, nomeadamente em aplicações de protecção de taludes e protecção costeira, entre outras.

Segundo Moreira (2009) esta função pode ser desempenhada de forma provisória ou permanente. Por exemplo, podem ser utilizados geossintéticos biodegradáveis para proteger temporariamente uma estrutura da erosão superficial e promover o crescimento da vegetação, que por sua vez irá assegurar o controlo de erosão após a degradação daqueles.

Como exemplo da aplicação de geossintéticos em sistemas de controlo da erosão superficial, pode referir-se a protecção de taludes face à acção dos agentes meteorológicos e o revestimento de leitos de canais ou lagos para evitar a erosão superficial dos leitos ou margens (Figura 2.22).



Figura 2.22 - Exemplo da aplicação de geossintéticos no controlo da erosão, (<http://www.revistatechne.com.br>).

2.3.7. Barreira de Fluidos

De acordo com a NP EN ISO 10318, a função de barreira consiste em utilizar um geossintético para evitar a migração de fluidos. Assim sendo, quando os geossintéticos exercem a função de barreira de fluidos é importante que, durante as operações de transporte, manuseamento e colocação em obra, a continuidade do material seja garantida e que sobreviva às diferentes acções a

que estará submetido, nomeadamente aos ataques químicos que os fluidos com que contacta possam, eventualmente, implicar.

Na Figura 2.23 ilustram-se aplicações de geossintéticos como barreira de fluidos.



Figura 2.23 - Exemplo de aplicação de geossintéticos como barreira de fluidos (<http://mundodaimpermeabilização.blogspot.com/2009/geomembranas.html>).

2.3.8. Considerações gerais

Como se pode verificar através dos exemplos de aplicação apresentados anteriormente para cada uma das funções descritas, um determinado geossintético pode exercer simultaneamente várias funções. Deste modo, para que estes materiais possam desempenhar cada uma dessas funções de forma conveniente é necessário que possuam um determinado número de características, adequadas a cada uma das funções a exercer, e que estas sejam hierarquizadas (Pinho Lopes e Lopes, 2010). É prática corrente distinguir entre função primária e função secundária de um determinado geossintético.

No Quadro 2.1 estão indicados alguns exemplos de geossintéticos que podem exercer determinadas funções (primária e secundária).

Quadro 2.1. Exemplo de geossintéticos que podem desempenhar determinadas funções: primária e secundária (Pinho Lopes e Lopes, 2010).

Funções a desempenhar pelo geossintético		Geossintéticos
Drenagem	Primária	Geotêxteis, georredes e geocompósitos
	Secundária	Geotêxteis e geocompósitos
Filtragem	Primária	Geotêxteis e geocompósitos
	Secundária	Geotêxteis e geocompósitos
Reforço	Primária	Geotêxteis, geogrelhas e geocompósitos
	Secundária	Geotêxteis e geocompósitos
Separação	Primária	Geotêxteis e geocompósitos
	Secundária	Geotêxteis, geogrelhas, georredes, Geomembranas e geocompósitos
Barreira de fluidos	Primária	Geomembranas e geocompósitos
	Secundária	Geocompósitos

2.4. Propriedades dos Geossintéticos

Para poder desempenhar eficazmente a função para a qual foi escolhido, um geossintético deve apresentar um conjunto adequado de propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas (Moreira, 2009). A definição desse conjunto de propriedades deve considerar principalmente a funcionalidade do geossintético ao longo do período de vida útil da obra, não esquecendo, contudo, as acções a que irá estar sujeito durante as operações de manuseamento, armazenagem e colocação em obra. Dado que o campo de aplicação dos geossintéticos é muito amplo e que a sua utilização como alternativa aos materiais tradicionais tem aumentado muito rapidamente, a escolha dos métodos de ensaio para os caracterizar ou para simular o seu comportamento é, por vezes, difícil.

A necessidade de controlo das propriedades dos geossintéticos levou a que muitos países e alguns organismos internacionais desenvolvessem normas de ensaio próprias para estes materiais. No entanto, sendo o comportamento dos geossintéticos muito dependente das condições de ensaio (dimensões do provete, temperatura e humidade ambiente, velocidade do ensaio, entre outras), os resultados dos ensaios realizados segundo normas diferentes para a definição de uma mesma propriedade não são comparáveis. Esta situação pode gerar alguma confusão e arbitrariedade no uso dos geossintéticos, uma vez que o mesmo material é susceptível de apresentar valores muito diferentes para uma dada propriedade.

As propriedades dos geossintéticos podem ser divididas em: físicas, mecânicas, hidráulicas e relativas à durabilidade.

2.4.1. Propriedades Físicas

As principais propriedades físicas dos geossintéticos são a massa por unidade de área, a densidade relativa dos polímeros de que são constituídos e a espessura.

Massa por unidade de área (MUA): A massa por unidade de área é um indicador da uniformidade e da qualidade de um geossintético, podendo ser usada para identificação de um produto. Para um dado tipo de polímero e de processo de fabrico, a gramagem pode ser directamente relacionada com as propriedades mecânicas. Esta grandeza exprime-se em g/m^2 .

Densidade relativa dos polímeros: Esta grandeza adimensional é definida como a razão entre massa volúmica dos elementos que constituem o geossintético e o peso volúmico da água a 4°C . É um indicador do tipo de polímero e, como tal, pode ser usado para identificação e controlo de qualidade. Permite avaliar se o geossintético flutua, o que pode ser importante nalgumas aplicações.

Espessura: A espessura, expressa em mm, é definida como a distância entre as superfícies inferior e superior de um geossintético, medida para uma dada pressão. A espessura nominal é obtida com uma pressão de 2kPa. As relações entre a espessura e a pressão permitem avaliar a compressibilidade dos geossintéticos. A espessura destes materiais tem influência directa no seu comportamento mecânico e hidráulico.

2.4.2. Propriedades Mecânicas

Durante o seu tempo de vida, um geossintético pode ser sujeito a variadas acções mecânicas, quer estáticas quer dinâmicas, como por exemplo esforços de tracção e compressão, de punçoamento e de rasgamento (Moreira, 2009).

As respostas destes materiais às solicitações em causa dependem das suas propriedades mecânicas, de entre as quais se salientam o comportamento à tracção, a resistência ao punçoamento e ao rasgamento e o atrito nas interfaces.

Comportamento à tracção: Esta propriedade dos geossintéticos depende de factores como o polímero constituinte, a estrutura, o processo de fabrico e o tipo de ligação, entre outros. De forma simplificada, a deformação total de um geossintético é composta por duas parcelas: uma relativa à deformação dos componentes (mais significativa em geogrelhas e geotêxteis tecidos) e outra relativa à deformação estrutural (mais importante em geotêxteis não tecidos).

A resposta dos geossintéticos quando sujeitos a esforços de tracção é usualmente caracterizada pela curva que relaciona a força por unidade de largura (expressa em kN/m) com as elongações (expressas em percentagem). A partir desta curva, é possível obter a resistência à tracção (força por unidade de largura na rotura), a elongação na rotura e o módulo de rigidez (razão entre a força por unidade de largura e a elongação correspondente).

Resistência ao punçoamento: Os geossintéticos estão frequentemente sujeitos a acções de punçoamento, quer durante quer após a sua colocação em obra. Assim sendo, pode surgir uma descontinuidade no material, provocada por um dos três mecanismos seguintes: perfuração (golpe), punçoamento (efeito de compressão) e rebentamento. A resistência ao punçoamento é definida com base na medição da vulnerabilidade dos geossintéticos às compressões diferenciais ou a choques. A solicitação pode ser concentrada, estática ou dinâmica e, consoante o mecanismo que lhe dá origem, a resistência ao punçoamento pode ser quantificada por um comprimento, uma força ou uma pressão.

Resistência ao rasgamento: Define-se rasgamento como a rotura progressiva resultante de duas acções: uma localizada, do tipo “perfuração”, e outra distribuída, do tipo “tracção”. A força de rasgamento, expressa em kN, mede a resistência dos geossintéticos à propagação de rasgões locais.

Atrito nas interfaces: Dado que a transferência de tensões do solo para os geossintéticos é feita através da interação entre eles, esta é uma das propriedades mais importantes quando estes materiais actuam como reforço. A caracterização dessa interação é feita com base na resistência ao corte da interface solo-geossintético, sendo geralmente expressa em kN/m^2 e podendo ser representada por uma lei idêntica à lei de Mohr – Coulomb, ou seja, por uma adesão e por um ângulo de atrito.

A resistência ao corte da interface resulta da mobilização de atrito lateral entre o solo e o geossintético e da mobilização de impulso passivo nos seus elementos transversais, caso a dimensão das suas aberturas seja superior à dos grãos de solo (como no caso das geogrelhas). Como se compreende, a resistência ao corte da interface solo-geossintético será sempre menor ou igual à do solo, dependendo de factores como a rugosidade do geossintético e da granulometria do solo, entre outros.

2.4.3. Propriedades Hidráulicas

As principais propriedades hidráulicas dos geossintéticos são a distribuição e dimensão das aberturas e as permeabilidades normal e ao longo do seu plano (esta última definida através do conceito de transmissibilidade). Podem, ainda, ser referidas outras propriedades, tais como a permeabilidade ao ar e a capacidade de filtragem de solos. É ainda de referir que as propriedades hidráulicas de um geossintético são mais influenciadas pelo processo de fabrico do que pelo tipo de polímero.

Distribuição e dimensão das aberturas: No caso das geogrelhas, as aberturas são uniformes, bastando medir o tamanho de uma delas para determinar a dimensão das aberturas do material. Porém, no caso dos geotêxteis, verifica-se que as suas aberturas não possuem um único tamanho, mas sim um intervalo de tamanhos. Assim sendo, a representação desse intervalo faz-se de forma análoga à utilizada para representar a granulometria de um solo e designa-se por porometria. A dimensão equivalente de abertura, O_n (em geral, n tem o valor de 90%) representa a dimensão que é maior do que

n% das aberturas do geossintético. Normalmente, o diâmetro das aberturas é expresso em mm ou em μm .

Permeabilidade no plano do material: A permeabilidade no plano do material, geralmente expressa em m^2/s , caracteriza as condições de escoamento no plano do geossintético, sendo dependente da espessura e da distribuição e dimensão das aberturas.

Permeabilidade normal ao plano do material: A permeabilidade na direcção perpendicular ao plano do geotêxtil é expressa em m/s (ou mm/s) dependendo, também, da distribuição e dimensão das aberturas.

2.4.4. Durabilidade

Brown e Greenwood (2002), referindo-se a plásticos em geral, afirmam que a durabilidade abrange todos os aspectos referentes a alterações irreversíveis nas propriedades dos materiais em estudo decorrentes da sua utilização e do tempo, incluindo todos os agentes ambientais que contribuem para a degradação, bem como todos os aspectos relativos a acções mecânicas (Pinho Lopes, 2006).

Segundo Moreira (2009), o problema básico envolvendo a questão da durabilidade consiste na determinação do espaço de tempo durante o qual um geossintético terá a capacidade de manter as propriedades que lhe são exigidas, dentro dos valores mínimos requeridos, num dado meio-ambiente.

Apesar das vantagens económicas associadas ao emprego de geossintéticos, a utilização destes materiais é ainda limitada por dúvidas relativas à questão da permanência das características dos geossintéticos ao longo do tempo. A alteração das características dos geossintéticos pode resultar de (Moreira, 2009):

1. Deterioração durante as operações de transporte, manuseamento, armazenamento e colocação em obra;
2. Acção interna (evolução da matéria prima);
3. Acção externa, que pode ser mecânica (fluência e relaxação), física, química ou bacteriológica.

Os danos causados pelas operações de instalação podem ser controlados com relativa facilidade através da realização de ensaios durante as diversas fases de execução. Em relação ao envelhecimento causado por acções internas, é de referir que os polímeros sintéticos, devido ao seu processo de fabrico, têm alterações estruturais que podem, com o decorrer do tempo, conduzir a alterações (por exemplo, cristalizações) sem que tal indique, à partida, a degradação do geossintético. No que se refere às acções externas, em particular às acções mecânicas, é de notar que a fluência e a relaxação são determinantes no comportamento dos geossintéticos a longo prazo.

2.4.5. Relações entre as funções e as propriedades

Numa tentativa de sintetizar o que se referiu sobre as funções dos geossintéticos e as propriedades mais relevantes para cada uma delas, apresenta-se no Quadro 2.2 uma relação entre as propriedades dos geossintéticos e as suas principais funções.

Quadro 2.2. - Relações entre as funções e as propriedades dos geossintéticos (Pinho-Lopes, 1998 e Paula, 2003).

Propriedades	Funções				
	Drenagem	Filtragem	Separação	Reforço	Protecção
Espessura	***	*			
Compressibilidade		**			
Permissividade	**	***			
Transmissibilidade	***	*			
Porometria	***	***			
Resistência à tracção			*	**	*
Rigidez				***	
Extensão			***	*	*
Resistência ao rasgamento			**	**	***
Resistência ao puncoamento			***	**	***
Atrito				***	**

*** - Propriedade de maior importância;

** - Propriedade de importância média;

* - Propriedade de menor importância;

2.5. Normalização aplicável aos ensaios de geossintéticos

Os geossintéticos são, geralmente, ensaiados pelo fabricante, para controlo da produção, e pelo utilizador, com dois objectivos:

- Seleccionar um determinado produto para uma dada aplicação (ensaios de qualificação);
- Identificar e controlar a qualidade dos produtos seleccionados (ensaios de recepção, identificação e controlo de qualidade).

Os ensaios de qualificação, que pretendem definir o comportamento do sistema solo-geossintético para níveis de tensão e condições ambientais idênticas às que previsivelmente ocorrerão na obra a construir, são normalmente mais longos, caros e complexos que os ensaios de identificação. Estes últimos têm por objectivo identificar o produto seleccionado e verificar se, após as operações de transporte, manuseamento e armazenamento, os valores das propriedades relevantes estão de acordo com os limites estabelecidos nas especificações de qualidade do material (Moreira, 2009).

Os Quadros 2.3 a 2.7 resumem as normas em vigor (à data de Junho 2009) para o ensaio de geossintéticos aplicáveis no espaço comunitário.

Quadro 2.3 – Normas de terminologia, identificação e amostragem dos geossintéticos (adaptado de IGS Portugal, 2011).

Número	Nome
NP EN ISO 9862:2007 (Ed. 1)	Geossintéticos. Amostragem e preparação de provetes
NP EN ISO 9863-1:2006 (Ed. 1)	Geossintéticos. Determinação da espessura a pressões especificadas. Parte 1: Camadas simples
EN ISO 9863-2: 1996 (Ed. 1)	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 EN ISO 9864: 2006 (Ed. 1)	Geossintéticos - Determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos relacionados
NP EN ISO 10318	Geossintéticos. Termos e definições (aguarda publicação)
NP EN ISO 10320: 2003 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Identificação em obra
NP EN 14196: 2007 (Ed. 1)	Geossintéticos. Métodos de ensaio para a determinação da massa por unidade de área das barreiras geossintéticas argilosas

Notas: NP EN – Norma Portuguesa em vigor (traduzida da norma Europeia)

EN – Norma Europeia em vigor (ainda não traduzida, mas obrigatória em Portugal).

Quadro 2.4 - Normas referentes às exigências para os geossintéticos com vista à marcação CE (adaptado de IGS Portugal, 2011).

Número	Nome
NP EN 13249: 2007 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados. Características requeridas para a utilização na construção de estradas e outras zonas de tráfego (excluindo vias-férreas e pavimentos betuminosos)
NP EN 13250: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização na construção de vias-férreas
NP EN 13251: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em obras de terraplenagem, fundações e estruturas de suporte
NP EN 13252: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em sistemas de drenagem
NP EN 13253: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em obras para controlo da erosão (protecção costeira, revestimento das margens)
NP EN 13254: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização na construção de reservatórios e barragens
NP EN 13255: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização na construção de canais
NP EN 13256: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização na construção de túneis e estruturas subterrâneas
NP EN 13257: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em depósitos de resíduos sólidos
NP EN 13265: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Características requeridas para a utilização em projectos de depósitos de resíduos líquidos
NP EN 13361: 2006 (Ed. 1)	Barreiras geossintéticas – Características requeridas para a utilização na construção de depósitos e barragens
EN 13361:2004/A1: 2006 (Ed. 1)	Geosynthetic barriers - Characteristics required for use in the construction of reservoirs and dams
NP EN 13362: 2007 (Ed. 1)	Barreiras geossintéticas. Características requeridas para utilização na construção de canais

Notas: NP EN – Norma Portuguesa em vigor (traduzida da norma Europeia)

EN – Norma Europeia em vigor (ainda não traduzida, mas obrigatória em Portugal).

Quadro 2.4 (cont.) - Normas referentes às exigências para os geossintéticos com vista à marcação CE (adaptado de IGS Portugal, 2011).

Número	Nome
NP EN 13491: 2006 (Ed. 1)	Barreiras geossintéticas - Características requeridas para a utilização como barreira aos líquidos na construção de túneis e obras subterrâneas
NP EN 13492: 2007 (Ed. 1)	Barreiras geossintéticas. Características requeridas para a utilização na construção de estruturas de deposição de resíduos líquidos, estações de transferência ou confinamento secundário
NP EN 13493: 2007 (Ed. 1)	Barreiras geossintéticas. Características requeridas para a utilização na construção de estruturas de armazenamento e de deposição de resíduos sólidos
EN 15381: 2008	Geotextiles and geotextile-related products - Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays (aguarda publicação)
EN 15382: 2008	Geotextiles and geotextile-related products - Characteristics required for use in transportation infrastructure (aguarda publicação)

Notas: NP EN – Norma Portuguesa em vigor (traduzida da norma Europeia)
EN – Norma Europeia em vigor (ainda não traduzida, mas obrigatória em Portugal).

Quadro 2.5 - Normas para ensaios mecânicos de geossintéticos (adaptado de IGS Portugal, 2011).

Número	Nome
EN 1897: 2001 (Ed. 1)	Geotextiles and geotextiles related-products. Determination of the compressive creep properties
NP EN ISO 10319: 2005 (Ed. 1)	Geotêxteis. Ensaio de tracção em tiras largas
EN ISO 10319: 2008 (Ed. 2)	Geosynthetics. Wide-width tensile test
EN ISO 10321: 2008 (Ed. 2)	Geosynthetics. Tensile test for joints/seams by wide-width strip method
EN ISO 10722: 2007 (Ed. 1)	Geosynthetics. Index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading. Damage caused by granular material
EN ISO 12236: 2006 (Ed. 2)	Geosynthetics. Static puncture test (CBR-Test)
NP EN ISO 12957-1: 2007 (Ed.1)	Geossintéticos. Determinação das características de atrito. Parte 1: Ensaio de corte directo
NP EN ISO 12957-2: 2007 (Ed.1)	Geossintéticos. Determinação das características de atrito. Parte 2: Ensaio em plano inclinado
EN ISO 13426-1: 2003 (Ed. 1)	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of the strength of internal structural junctions – Part 1: Geocells

Notas: NP EN – Norma Portuguesa em vigor (traduzida da norma Europeia)
EN – Norma Europeia em vigor (ainda não traduzida, mas obrigatória em Portugal).

Quadro 2.5 (cont.) - Normas para ensaios mecânicos de geossintéticos (adaptado de IGS Portugal 2011).

Número	Nome
EN ISO 13426-2: 2005 (Ed. 1)	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of the strength of internal structural junctions – Part 1: Geocomposites
NP EN ISO 13427: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados. Simulação do dano por abrasão (ensaio de bloco deslizante)
NP EN ISO 13428: 2007 (Ed. 1)	Geossintéticos. Determinação da eficácia de protecção de um geossintético contra danos por impacto
EN ISO 13431: 1999 (Ed. 1)	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of tensile creep and tensile creep rupture behaviour
EN ISO 13433: 2006 (Ed. 1)	Geosynthetics. Dynamic perforation test (cone drop test)
EN 13719: 2002 (Ed. 1)	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of long term protection efficiency
NP EN 13738: 2007 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados. Determinação da resistência ao arranque no solo
EN ISO 13431: 1999 (Ed. 1)	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of tensile creep and tensile creep rupture behaviour
prEN ISO 25619-1	Geosynthetics - Determination of compressive behaviour - Part 1: Compressive creep properties
prEN ISO 25619-2	Geosynthetics - Determination of compressive behaviour - Part 2: Determination of short-term compression behaviour
prEN 14151	Geosynthetics - Determination of burst strength

Notas: NP EN – Norma Portuguesa em vigor (traduzida da norma Europeia)

EN – Norma Europeia em vigor (ainda não traduzida, mas obrigatória em Portugal)

Quadro 2.6 – Normas referentes à durabilidade dos geossintéticos (adaptado de IGS Portugal, 2011).

Número	Nome
NP EN 12224: 2007 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados. Determinação da resistência ao envelhecimento devido ao clima
NP EN 12225: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados. Método para a determinação da resistência microbiológica através de um ensaio de enterramento no solo
NP EN 12226: 2005 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados. Ensaio gerais para avaliação após os ensaios de durabilidade

Notas: NP EN – Norma Portuguesa em vigor (traduzida da norma Europeia)

EN – Norma Europeia em vigor (ainda não traduzida, mas obrigatória em Portugal)

Quadro 2.6 (cont.) - Normas referentes à durabilidade dos geossintéticos (adaptado de IGS Portugal, 2011).

NP EN 12447: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados. Método de ensaio selectivo para a determinação da resistência à hidrólise na água
NP ISO TR 13434	Geotêxteis e produtos relacionados – Directrizes sobre durabilidade (aguarda publicação)
NP EN ISO 13437: 2007 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados. Método para instalação e extracção de amostras no solo e preparação de provetes para ensaios em laboratório
NP EN ISO 13438: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados. Determinação da resistência à oxidação
EN 14030: 2001 (Ed. 1)	Geotextiles and geotextile related-products – Screening test method for determining the resistance to acid and alkaline liquids
EN 14030: 2001/A 1: 2003 (Ed. 1)	Geotextiles and geotextile related-products – Screening test method for determining the resistance to acid and alkaline liquids
NP EN 14414: 2007 (Ed. 1)	Geossintéticos. Método de ensaio selectivo para a determinação da resistência química para utilização em aterros de resíduos
NP EN 14415: 2007 (Ed. 1)	Barreiras geossintéticas. Método de ensaio para a determinação da resistência à lixiviação
NP CEN TS 14416	Barreiras Geossintéticas – Método de ensaio para a determinação da resistência às raízes (aguarda publicação)
CEN TS 14417: 2005	Geosynthetic Barriers – Determination of resistance to wet/dry cycles
CEN TS 14418: 2005	Geosynthetic Barriers – Determination of resistance to freeze/thaw cycles
NP EN 14575: 2007 (Ed. 1)	Barreiras geossintéticas. Método de ensaio para a determinação da resistência à oxidação
NP EN 14576: 2007 (Ed. 1)	Geossintéticos. Método de ensaio para a determinação da resistência das barreiras geossintéticas poliméricas à fissuração por tensão provocada pelos agentes ambientais
NP CEN/TR 15019	Geotêxteis e produtos relacionados - Controlo de qualidade em obra (aguarda publicação)

Notas: NP EN – Norma Portuguesa em vigor (traduzida da norma Europeia)

EN – Norma Europeia em vigor (ainda não traduzida, mas obrigatória em Portugal)

Quadro 2.7 - Normas para ensaios hidráulicos de geossintéticos (adaptado de IGS Portugal, 2011).

Número	Nome
NP EN ISO 11058: 2003 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação das características de permeabilidade à água normal ao plano, sem confinamento
NP EN ISO 12956: 2006 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da dimensão característica da abertura
NP EN ISO 12958: 2005 (Ed. 1)	Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da capacidade de escoamento no seu plano
EN 13562: 2000 (Ed. 1)	Geotextiles and geotextile-related products – Determination of resistance to penetration by water (Hydrostatic pressure test)
EN 14150: 2006 (Ed. 1)	Geosynthetic Barriers – Determination of permeability to liquids

Notas: NP EN – Norma Portuguesa em vigor (traduzida da norma Europeia)

EN – Norma Europeia em vigor (ainda não traduzida, mas obrigatória em Portugal)

Capítulo 3

Ensaio Laboratoriais

3.1. Considerações gerais

Os ensaios laboratoriais realizados no âmbito deste trabalho foram executados nos equipamentos existentes no Laboratório de Geossintéticos (LGS) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Nas secções seguintes são descritos os procedimentos associados aos vários ensaios realizados e apresentam-se os resultados obtidos. Os geossintéticos envolvidos neste estudo experimental foram caracterizados através da determinação da massa por unidade de área (MUA), da espessura, da resistência à tracção, da resistência ao punçoamento estático, da resistência ao punçoamento dinâmico e da permeabilidade no plano normal ao do material.

Foram ensaiados 3 geossintéticos: dois geotêxteis não tecidos, fabricados com fibras de polipropileno (PP), com diferentes valores de MUA, de espessura e de resistência, que se designaram como geotêxtil P40 e geotêxtil P70; e, um geocompósito de reforço que consiste num geotêxtil não tecido de polipropileno (PP) reforçado por filamentos de poliéster (PET) de elevada resistência numa direcção, que se designou por geocompósito RP50.

Escolheram-se geotêxteis que habitualmente desempenham as funções de separação e filtragem e um geocompósito de reforço que, para além de desempenhar as funções anteriores, tem como função principal o reforço de solos.

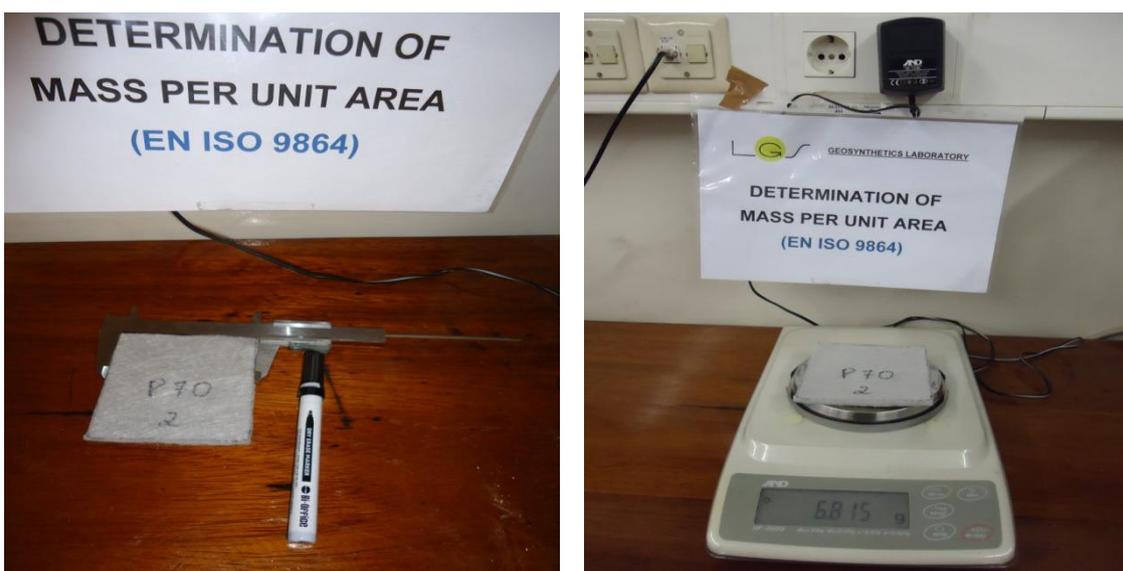
3.2. Determinação da massa por unidade de área (MUA)

A avaliação da massa por unidade de área (MUA) consiste em determinar a massa de provetes com área conhecida. A massa por unidade de área dos geossintéticos, muitas vezes designada por gramagem, é expressa em g/m^2 . Os ensaios foram realizados de acordo com a norma NP EN ISO 9864 (2006).

De acordo com esta norma devem ser preparados, no mínimo, 10 provetes (quadrados ou circulares) do geossintético em causa, com área aproximada de 100 cm². Caso esta dimensão dê origem a provetes não representativas do geossintético deve recorrer-se a provetes de maior dimensão, que devem ser descritos de forma detalhada. Os provetes são pesados e a sua massa por unidade de área é determinada em g/m². É determinado o valor médio referente aos 10 provetes e o coeficiente de variação correspondente.

De acordo com Koerner (1998), para a maioria do geotêxteis a massa por unidade de área toma valores entre 150 e 750 g/m², enquanto no caso das geogrelhas essa grandeza varia entre 200 e 1000 g/m².

A Figura 3.1 ilustra os passos necessários para a determinação da massa por unidade de área de geossintéticos.



a)

b)

Figura 3.1 - Determinação da massa por unidade de área dos geossintéticos:
a) medição da área do provete; b) pesagem do provete.

A massa por unidade de área é a característica intrínseca do geotêxtil utilizada para fornecer indicações relativas à sua resistência mecânica, a esforços de tracção ou punção estático (Morais, 2010). Pode ainda permitir o controlo da qualidade de fabrico dos geossintéticos, assim como, ser uma boa aproximação sobre o custo do material.

A sua realização requer a utilização de uma balança com uma precisão de pelo menos 0.001g na qual os provetes são pesados. Após a medição dos dois lados de cada provete, com o recurso a uma craveira, pode calcular-se a MUA que deve vir expressa em g/m^2 .

Nos Quadros 3.1, 3.2 e 3.3 apresentam os resultados dos ensaios de determinação da massa por unidade de área do geotêxtil P40, do geotêxtil P70 e do geocompósito RP50, respectivamente. Nestes quadros foram também incluídos os valores referentes à determinação da espessura, sendo o método de determinação explicado em 3.3.

Os valores da MUA obtidos para os geotêxteis P40 e P70 são muito próximos dos apresentados na ficha do produtor (400 g/m^2 e 700 g/m^2 , respectivamente). No que diz respeito à espessura, os valores obtidos foram ligeiramente inferiores aos apresentados pelo produtor (3.4 mm e 5.7 mm, respectivamente). O valor da MUA obtida para o geocompósito RP50 é ligeiramente superior ao valor apresentado na ficha do produtor (310 g/m^2), mas muito próximo do valor obtido por Vieira (2008) para o mesmo material. Em termos da espessura registada para este geocompósito, o valor é semelhante ao apresentado pelo produtor (2.1 mm). Refira-se que os valores obtidos para o coeficiente de variação, quer para a determinação da MUA, quer da espessura podem considerar-se satisfatórios para os 3 geossintéticos ensaiados.

Quadro 3.1 – Resultados dos ensaios para determinação da MUA e da espessura do geotêxtil P40.

No Provete	Lado1 (cm)	Lado2 (cm)	Área (cm ²)	Massa (g)	MUA (g/m ²)	Espessura (mm)
Provete 1	10.15	10.1	102.52	4.090	399	2.84
Provete 2	10.1	10.1	102.01	3.953	388	2.98
Provete 3	10.2	10	102	4.263	418	3.17
Provete 4	10	10	100	4.030	403	2.70
Provete 5	10.2	10.2	104.04	4.190	403	3.01
Provete 6	10.05	10.05	101.00	3.927	398	2.87
Provete 7	10	10	100	3.950	395	2.86
Provete 8	10.1	10.1	102.01	4.144	406	2.90
Provete 9	10	10	100	4.024	402	2.84
Provete 10	10.15	10.1	102.515	4.190	409	2.88
MÉDIA					401	2.9
DESVIO PADRÃO					9	0.1
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)					2	4.3

Quadro 3.2 – Resultados dos ensaios para determinação da MUA e da espessura do geotêxtil P70.

No Provete	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)	Massa (g)	MUA (g/m ²)	Espessura (mm)
Provete 1	10.2	10.25	104.55	7.184	687	5.42
Provete 2	10.1	10.3	104.03	7.270	699	5.01
Provete 3	10	10.1	101	7.120	705	5.18
Provete 4	10.2	10.3	105.06	7.246	690	5.43
Provete 5	10.1	10.1	102.01	7.150	701	5.09
Provete 6	10.1	10.15	102.52	7.170	699	5.35
Provete 7	10.1	10.1	102.01	7.190	705	5.27
Provete 8	10	10.1	101	7.217	715	5.39
Provete 9	10.25	10.15	104.03	7.390	710	5.31
Provete 10	10.15	10.1	102.52	7.126	695	5.20
MÉDIA					701	5.3
DESVIO PADRÃO					9	0.1
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)					1	2.7

Quadro 3.3 – Resultados dos ensaios para determinação da MUA e da espessura do geocompósito RP50.

No Provete	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)	Massa (g)	MUA (g/m ²)	Espessura (mm)
Provete 1	10.2	10.25	100	3.038	304	1.95
Provete 2	10.1	10.3	101	3.454	342	2.40
Provete 3	10	10.1	101.51	3.461	341	2.25
Provete 4	10.2	10.3	103.02	3.558	345	2.51
Provete 5	10.1	10.1	100	3.297	330	2.33
Provete 6	10.1	10.15	101.00	3.477	344	2.07
Provete 7	10.1	10.1	100	3.342	334	2.16
Provete 8	10	10.1	101	3.123	309	2.00
Provete 9	10.25	10.15	100	3.470	347	2.31
Provete 10	10.15	10.1	101	3.347	331	2.16
MÉDIA					333	2.2
DESVIO PADRÃO					15	0.2
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)					5	8.1

3.3. Determinação da espessura

A espessura de um geossintético é definida como a distância entre as suas superfícies inferior e superior, medida para uma dada pressão, sendo expressa em mm. A espessura pode ser medida para valores de pressão de 2, 20 e 200 kPa. No entanto, actualmente, para identificação dos produtos apenas se recorre ao valor correspondente a 2 kPa. A espessura medida nestas circunstâncias é designada por espessura nominal. Os valores usuais situam-se entre os 0,2 e 5 mm para os geotêxteis não tecidos, entre os 0,2 e 1,5 mm para os geotêxteis tecidos, entre 1 e 5 mm para as geogrelhas e entre 0 e 50 mm para as geomembranas.

Para a determinação da espessura usaram-se os mesmos provetes utilizados na definição da MUA (área aproximada de 100cm²). A espessura consiste no valor lido no deflectómetro, com precisão de 0,01 mm, após o provete ter sido submetido à pressão referida (2kPa) durante 30 segundos, seguindo os procedimentos referidos na norma NP EN ISO 9863-1 (Figura 3.2).

Como se referiu anteriormente, os valores das espessuras registados nos diferentes provetes encontram-se nos Quadros 3.1 a 3.3.



Figura 3.2 – Determinação da espessura de um geotêxtil.

3.4. Ensaaios de Punçoamento

3.4.1 Ensaio de punçoamento estático

A danificação mecânica por punçoamento ocorre quando materiais de aterro com faces cortantes são vertidos directamente sobre o geossintético ou quando se compactam camadas finas de material de aterro com equipamento de compactação pesado (Pinho Lopes e Lopes, 2010).

Segundo Watn e Chew (2002), este mecanismo de danificação ocorre, frequentemente, na aplicação de geotêxteis como separadores ou como filtros em revestimentos costeiros ou em várias estruturas.

No LGS o ensaio de punçoamento estático é realizado com o equipamento de ensaio universal utilizado para o ensaio de tracção. No ensaio de punçoamento a acção a realizar é à compressão e a uma velocidade constante de (50 ± 10) mm/min sobre o geotêxtil. Por sua vez, os aneis que fixam o geotêxtil são apoiados sobre um suporte especialmente concebido para o efeito. Na extremidade móvel, fixa à célula de carga, encontra-se um percursor em aço inoxidável polido com $(50 \pm 0,5)$ mm e raio da extremidade de $(2,5 \pm 0,2)$ mm que provoca o punçoamento no geotêxtil (Figura 3.3). O arredondamento da extremidade do percursor tem por objectivo não provocar corte por aresta nos materiais a ensaiar. No início do ensaio o percursor é posicionado em contacto com o provete, sem no entanto, ser exercida tensão sobre o mesmo, como ilustra a Figura 3.4 a.

A Figura 3.4 ilustra as diferentes fases de realização de um ensaio de punçoamento estático.



Figura 3.3 - Ensaio punção estático.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NP EN ISO 12236 (2008). De acordo com esta norma, devem ser ensaiado no mínimo cinco provetes. São cortados com uma forma circular e furados na sua periferia, de modo a permitir a passagem dos parafusos de aperto das argolas ou anéis.

A norma prevê a rejeição de todos os provetes cuja força de punção máxima seja inferior a 50% do valor médio dos restantes provetes ensaiados.

Ensaio em que a rotura se dá muito próximo das argolas, assim como a constatação de deslizamento do material na pega, devem ser igualmente rejeitados. Os resultados obtidos a partir de um ensaio de punção estático são o valor médio da força de punção máxima, expressa em kN, e o valor médio do deslocamento na força máxima registada, expresso em mm, para o conjunto de provetes ensaiados.



a)



b)



c)

Figura 3.4 - Ensaio de punção estático: a) início de ensaio; b) deformação do provete; c) rotura do provete.

A Figura 3.5 apresenta um exemplo típico do aspecto do geossintético após a realização de um ensaio de punção estático.



Figura 3.5 – Aspecto do geotêxtil após a realização do ensaio punçoamento estático.

Os resultados dos ensaios de punçoamento estático para o geotêxtil P40, o geotêxtil P70 e o geocompósito RP50 apresentam-se nos Quadros 3.4, 3.5 e 3.6, respectivamente.

Tal como seria de esperar, pelo facto de serem geotêxteis semelhantes em termos de estrutura e processo de fabrico, o geotêxtil P70 apresentando maior MUA que o geotêxtil P40, evidenciou maior resistência ao punçoamento.

Os valores da força de punçoamento obtidos para os geotêxteis P40 e P70 são ligeiramente superiores aos valores publicados na ficha do produtor (4.5 kN e 7.5 kN, respectivamente). Exceptuando o coeficiente de variação relativo à força máxima para o geotêxtil P70, que é superior a 10%, os valores obtidos para esta grandeza são satisfatórios e evidenciam pouca variabilidade.

O valor da resistência ao punçoamento estático para o geocompósito RP50 não é fornecido na ficha do produtor. O valor obtido para este parâmetro neste estudo laboratorial é inferior ao obtido para o geotêxtil P40 (com MUA superior), o que demonstra que a contribuição dos filamentos de PET para a resistência ao punçoamento do geocompósito teve pouco significado. Este facto resulta, certamente, do escorregamento dos filamentos de PET durante a acção de punçoamento induzida pelo pilão, sendo a resistência assegurada apenas pelo geotêxtil (de base).

Quadro 3.4 - Resultados do ensaio de punção estático para o geotêxtil P40.

Provete	Força máxima (kN)	Deslocamento (mm)
1	4.56	63.20
2	4.88	62.60
3	5.17	65.30
4	5.29	54.00
5	4.63	60.10
Média	4.91	61.04
Desvio Padrão	0.32	4.35
Coef. Variação	6.60	7.13

Quadro 3.5 - Resultados do ensaio de punção estático para o geotêxtil P70.

Provete	Força máxima (kN)	Deslocamento (mm)
1	7.58	59.00
2	9.25	56.40
3	8.92	58.10
4	7.83	55.50
5	7.32	55.50
Média	8.18	56.90
Desvio Padrão	0.85	1.58
Coef. Variação	10.42	2.78

Quadro 3.6 - Resultados do ensaio de punção estático para o geocompósito RP50.

Provete	Força máxima (kN)	Deslocamento (mm)
1	3.11	42.40
2	2.96	47.40
3	3.31	45.70
4	3.05	46.50
5	3.11	44.70
Média	3.11	45.34
Desvio Padrão	0.13	1.92
Coef. Variação	4.16	4.24

As Figuras 3.6, 3.7 e 3.8 ilustram-se as curvas força-deslocamento obtidas nos ensaios de punção estático realizados sobre o geotêxtil P40, o geotêxtil P70 e o geocompósito RP50, respectivamente.

A maior variabilidade em termos de força máxima obtida para o geotêxtil P70, evidenciada pelo valor de 10.4% do coeficiente de variação, é visível na Figura 3.7. As oscilações apresentadas nas curvas força-deslocamento relativas ao geocompósito RP50 resultam da presença dos filamentos de PET neste geossintético.

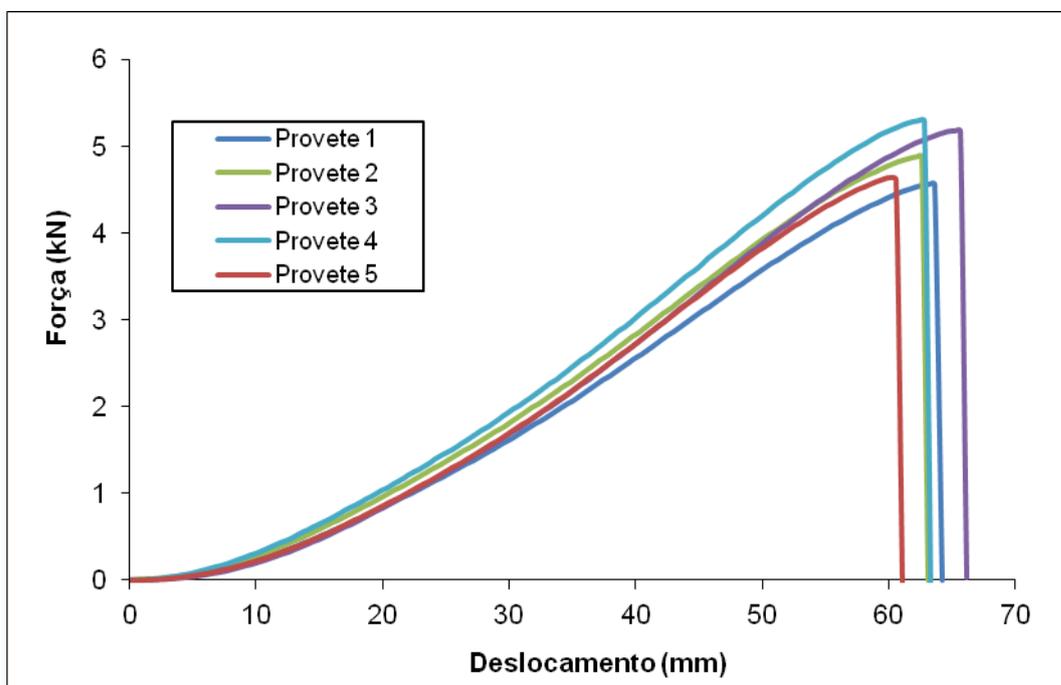


Figura 3.6 - Curvas força - deslocamento para os 5 provetes ensaiados do geotêxtil P40.

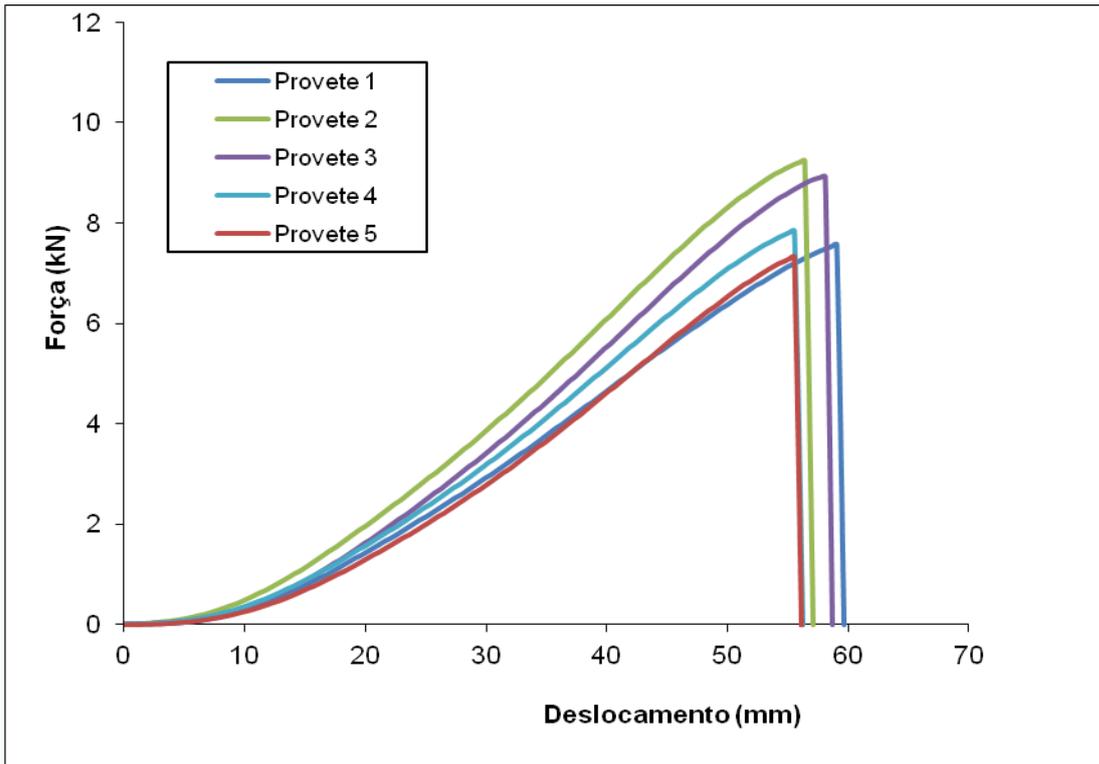


Figura 3.7 - Curvas força - deslocamento para os 5 provetes ensaiados do geotêxtil P70.

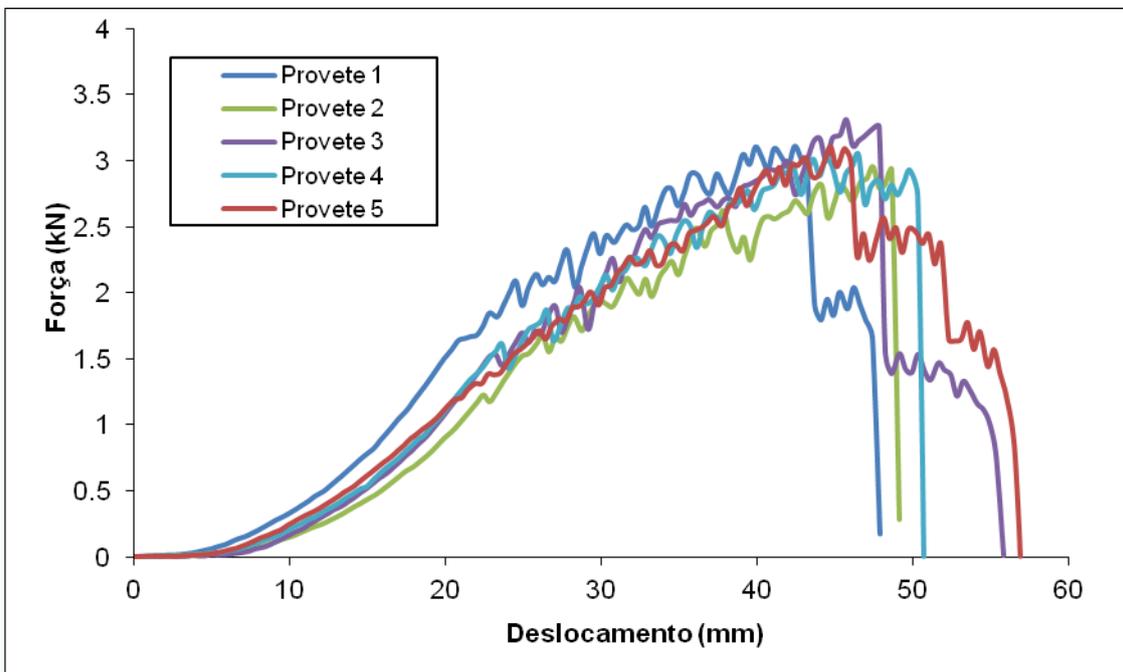


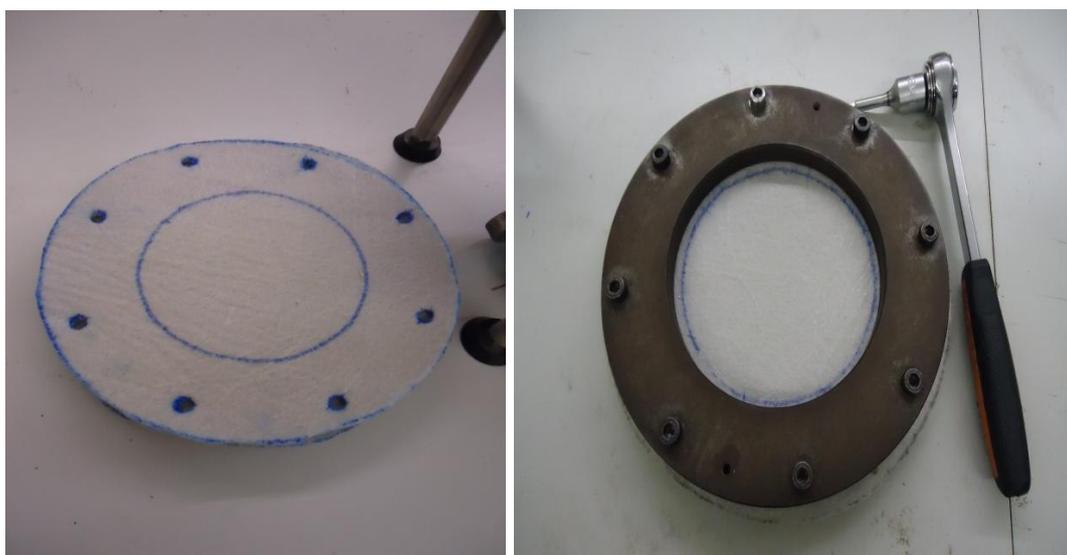
Figura 3.8 - Curvas força - deslocamento para os 5 provetes ensaiados do geocompósito RP50.

3.4.2 Ensaio de punção dinâmico

Laboratorialmente é possível simular tais ocorrências com recurso ao teste de impacto, sendo seguido o método apresentado na NP EN ISO 13433:2008 (Geossintéticos – Ensaio de perfuração dinâmica (ensaio com queda de cone)).

O ensaio de perfuração dinâmica consiste na queda de um cone metálico sobre um geossintético instalado entre duas argolas de aço com diâmetro interno $150,0 \pm 0,5$ mm, que são apertadas por parafusos (Figura 3.9). As argolas fixam o provete em toda a periferia de modo a que seja evitado o escorregamento durante o ensaio, sem no entanto danificar o provete.

Os provetes para o ensaio de punção dinâmico são no mínimo cinco, de acordo com a norma. São cortadas com uma forma circular e furados na periferia, de modo a permitir a passagem dos parafusos de aperto das argolas.



a)

b)

Figura 3.9 - Preparação de um provete para o ensaio de punção: a) provete; b) provete preparado para ensaio

No LGS da FEUP está disponível uma estrutura que permite a fixação de cone metálico com superfície polida, com 1000 ± 5 g de peso total e 45° de ângulo de desenvolvimento, a 500 ± 2 mm do centro do provete mantido na horizontal

e bem seguro pelo suporte anelar (Figura 3.10 a). O passo seguinte consiste na descida da guarda de protecção até ao provete, para evitar que o cone ressalte no provete para o exterior do equipamento e se possa danificar ou causar ferimentos no operador, como ilustra a Figura 3.10 b. É também aconselhável colocar uma superfície absorvente de energia sob o provete, como por exemplo uma esponja para proteger o cone no caso de este trespassar totalmente o geotêxtil.

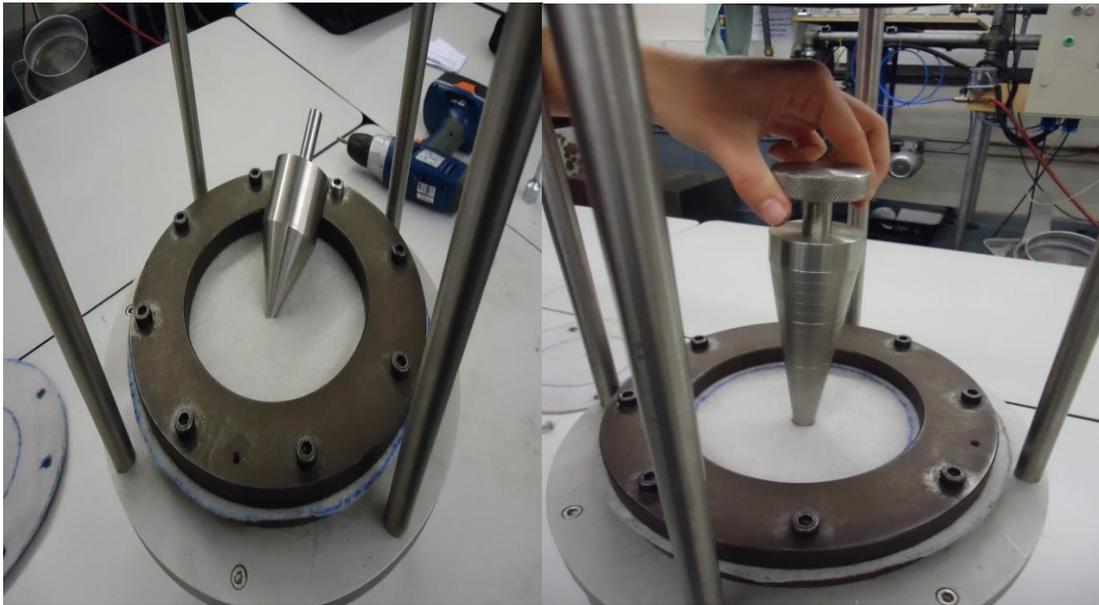


a)

b)

Figura 3.10 - Preparação do equipamento para o ensaio de punção dinâmico: a) colocação do provete condicionado; b) descida da guarda.

Garantidas as condições de segurança, o ensaio processa-se com a libertação do cone do sistema que o retém, ao que se segue o impacto no geotêxtil (Figura 3.11a). O impacto poderá fazer com que o cone ressalte no provete e volte a cair novamente sobre o geotêxtil, criando um novo orifício, o qual deve ser medido caso seja maior do que o primeiro. A medição é realizada com o cone de medição que é inserido logo após o punçãoamento dinâmico e mantido na vertical sem aplicar pressão adicional além das 600 ± 5 g do peso próprio do cone. Após 10 segundos é medido o diâmetro, expresso em mm, do orifício correspondendo o punçãoamento ao máximo diâmetro visível do cone sob o provete como ilustra na Figura 3.11b.



a)

b)

Figura 3.11 - Pós ensaio de punção dinâmica: a) punção provocado pelo cone; b) medição da abertura com o cone de medição.

Foi seleccionada uma face onde seria realizado o ensaio para os cinco provetes de cada material, repetindo-se o procedimento para cada um deles.

Nos Quadros 3.7, 3.8 e 3.9 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de punção dinâmica para os três geossintéticos ensaiados.

Quadro 3.7 – Resultados do ensaio de punção dinâmica para o geotêxtil P40.

Nº provete	Abertura (mm)
1	10
2	9.5
3	12
4	11
5	11
Média	10.7
Desvio Padrão	0.97
Coef. Variação (%)	9.11

Quadro 3.8 – Resultados do ensaio de punção dinâmica para o geotêxtil P70.

Nº provete	Abertura (mm)
1	7
2	7
3	6
4	6.5
5	7
Média	6.7
Desvio Padrão	0.45
Coef. Variação (%)	6.67

Quadro 3.9 – Resultados do ensaio de punção dinâmica para o geocompósito RP50.

Nº provete	Abertura (mm)
1	9
2	9.5
3	8.5
4	10
5	8.5
Média	9.1
Desvio Padrão	0.65
Coef. Variação (%)	7.16

3.5. Ensaio de Tracção

A resistência aos esforços de tracção de um determinado geossintético é a propriedade isolada mais importante dos geossintéticos (Koerner, 1999) e está directamente relacionada com o polímero que o constitui, a sua estrutura, o processo de fabrico, o tipo de ligação, entre outras (Lopes, 1998). O comportamento dos geossintéticos quando submetidos a esforços de tracção é caracterizado por uma curva que relaciona a força por unidade de largura, expressa em kN/m, com as extensões, expressas em %. A referida curva possibilita a obtenção da força por unidade de largura na rotura e a respectiva extensão para o mesmo instante ou na força máxima, entre outros parâmetros como a rigidez e a robustez.

De acordo com as normas ASTM D 4595 e NP EN ISO 10319, neste ensaio mede-se a alongação sofrida pelo geossintético em função da carga aplicada, determinando-se a sua resistência máxima à tracção quando este atinge a rotura. Este valor é utilizado no dimensionamento para funções de reforço.

Os provetes de geotêxteis devem ser cortados, de acordo com as especificações da EN 963, com as dimensões de 200mm x 200mm, segundo a direcção de fabrico e na direcção perpendicular à de fabrico.

Uma apresentação exhaustiva do equipamento universal de ensaio (Figura 3.12) e do ensaio de tracção pode ser encontrada em Carneiro (2009). No presente trabalho, apenas se fará uma breve apresentação do equipamento e dos procedimentos seguidos para os geotêxteis em estudo. O equipamento de ensaio do LGS da FEUP consiste num equipamento de ensaio universal que permite a realização de ensaios de tracção/compressão e uma interface com um computador para controlo do ensaio e registo de dados de ensaio.



Figura 3.12 - Equipamento de ensaio universal do LGS.

Os provetes a preparar para esta configuração experimental possuem as dimensões de 200mm de largura por 200 mm de comprimento, dos quais 100 mm na direcção vertical são necessários para a fixação nas cunhas (50 mm em cada cunha) – Figura 3.13. A norma NP EN ISO 10319 (2005) estabelece que

devem ser ensaiados, pelo menos, 5 provetes na direcção de fabrico e igual número na direcção perpendicular à de fabrico para cada material em estudo.



Figura 3.13 - Preparação do provete para o ensaio de tracção e disposição nas cunhas.

Neste ensaio pretende-se medir a força máxima de tracção por unidade de largura (resistência à tracção) e a deformação na rotura dos geotêxteis, em termos de valores médios para os cinco provetes ensaiados. Os ensaios de tracção foram realizados seguindo os procedimentos referidos na NP EN ISO 10319 (2005), sobre amostras dos três geossintéticos, ensaiadas na direcção de fabrico (MD) e na direcção perpendicular à de fabrico (CD).

A Figura 3.14 ilustra, a título exemplificativo, o aspecto de um provete do geotêxtil P70 após a realização do ensaio de tracção.



Figura 3.14 - Aspecto de um provete do geotêxtil P70 após a realização do ensaio de tracção.

No Quadro 3.10 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de tracção dos cinco provetes do geotêxtil P40 ensaiados na direcção de fabrico (MD). A Figura 3.15 ilustra as curvas força-extensão para os cinco provetes ensaiados nesta direcção.

Quadro 3.10 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geotêxtil P40 (direcção MD).

Provete	Força máxima (kN/m)	Deformação (%)
1	27.54	77.82
2	27.29	77.49
3	29.67	83.84
4	30.26	62.86
5	27.64	72.34
Média	28.48	74.87
Desvio Padrão	1.38	7.85
Coef. Variação	4.84	10.49

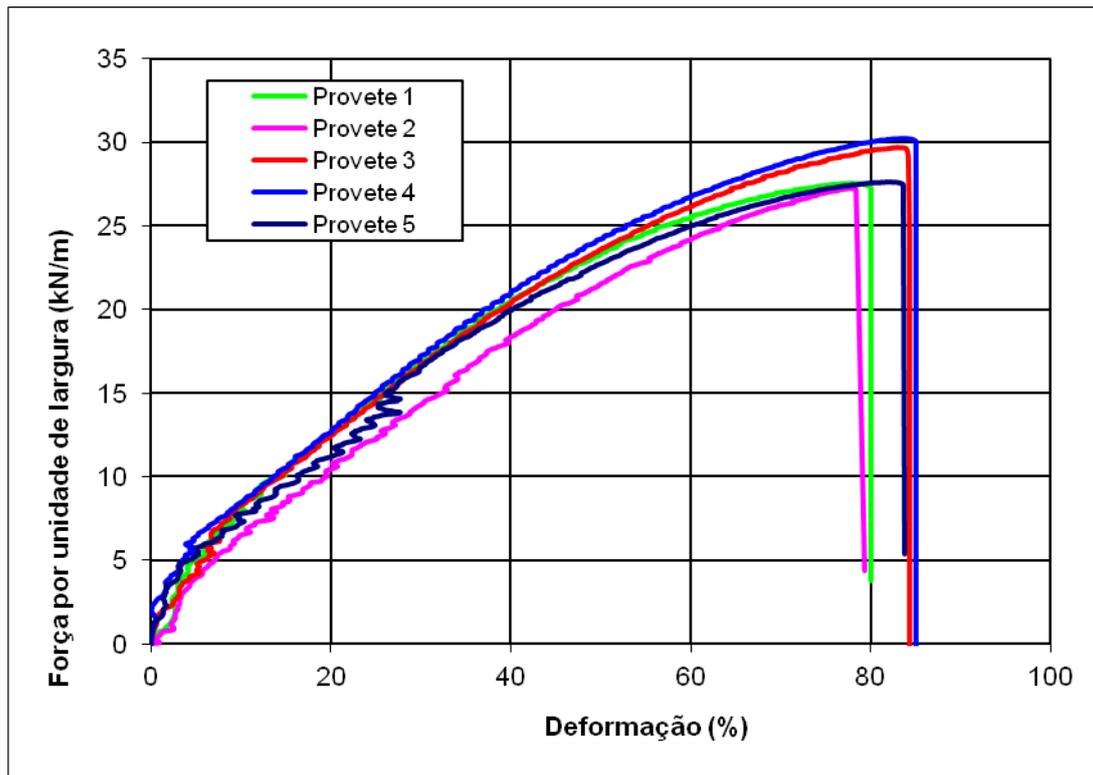


Figura 3.15 - Curvas força-estiramento dos 5 provetes do geotêxtil P40 na direção de fabricação (MD).

O Quadro 3.10 e a Figura 3.15 evidenciam pouca variabilidade dos resultados, particularmente em termos da força máxima. O valor médio obtido para a resistência à tração (28,5 kN/m) é ligeiramente superior ao valor apresentado na ficha do produtor (27 kN/m). No entanto, em termos médios, a força máxima foi atingida para uma extensão ligeiramente inferior ao valor publicado pelo produtor (85%).

No Quadro 3.11 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de tração dos cinco provetes do geotêxtil P40 ensaiados na direção perpendicular à de fabricação (CD). A Figura 3.16 ilustra os mesmos resultados.

Quadro 3.11 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geotêxtil P40 (direcção CD).

Provete	Força máxima (kN/m)	Deformação (%)
1	30.91	73.06
2	29.42	77.50
3	29.11	72.13
4	31.29	77.36
5	29.68	78.34
Média	30.08	75.68
Desvio Padrão	0.96	2.86
Coef. Variação	3.20	3.78

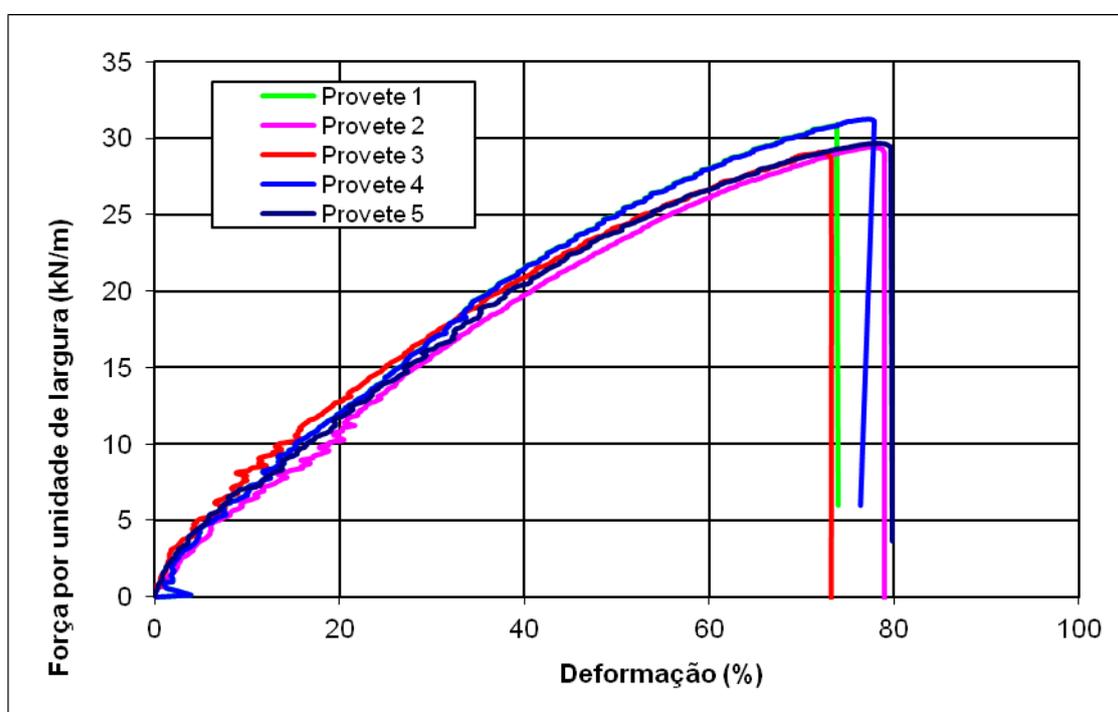


Figura 3.16 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geotêxtil P40 na direcção perpendicular à de fabrico (CD).

O geotêxtil P40 é um geotêxtil não tecido, fabricado com fibras de polipropileno, com valor nominal da sua resistência à tracção igual nas duas direcções (27kN/m), sendo este valor atingido para extensões de 85% e 75% na direcção de fabrico e na direcção perpendicular, respectivamente.

Os resultados dos ensaios realizados no âmbito deste trabalho, mostram que a resistência à tracção na direcção perpendicular à de fabrico (CD) tende a ser

ligeiramente superior, tendo-se atingido uma concordância excelente em termos de extensão para a força máxima.

Os resultados obtidos nos ensaios de tracção dos cinco provetes do geotêxtil P70 ensaiados na direcção de fabrico (MD) apresentam-se no Quadro 3.12. A Figura 3.17 ilustram as curvas força-extensão para os 5 provetes.

Verifica-se alguma variabilidade nos resultados dos ensaios dos 5 provetes, particularmente em termos da extensão para a força máxima, onde o coeficiente de variação atinge os 11.5%. Este resultado é explicado, essencialmente, pelo comportamento do provete 3.

O geotêxtil P70 é, tal como o geotêxtil P40, um geotêxtil não tecido, fabricado com fibras de polipropileno, sendo o valor nominal da sua resistência à tracção igual nas duas direcções e de valor 43 kN/m. Este valor é atingido, em termos médios, segundo a ficha do produtor para extensões de 90% e 73% na direcção de fabrico e na direcção perpendicular, respectivamente.

Tal como o referido para o geotêxtil P40, os resultados obtidos com o presente estudo laboratorial estão em boa concordância com os apresentados pelo produtor.

Quadro 3.12 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geotêxtil P70 (direcção MD).

Provete	Força máxima (kN/m)	Deformação (%)
1	45.27	74.01
2	47.98	78.19
3	43.39	97.69
4	42.23	76.90
5	39.96	80.96
Média	43.77	81.55
Desvio Padrão	3.04	9.36
Coef. Variação	6.95	11.48

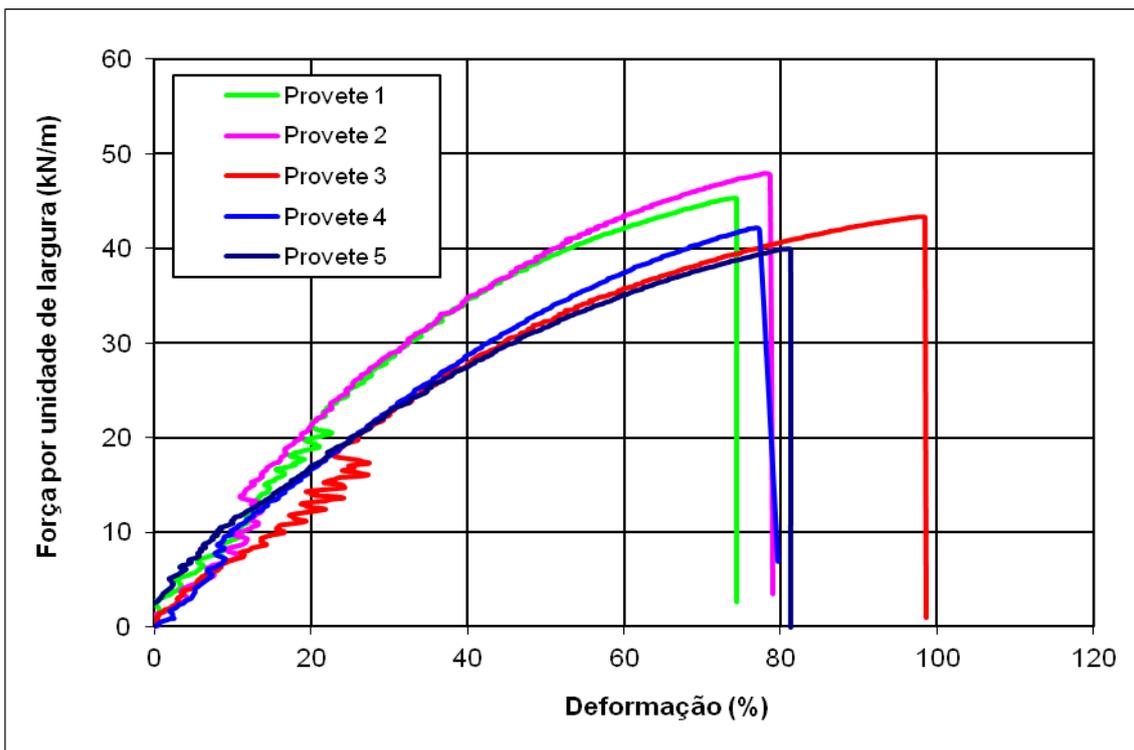


Figura 3.17 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geotêxtil P70 na direcção de fabrico (MD).

No Quadro 3.13 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de tracção dos cinco provetes do geotêxtil P70 ensaiados na direcção perpendicular à de fabrico (CD). A Figura 3.18 ilustra as curvas força-extensão para os 5 provetes. Comparando os resultados apresentados no Quadro 3.13 com os valores apresentados pelo produtor, conclui-se que se obteve neste estudo uma resistência à tracção na direcção perpendicular à de fabrico bastante superior ao valor nominal (43kN/m).

Quadro 3.13 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geotêxtil P70 (direcção CD).

Provete	Força máxima (kN/m)	Deformação (%)
1	60.11	74.81
2	51.52	56.75
3	54.87	66.51
4	59.79	82.35
5	55.53	77.66
Média	56.36	71.62
Desvio Padrão	3.61	10.11
Coef. Variação	6.41	14.12

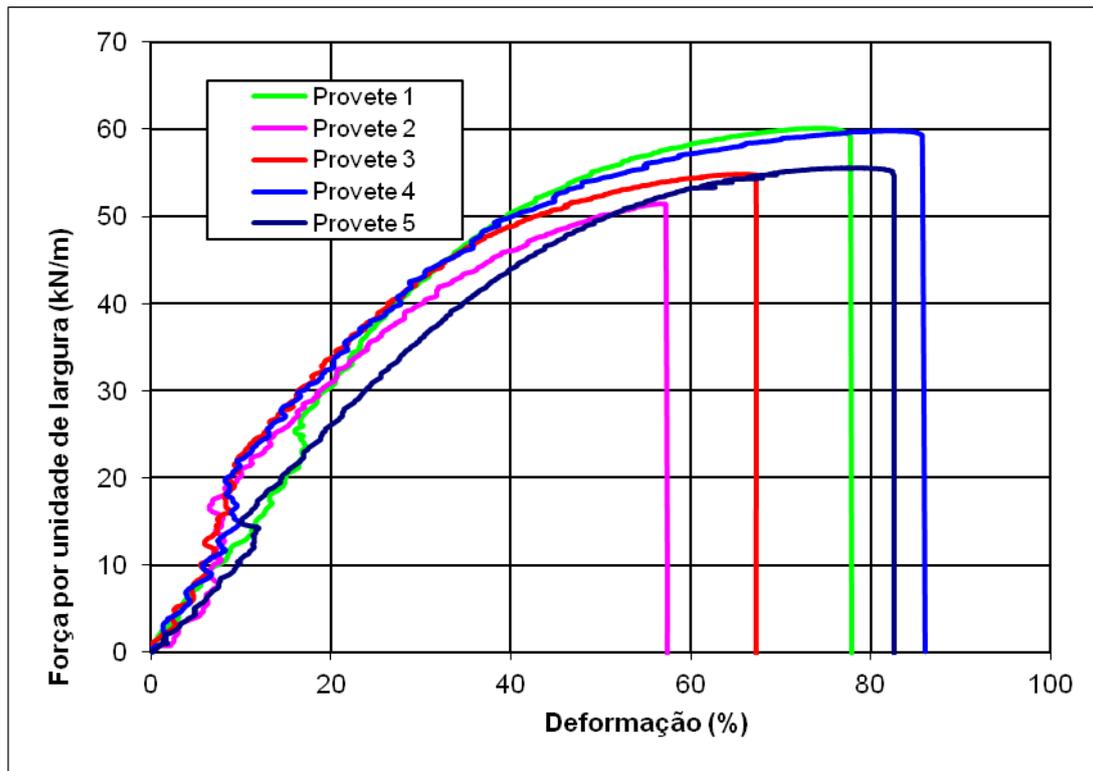


Figura 3.18 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geotêxtil P70 na direcção perpendicular à de fabrico (CD).

Como se referiu anteriormente o geocompósito RP50 consiste num geotêxtil não tecido de polipropileno (PP) reforçado por filamentos de poliéster (PET) de elevada resistência, dispostos apenas numa direcção, que se designou como direcção longitudinal. No Quadro 3.14 e na Figura 3.19 apresentam-se os resultados dos ensaios de tracção realizados sobre os 5 provetes deste geocompósito na direcção longitudinal.

O valor médio da resistência à tracção é muito próximo do valor da resistência nominal do material (50 kN/m). O valor obtido neste estudo laboratorial (50,3 kN/m) é bastante inferior ao valor da resistência máxima apresentado na ficha do produtor (63 kN/m). No entanto, Vieira (2008) ensaiando o mesmo material obteve, de igual forma, um valor inferior para a resistência à tracção (55,3 kN/m).

Em termos de extensão para a qual é atingida a resistência máxima, o valor médio (18,3%) ultrapassa claramente o valor indicado pelo produtor (13%). Note-se porém que o coeficiente de variação para este parâmetro foi muito elevado (superior a 25%).

As oscilações visíveis nas curvas força-extensão apresentadas na Figura 3.19 explicam-se pela rotura progressiva dos filamentos de PET.

Quadro 3.14 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geocompósito RP50 (direcção longitudinal).

Provete	Força máxima (kN/m)	Deformação (%)
1	52.17	23.89
2	48.63	14.58
3	50.60	17.41
4	48.45	13.31
5	51.57	22.30
Média	50.28	18.30
Desvio Padrão	1.69	4.66
Coef. Variação	3.36	25.46

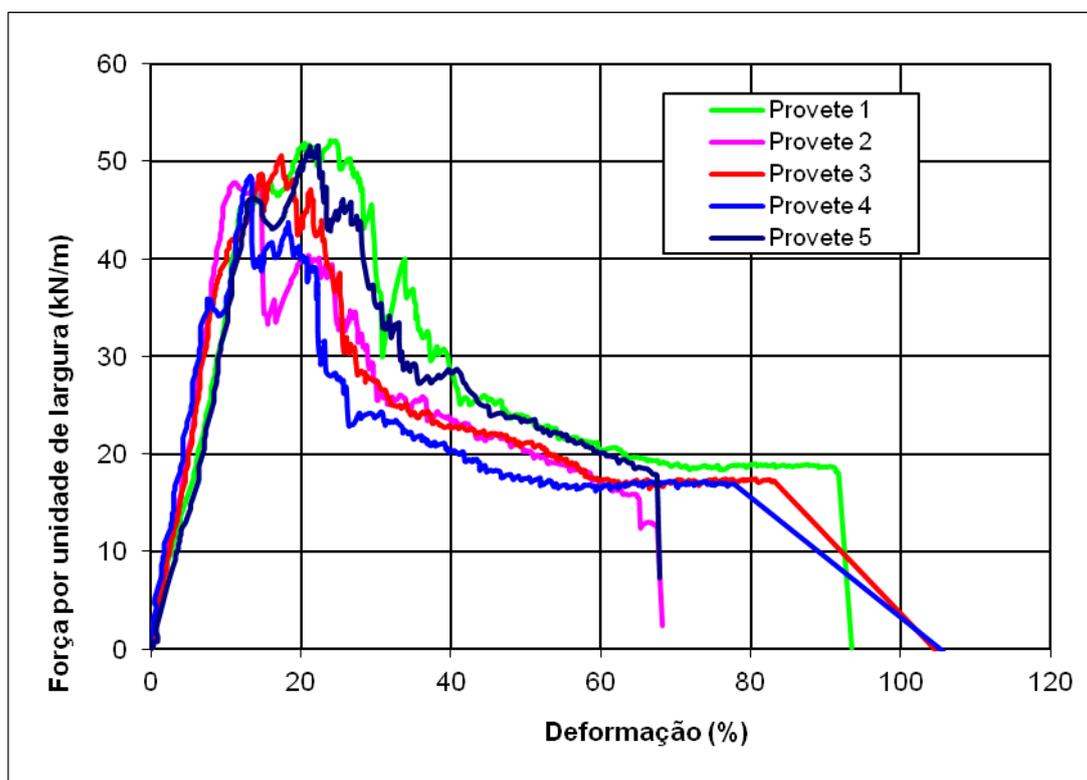


Figura 3.19 - Curvas força-extensão dos 5 provetes do geocompósito RP50 na direcção longitudinal.

No Quadro 3.15 e na Figura 3.20 apresentam-se os resultados dos ensaios de tracção realizados sobre os 5 provetes do geocompósito RP50 na direcção transversal, isto é, na direcção perpendicular aos filamentos de PET. O valor

médio obtido para a resistência à tracção nesta direcção é muito próximo do valor apresentado pelo produtor (14 kN/m).

A resistência à tracção na direcção transversal é assegurada exclusivamente pelo geotêxtil de base do geocompósito. Este geotêxtil, tal como os geotêxteis P40 e P70, é um geotêxtil não tecido em polipropileno pelo que, apresentando menor MUA e menor espessura que os restantes, é de esperar que exiba menor resistência à tracção.

Quadro 3.15 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção para o geocompósito RP50 (direcção transversal).

Provete	Força máxima (kN/m)	Deformação (%)
1	13.57	66.61
2	16.02	77.45
3	12.96	64.58
4	13.78	72.30
5	15.11	74.96
Média	14.29	71.18
Desvio Padrão	1.25	5.46
Coef. Variação	8.72	7.67

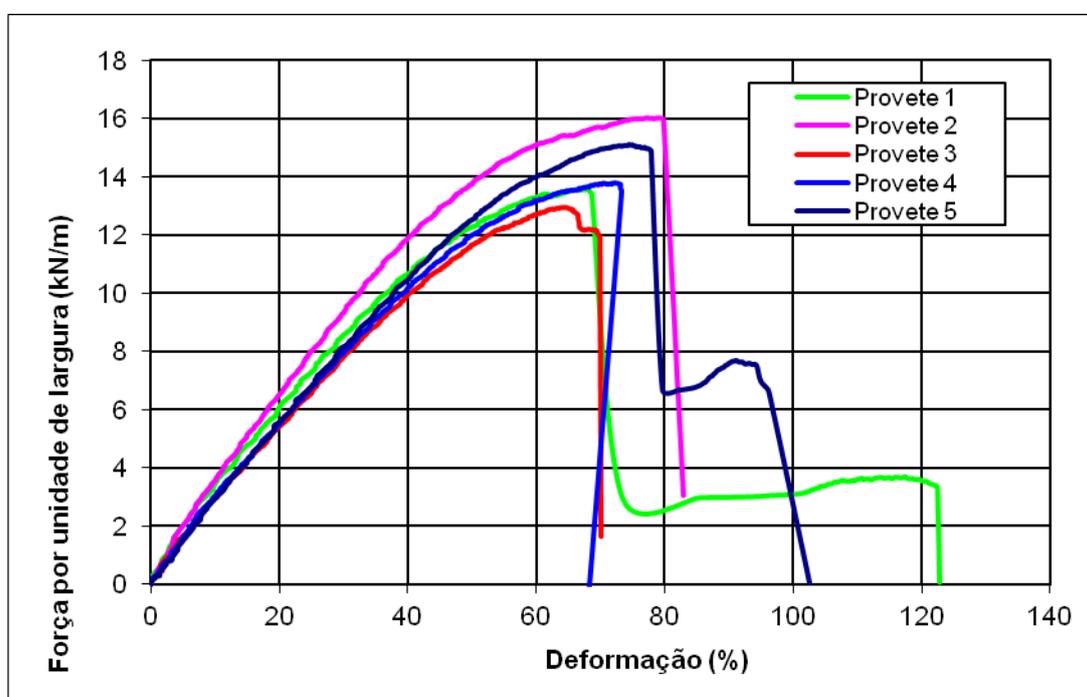


Figura 3.20 - Curvas força-estiramento dos 5 provetes do geocompósito RP50 na direcção transversal.

3.6. Ensaio de Permeabilidade no plano normal ao plano do material

3.6.1. Descrição do equipamento e procedimentos de ensaio

A concepção e o desenvolvimento do equipamento laboratorial para a avaliação da permeabilidade normal ao plano dos geossintéticos do LGS da FEUP estiveram de acordo com o preconizado na NP EN ISO 11058 (2003). Foi desenvolvido, neste laboratório, um equipamento protótipo para a realização deste tipo de ensaios, o qual se apresentará, de forma pormenorizada (Figura 3.21).

A construção deste equipamento consistiu, na verdade, na adaptação e alargamento do âmbito de utilização de equipamento já existente no LGS. De facto, em 2004, foi concebido o equipamento para avaliação da permeabilidade no plano dos geotêxteis de modo a permitir acrescentar e instalar meios de ensaio da permeabilidade normal ao plano dos materiais (Moreira, 2009). Na Figura 3.21 é visível a totalidade do equipamento de ensaio das propriedades relativas à permeabilidade dos geossintéticos. Note-se, nessa imagem, a disposição, à esquerda, do equipamento de ensaio inicialmente construído e, à direita, do equipamento para ensaio da permeabilidade normal ao plano do material.



Figura 3.21 - Equipamento de ensaio da permeabilidade no plano normal ao do material existente no LGS.

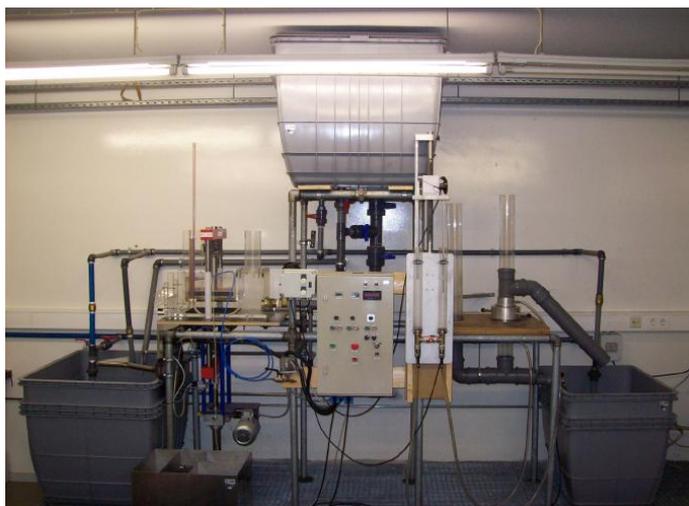


Figura 3.22 - Equipamento laboratorial do LGS para determinação da permeabilidade dos geossintéticos.

Na Figura 3.23 é apresentado um dos esquemas sugeridos na NP EN ISO 11058 (2003), o qual foi adoptado para a concepção do equipamento do LGS.

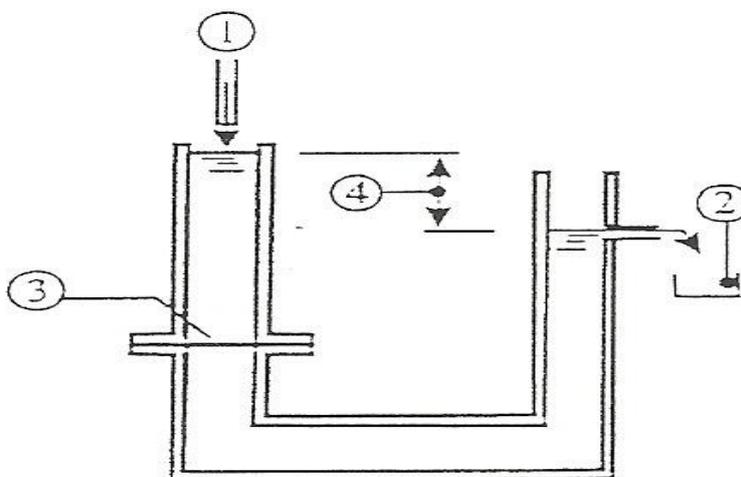


Figura 3.23 - Esquema de equipamento para determinação da permeabilidade normal ao plano de geossintéticos: 1) Entrada de fluxo; 2) Fluxo recolhido; 3) Provete; 4) Perda de carga (NP EN ISO 11058, 2003).

O equipamento de ensaio consiste num circuito de água entre dois reservatórios colocados a diferentes cotas, para que a água flua por gravidade, do reservatório colocado superiormente, para o reservatório que se encontra ao nível do solo, atravessando o provete de geotêxtil (Figura 3.24). O abastecimento do reservatório superior é feito com água da rede pública que

serve o sistema de distribuição da FEUP. O abastecimento deste reservatório é efectuado com, pelo menos, 12 horas de antecedência relativamente ao início dos ensaios.



Figura 3.24 - Equipamento de ensaio da permeabilidade normal ao plano do material: vista geral, com os reservatórios superior e inferior.

O circuito possui um sistema de bombagem de água de modo a permitir que, no final de um ciclo de ensaios, o reservatório superior seja reabastecido, possibilitando a realização de novos ensaios (Figura 3.25). A existência deste equipamento hidromecânico permite, também, a eliminação da água utilizada e que deve ser rejeitada.

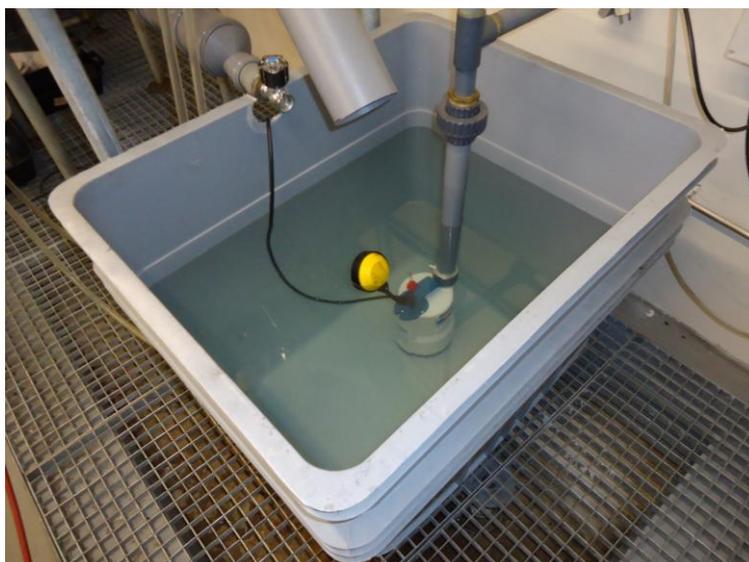


Figura 3.25 - Equipamento hidromecânico de bombagem.

A parte do circuito hidráulico em que se processa o ensaio, propriamente dito, é constituída por troços de tubos em policloreto de vinilo (PVC) e em acrílico, com um diâmetro exterior de 90mm. A utilização de acrílico em parte do circuito permite a observação do fluxo e vai de encontro ao que está preconizado na norma de ensaio, no que concerne à utilização de tubos em materiais transparentes (Figura 3.26 a e b).



a)



b)

Figura 3.26 - Partes transparentes do circuito: a) Inferior; b) Superior.

O equipamento contempla, também, uma plataforma em madeira (Figura 3.27) que, para além de conferir rigidez ao circuito, permite dispor-se de uma área de trabalho para pousar materiais, proceder à preparação dos provetes, servindo, também, como área de apoio durante as diversas fases dos ensaios.



Figura 3.27 - Plataforma em madeira.

O circuito hidráulico está dividido em dois, de forma a possibilitar a colocação dos provetes de geotêxteis. Junto da plataforma de trabalho atrás referida, existe um sistema enroscado metálico, em aço inox, que permite acomodar o provete a ensaiar (Figura 3.28a). O sistema para acomodação do provete de geotêxtil (Figura 3.28b) está concebido para receber amostras com 130mm de diâmetro, ao passo que a área exposta, isto é, a área efectivamente sujeita ao fluxo de água corresponde a um círculo com 85mm de diâmetro.



a)



b)

Figura 3.28 - Sistema para colocação dos provetes: a) Vista exterior; b) Vista interior.

O mecanismo para colocação das amostras trabalha como um sistema macho-fêmea, em que uma das partes desliza para o interior da outra, premindo o bordo do provete. Esta peça foi concebida de modo a exercer uma pressão sobre o bordo do provete capaz de garantir que o fluxo apenas se processa na parte exposta do mesmo, não permitindo a existência de escoamentos paralelos. Além disso, sobre o provete, é colocada uma grelha metálica, constituída por uma malha de barras com 1mm de diâmetro, formando aberturas com 1cm de lado, como a que se pode observar na Figura 3.29. O bordo desta grelha está revestido com borracha, na parte que entra em contacto com o material a ensaiar, o que permite, ainda, aumentar a estanqueidade do bordo do provete.

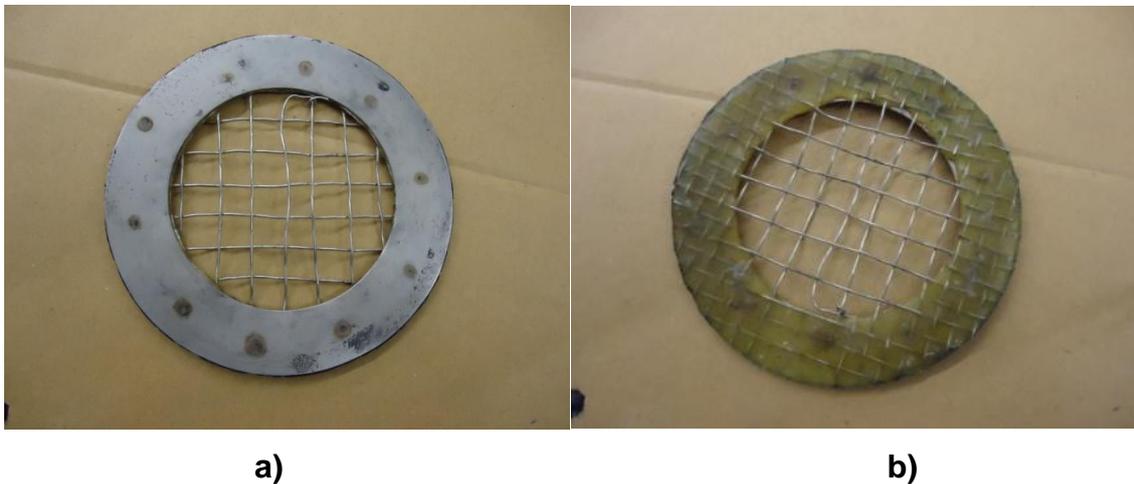


Figura 3.29 - Grelha metálica: a) Face superior; b) Face inferior.

O ensaio de geotêxteis à permeabilidade normal ao plano do material recorre à avaliação desta propriedade sob diversos níveis de carga hidráulica. Assim, o equipamento de ensaio do LGS dispõe de dois tubos piezométricos, um a montante e outro a jusante do provete, de modo a permitir a avaliação deste parâmetro (Figura 3.30).



a) **b)**
Figura 3.30 - Tubos piezométricos: a) Montante do provete; b) Jusante do provete.

Os tubos piezométricos encontram-se ligados a tubos em acrílico que permitem uma fácil observação da carga hidráulica existente em cada instante do ensaio (Figura 3.31). A estes tubos está associado um sistema detector de água, movível, que permite ajustar o equipamento às diferentes condições e fases dos ensaios (Figura 3.32). Este sistema possui duas escalas graduadas com intervalos de 5mm (Figura 3.32 - c) o que possibilita a identificação das cargas hidráulicas e, conseqüentemente, das perdas de carga verificadas. Este conjunto de aparelhos permite identificar o nível da água, quer a montante, quer a jusante do provete.

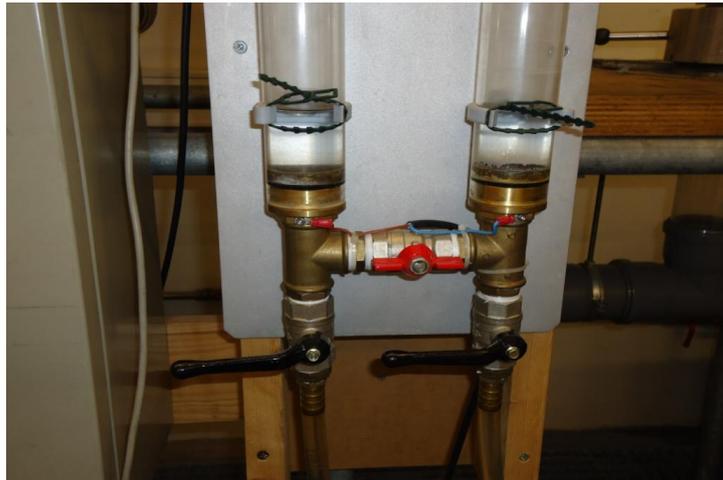


Figura 3.31 - Tubos em acrílico para observação da carga hidráulica.

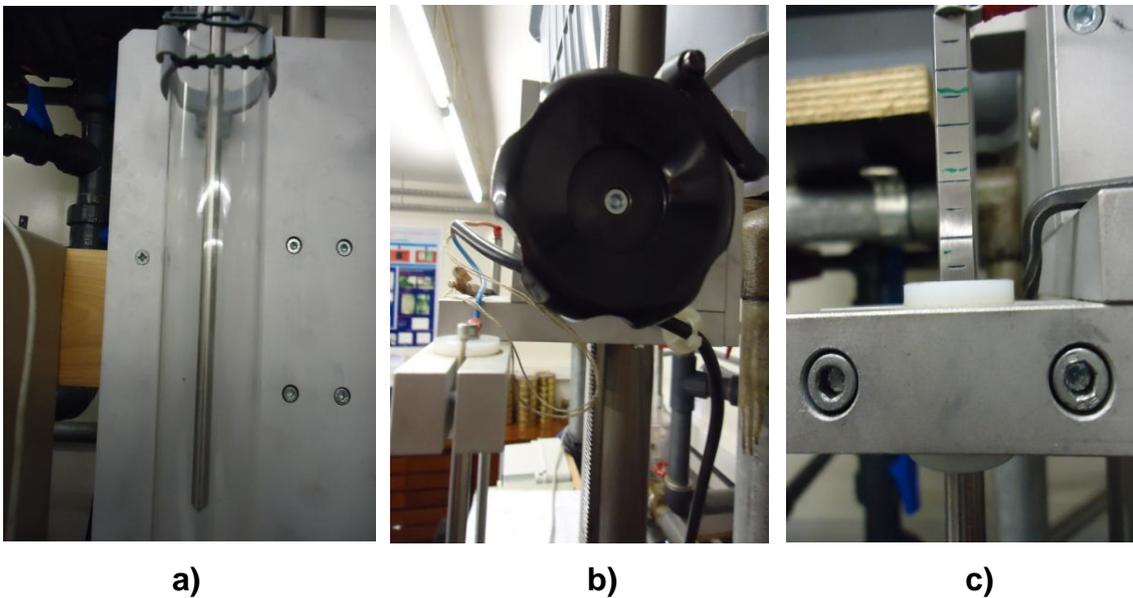
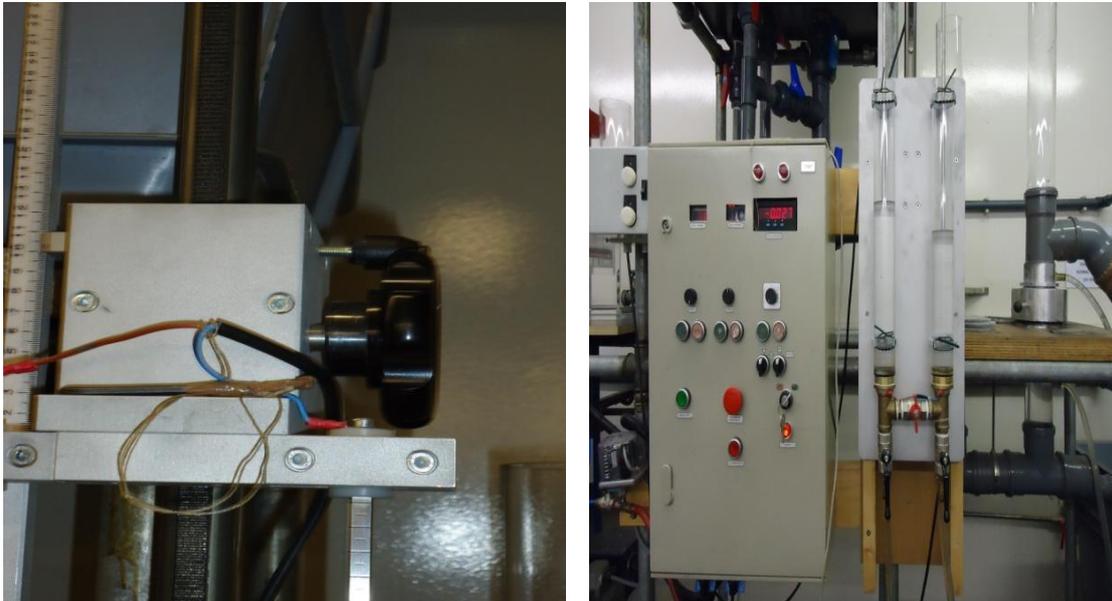


Figura 3.32 - Sistema detector de água: a) Sensor; b) Sistema de ajuste; c) Escala graduada.

A verificação das diversas perdas de carga impostas durante a realização dos ensaios é conseguida através do ajuste da escala graduada referida atrás.

Na realidade, a diferença entre o nível de água a montante e a jusante do provete (verificada através do contacto da água com as pontas inferiores dos sensores) traduz-se num intervalo da escala graduada (definido pelos extremos superiores dos sensores), conforme se pode ver na Figura 3.33. A observação

directa consiste em verificar o contacto entre o menisco da superfície da água contida nos tubos em acrílico com a ponta inferior do sensor.



a)

b)

Figura 3.33 - Verificação da perda de carga: a) Contacto entre água e sensor; b) Intervalo na escala graduada.

A diferença entre os valores da carga hidráulica a montante e a jusante do provete fornece o valor da perda de carga causada pela presença do geotêxtil no escoamento da água. Os níveis de água são controlados através de duas válvulas que se encontram a montante do sistema de fixação do provete, uma, que controla o abastecimento de água ao equipamento e, outra, de menor dimensão, que permite a descarga de fundo do sistema (Figura 3.34). Note-se que, enquanto a primeira é utilizada para realizar grandes ajustes no regime de escoamento, a segunda é indicada para regular o fluxo de uma forma mais apurada.



a)



b)

Figura 3.34 - Válvulas para ajuste do escoamento: a) de grandes dimensões; b) de pequenas dimensões.

Por fim, existe o sistema de descarga que permite a recolha da água passada através do provete nas condições de carga hidráulica especificadas (Figura 3.35).



Figura 3.35 – Sistema de descarga.

De forma resumida, a determinação da permeabilidade normal ao plano é efectuada fazendo-se passar água através de um provete de geotêxtil,

procedendo-se à regulação do fluxo tendo em vista a verificação de determinados valores de perdas de carga da água. A água que atravessa o material é recolhida, avaliando-se o seu volume e registando-se o intervalo de tempo em que o escoamento se processou. Os valores das perdas de carga usualmente utilizados são de 70mm, 56mm, 42mm, 28mm e 14mm. Assim, para cada provete de geotêxtil e para cada valor de perda de carga, é avaliado o escoamento, a partir dos registos do volume de água passada e do tempo verificado. Com estes valores é calculada a velocidade de escoamento para a temperatura de 20 °C, V_{20} (m/s), pela equação:

$$V_{20} = \frac{V \cdot R_T}{S \cdot t} \quad (3.1)$$

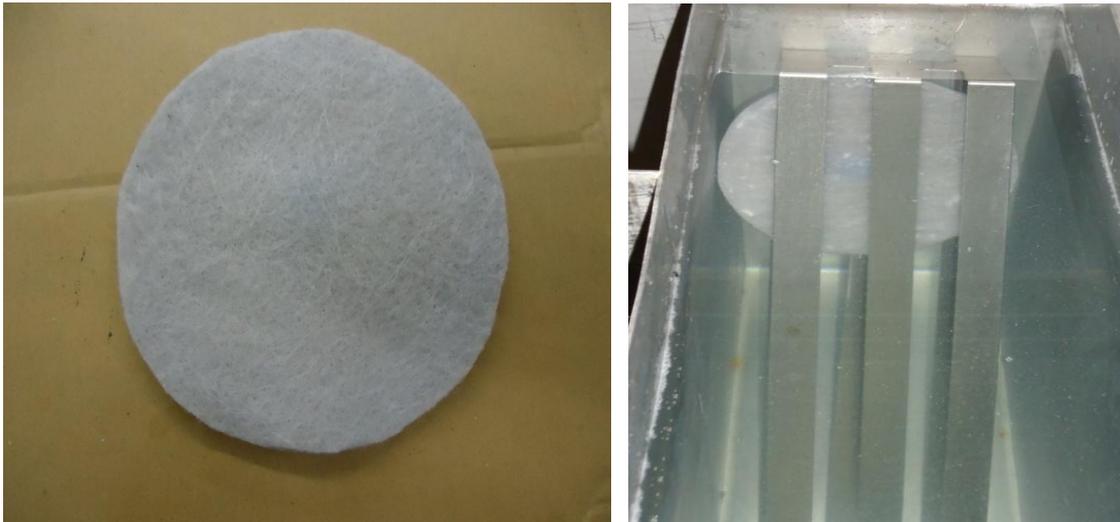
em que, V é o volume de água recolhido (m^3), R_T é o factor correctivo da temperatura da água, S é área de atravessamento da água (m^2) e t é o intervalo de tempo em que se procede à recolha da água (s).

Depois de determinados os valores de V_{20} para cada um dos valores da perda de carga, é possível obter diagramas com a relação entre a velocidade V_{20} e a perda de carga. No entanto, o resultado final do ensaio de permeabilidade normal ao plano dos geotêxteis é o designado índice de velocidade para uma perda de carga de 50mm, VI_{H50} . Este valor é obtido através de interpolação gráfica ou matemática, da curva quadrática que melhor aproxima os pares ordenados (velocidade; perda de carga). O sentido desta operação é o de encontrar o valor da velocidade do escoamento para uma perda de carga de 50mm. Mais detalhes sobre a determinação do índice de velocidade VI_{H50} podem encontrar-se em Moreira (2009).

Cada ensaio de avaliação da permeabilidade normal ao plano dos geotêxteis é constituído por uma série de 5 provetes. O processo de amostragem, de manuseamento e de preparação dos provetes é executado de acordo com o preconizado na NP EN ISO 9862 (2007).

Os provetes a ensaiar são cortados com uma forma circular, adaptada ao equipamento laboratorial, com um diâmetro de 130 mm, conforme se pode observar na Figura 3.36a.

Os provetes são imersos em água durante, pelo menos, 12 horas para saturação do material, com a finalidade de serem eliminadas todas as bolhas de ar que pudessem interferir no escoamento da água através do geotêxtil (Figura 3.36b). Este aspecto é bastante importante em alguns tipos de geotêxteis, uma vez que estes podem exibir resistência à molhagem (Moreira, 2009).



a)
Figura 3.36 – Provete: a) Após o corte: b) Em saturação em água.

Cada provete é colocado no equipamento de ensaio como ilustra a Figura 3.37. Sobre o provete é colocada uma grelha metálica, caracterizada anteriormente (Figura 3.37b).

A finalidade deste elemento é a de garantir que o escoamento da água se processe apenas pela parte central do provete de geotêxtil e, simultaneamente, sustentar o material que, durante a realização do ensaio fica sujeito a diferentes níveis de pressão hidráulica. Em seguida, é colocado o sistema de aperto do provete, ao qual está acoplado um tubo piezométrico e o sistema de descarga de água (Figuras 3.37c e d).



a)



b)



c)

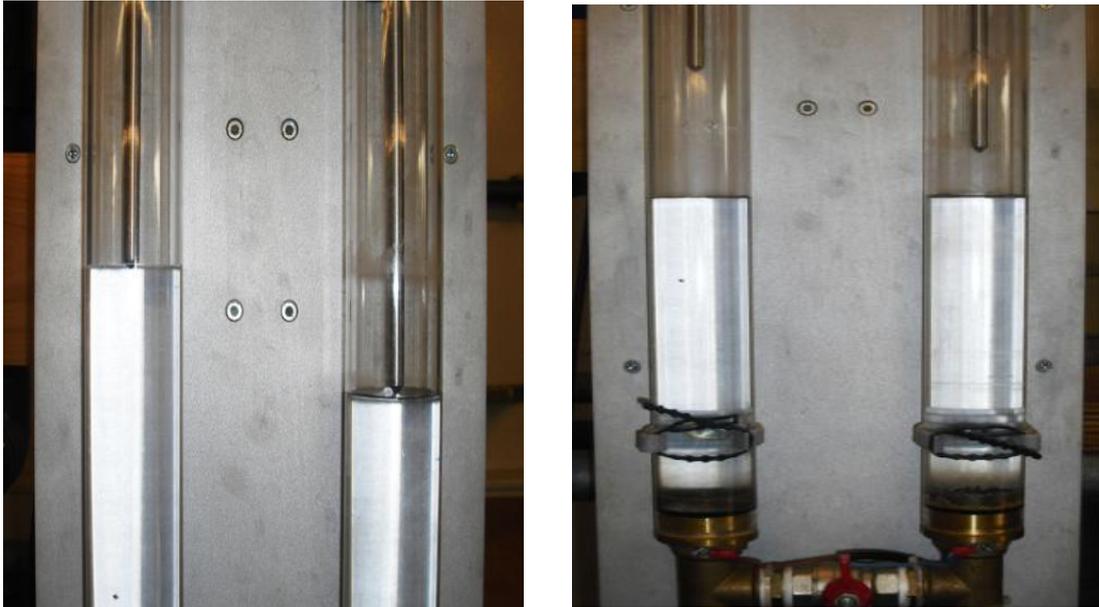


d)

Figura 3.37 – Provete: a) Colocação: b) Colocação da grelha: c) Aperto do sistema: d) Processo de colocação concluído.

De acordo com a norma, no início do ensaio tem de se garantir a inexistência de bolhas de ar retidas no aparelho. Para isso, é estabelecida uma perda de carga hidráulica de 50 mm entre montante e jusante do provete como se encontra ilustrado na Figura 3.38a). Ao estabilizar a dinâmica do sistema, procede-se ao corte do fluxo de água de montante e aguarda-se o equilíbrio do desnível hidráulico, observável nos tubos piezométricos em acrílico (Figura 3.38b), num intervalo de tempo máximo de 5 minutos. Se o equilíbrio não for atingido, deve-se investigar a possibilidade de existirem bolhas de ar retidas no aparelho, e repete-se o procedimento. Se desta vez não se verificar novamente o equilíbrio, no período de 5 minutos, este facto deve ser anotado no relatório de ensaio.

O ensaio começa com a avaliação da velocidade da água para a perda de carga máxima induzida no regime de escoamento passando, sucessivamente, para valores inferiores, como 80%, 60%, 40% e 20% do valor máximo definido inicialmente. No LGS, procede-se à caracterização do escoamento para perdas de carga hidráulica de 70mm, 56mm, 42mm, 28mm e 14mm.



a)

b)

Figura 3.38 - Teste de detectar a presença de bolhas de ar no equipamento: a) perda de carga de 50mm; b) igualdade das cargas hidráulicas.

Em cada fase do ensaio, isto é, para cada nível de perda de carga, é necessário que o regime de escoamento permaneça estável durante, pelo menos, 30 segundos. Após a garantia da estabilidade do escoamento, procede-se à recolha da água que passa através do provete, num determinado período (Figura 3.39).

Segundo a NP EN ISO 11058 (2003), o volume mínimo de água recolhido para cada leitura deve ser de 1 litro e o tempo de recolha não deve ser inferior a 30 segundos.



a)

b)

Figura 3.39 – Quantificação da água passada através do provete: a) Recolha da água; b) Pesagem da água.

No LGS, avalia-se a massa de água recolhida, em gramas, e o tempo de recolha, em segundos sendo, também, necessária a medição da temperatura da água, em °C. Estes valores são registados num documento em formato EXCEL, em tabelas como a que se apresenta no Quadro 3.16.

Quadro 3.16 - Tabela a preencher no decorrer do ensaio de cada provete para ensaios permeabilidade normal ao plano.

	Perda de carga (mm)	Massa de água Recolhida (g)	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Factor Correctivo RT	Velocidade V ₂₀ (mm/s)
Provete 1	70					
	56					
	42					
	28					
	14					

O documento Excel permite o cálculo automático da velocidade V₂₀ através da Equação (3.1) devidamente adaptada para:

$$V_{20} = \frac{M \cdot R_T}{S \cdot t} \cdot 1000 \quad (3.2)$$

em que, M é a massa de água recolhida em gramas e S tem o valor 5.674mm². A expressão vem afectada do factor 100 para que a velocidade resulte em mm/s. O factor correctivo de temperatura, R_T, é calculado pela expressão:

$$R_T = \frac{1.762}{1 + 0.0337T + 0.00022T^2} \quad (3.3)$$

na qual, T é o valor da temperatura em °C.

3.6.2. Resultados dos ensaios

No Quadro 3.17 apresentam-se os valores da velocidade V₂₀, obtidos no ensaio de determinação da permeabilidade normal ao plano, para os cinco provetes do geotêxtil P40 e para os diferentes valores da perda de carga. São ainda apresentados os valores médios e os respectivos coeficientes de variação.

Quadro 3.17 - Velocidades de escoamento V₂₀ para os 5 provetes do geotêxtil P40.

	Velocidade, V ₂₀ (mm/s)				
PERDA DE CARGA (mm)	14	28	42	56	70
PROVETE 1	8.69	20.37	25.42	33.37	38.48
PROVETE 2	9.61	17.35	25.21	31.67	35.71
PROVETE 3	8.49	15.92	22.69	29.12	34.35
PROVETE 4	9.04	17.47	24.99	31.53	33.94
PROVETE 5	13.40	20.10	26.55	34.09	34.66
MÉDIA	9.85	18.24	24.97	31.96	35.43
DESVIO PADRÃO	2.03	1.92	1.41	1.93	1.83
CV (%)	20.62	10.53	5.65	6.03	5.16

A Figura 3.40 ilustra a evolução da velocidade de escoamento V_{20} com a perda de carga, para cada um dos provetes do geotêxtil P40.

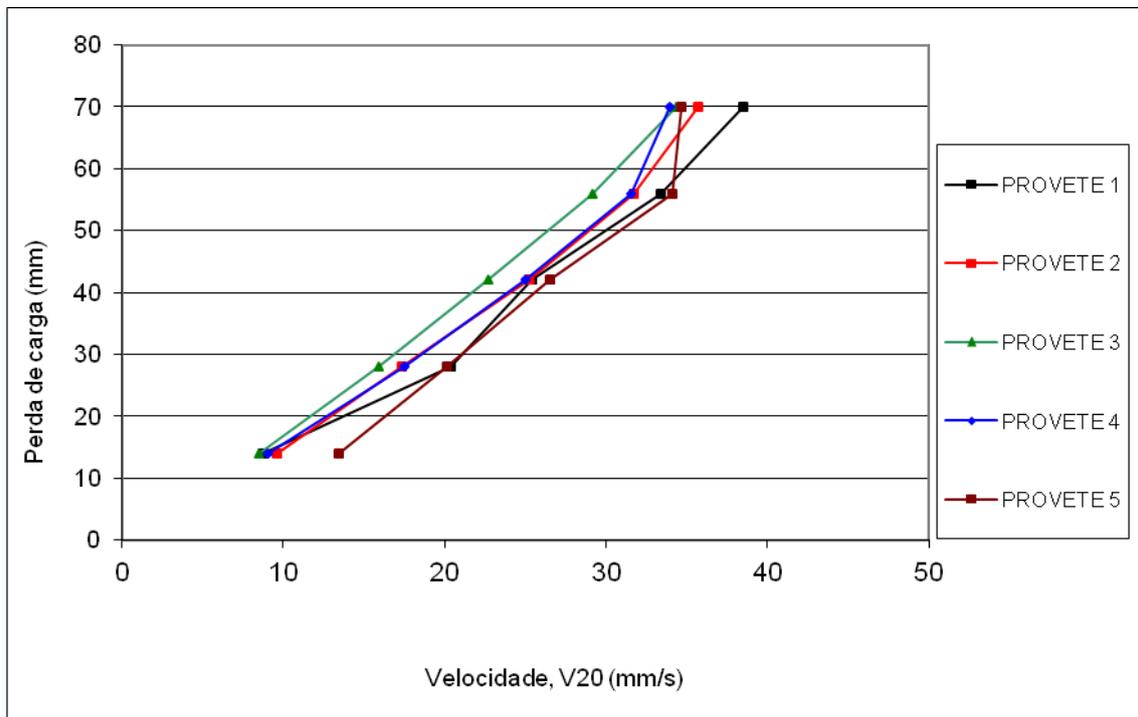


Figura 3.40 – Relação V_{20} - perda de carga para os 5 provetes do geotêxtil P40.

Na Figura 3.41 apresentam-se as curvas de regressão quadrática obtidas para os cinco provetes do geotêxtil P40.

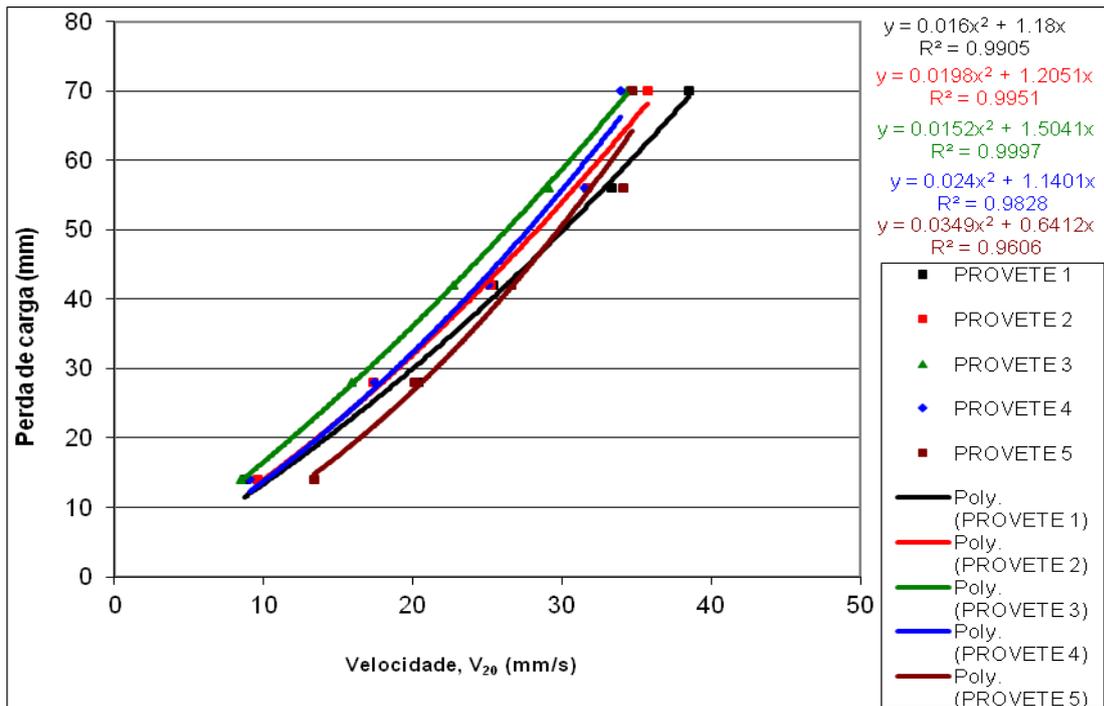


Figura 3.41 - Curvas de regressão quadrática obtidas para os cinco provetes do geotêxtil P40.

No Quadro 3.18 apresentam-se os valores do índice de velocidade (VI_{H50}) para os cinco provetes do geotêxtil P40, bem como os valores do desvio padrão e do coeficiente de variação correspondente.

O valor médio da permeabilidade normal ao plano obtido neste estudo laboratorial foi de 28.43 mm/s semelhante ao valor apresentado pelo produtor (20 mm/s).

Quadro 3.18 – Permeabilidade normal ao plano (VI_{H50}) para os 5 provetes do geotêxtil P40.

Provetes	VI_{H50} (mm/s)
PROVETE 1	30.093
PROVETE 2	28.316
PROVETE 3	26.269
PROVETE 4	27.702
PROVETE 5	29.763
MÉDIA	28.43
DESVIO PADRÃO	1.56
CV (%)	5.49

No Quadro 3.19 apresentam-se os valores da velocidade V_{20} , obtidos no ensaio de determinação da permeabilidade normal ao plano, para os cinco provetes do geotêxtil P70 e para os diferentes valores da perda de carga. São ainda apresentados os valores médios e os respectivos coeficientes de variação.

Quadro 3.19 - Velocidades de escoamento V_{20} para os 5 provetes do geotêxtil P70.

PERDA DE CARGA (mm)	Velocidade, V_{20} (mm/s)				
	14	28	42	56	70
PROVETE 1	4.17	8.92	13.43	16.53	19.93
PROVETE 2	3.72	7.70	11.35	15.00	17.77
PROVETE 3	5.26	10.22	14.67	18.63	22.42
PROVETE 4	6.90	12.67	18.50	23.62	28.34
PROVETE 5	7.64	15.98	22.02	28.07	33.11
MÉDIA	5.54	11.10	15.99	20.37	24.31
DESVIO PADRÃO	1.70	3.29	4.26	5.40	6.31
CV (%)	30.69	29.66	26.63	26.49	25.94

A Figura 3.42 ilustra a evolução da velocidade de escoamento V_{20} com a perda de carga, para cada um dos provetes do geotêxtil P70.

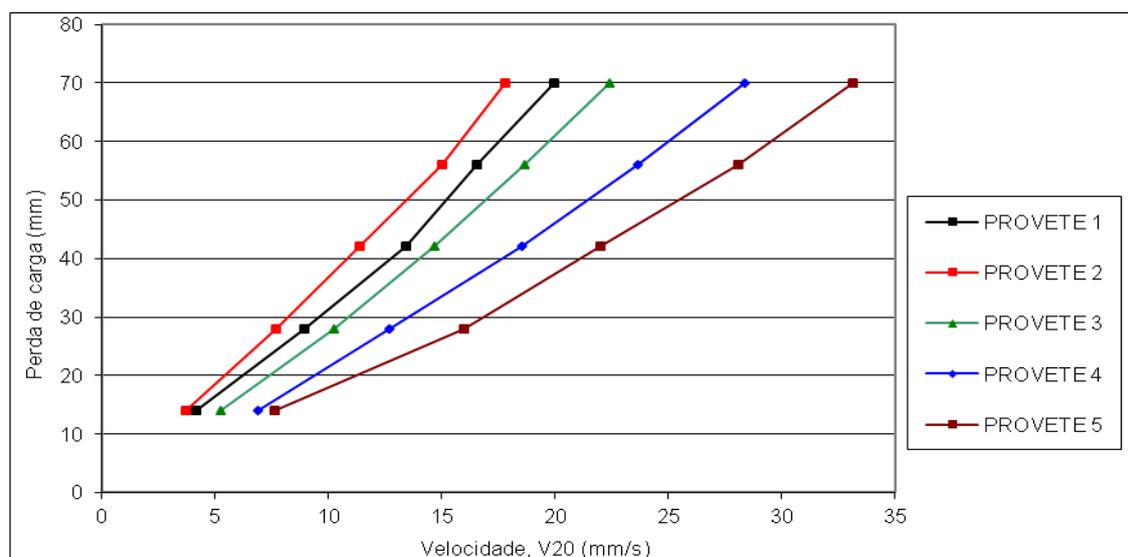


Figura 3.42 – Relação V_{20} -perda de carga para os 5 provetes do geotêxtil P70.

Na Figura 3.43 apresentam-se as curvas de regressão quadrática obtidas para os cinco provetes do geotêxtil P70.

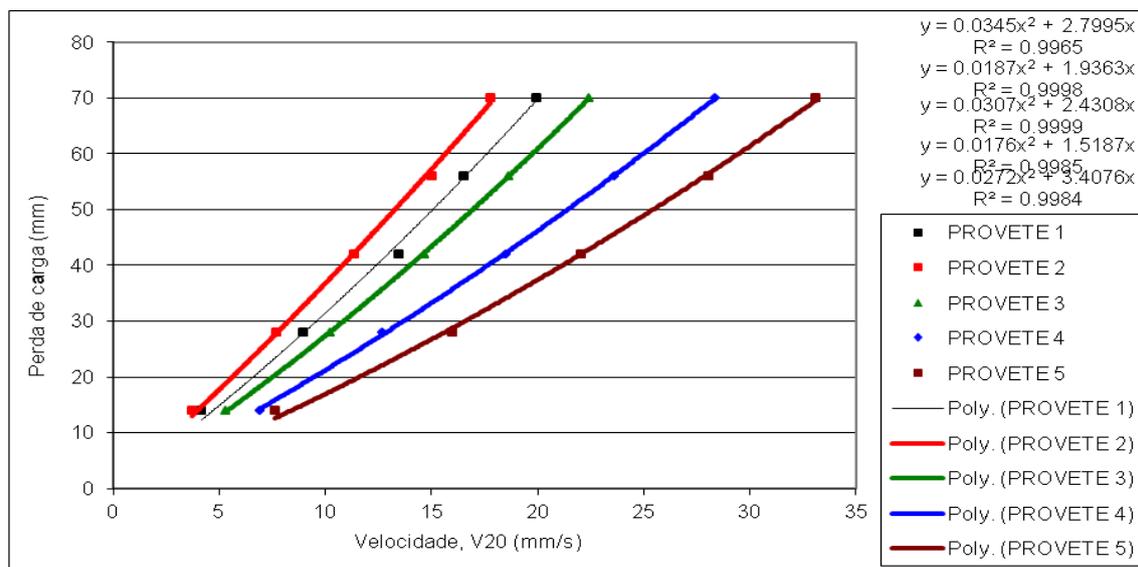


Figura 3.43 - Curvas de regressão quadrática obtidas para os cinco provetes do geotêxtil P70.

No Quadro 3.20 apresentam-se os valores do índice de velocidade (VI_{H50}) para os cinco provetes do geotêxtil P70, bem como os valores do desvio padrão e do coeficiente de variação correspondente.

O valor médio da permeabilidade normal ao plano obtido neste estudo laboratorial foi de 18.38 mm/s inferior ao valor apresentado pelo produtor (30 mm/s).

Quadro 3.20 – Permeabilidade normal ao plano (VI_{H50}) para os 5 provetes do geotêxtil P70.

Provetes	VI_{H50} (mm/s)
PROVETE 1	15.064
PROVETE 2	13.268
PROVETE 3	16.945
PROVETE 4	21.188
PROVETE 5	25.429
MÉDIA	18.38
DESVIO PADRÃO	4.92
CV (%)	26.76

No Quadro 3.21 apresentam-se os valores da velocidade V_{20} , obtidos no ensaio de determinação da permeabilidade normal ao plano, para os cinco provetes do geocompósito RP50 e para os diferentes valores da perda de carga. São ainda apresentados os valores médios e os respectivos coeficientes de variação.

Quadro 3.21 - Velocidades de escoamento V_{20} para os 5 provetes do geocompósito RP50.

PERDA DE CARGA (mm)	Velocidade, V_{20} (mm/s)				
	14	28	42	56	70
PROVETE 1	13.21	24.96	35.27	48.61	65.79
PROVETE 2	13.52	26.13	39.54	47.16	60.99
PROVETE 3	14.15	27.89	41.00	50.33	62.93
PROVETE 4	12.65	28.09	39.11	65.82	83.77
PROVETE 5	16.17	31.39	47.08	60.73	89.71
MÉDIA	13.94	27.69	40.40	54.53	72.64
DESVIO PADRÃO	1.36	2.44	4.29	8.26	13.16
CV (%)	9.76	8.80	10.63	15.15	18.11

A Figura 3.44 ilustra a evolução da velocidade de escoamento V_{20} com a perda de carga, para cada um dos provetes do geocompósito RP50.

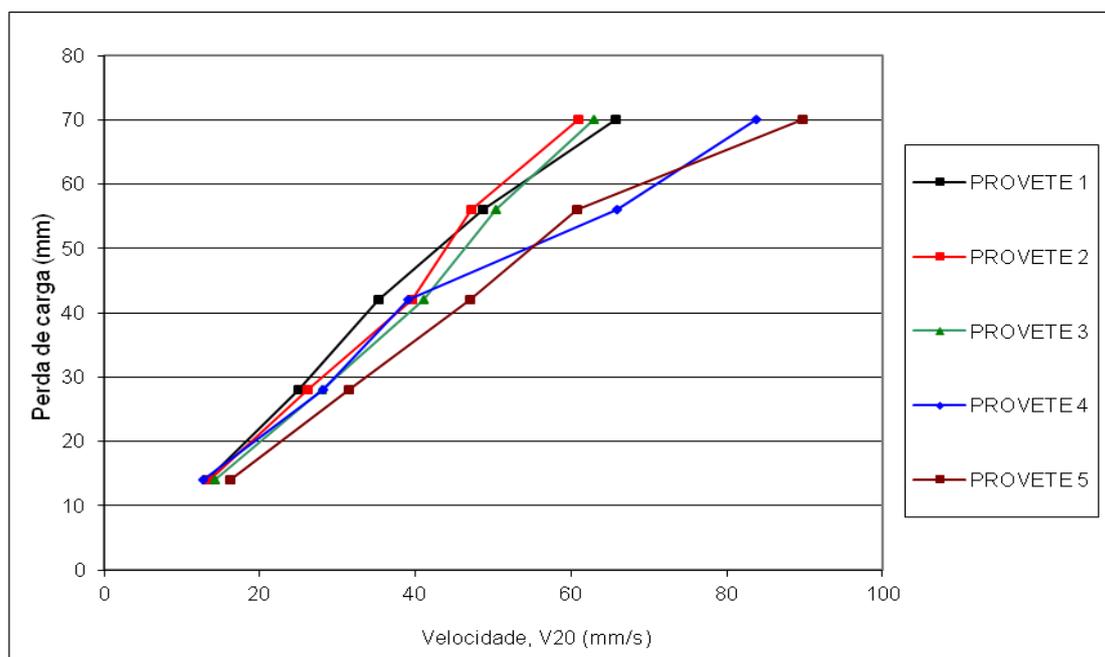


Figura 3.44 – Relação V_{20} -perda de carga para os 5 provetes do geocompósito RP50.

Na Figura 3.45 apresentam-se as curvas de regressão quadrática obtidas para os cinco provetes do geocompósito RP50.

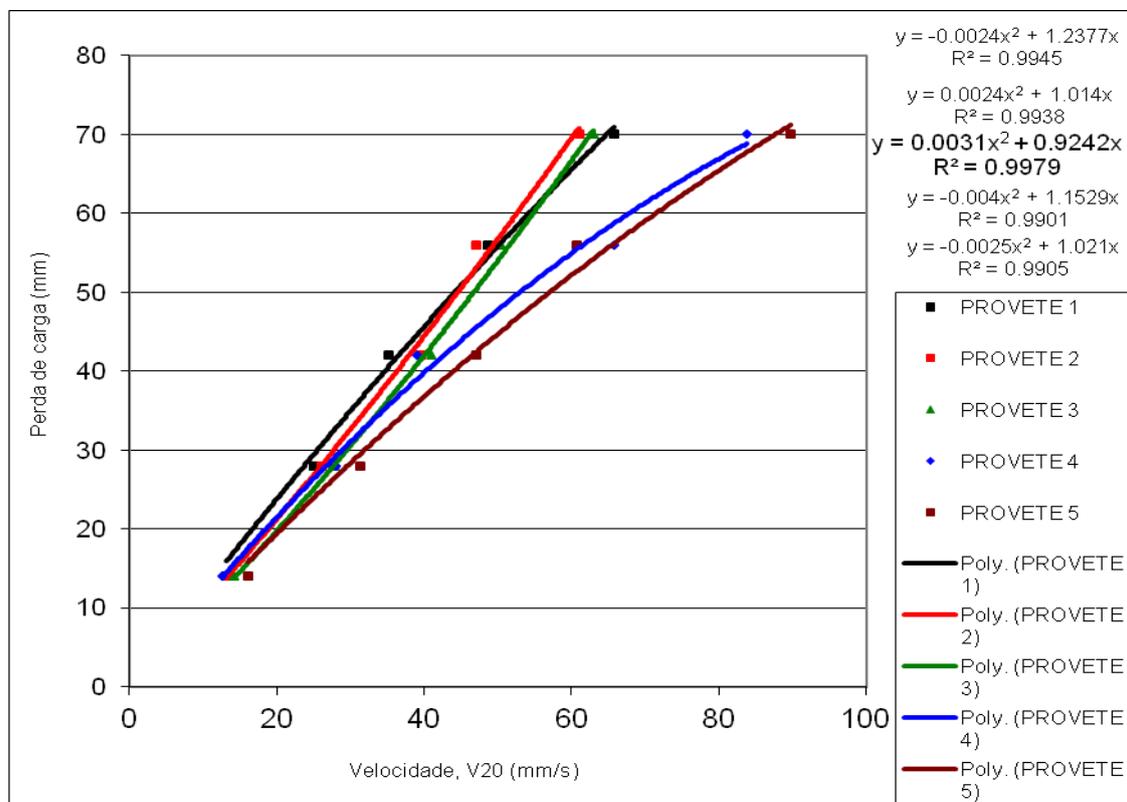


Figura 3.45 - Curvas de regressão quadrática obtidas para os cinco provetes do geocompósito RP50.

No Quadro 3.22 apresentam-se os valores do índice de velocidade (VI_{H50}) para os cinco provetes do geocompósito RP50, bem como os valores do desvio padrão e do coeficiente de variação correspondente.

O valor médio da permeabilidade normal ao plano obtido neste estudo laboratorial foi de 28.43 mm/s inferior ao valor apresentado pelo produtor (65 mm/s).

Quadro 3.22 – Permeabilidade normal ao plano ($V_{I_{H50}}$) para os 5 provetes do geocompósito RP50.

Valores interpolados (50 mm)	
Provete	$V_{I_{H50}}$ (mm/s)
1	44.18
2	44.60
3	46.77
4	53.18
5	56.90
Média	49.13
Desvio Padrão	5.64
CV (%)	11.49

3.7. Dimensão característica das aberturas

Os métodos de avaliação da porosidade dos geotêxteis são bastante variados, desde processos de injeção de mercúrio através dos materiais, até processos de visualização com o recurso a microscopia, passando por diversos métodos de peneiração, por via seca, por via húmida e peneiração hidrodinâmica (Shukla, 2002).

O método utilizado no Laboratório de Geossintéticos (LGS) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) é um método de peneiração por via húmida, cujos procedimentos estão de acordo com a NP EN ISO 12956: 2006 “Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da dimensão característica da abertura”.

O conceito que está na base dos métodos que recorrem à peneiração é o mesmo em que se baseia a análise granulométrica de materiais granulares. Nesta, as partículas de solo passam através de uma série de peneiros, avaliando-se a quantidade de material granular que fica retido em cada um deles (Moreira, 2009). De modo semelhante, nos métodos em que se recorre à peneiração para determinar a dimensão e a distribuição dos poros de um geotêxtil, faz-se a peneiração de um material granular de composição conhecida, em que o geotêxtil desempenha o papel de peneiro (Figura 3.46). Por fim, o material granular que passa através do geotêxtil é peneirado, de modo a ser determinada a sua composição granulométrica.



Figura 3.46 – Ensaio de determinação da dimensão da abertura no LGS: a) Provete colocado no equipamento; b) Solo colocado sobre o provete; c) Peneiração por via húmida (Moreira, 2009).

Esta metodologia de ensaio permite a determinação da dimensão equivalente de abertura dos poros (DEA) e a dimensão aparente de abertura dos poros (DAA) dos geotêxteis (Moreira, 2009). A notação habitual para estas grandezas é a de O_{95} para a DEA e de O_n para a DAA, em que n pode assumir os valores de 50 e 90, por exemplo (Shukla, 2002). Estas grandezas são determinadas a partir da curva granulométrica do material passado através do geotêxtil, conforme o exemplo indicado na Figura 3.47.

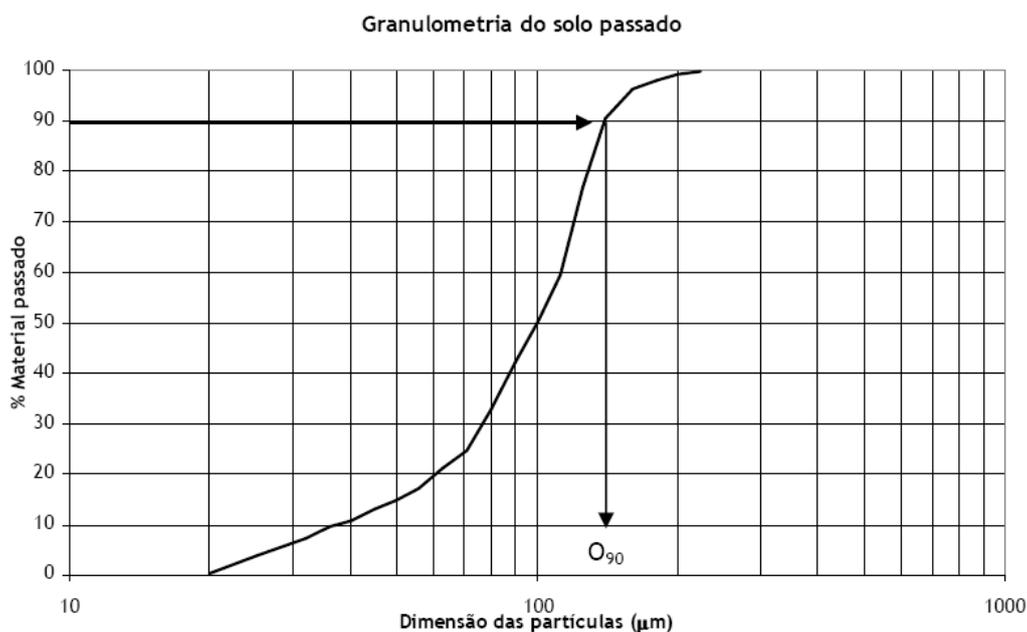


Figura 3.47 – Determinação de O_{90} a partir da curva granulométrica do solo passado através de um geotêxtil (Moreira, 2009).

Devido a dificuldades associadas à utilização da estufa para secagem do solo e do geotêxtil, os ensaios para avaliação da dimensão característica de abertura dos geossintéticos não foram realizados.

De acordo com os dados fornecidos pelos fabricantes, os valores do diâmetro característico de abertura dos geossintéticos utilizados neste estudo laboratorial são 85 μ m, 80 μ m e 95 μ m para o geotêxtil P40, o geotêxtil P70 e o geocompósito RP50, respectivamente.

Capítulo 4

Estudo da Aplicação de Geotêxteis em Timor Leste

4.1 Problemas de drenagem em Timor Leste

A água é um recurso natural essencial à existência e ao bem-estar de toda a humanidade mas, no mundo da engenharia civil, muitas vezes pode ser vista como um dos “maiores inimigos” da construção. Uma solução para evitar alguns problemas que a água pode trazer (como assentamentos, instabilidade de taludes, deslocamento de massas de solo, etc.) encontra-se na criação de sistemas de drenagem.

A dimensão das estruturas de drenagens em Timor Leste não permite acumular as águas superficiais e o seu consequente escoamento, que pode causar erosões e pior ainda, afectar as construções e as estradas. Os sistemas naturais ou artificiais de drenagem, não são muitas vezes capazes de drenar todas as águas superficiais, em geral provenientes das chuvas.

As Figuras 4.1 a 4.3 referem-se a alguns dos problemas de drenagens, erosões e filtragens que se fazem sentir com frequência em Timor Leste.



Figura 4.1 – Condições construções de drenagem em Timor Leste.



Figura 4.2 - Problemas de drenagens e erosões que afectam qualidade das estradas.



Figura 4.3 - Problemas de filtragem e drenagem no campo de futebol em Díli, Timor Leste.

Para resolver os problemas de drenagem, as estruturas drenantes deverão ser dimensionadas para não permitir a acumulação de água superficial e facilitar o seu consequente escoamento, sem causar problemas de erosão significativos. Assim, torna-se fundamental a existência de sistemas de drenagem de águas superficiais que funcionem eficientemente, garantindo o rápido escoamento das águas, e a segurança dos sistemas de drenagem urbana.

Por isso, a drenagem em Timor Leste deve ser planeada e articulada com as outras actividades urbanas (abastecimento de água e de esgoto, transporte público, planos viários, instalações eléctricas, etc.) de forma a possibilitar o desenvolvimento da forma a mais harmonizada possível e garantir qualidade, durabilidade e sustentabilidade das construções.

A função de drenagem com geossintéticos compreende a recolha e condução de água ou outros fluidos através de um geotêxtil ou de um produto relacionado. Pode assim dizer-se que a drenagem consiste no equilíbrio do sistema de solo-geossintético que permite a circulação livre de fluido (sem perda do solo) no seu plano por um período de tempo indefinido, evitando a entrada de partículas sólidas e o seu transporte no interior do dreno.

Os sistemas de drenagem com geossintéticos são constituídos por um (ou mais) geossintético(s) drenante(s), e quase sempre a este(s) estão associados os filtros. A Figura 4.4 é ilustrativa de vários tipos de aplicação de geossintéticos em sistemas de drenagem.

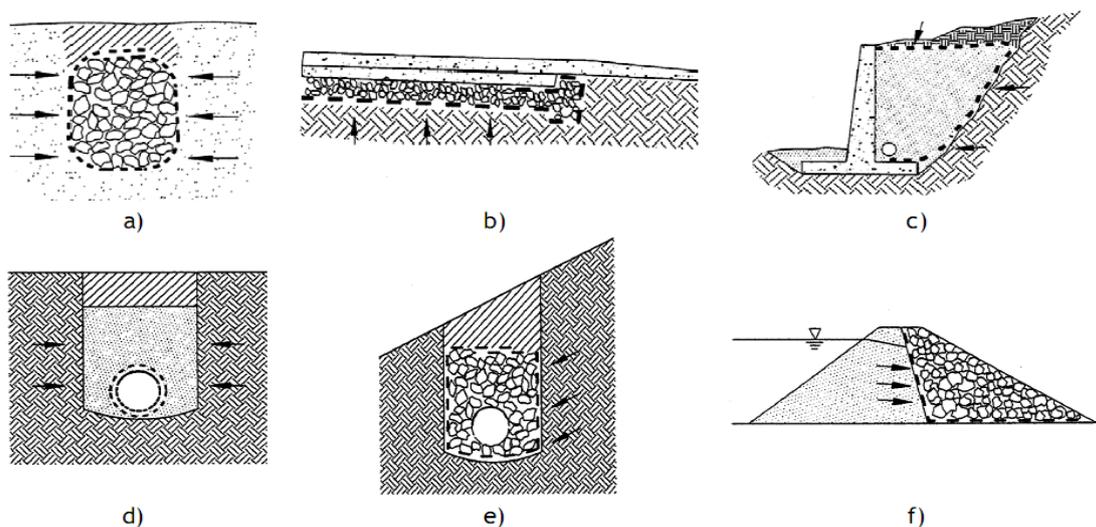


Figura 4.4 - Aplicações de geossintéticos em sistemas de drenagem: a) filtro em drenos de vala; b) filtros sob base de pavimentos e cobertores de drenagem; c) drenos num muro de suporte; d) filtros envolvendo tubos de drenagem; e) drenos de superfície; f) drenos em barragens de terra (Holtz, 1998).

A Figura 4.4a, por exemplo, mostra um filtro em torno de uma vala drenante, que impede o solo de migrar para o agregado de drenagem, mas ao mesmo

tempo permite que a água que sai do solo siga o seu trajecto até ser recolhida. Neste caso o dreno recolhe as águas a partir do solo de aterro, permitindo a drenagem livre do solo e infiltração de água. Uma boa solução para este tipo de sistema de drenagem será um geocompósito drenante.

De acordo com Seraphin (1996), quando Terzaghi desenvolveu os critérios para filtros de transição pelo emprego de sucessivas camadas drenantes e filtrantes, para evitar a contaminação entre o solo a ser drenado e o sistema drenante, o resultado foi tecnicamente correcto. Entretanto, a solução proposta por Terzaghi configura-se um processo um tanto complicado de executar para alguns tipos de obras de drenagem mais simples. Dessa maneira, os geossintéticos facilitam o processo de drenagem, uma vez que conseguem desempenhar, ao mesmo tempo, funções de filtro e dreno, trabalhando como invólucro do sistema condutor de água (Seraphin 1996).

Segundo Gourc e Palmeira (1988), os geossintéticos podem ser usados eficazmente como drenos e filtros em obras civis e ambientais em adição ou substituição aos materiais granulares tradicionais. Os geossintéticos são mais fáceis de instalar em obra e geralmente apresentam custo competitivo em situações em que os materiais granulares disponíveis não cumprem as especificações de projecto, são escassos ou o seu uso encontra-se restringido por razões ambientais.

De acordo com Gourc e Palmeira (1988), os geotêxteis, georredes e geocompostos para drenagem são os tipos de geossintéticos usados para drenagem e/ou filtragem. Estes materiais podem ser usados em obras como estruturas de contenção, aterros, controle de erosão, áreas de disposição de resíduos, etc.

Se dimensionados e instalados adequadamente, os geossintéticos podem fornecer soluções de custo competitivo para drenagem e filtragem em obras de engenharia civil e ambiental. Portanto, os geossintéticos apresentam elevado potencial para aplicações geotécnicas em construções sustentáveis de Timor Leste.

4.2 Caracterização de um solo de Timor Leste

De modo a caracterizar um solo proveniente de Timor Leste realizaram-se ensaios no Laboratório Nacional para Material de Construção do Ministério das Obras Públicas de Timor Leste, de acordo com as normas ASTM (American Society for Testing and Material). Estes ensaios foram realizados com objectivo de determinar o seu potencial de uso, permitindo identificar e avaliar a sua aplicabilidade nas obras de geotecnia.

4.2.1 Granulometria

A determinação da composição granulométrica de um solo, expressa pela respectiva curva granulométrica, é essencial para a previsão das características fundamentais do seu comportamento.

Todos os solos, em sua fase sólida, contêm partículas de diferentes tamanhos em proporções variadas. A determinação do tamanho das partículas e suas respectivas percentagens de ocorrência permitem obter a distribuição de partículas do solo e que é denominada distribuição granulométrica.

Segundo Fernandes (2006), a composição granulométrica é definida como a distribuição em percentagem ponderal (isto é em percentagem do peso total) das partículas do solo de acordo com as dimensões. A distribuição granulométrica dos materiais granulares, areias e pedregulhos, será obtida através do processo de peneiração de uma amostra seca em estufa, enquanto, para siltes e argilas se utiliza a sedimentação dos sólidos em meio líquido. Para um solo, que tem partículas tanto na fracção grossa (areia e pedregulho) quanto na fracção fina (silte e argila) é necessária a análise granulométrica conjunta.

A avaliação da composição granulométrica de um solo requer, em geral, a utilização conjugada das seguintes técnicas experimentais:

- (i) peneiração, em que se procede à separação mecânica, através de peneiros, das partículas do solo de maiores dimensões;

(ii) sedimentação, em que através do estudo do processo de sedimentação das partículas mais finas do solo em suspensão, se estabelece a sua dimensão de forma indirecta, utilizando a lei de Stokes.

Na Figura 4.5 apresentam-se os resultados da análise granulométrica de um solo de Timor Leste. Neste gráfico as dimensões das partículas (em milímetros) estão representados em escala logaritmica. Na zona inferior da Figura 4.5, pode ver-se uma classificação das partículas dos solos de acordo com suas dimensões: por ordem crescente de dimensões, classificam-se em silte, areia, seixo e bloco.

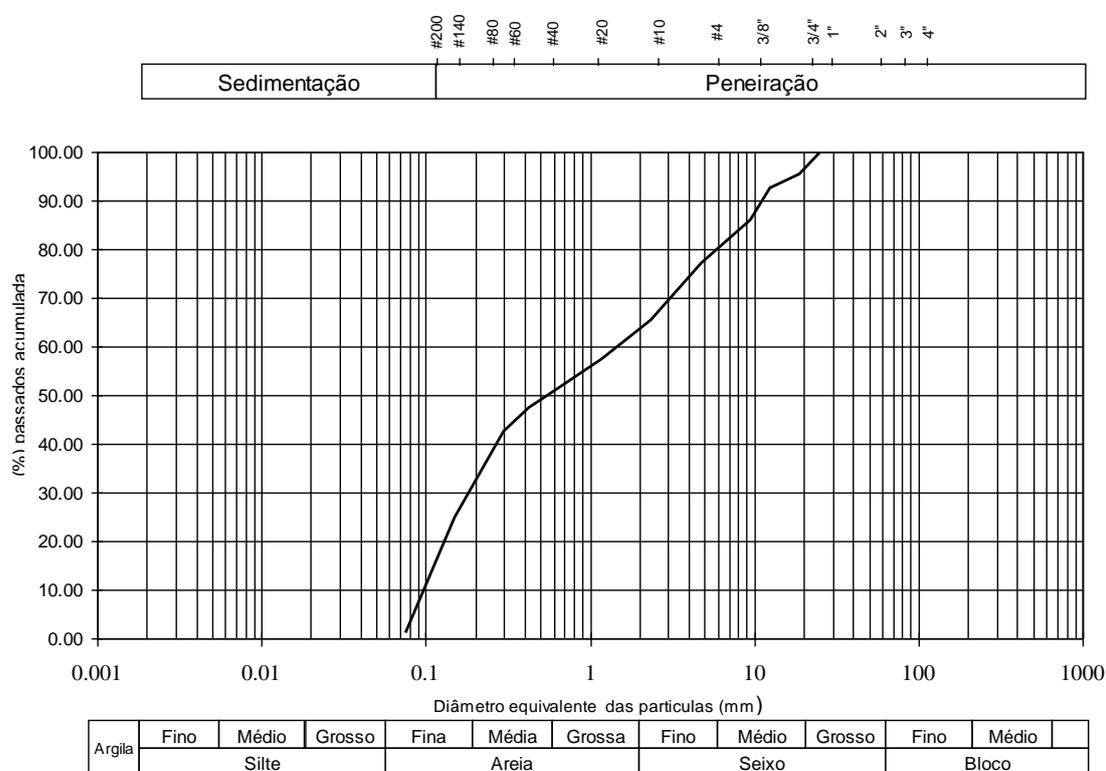


Figura 4.5 - Curva de distribuição granulométrica de um solo de Timor Leste.

4.2.2 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)

No Laboratório Nacional para Material de Construção do Ministério das Obras Publicas de Timor Leste foram também quantificados experimentalmente o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP) do solo fino antes sujeito a ensaios de caracterização física e granulométrica, utilizando para tal, amostras

representativas desse solo. No final, os resultados experimentais serão compartilhados para permitir avaliar as características de plasticidade do solo em análise. Os resultados dos ensaios determinam os limites de consistência, limite de plasticidade (LP), e limite de liquidez (LL), necessárias para avaliar as características de plasticidade de um solo fino.

A determinação experimental do limite de liquidez (LL) e limite plasticidade (LP) foi realizada de acordo com a norma ASTM com determinação dos limites de consistência em solos.

Limite de Liquidez (LL) - é o teor de humidade que indica a passagem do estado plástico para o estado líquido.

Limite de Plasticidade (LP) - é o teor de humidade que indica a passagem do estado semisólido para o estado plástico.

Índice de Plasticidade (IP) - é calculado pela diferença entre LL e LP

$$IP = LL - LP \quad (4.1)$$

Resultado do teste Limite Liquidez (Figura 4.6), Limite plasticidade e Índice plasticidade são os seguintes:

L.L. = 29.60

L.P. = 23.60

I.P. = 6.0

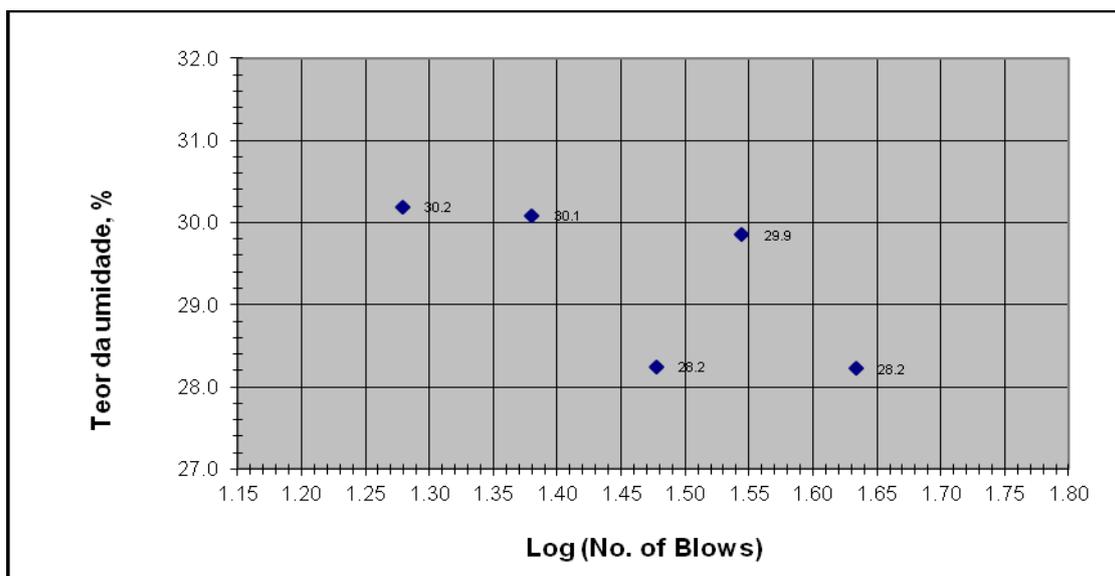


Figura 4.6 - Limite Liquidez.

4.2.3 Ensaio CBR

Este ensaio pode ser realizado de duas formas:

- Moldando-se um corpo de prova com teor de humidade próximo do óptimo (determinado previamente em ensaio de compactação).
- Moldando-se corpos de prova para o ensaio de compactação (com teores de humidade crescentes), com posterior ensaio de penetração desses mesmos corpos de prova, obtendo-se simultaneamente, os parâmetros de compactação e os valores do CBR.

A compactação é um método de estabilização de solos que se dá por aplicação de alguma forma de energia (impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica). Seu efeito confere ao solo um aumento de seu peso específico e resistência ao corte, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade.

Através do ensaio de compactação é possível obter a correlação entre o teor de humidade e o peso específico seco de um solo quando compactado com determinada energia. O ensaio mais comum é o de Proctor (Normal, Intermediário ou Modificado), que é realizado através de sucessivos impactos de um pilão padronizado na amostra.

Os resultados dos ensaios (Figuras 4.7 e 4.8) mostraram que o solo de Timor Leste analisado apresenta humidade óptima de 9.612 % e máximo densidade seca de 1.873 mg/cm³.

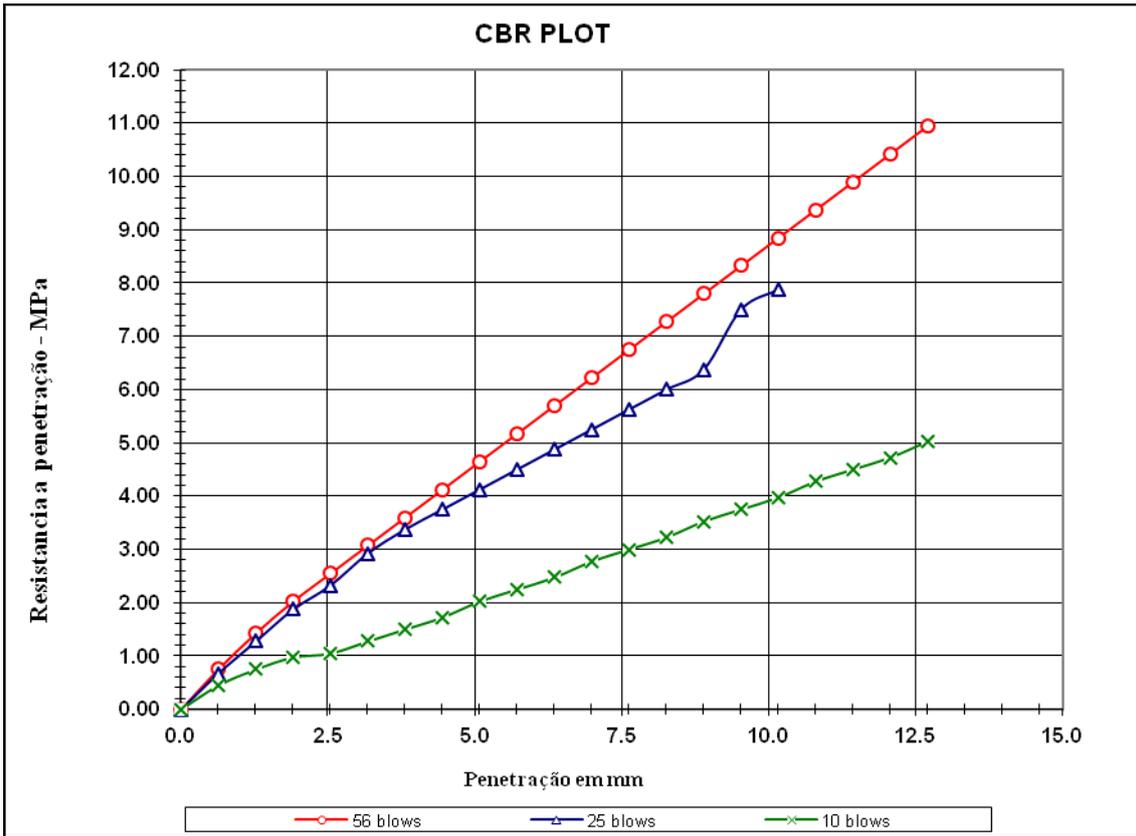


Figura 4.7 - Resistência penetração.

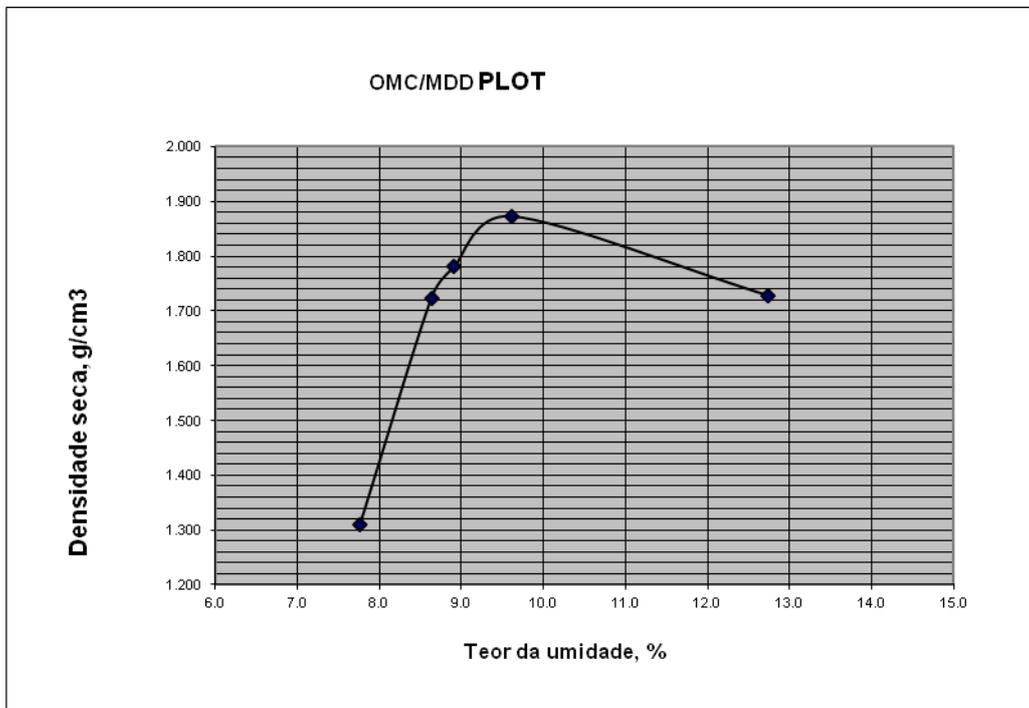


Figura 4.8 - Teor de água relacionamento densidade seca (PROCTOR).

4.3 Dimensionamento de um sistema de filtragem com geotêxteis

O dimensionamento de um filtro com o recurso a materiais geossintéticos tem em conta, sempre, um conjunto de considerações que se podem agrupar em três tipos distintos (Moreira, 2009):

- as que se prendem com os requisitos de dimensionamento, propriamente ditos;
- as que estão relacionadas com a resistência dos materiais geossintéticos à danificação que lhes pode ser infligida;
- e, por último, as que se referem à durabilidade dos geossintéticos.

No que concerne aos critérios e requisitos de dimensionamento dos geossintéticos para o desempenho da função de filtragem, há dois aspectos fundamentais a considerar: a permeabilidade e a porosidade dos materiais. A permeabilidade deve ser tal que permita a passagem dos fluidos que percolam no solo enquanto a porosidade deve favorecer a retenção de partículas provenientes do mesmo. Assim, num processo de dimensionamento de um filtro, é necessário respeitar uma série de critérios de modo a que a escolha final do material conduza ao seu correcto desempenho.

Em primeiro lugar, pode-se mencionar o critério de permeabilidade, relativo ao facto de o geotêxtil dever permitir o fácil escoamento dos fluidos, como já foi citado. Em seguida, pode-se referir a capacidade que o material deve ter para prevenir o arrastamento de partículas do solo, facto que se traduz no critério de retenção. Por fim, existe o critério de colmatção, relativo ao efeito de deposição de partículas sólidas no próprio interior do geossintético.

De notar que o critério de permeabilidade impõe um limite inferior nas características de porosidade de um geotêxtil, nomeadamente, no tamanho dos poros, ao passo que, com o critério de retenção é imposto um limite superior para o tamanho das aberturas. Estes dois critérios são, aparentemente, contraditórios. O correcto dimensionamento passa, portanto, pelo estabelecimento de um compromisso entre estas exigências antagónicas (Moreira, 2009).

Os critérios de dimensionamento utilizados actualmente foram desenvolvidos por diversos autores que se basearam nos processos de dimensionamento de filtros constituídos por materiais granulares. O procedimento habitual de dimensionamento passa pela comparação da permeabilidade do solo com a dos geotêxteis tendo em conta um determinado critério de permeabilidade. Do mesmo modo, compara-se a granulometria do solo com a abertura dos poros dos geotêxteis de acordo com um critério de retenção.

Um critério de permeabilidade usualmente aplicado no dimensionamento de filtros com geotêxteis é o seguinte (Shukla, 2002):

$$k_n \geq \alpha \cdot k_s \quad (4.2)$$

em que, k_n e k_s representam os coeficientes de permeabilidade do geotêxtil e do solo, respectivamente, sendo α uma constante que pode assumir valores entre 0,1 e 100.

No que diz respeito ao critério de retenção, de uma forma muito sucinta, este pode ser expresso da seguinte forma (Shukla, 2002):

$$O_i \leq \beta \cdot D_j \quad (4.3)$$

onde β é um parâmetro adimensional associado ao tipo/uniformidade do solo, O_i diz respeito à abertura dos poros dos geotêxteis e D_j é relativo à dimensão das partículas do solo. As gamas de valores de 1 a 6, de 1 a 3 e de 1 a 2 são típicas para as relações O_{95}/D_{50} , O_{95}/D_{85} e O_{90}/D_{90} , respectivamente (Shukla, 2002).

Os critérios de permeabilidade, de retenção, de colmatação, bem como a análise da durabilidade do filtro são designados, por vezes, como critérios de filtro. Shukla (2002) considera que em cada caso particular de utilização de geotêxteis como filtro, os critérios de filtro deveriam ser avaliados com base em estudos detalhados do comportamento conjunto do sistema solo-geotêxtil. Contudo, na ausência desses dados, e para solos predominantemente granulares os seguintes critérios podem ser considerados para solos.

Critério de permeabilidade:

$$O_{90} \geq D_{15} \quad (4.4)$$

e

$$O_{90} \geq 0.05\text{mm} \quad (4.5)$$

Critério de retenção:

$$O_{90} \leq D_{85} \quad (4.6)$$

Em relação ao critério de colmatação, Shukla (2002) sugere a realização de ensaios hidráulicos que permitam avaliar a compatibilidade entre as dimensões de abertura dos geotêxteis e do solo retido.

No Quadro 4.1 apresentam-se, ainda, algumas recomendações de cálculo de filtros com geotêxteis apresentadas por Lopes (2010) em função do tipo de geotêxtil e do coeficiente de uniformidade do solo (C_u).

Quadro 4.1- Recomendações de Cálculo de Filtros em Geotêxtil (Lopes, 2010).

Critério de Retenção	Geotêxteis tecidos e não tecidos finos ($e \leq 2\text{mm}$)	Geotêxteis não tecidos espessos ($e > 2\text{mm}$)
$1 < C_u < 5$	$C_u = 1 \quad O_{90}/D_{50} = 1$ $C_u = 5 \quad O_{90}/D_{50} = 3$	$C_u = 1 \quad O_{90}/D_{50} = 4$ $C_u = 5 \quad O_{90}/D_{50} = 6$
$C_u > 5$	$O_{90}/D_{50} < 3$ e/ou $O_{90}/D_{90} < 1$	$O_{90}/D_{50} < 6$ e/ou $O_{90}/D_{90} < 1,8$
Critério de Permeabilidade ($k_g > k_s$ - sempre)	$k_g > 20 k_s$	$k_g > 100 k_s$
Critério de Colmatação	O_{90} não deve ser inferior ao valor definido pelo critério retenção e $O_{90} > 2D_{15}$	

Exemplifica-se, de seguida, o dimensionamento de um filtro admitindo que o solo em contacto com o geotêxtil é o solo apresentado na Figura 4.5.

No Quadro 4.2 apresentam-se algumas características desse solo que podem ser retiradas da curva granulométrica.

Quadro 4.2- Características geométricas de um solo de Timor Leste.

D₁₀ (mm)	D₁₅ (mm)	D₅₀ (mm)	D₆₀ (mm)	D₉₀ (mm)	C_u = D₆₀/D₁₀
0,097	0,114	0,548	1,459	10,74	15

D_α – diâmetro correspondente a α% em peso de partículas com dimensão inferior a D_α

Dado que não se conhece o coeficiente de permeabilidade do solo, utilizou-se a fórmula proposta por Hazen (1930) para o estimar. Hazen (1930) sugere, para estimar o coeficiente de permeabilidade de um solo granular, a expressão:

$$k_s \text{ (m/s)} = C \cdot D_{10}^2 \quad (4.7)$$

em que, C é um coeficiente empírico, normalmente considerado igual a 100, e D₁₀ é o diâmetro efectivo do solo, em cm.

Tendo em conta o tipo de geotêxteis estudados experimentalmente neste trabalho (geotêxteis não tecidos com espessura superior a 2 mm) e o valor do coeficiente de uniformidade do solo apresentado no Quadro 4.2, seguindo as recomendações apresentadas no Quadro 4.1, resulta:

Critério de Retenção

$$C_u > 5 \quad O_{90}/D_{50} < 6 \quad \rightarrow \quad O_{90} < 3,3 \text{ mm}$$

e

$$O_{90}/D_{90} < 1,8 \quad \rightarrow \quad O_{90} < 19,3 \text{ mm}$$

Critério de Permeabilidade

Avaliando o coeficiente de permeabilidade do solo pela Equação (4.7) resulta:

$$k_s = 100 \times 0,0097^2 \approx 0,010 \text{ cm/s}$$

$$k_g > 100 \times 0,010 = 1 \text{ cm/s}$$

Critério de Colmatação

$$O_{90} > 2 \times 0,114 = 0,23 \text{ mm}$$

Do dimensionamento efectuado, resulta que o geotêxtil (não tecido espesso) a utilizar como filtro deve apresentar:

$$0,23 \text{ mm} < O_{90} < 3,3 \text{ mm}$$

$$k_g > 1 \text{ cm/s}$$

De acordo com os dados fornecidos pelos fabricantes, dado que não foi possível realizar os ensaios, os valores de O_{90} dos geossintéticos utilizados neste estudo laboratorial são 0,085mm, 0,080mm e 0,090mm, para o geotêxtil P40, o geotêxtil P70 e o geocompósito RP50, respectivamente. Os valores médios da permeabilidade normal ao plano, obtidos experimentalmente neste trabalho, foram de 2,8 cm/s, 1,8 cm/s e 4,9 cm/s para o geotêxtil P40, o geotêxtil P70 e o geocompósito RP50, respectivamente. Assim, qualquer dos geotêxteis ensaiados respeita os critérios de retenção ($O_{90} < 3,3 \text{ mm}$) e de permeabilidade ($k_g > 1 \text{ cm/s}$), mas nenhum deles satisfaz o critério de colmatação ($O_{90} > 0,23 \text{ mm}$).

Note-se que, tal como refere Shukla (2002), para avaliar a possibilidade de colmatação do geotêxteis devem ser realizados ensaios hidráulicos que permitam avaliar a compatibilidade entre as dimensões de abertura dos geotêxteis e do solo retido.

Refira-se, ainda, que o critério de permeabilidade sugerido por Shukla (2002) e apresentado na Equação (4.4) também não seria verificado por nenhum dos geotêxteis ($O_{90} > 0,114 \text{ mm}$).

A solução a adoptar neste caso seria recorrer a geotêxteis (tecidos ou não tecidos) com maior dimensão característica de abertura.

Para finalizar, refira-se que o solo de Timor caracterizado experimentalmente, com a curva granulométrica apresentada na Figura 4.5, é um solo grosseiro (areia com seixo), sendo os geotêxteis usados como filtro nas situações em que é importante evitar o arrastamento de finos.

Capítulo 5

Considerações Finais

Os resultados do estudo, do trabalho de pesquisa e da campanha experimental efectuada na Faculdade Engenharia Universidade do Porto, demonstraram que os geossintéticos apresentam um elevado potencial de utilização em vários tipos de obras de construção Civil, nomeadamente de geotecnia.

O uso de geossintéticos pode abarcar diversas funções e diferentes aplicações: drenagem, filtragem, protecção, reforço, separação, controlo da erosão e barreira de fluidos. As aplicações que abrangem um período de vida longo são as mais comuns (30 a 60 anos ou mais), e por isso, a durabilidade dos geossintéticos é uma exigência importante que deve ser devidamente acautelada.

A drenagem em Timor Leste precisa ser estudada, planeada e articulada com outras actividades urbanas (abastecimento de água, rede esgotos, transporte publico, planos viários, instalações eléctricas, etc.) de forma a possibilitar que o desenvolvimento decorra de forma o mais harmonizada possível e de modo a garantir qualidade, durabilidade e sustentabilidade das construções.

Portanto, visando obviar as dificuldades de drenagem, erosões e outros problemas geotécnicos existentes em Timor Leste os geossintéticos são materiais dotados de um elevado potencial e seu o uso aconselhável, designadamente para o uso em sistemas de drenagem urbana sustentável e em locais sujeitos a erosões.

Alem disso, Timor Leste precisa de normas para seleccionar, identificar e controlar a qualidade dos produtos materiais de construção de forma objectiva, com base em ensaios laboratoriais, identificação e controlo de qualidade.

Concluído este trabalho, espera-se e prevê-se que esta tenha aplicação e continuidade contribuindo para o desenvolvimento futuro de Timor Leste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Brown, R. P. e Greenwood, J. H. (2002) "Practical guide to the assessment of the useful life of plastics" Rapra Technology Limited, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, U. K., p.180.
2. Giroud J. P. (1986), Geotextiles to Geosynthetic: A Revolution on Geotechnical Engineering. 3rd International Conference on Geotextiles, Viena, Austria.
3. Carneiro, J. R. (2009). Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental: a importância da incorporação de aditivos químicos. Dissertação de Doutoramento em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
4. Gomes, L. M. F. (2001) "Geotêxteis e suas aplicações. Seminário: A Indústria Têxtil nos Caminhos da Inovação Universidade da Beira Interior UBITEX. Covilhã" pp.10- 20.
5. Fernandes, M. M. (2006), "Mecânica dos Solos (Conceito e Principais Fundamentais, Volume 1) ", Faculdade de Engenharia da Universidade do porto.451p.
6. Gourc J. P. e Palmeira E. M. (1988) "Geossintéticos em Drenagem e Filtração". Tradução: Marianna J.A. Mendes, mestrado em Geotecnia pela Engenharia Civil, Universidade de Brasília.
7. Hazen, A. (1930). Water Suply. American Civil Engineering Handbook, John Wiley & Sons, New York, pp1444 – 1518.
8. Holtz, R.D., Christopher, B.R. e Berg, R.R., (1998), "Geosynthetic design and construction guidelines", National Highway Institute, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., report FHWA-HI-95-038, revisto em 1998, 394p.
9. IGS Portugal (2011) - <http://www.spgeotecnia.pt/igs/> (consultado em Maio 2011).
10. Ingold, T. S. (1994). Geotextiles and Geomembranes Manual. Elsevier advanced Technology, Oxford.
11. Koerner, R. M. (1998), "Designing with geosynthetics" Prentice_Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 4th edition, 761p.
12. Lopes, M. G. D. A, (2000), " Aspectos geotécnicos relacionados com o emprego de geossintéticos em aterros de resíduos sólidos urbanos", VII Congresso Nacional de Geotecnia Porto, 10 a 13 de Abril de 2000

“Professora Coordenadora do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa”, 1188p.

13. Lopes, M.L. (1992), “Muros Reforçados com Geossintéticos, Dissertação para Doutoramento em Engenharia Civil”, FEUP, 335p.
14. Lopes, M. L. (1998). “Aplicação de geossintéticos em engenharia civil”, Texto de apoio à disciplina com o mesmo título, FEUP.
15. Lopes, M.L. (2010) “Os Geossintéticos em Engenharia Civil. Textos de Apoio à Disciplina de Aplicação de Geossintéticos em Engenharia Civil do LEC. Universidade do Porto”, FEUP, Porto.
16. Morais, L. M. F. (2010), “Efeitos de Escala Associados à Modelação Física de Geocontentores”, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, 120p.
17. Moreira, S. P. C.N. M. (2009) “Efeitos da Danificação mecânica de geossintéticos no comportamento como filtro em sistemas de cobertura de estruturas de confinamento de Resíduos”, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto”, Porto, 141p.
18. NP EN ISO 9864 (2006). “Geossintéticos - Determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos relacionados” (versão portuguesa da norma EN ISO 9864: 2005).
19. NP EN ISO 9863-1 (2006). “Geossintéticos. Determinação da espessura a pressões especificadas. Parte 1: Camadas simples” (versão portuguesa da norma EN ISO 9863-1:2005).
20. NP EN ISO 12236:2008. Geossintéticos. Ensaio de punçoamento estático (ensaio CBR), Instituto Português da Qualidade.
21. NP EN ISO 10319 (2005). “Geotêxteis. Ensaio de tracção em tiras largas” (versão portuguesa da norma EN ISO 10319:1996).
22. NP EN ISO 11058 (2003). “Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação das características de permeabilidade à água normal ao plano, sem confinamento” (versão portuguesa da norma EN ISO 11058: 1999).
23. NP EN ISO 13433:2008. Geossintéticos. Ensaio de perfuração dinâmica, Instituto Português da Qualidade.

24. NP EN ISO 12956 (2006). "Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da dimensão característica da abertura" (versão portuguesa da norma EN ISO 12956: 1999).
25. NP EN ISO 9862 (2007). "Geossintéticos. Amostragem e preparação de provetes" (versão portuguesa da norma EN ISO 9862: 2005).
26. Paula, A. M. V. (2003), "Danificação durante a instalação – avaliação laboratorial da influência no comportamento dos geossintéticos", Dissertação de mestrado em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 155p.
27. Pinho Lopes, M. & Lopes, M.L. (2010), "A Durabilidade dos Geossintéticos", FEUP edições, 294p.
28. Pinto, A. E. S. (2005), "Aplicação de Geossintéticos em Linhas-Férreas Estudo Laboratorial dos Fenómenos de Danificação Durante a Instalação e Abrasão nos Materiais", Dissertação de Mestrado em Vias Comunicação, FEUP, 168p.
29. Santos, M. F. (2007), "As principais funções dos geossintéticos" Doutor em Engenharia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV-MG) além de possuir Mestrado em Gestão Qualidade das Construções pela Universidade Salvador (UNIFACS).
30. Silva, C. A. (2007) "Ensaio de Transmissibilidade em Geocompósitos para Drenagem", Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Brasília, 103p.
31. Shukla, S. K. (2002). "Fundamentals of geosynthetics", Capítulo 1 do livro "Geosynthetics and their applications", Thomas Telford Publishing, London E14 4JD, p. 154.
32. TERZAGHI, K.; PECK, R. B. Soil mechanics in engineering practice. New York: John Wiley & Sons, 1948. 566p.
33. Watn, A. e Chew, S.H. (2002). "Geosynthetic damage - from laboratory to field", Keynote Lecture, Proceedings of the 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, France, Vol. 4.
34. Vieira, C. F. S. (2008). Muros e taludes de solo reforçado com geossintéticos. Comportamento sísmico e metodologias de dimensionamento, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 575 p.
35. Voskamp, I. W. (2011). "Geosynthetics in Drainage Applications". Mini-lecture IGS.

36. <http://www.aecweb.com.br> e <http://www.geomaks.com> obra: PanAmericano 2007 (consultado em Maio 2011).
37. <http://www.bidim.com> (consultado em Maio 2011).
38. <http://www.revistatechne.com.br> (consultado em Maio 2011).
39. <http://www.roma.ind.br/geossintetico/geocomposto-drenagem.html> (consultado em Maio 2011).
40. <http://mundodaimpermeabilização.blogspot.com/2009/geomembranas.html> (consultado em Maio 2011).
- [http://www.ufsm.br/engcivil/Material Didatico/TRP1003_mecanica dos solos/unidade 3.pdf](http://www.ufsm.br/engcivil/Material%20Didatico/TRP1003_mecanica_dos_solos/unidade_3.pdf) (consultado em