

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE SEGURANÇA A USAR NO DIMENSIONAMENTO DE GEOTÊXTEIS

## DETERMINATION OF SAFETY FACTORS FOR DESIGNING WITH GEOTEXTILES

Carneiro, José Ricardo; *Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, rcarneir@fe.up.pt*  
Rosete, Ana; *Faculdade de Engenharia; Universidade do Porto, Portugal, anarosete@fe.up.pt*  
Paula, António Miguel; *Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, mpaula@ipb.pt*  
Pinho-Lopes, Margarida; *Universidade de Aveiro, Portugal, mlopes@ua.pt*  
Almeida, Paulo Joaquim; *Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Portugal, pjalmeid@fc.up.pt*  
Lopes, Maria de Lurdes; *Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, lcosta@fe.up.pt*

### 1 - INTRODUÇÃO

Nas suas aplicações, os geossintéticos podem estar expostos a vários agentes de degradação capazes de afetar negativamente o seu desempenho a curto e a longo prazo. Os tipos de degradação mais comuns incluem: a danificação durante a instalação (DDI), a ação de cargas estáticas (fluência), fenómenos de abrasão, ação de espécies químicas existentes nos solos (soluções ácidas e/ou alcalinas, contaminantes químicos), termo-oxidação, ação de agentes atmosféricos (radiação solar e outros agentes climatéricos) e ação de agentes biológicos.

No dimensionamento de estruturas com geossintéticos são frequentemente introduzidos coeficientes de segurança parciais para representar o efeito dos diferentes agentes de degradação nas propriedades dos materiais. Cada coeficiente de segurança parcial representa normalmente uma diminuição de resistência devida à acção de um, ou mais, agentes de degradação.

### 2 - DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

Neste trabalho, foram determinados vários coeficientes de segurança a usar no dimensionamento de dois geotêxteis de polipropileno (PP) (um tecido com  $320 \text{ g.m}^{-2}$  e um não-tecido com  $800 \text{ g.m}^{-2}$ ). Para tal, os materiais foram expostos a vários ensaios de degradação: DDI, abrasão, rotura em fluência, imersão em soluções ácidas e alcalinas, hidrólise, termo-oxidação e exposição aos agentes climatéricos.

A DDI dos geotêxteis foi avaliada por ensaios laboratoriais (de acordo com a norma EN ISO 10722, com a exceção da carga máxima: 900 kPa). Os geotêxteis foram colocados entre duas camadas de um material granular (*corundum*) e foram submetidos a uma carga cíclica entre 5 e 900 kPa com uma frequência de 1 Hz, durante 200 ciclos. Para o geotêxtil tecido, foram também realizados ensaios de DDI de campo (onde se procedeu à instalação, seguida de remoção do material). Nesses ensaios (aterros temporários), foram usados dois solos (um "tout-venant" e um solo residual de granito) e diferentes energias de compactação (90% e 98% do Proctor normal).

Os ensaios de abrasão foram efectuados pela norma EN ISO 13427; os geotêxteis foram friccionados por um abrasivo (de superfície P100) durante 750 ciclos, sob condições controladas de pressão (6 kPa). Estes ensaios foram apenas realizados para o geotêxtil não-tecido (amostras intactas e amostras danificadas de acordo com a norma EN ISO 10722).

Os ensaios de rotura em fluência foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na norma EN ISO 13431. Estes ensaios foram apenas efectuados para o geotêxtil tecido (amostras intactas e após os ensaios de DDI de campo).

O Quadro 1 resume as principais características dos ensaios de imersão em soluções ácidas e alcalinas, hidrólise, termo-oxidação e envelhecimento climatérico (ensaios realizados para ambos os geotêxteis).

Quadro 1 – Principais Características dos Ensaios de Degradação Química e de Envelhecimento Climatérico.

Ensaio	Norma	Principais características
Resistência a líquidos	EN 14030	A: 3 dias, 60 °C, $\text{H}_2\text{SO}_4$ ( $0,025 \text{ mol.L}^{-1}$ ), $\text{pH} \approx 1,6$ B: 3 dias, 60 °C, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ( $2,5 \text{ g.L}^{-1}$ ), $\text{pH} \approx 12,4$
Hidrólise	EN 12447	28 dias, 95°C, $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{pH} \approx 7$
Termo-oxidação	NP EN ISO 13438	A1: 14 dias, 110 °C A2: 28 dias, 110 °C
Envelhecimento climatérico	NP EN 12224	50 $\text{MJ.m}^{-2}$ de radiação UV (290-400 nm)

Os danos sofridos pelos geotêxteis nos ensaios de DDI e abrasão foram avaliados através de ensaios de tração-extensão de acordo com a norma NP EN ISO 10319; as extensões foram medidas com recurso a um vídeo-extensómetro. Os danos ocorridos durante os ensaios de imersão em líquidos, termo-oxidação e envelhecimento climatérico foram avaliados por ensaios de tração-extensão segundo as normas NP EN ISO 13934-1 (para o geotêxtil tecido) ou NP EN 29073-3 (para o geotêxtil não-tecido).

Os coeficientes de segurança parciais para o efeito da DDI, abrasão, imersão em líquidos, termo-oxidação e envelhecimento climatérico foram determinados dividindo a resistência à tracção das amostras intactas pela resistência à tracção das amostras expostas aos ensaios de degradação. O coeficiente de segurança parcial para a rotura em fluência ( $CS_{FLU}$ ) foi obtido pela seguinte expressão:

$$CS_{FLU} = \frac{F_{1 \text{ minuto}}}{F_{30 \text{ anos}}} \quad [1]$$

Onde,  $F_{1 \text{ minuto}}$  é a carga de rotura após 1 minuto e  $F_{30 \text{ anos}}$  é a carga de rotura ao fim de 30 anos.

### 3 - PRINCIPAIS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os coeficientes de segurança parciais obtidos (para os diferentes tipos de degradação) nos vários ensaios normalizados estão resumidos no Quadro 2.

Quadro 2 – Coeficientes de Segurança Parciais Obtidos nos Ensaios Normalizados.

Geotêxtil	$CS_{DDI}$	$CS_{ABR}$	$CS_{FLU}$	$CS_A$	$CS_B$	$CS_{HID}$	$CS_{TO \ 14D}$	$CS_{TO \ 28D}$	$CS_{EC}$
Tecido	2,31	ND	1,75	1,02	1,06	1,02	1,00	1,00	1,10
Não-tecido	1,28	1,06	ND	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

(*DDI* – danificação durante a instalação; *ABR* – abrasão; *FLU* – rotura em fluência; *A* – meio ácido:  $H_2SO_4$ ; *B* – meio básico:  $Ca(OH)_2$ ; *HID* – hidrólise; *TO* – termo-oxidação; *EC* – envelhecimento climatérico; *ND* – não determinado)

Os coeficientes de segurança parciais relativos aos efeitos da degradação química (imersão em soluções ácidas e alcalinas, hidrólise e termo-oxidação) e dos agentes climatéricos foram próximos da unidade (a maior exceção ocorreu no  $CS_{EC}$  do geotêxtil tecido: 1,10). Em geral, ambos os geotêxteis mostraram ter uma boa resistência à acção destes agentes, estando certamente protegidos (por aditivos químicos, como estabilizantes UV e antioxidantes) contra este tipo de degradação. De facto, na ausência de estabilização química adequada, os geotêxteis de PP possuem baixa resistência à termo-oxidação e ao envelhecimento climatérico.

No geotêxtil tecido, os coeficientes de segurança parciais mais elevados foram obtidos para os efeitos da DDI ( $CS_{DDI}$  de 2,31) e da rotura em fluência ( $CS_{FLU}$  de 1,75). No caso do geotêxtil não-tecido, a DDI foi a responsável pelo coeficiente de segurança parcial mais elevado (1,28) (no entanto, não foram realizados ensaios de rotura em fluência para este material); o efeito da abrasão não foi muito significativo ( $CS_{ABR}$  de 1,06).

Os coeficientes de segurança obtidos nas exposições sucessivas (1) à DDI em campo e rotura em fluência (para o geotêxtil tecido) e (2) à DDI e abrasão (para o geotêxtil não-tecido) foram diferentes dos obtidos pela sobreposição dos efeitos individuais dos dois agentes e/ou tipos de degradação (exemplo no Quadro 3). Assim, é importante avaliar as interações existentes entre os diferentes agentes de degradação.

Quadro 3 – Geotêxtil Tecido:  $CS$  Parciais para a DDI e Rotura em Fluência.

$CS_{DDI}$ (TV, 98% PN)	$CS_{FLU}$ (Intacto)	$CS_{DDI+FLU}$ (Exposição sucessiva)	$CS_{DDI+FLU}$ (Sobreposição*)
2,94	1,75	11,25	5,14

\*obtido multiplicando o  $CS_{DDI}$  pelo  $CS_{FLU}$  (determinados em separado)  
(TV – "tout-venant"; PN – Proctor normal)

### AGRADECIMENTOS

Fundação para a Ciência e a Tecnologia (projeto de investigação PTDC/ECM/099087/2008).