

NORMALIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE GEOSSINTÉTICOS

STANDARDIZATION AND DESIGN OF GEOSYNTHETICS

Barroso, Madalena C. P., *Bolseira de Investigação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil*
Lopes, M. Graça D. A., *Investigadora Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

RESUMO - A aplicação de geossintéticos nos domínios da geotecnia e da engenharia do ambiente teve um incremento significativo nos últimos anos. Para caracterização destes produtos, muitos países elaboraram normas de ensaio que, sendo distintas, produzem valores diferentes para a mesma propriedade. Tal facto dificulta a comparação de produtos de diferentes origens, o seu controlo de qualidade, assim como, o desenvolvimento de métodos de dimensionamento únicos. Neste artigo, tecem-se algumas considerações sobre a normalização de geossintéticos e apresentam-se as metodologias seguidas no dimensionamento destes materiais.

ABSTRACT - The application of geosynthetics in civil engineering and environmental domains has had an enormous increase over the last years. In order to characterise these products several countries developed test methods, which for the same property produces different values. This fact makes difficult the comparison between materials from different sources, its quality control, as well as, the development of common design methods. In this paper an approach is given for the geosynthetics standardization and the design methods used for these materials are presented.

1 - INTRODUÇÃO

A utilização de geossintéticos, em alternativa aos materiais tradicionais, tem cada vez maior implantação, em obras de geotecnia e do ambiente. Contrariamente à maior parte dos materiais, os geossintéticos possuem um vasto campo de aplicação, tornando difícil a escolha dos métodos de ensaio, que melhor se adaptam, ou simulam o comportamento destes produtos, nas suas múltiplas funções.

Face a este problema, muitos países desenvolveram normas de ensaio (AFNOR, ASTM, BS, DIN, etc.)¹ assim como alguns organismos internacionais (EDANA, ISO, AIPCR, RILEM)², porém, a experiência mostra que o comportamento dos materiais depende muito das condições de ensaio (tamanho do provete, temperatura, equipamento, etc.). Assim, os resultados dos ensaios, provenientes de laboratórios diferentes, ou realizados segundo normas diferentes, não são comparáveis, conduzindo a situações dúbias, pelo que um dado produto pode apresentar valores diferentes para uma mesma propriedade.

¹ AFNOR - Association Française de Normalisation (França)

ASTM - American Society for Testing and Materials (Estados Unidos)

BS - British Standards (Reino Unido)

DIN - Deutsches Institut für Normung (Alemanha)

² EDANA - European Disposables and Nonwovens Association

ISO - International Organization for Standardization

AIPCR - Association Internationale Permanente des Congrès de la Route

RILEM - Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherche sur les Matériaux et les Constructions

Esta situação é indesejável, quer para a verificação de conformidade dos produtos, e, portanto, para o seu controlo de qualidade, quer para o seu dimensionamento.

No âmbito do controlo de qualidade dos geossintéticos, Portugal apresenta ainda carências, apesar de se vislumbrarem sinais de uma crescente consciencialização de produtores e consumidores para o problema. A filosofia actual assenta no princípio básico da atribuição de responsabilidade ao executante, fabricante ou fornecedor de serviços, que deve evidenciar o nível de qualidade do que executa, fabrica ou fornece, cabendo ao cliente ou ao seu representante a execução e o acompanhamento do respectivo programa de qualidade.

Relativamente ao dimensionamento, os vários métodos existentes continuam a recorrer a diferentes normas de ensaio, para avaliação das propriedades dos geossintéticos, o que dificulta significativamente o trabalho dos projectistas.

2 - NORMALIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS

A criação da União Europeia permitiu o desenvolvimento de um mercado comum, onde pessoas e bens podem circular livremente. Assim, no que diz respeito aos materiais de construção, nos quais os geossintéticos se incluem, é da máxima importância a harmonização de requisitos, critérios de dimensionamento e normas de ensaio.

O Comité Europeu de Normalização (CEN) foi o organismo nomeado para a elaboração de normas europeias. Do CEN fazem parte dezoito países da União Europeia e da EFTA (European Free Trade Association), nomeadamente: Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça, e Reino Unido. Estruturalmente compreende uma assembleia geral, um conselho de administração e um departamento técnico que, por intermédio das suas divisões sectoriais e da sua comissão de programação (PC), gere propostas para elaboração de normas. Tem, também, por missão conferir a cada um dos Comités Técnicos (TC) um domínio preciso de intervenção.

A elaboração de uma norma europeia é um processo complexo, que compreende diversas fases. Inicia-se com a elaboração, no seio do TC, de um documento designado por anteprojecto de norma (WI), que sucessivamente passa a projecto de norma (prEN xxx), inquérito e aprovação por voto formal (EN xxx). Existem também normas experimentais, que passam por todas as fases referidas, designando-se por ENV. Quando, relativamente a uma norma, existe concordância entre a ISO e o CEN, ela é adoptada pelos dois organismos, sendo nesse caso indicada por EN ISO.

Sublinhe-se que as normas europeias, uma vez aprovadas, devem ser adoptadas pelos diferentes países, substituindo obrigatoriamente, as normas nacionais, sobre o mesmo assunto.

No domínio dos geossintéticos, em 1989, o CEN criou o TC 189 (Geotêxteis e produtos afins), que se dedica, por um lado, à harmonização de normas de ensaio de geotêxteis e produtos afins e, por outro, à elaboração de especificações com vista ao dimensionamento destes materiais. Posteriormente, o TC 189 e o TC 254 (Revestimentos de impermeabilização flexíveis) formaram um grupo (JWG TC189/TC254), que se ocupa das geomembranas.

O TC 189 compreende cinco grupos de trabalho (WG):

- WG1 - Requisitos gerais, e específicos e critérios de comportamento
- WG2 - Terminologia, identificação e amostragem
- WG3 - Ensaio mecânicos
- WG4 - Ensaio hidráulicos
- WG5 - Durabilidade

Por sua vez, o trabalho do JWG TC189/TC254 aborda os seguintes aspectos:

- PG1 - Canais, reservatórios e barragens
- PG2 - Túneis e estruturas subterrâneas
- PG3 - Confinamento de resíduos sólidos e líquidos
- PG4 - Produtos (Geomembranas poliméricas e betuminosas, e geocompósitos)
- PG5 - Termos e definições

À data da criação dos Comitês referidos, Portugal não possuía normas sobre geossintéticos, tendo somente o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) desenvolvido diversos procedimentos de ensaio, para a caracterização dos referidos materiais. Tais procedimentos de ensaio têm vindo a ser substituídos por normas europeias, já que, conforme mencionado, o CEN regulamenta que os países membros devem contribuir para a uniformização de normas, cessando quaisquer desenvolvimentos internos.

Nos quadros 1 e 2, apresentam-se respectivamente para os geotêxteis e para as geomembranas, as normas de ensaio europeias actualmente existentes, ou em fase de discussão, e, também, as normas de diferentes países. Como pode constatar-se, no que se refere aos métodos de ensaio para caracterização das propriedades dos geossintéticos, a harmonização de normas está ainda longe de terminar. Tal facto dificulta significativamente o desenvolvimento de métodos de dimensionamento, que sejam reconhecidos pelos diferentes países.

3 - MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

Segundo Ingold (1994), o dimensionamento de geossintéticos pode fazer-se através de métodos empíricos, métodos analíticos, ou da combinação de ambos.

3.1 - Métodos empíricos

Nestes métodos, o dimensionamento faz-se com base em especificações técnicas, onde são indicados valores críticos (mínimos/máximos), para as propriedades dos geossintéticos, exigidos nas diversas aplicações. A escolha do geossintético é feita comparando os valores das propriedades dos produtos, apresentados em fichas técnicas, e os valores recomendados nas especificações técnicas, desde que determinados segundo a mesma norma.

A utilização deste método deve ser cautelosa, uma vez que, para além de os valores indicados nas especificações técnicas serem diferentes, de país para país e até no próprio país, de estado para estado (EUA), estes são geralmente valores mínimos, enquanto que os valores apresentados, pelos produtores, são geralmente valores médios do lote. O valor médio do lote (average lot value), para uma dada propriedade, resulta da média de vários ensaios, efectuados sobre um dado lote, o que pode significar a compilação de centenas de ensaios, realizados ao longo de meses ou até anos de produção. Trata-se, pois, de um valor consideravelmente mais elevado do que o valor mínimo. Outro valor também citado, pelos produtores, é o valor médio do rolo (average roll value), que traduz a média dos valores obtidos a partir dos ensaios efectuados num dado rolo.

A tendência actual vai no sentido das especificações técnicas recomendarem, como valor crítico, o mínimo dos valores médios do rolo (minimum average roll value), que consiste no valor mínimo obtido a partir duma série limitada de valores médios do rolo. De um ponto de vista estatístico, este valor é cerca de dois desvios padrão menor do que o valor médio do lote (fig. 1).

Quadro 1 - Normas de ensaio para geotêxteis e produtos afins

Propriedades		Normas	
		Normas de diferentes países	Normas europeias (Jan./1997)
Amostragem e preparação de provetes		-	EN 963
Identificação <i>in situ</i>		-	prEN ISO 10320
Espessura		NF G 38-012 ASTM D 1777 ISO 9863	EN 964-1/2
Massa Surfática (gramagem)		NF G 38-013 ASTM D 3776 DIN 53885/1 ISO 9864	EN 965
Resistência à tracção/extensão		NF G 38-014 ASTM D 4595/ ASTM D 5034 ISO 10319	EN ISO 10319
Resistência à tracção das juntas		-	EN ISO 10321
Resistência ao punçoamento	Estático	ASTM D 3787 DIN 54307 NF G 38-019	EN ISO 12236
	Dinâmico	BS 6906 parte 6	EN 918
Resistência ao rasgamento		NF G 38-015 ASTM D 4533 ASTM D 1117 ISO 9073-4	—
Resistência ao desgaste		ASTM D 1175 DIN 5385	prEN ISO 13427
Fluência em tracção		-	prEN ISO 13431
Fluência em compressão		-	ENV 1897
Distribuição dos poros (porometria)	Via húmida	NF G 38-017 SN 640550 DIN 58935	prEN ISO 12956
	Via seca	ASTM D 4751 BS 6906 parte 2	—
Permissividade	sob-pressão	DIN 53936 parte 1 SN 640550	—
	carga hidráulica constante	NF G 38-016 BS 6906 parte 3	prEN 12040
	carga hidráulica variável	DIN 53936 parte 2	
Transmissividade		NF G 38-018 ASTM D 4716 BS 6906 parte 7	prEN ISO 12958
Resistência à meteorização		-	ENV 12224
Resistência à degradação biológica		-	ENV 12225
Caracterização após envelhecimento		-	ENV 12226
Colocação/recolha de amostras		-	prEN ISO 12129
Resistência à hidrólise		-	prENV 12447

Quadro 2 - Normas de ensaio para geomembranas

Propriedades	Normas	
	Normas de diferentes países	Normas europeias (Jan./ 1997)
Espessura	ASTM D 3767 UNI 8202/6	EN 12464-1 prEN 1848-2
Massa Surfática	ASTM D 1910	EN 12465 prEN 1849-2
Resistência à tracção/extensão	ASTM D 412 ASTM D 638 ASTM D 882 DIN 53455 ISO R 527	prEN 12113-2
Resistência ao punçoamento (CBR)	DIN 54307 UNI 8279/14	EN ISO 12236
Resistência das juntas (peel e shear)	ASTM D 4437 ASTM D 4545 NF P 84-502-1 NF P 84-502-2 UNI 8202/30	prEN 1851-2
Resistência ao rasgamento	ASTM D1004 ASTM D 2263 DIN 53356 ISO 34 UNI 8202/9	prEN 12112-2
Permeabilidade ao vapor de água	DIN 53122-1 DIN 53122-2 UNI 8202/23	prEN 1931

Em síntese, quando se utiliza este método de dimensionamento tem que se ter em atenção que apenas são válidas comparações, entre os valores apresentados nas especificações e nas fichas técnicas dos produtores, se se fizer referência ao mesmo conceito (valor médio do lote, valor médio do rolo ou mínimo dos valores médios do rolo).

A título exemplificativo, apresentam-se duas especificações, utilizando respectivamente normas americanas e normas francesas, para o dimensionamento de geotêxteis.

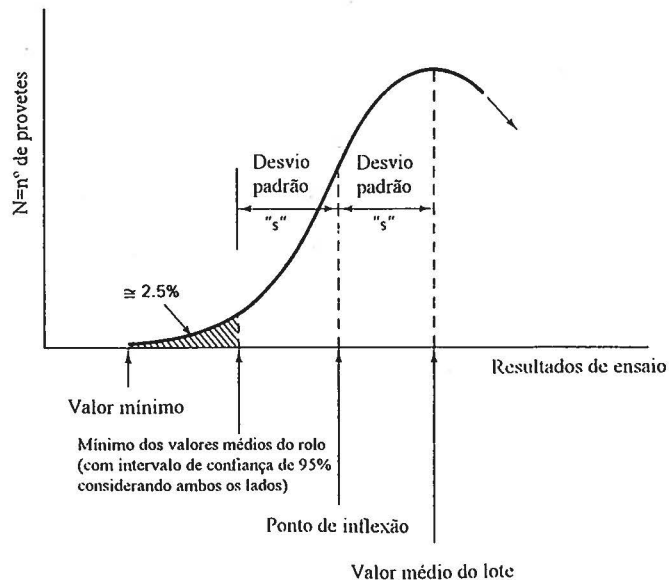


Fig. 1 - Relação entre os valores indicados nas especificações técnicas e os valores fornecidos pelos produtores (Koerner, 1990)

3.1.1 - Especificações Americanas

Nos EUA, existe uma comissão conjunta da AASHTO - AGC - ARTBA ³, também conhecido por Task Force 25, que elaborou especificações técnicas, onde são indicados os requisitos dos geossintéticos para diferentes aplicações, usando, para o efeito, uma combinação de propriedades (avaliadas com base em normas ASTM).

No caso particular dos geotêxteis a utilizar em drenos longitudinais de estradas, os valores especificados constam do quadro 3.

Quadro 3 - Especificações do Task Force 25 (Ingold, 1994)

Propriedade	Norma	Classe A ⁽¹⁾	Classe B ⁽¹⁾
Resistência à tracção (N)	ASTM D 4632	800	355
Resistência à tracção das juntas (N)	ASTM D 4632	710	310
Resistência à penetração (N)	ASTM D 4833	355	110
Resistência ao rebentamento (MN/m ²)	ASTM D 3786	2,0	0,9
Resistência ao rasgamento (N)	ASTM D 4533	220	110
Permeabilidade vertical (m/s)	ASTM D 4491	$K_{\text{geotêxtil}} > K_{\text{solo}}$	$K_{\text{geotêxtil}} > K_{\text{solo}}$
Porometria (mm)	ASTM D 4751	(2)	(2)

(1) Classe A: solo grosseiro, material drenante britado, compactação pesada, ou valas de drenagem com profundidade superior a 3 m.

Classe B: solo fino, material drenante rolado, compactação leve, ou valas de drenagem com profundidades inferiores a 3 m.

(2) $O_{95} < 0,6$ mm se $d_{50} > 0,075$ mm
 $O_{95} < 0,3$ mm se $d_{50} < 0,075$ mm

3.1.2 - Especificações Francesas

O Comité Francês de Geotêxteis e Geomembranas (CFGG) publicou, entre 1981 e 1986, sete volumes de recomendações, para diversas aplicações de geotêxteis. Trata-se de tabelas, onde para cada aplicação, se definem as classes de geotêxteis requeridas. A caracterização dos produtos foi feita através de cinco propriedades, nomeadamente, resistência à tracção, extensão na rotura, rasgamento, permeabilidade e porometria. Para cada propriedade são definidas doze classes. Esta definição é não-linear e as normas de ensaio utilizadas para classificar os produtos foram normas francesas.

Para o caso particular do emprego de geotêxteis em estradas, o CFGG definiu cerca de noventa casos típicos, resultantes da combinação dos seguintes parâmetros: tipo de obra, tráfego previsto, profundidade tolerada para as rodeiras, espessura e qualidade dos materiais de aterro e natureza do solo de suporte.

No quadro 4, apresenta-se um exemplo, onde para os parâmetros aí considerados, se indicam quais as classes de propriedades recomendadas para geotêxteis. Uma vez conhecidas as classes, utiliza-se o quadro 5, para obtenção dos valores das respectivas propriedades.

³ AASHTO: Americana Association of State Highway Official
AGC: Associated General Contractors
ARTBA: American Road and Transportation Builders Association

Quadro 4-Exemplo de uma grelha de dimensionamento para uma estrada não revestida (CFGG, 1981)

Parâmetros de dimensionamento												
Tipo de obra	estrada não revestida											
Tipo de tráfego	veículos ligeiros											
Profundidade admissível das rodeiras	5 cm											
Natureza do solo de suporte	CBR < 2% e $60 > c_u > 10 \text{ kN/m}^2$											
Qualidade do material de aterro	seixo limpo com $20 \text{ mm} < d < 250 \text{ mm}$											
Espessura do material de aterro	30 a 40 cm											
Propriedades	Classes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Resistência à tracção	1 ^(a)											
	2 ^(b)											
Extensão na rotura	3 ^(a)											
	4 ^(b)											
Resistência ao rasgamento	5 ^(a)											
	6 ^(b)											
Permissividade	7											
Transmissividade	8											
Porometria	9											

(a) Sentido de fabrico (b) Sentido normal ao fabrico

Nota: A sombreado indicam-se as classes de propriedades **não recomendadas**. O sombreado mais escuro refere-se a casos em que se prevejam deformações significativas do geotêxtil aquando da sua aplicação em obra.

Quadro 5-Valores das propriedades dos geotêxteis para as diferentes classes (CFGG, 1981)

Propriedades dos geotêxteis													
		Classes											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Resistência à tração (kN/m) NF G 38014	1 ^(a)		4	8	12	16	20	25	30	40	50	75	100
	2 ^(b)												
Extensão na rotura (%) NF G 38014	3 ^(a)		8	11	15	20	25	30	40	50	60	80	100
	4 ^(b)												
Resistência rasgamento (kN) NF G 38015	5 ^(a)		0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	1,7	2,3	3	4	6
	6 ^(b)												
Permissividade (s ⁻¹) NF G 38016	7		10 ⁻²	2x10 ⁻²	5.10 ⁻²	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	50
Transmissividade (m ² /s) NF G 38018	8		10 ⁻⁸	2.10 ⁻⁸	5.10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	2.10 ⁻⁷	5.10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	2.10 ⁻⁶	5.10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	5.10 ⁻⁵
Porometria, O ₉₅ (µm) NF G 38017	9		600	400	200	150	125	100	80	60	40	20	10

(a) Sentido de fabrico (b) Sentido normal ao fabrico

Nota: A sombreado indicam-se os valores **não recomendados**, para o exemplo apresentado no quadro anterior.

3.2 - Métodos analíticos

Os métodos analíticos recorrem a um dimensionamento por função. Consiste em definir a(s) função(ões) principal que o geossintético vai desempenhar, numa aplicação específica e, para o efeito, calcular quais os valores requeridos, para as propriedades envolvidas nessa função. A selecção do geossintético é feita com base no factor de segurança (FS), definido da seguinte forma (Koerner, 1990):

$$FS = \frac{P_{adm}}{P_{req}}, \text{ onde} \quad (1)$$

P_{adm} = valor admissível para uma dada propriedade (baseado em ensaios laboratoriais, que modelem a realidade)

P_{req} = valor requerido para uma dada propriedade (baseado em critérios de dimensionamento, que modelem a realidade)

Se o FS for superior a 1, então o geossintético satisfaz os critérios de selecção. De um modo geral, este processo compreende as seguintes etapas:

- (1) definir a função principal que o geossintético vai desempenhar;
- (2) estimar um FS admissível, com base na previsão da situação mais desfavorável a que o geossintético vai estar sujeito;
- (3) determinar P_{req} para(s) a(s) propriedade(s) do geossintético, inerente(s) à função principal que vai desempenhar;
- (4) escolher vários produtos, com P_{adm} maiores que P_{req} , para a propriedade em questão;
- (5) calcular o FS com base na relação entre o valor admissível (P_{adm}), para a propriedade considerada, e o valor requerido (P_{req});
- (6) verificar se o FS obtido satisfaz o FS admissível.
- (7) optar pelo produto que apresentar menor preço, após verificar se nenhuma outra função é mais crítica.

No procedimento descrito, P_{adm} é, na maior parte dos casos, obtido a partir de fichas técnicas fornecidas pelos produtores. Porém, os ensaios laboratoriais utilizados para caracterizar os produtos, raramente simulam a realidade a que o geossintético vai estar sujeito, uma vez que se tratam de ensaios índice e não de comportamento. O desenvolvimento de ensaios de comportamento, para cada caso particular, tornaria o dimensionamento dos materiais demasiado oneroso, pelo que, Koerner (1990) recomenda a reavaliação de P_{adm} , através de factores de segurança parciais, de acordo com a seguinte expressão:

$$P_{adm} = P_{ens.lab.} \left(\frac{1}{FS_1 \times FS_2 \times FS_3 \times \dots} \right), \text{ onde} \quad (2)$$

P_{adm} = valor a utilizar na determinação do FS

$P_{ens.lab.}$ = valor obtido a partir de ensaios índice

$FS_1, FS_2, \text{ etc.}$ = factores de segurança parciais

Os valores numéricos a atribuir aos factores de segurança parciais dependem da aplicação do geossintético, e reflectem a influência de parâmetros como: danos de instalação, fluência dos materiais, degradação química e biológica, etc..

Relativamente ao P_{req} , a sua determinação depende da aplicação específica do geossintético e das características dos materiais envolventes, pelo que, cada caso deve ser analisado em particular.

3.3 - Recomendações do CEN

Se, no que diz respeito à harmonização de normas de ensaio, o trabalho do CEN é difícil, relativamente ao estabelecimento de especificações, este complica-se substancialmente. Com efeito, até à data, as propostas em discussão não passaram, ainda, de projectos de normas, e o seu desenvolvimento futuro não é assunto pacífico. A tendência actual aponta no sentido de se proceder à definição das características determinantes dos geossintéticos, para as diferentes aplicações, e indicar sobre os métodos de ensaio recomendados para avaliar as respectivas propriedades.

A título de exemplo, apresenta-se no quadro 6, as recomendações do CEN para o caso da utilização de geotêxteis em obras de terra, fundações e estruturas de suporte.

Quadro 6 - Proposta do CEN para geotêxteis e produtos afins a utilizar em obras de terra, fundações e estruturas de suporte (prEN 00189040, 1996)

Características	Método de ensaio	Função		
		Separação	Reforço	Filtração
Resistência à tracção	EN ISO 10319	A	A	S
Extensão na rotura	EN ISO 10319	A	A	A
Resistência à tracção das juntas	EN ISO 10321	S	S	S
Danos durante a instalação	00189010	A	A	A
Punçoamento estático	EN ISO 12236	A	-	-
Atrito	00189015	S	A ⁽¹⁾	S
Fluência em tracção	prEN ISO 13431	-	A	-
Punçoamento dinâmico	EN 918	A	A	A
Permissividade	prEN 12040	- ⁽²⁾	- ⁽²⁾	A
Porometria	prEN ISO 12956	A	-	A
Resistência à meteorização	ENV 12224	S	S	S
Resistência à degradação química	00189027/29 /31	S	S	S
Resistência à degradação biológica	ENV 12225	S	S	S

A - importante para todas as condições de utilização

S - importante para utilizações em condições específicas

Notas: (1) Compatibilidade com os materiais adjacentes (por ex. solos); (2) Deve ser considerada se o produto se destinar às funções de separação ou reforço em presença de líquidos.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rápido desenvolvimento dos geossintéticos trouxe consigo uma grande variedade de métodos de ensaio e de dimensionamento. O facto de não existir consenso geral, sobre os valores das propriedades a serem inseridas nas especificações técnicas, foi preponderante na criação dos TC189 e JWG TC189/TC254, que não se limitam à harmonização de normas de ensaio, mas que se interessam, também, pela definição dos requisitos gerais dos geossintéticos, para as diferentes aplicações, indo, assim, mais longe do que muitos organismos de normalização.

A publicação de normas europeias tem um impacto muito positivo no mercado europeu, uma vez que a existência de métodos de ensaio e especificações técnicas, comuns aos diferentes países, permite uma mais

justa concorrência entre os produtores, garantindo, simultaneamente, uma maior qualidade das obras onde os geossintéticos são aplicados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CFGG (1981). Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans les voies de circulation provisoires, les voies à faible trafic et les couches de forme. 39 pp.

INGOLD, T.S. (1994). The Geotextiles and Geomembranes Manual. Elsevier Science Publishers Ltd, Oxford, 610 pp.

KOERNER, R.M. (1990). Designing with geosynthetics. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 652 pp.

prEN 00189040 (1996). Required characteristics for geotextiles and geotextiles-related products used in earthworks, foundations and retain structures.

RIGO, J. M. e DELMAS, P. (1993). The European Standardization on Design and Testing of Geosynthetics. Proceedings of Geosynthetics'93 Conference, Vancouver, vol.2, pp 1093-1104.