

## **EFEITO DA DANIFICAÇÃO MECÂNICA SOB CARGA REPETIDA E DA ABRASÃO NO COMPORTAMENTO DE UM GEOTÊXTIL NÃO-TECIDO**

### **EFFECT OF MECHANICAL DAMAGE UNDER REPEATED LOADING AND ABRASION ON THE BEHAVIOUR OF A NONWOVEN GEOTEXTILE**

Almeida, Filipe, *Construct-Geo, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, filipe.almeida@fe.up.pt*

Carlos, David Miranda, *Construct-Geo, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, davidmc@fe.up.pt*

Carneiro, José Ricardo, *Construct-Geo, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, rcarneir@fe.up.pt*

Lopes, Maria de Lurdes, *Construct-Geo, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, lcosta@fe.up.pt*

#### **RESUMO**

A exposição a agentes de degradação pode promover alterações nas propriedades dos geossintéticos, podendo colocar em risco a estabilidade das estruturas onde estes foram aplicados. Este trabalho avaliou o comportamento de um geotêxtil não-tecido depois das exposições isoladas e sucessiva a dois agentes de degradação: danificação mecânica sob carga repetida e abrasão. Os danos sofridos pelo geotêxtil foram avaliados através da monitorização de alterações nas suas propriedades de tração e permeabilidade à água normal ao plano. Com base nas alterações ocorridas na resistência à tração, foram determinados coeficientes de redução. Os resultados mostraram que o coeficiente de redução calculado pelo método tradicional para o efeito combinado da danificação mecânica sob carga repetida e da abrasão foi inferior ao obtido na exposição sucessiva a esses dois agentes.

#### **ABSTRACT**

The exposure to degradation agents can lead to unwanted changes in the properties of the geosynthetics, threatening the stability of the structures in which they were applied. This work evaluated the behaviour of a nonwoven geotextile after the single and multiple exposures to two degradation agents: mechanical damage under repeated loading and abrasion. The damage suffered by the geotextile was evaluated by monitoring changes in its tensile and water permeability normal to the plane properties. Based on the changes occurred in tensile strength, reduction factors were determined. Results showed that the reduction factor provided by the traditional method for the combined effect of mechanical damage under repeated loading and abrasion was lower than that obtained in the successive exposure to those agents.

#### **1. INTRODUÇÃO**

Os geossintéticos são materiais de construção com uma posição consolidada na engenharia mundial. A sua crescente utilização nas últimas décadas em diferentes aplicações no domínio das engenharias civil e ambiental deve-se ao facto de serem

materiais versáteis e de relativo baixo custo, que executam eficazmente as funções para as quais foram projetados.

Nas suas aplicações, os geossintéticos estão sujeitos à ação de diversos agentes de degradação, que podem provocar alterações nas suas propriedades. Essas alterações poderão ser um foco de instabilidade no funcionamento das estruturas nas quais tenham sido aplicados e, por tal motivo, devem ser devidamente consideradas durante a fase de projeto. Exemplos de agentes de degradação dos geossintéticos incluem espécies químicas (como ácidos ou bases), temperaturas elevadas, oxigênio, radiação ultravioleta e outros agentes atmosféricos, microrganismos, fluência ou abrasão.

As operações que decorrem durante o processo de instalação dos geossintéticos, que incluem, por exemplo, o seu manuseamento ou a aplicação e compactação de agregados, também podem causar danos, sobretudo mecânicos, nestes materiais de construção. É importante realçar que, em algumas aplicações, os geossintéticos podem ser submetidos a tensões mais elevadas durante o processo de instalação do que aquelas consideradas no dimensionamento (Shukla e Yin, 2006). O processo de instalação pode provocar abrasão nos geossintéticos, nomeadamente, através da mobilização de forças de atrito na interface entre estes materiais e os agregados. A abrasão também pode ocorrer durante a vida útil dos geossintéticos, principalmente em infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, em que o tráfego de veículos materializa uma carga cíclica ao longo do tempo. Deste modo, é essencial ter em consideração os danos que poderão ser induzidos aos geossintéticos, quer durante o processo de instalação, quer durante a sua vida útil.

A danificação induzida aos geossintéticos durante o processo de instalação pode ser simulada através de ensaios de laboratório ou de campo. Estes últimos refletem mais fielmente as condições reais, mas são mais dispendiosos e exigem outros recursos. A norma ENV ISO 10722-1 (1998) (posteriormente atualizada para EN ISO 10722 (2007)) apresenta uma metodologia que pode ser utilizada para simular os danos induzidos aos geossintéticos durante a sua instalação, tendo sido usada para esse fim por diferentes autores (Huang e Chiou, 2006; Huang, 2006). Por outro lado, a norma NP EN ISO 13427 (2017) especifica um procedimento para avaliar a resistência destes materiais à abrasão.

O dimensionamento dos geossintéticos prevê o uso de coeficientes de redução para determinar os valores de cálculo das suas propriedades. O efeito de cada agente de degradação é normalmente considerado através da introdução de coeficientes de redução parciais. Na eventualidade de ser necessário considerar a ação simultânea de diferentes agentes de degradação, é comum multiplicarem-se os vários coeficientes de redução parciais para se obter o coeficiente global que combina o efeito daqueles agentes (método tradicional). De acordo com o relatório técnico ISO/TR 20432 (2007), no caso de aplicações de reforço, devem ser considerados quatro coeficientes de redução parciais para determinar o valor de cálculo da resistência à tração dos geossintéticos ( $T_C$ ). Estes coeficientes pretendem contabilizar o efeito da danificação durante a instalação ( $CR_{DDI}$ ), da fluência ( $CR_F$ ), dos agentes atmosféricos ( $CR_A$ ) e de agentes químicos e biológicos ( $CR_{QB}$ ) (além dos coeficientes de redução parciais, é ainda introduzido um fator de segurança adicional,  $f_s$ ). O valor de cálculo da resistência à tração dos geossintéticos é, então, determinado de acordo com a expressão:

$$T_C = \frac{T}{CR_{DDI} \times CR_F \times CR_A \times CR_{QB} \times f_s} \quad [1]$$

em que  $T$  é a resistência à tração dos geossintéticos. Ao determinar o valor de cálculo da resistência à tração através deste método, em que os coeficientes de redução parciais são obtidos de forma isolada, existe o risco de ser ignorada a existência de interações entre os diferentes agentes de degradação, o que poderá resultar num dimensionamento incorreto. Neste contexto, existem estudos que identificaram interações entre agentes de degradação, nomeadamente, entre danificação durante a instalação e fluência (Allen e Bathurst, 1996; Greenwood, 2002), entre agentes de degradação químicos (Carneiro et al., 2014), e entre danificação mecânica sob carga repetida e abrasão (Rosete et al., 2013; Dias et al., 2017).

Neste trabalho, pretendeu-se estudar os efeitos isolados e combinado da danificação mecânica sob carga repetida e abrasão no comportamento de um geotêxtil não-tecido. Para tal, o material foi submetido a ensaios de degradação, tendo sido monitorizadas as alterações ocorridas nas suas propriedades de tração e de permeabilidade à água normal ao plano. Com base nas alterações observadas na resistência à tração, foram determinados coeficientes de redução. O coeficiente de redução obtido pelo método tradicional para o efeito combinado dos dois agentes de degradação foi comparado com o encontrado diretamente na exposição sucessiva a esses agentes.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Geotêxtil não-tecido

O geotêxtil não-tecido usado neste trabalho (designado por G280) era formado por fibras de polipropileno e apresentava uma massa por unidade de área e espessura iguais a, respetivamente,  $285 (\pm 18) \text{ g.m}^{-2}$  e  $2,41 (\pm 0,06) \text{ mm}$  (entre parêntesis estão exibidos os intervalos de confiança de 95% de acordo com Montgomery e Runger (2010)). Estas propriedades foram determinadas em conformidade, respetivamente, com as normas NP EN ISO 9864 (2006) e NP EN ISO 9863-1 (2017).

### 2.2. Ensaios de degradação

Os ensaios de danificação mecânica sob carga repetida (doravante DM) foram realizados de acordo com a norma EN ISO 10722 (2007) num protótipo (Figura 1) desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (uma descrição detalhada do equipamento está disponível em Lopes e Lopes (2003)). Estes ensaios consistiram na colocação do geotêxtil entre duas camadas de *corundum* (agregado sintético de óxido de alumínio com distribuição granulométrica compreendida entre 5 e 10 mm) com a mesma altura (75 mm), que foram instaladas nas caixas inferior e superior do equipamento (ambas com bases quadradas, com lado igual a 300 mm). Finalizados estes passos, foi aplicada, através de uma placa de carga (com dimensões em planta de 200 mm  $\times$  100 mm) uma carga cíclica compreendida entre  $(5,0 \pm 0,5) \text{ kPa}$  e  $(500 \pm 10) \text{ kPa}$  a uma frequência de 1 Hz, durante 200 ciclos. É importante salientar que a camada de *corundum* introduzida na caixa inferior foi colocada em duas subcamadas, cada uma com uma altura de 37,5 mm. Cada subcamada foi compactada através da aplicação de uma pressão de  $(200 \pm 2) \text{ kPa}$  sobre a área da caixa inferior durante 60 s (a camada única de *corundum* colocada na caixa superior não foi submetida a nenhum processo de compactação).

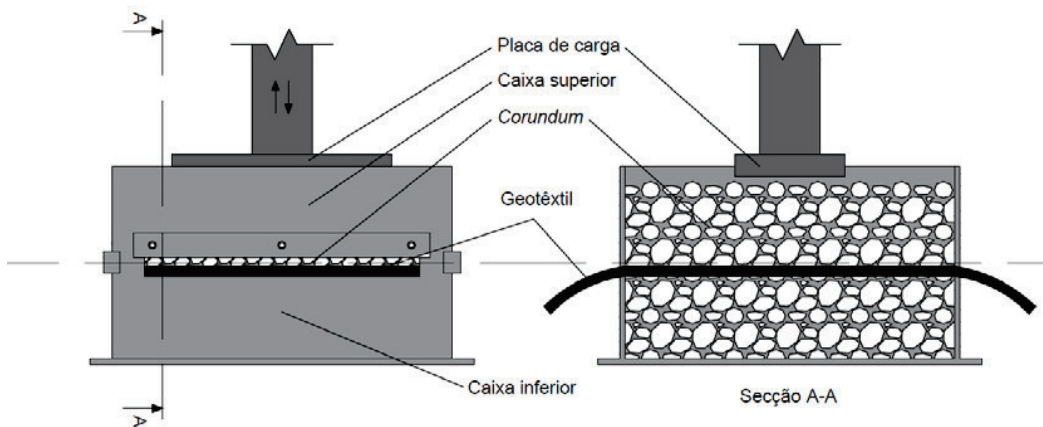


Figura 1 – Representação esquemática do equipamento utilizado nos ensaios de DM.  
Adaptado de Almeida et al. (2019)

Os ensaios de abrasão, realizados de acordo com a NP EN ISO 13427 (2017), foram efetuados num protótipo (Figura 2) também desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Os procedimentos do ensaio incluíram a fixação do geotêxtil numa plataforma estacionária que, por sua vez, foi colocada sobre uma plataforma deslizante, onde foi previamente instalada uma folha de material abrasivo P100. Após todos os componentes terem sido devidamente instalados, a plataforma deslizante foi movida ao longo de um eixo horizontal (movimento uniaxial cíclico) sob uma pressão controlada igual a 6 kPa, durante 750 ciclos, promovendo, desta forma, fricção entre o geotêxtil e o material abrasivo.

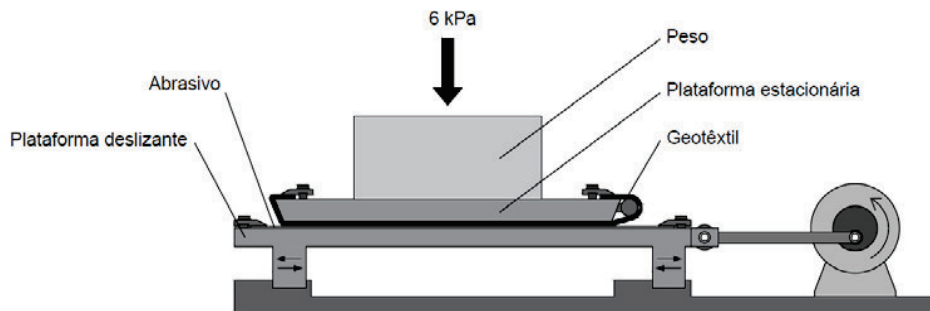


Figura 2 – Representação esquemática do equipamento utilizado nos ensaios de abrasão.  
Adaptado de Almeida et al. (2019)

### 2.3. Avaliação de danos

Os danos ocorridos no geotêxtil (durante os ensaios de degradação) foram avaliados qualitativamente por inspeção visual e, quantitativamente, por ensaios de tração e de permeabilidade à água normal ao plano. Os resultados obtidos para as amostras danificadas foram comparados com valores de referência (amostras intactas).

Os ensaios de tração (velocidade de  $20 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) foram realizados de acordo com a norma NP EN ISO 10319 (2016) num equipamento da marca *Lloyd Instruments* (modelo LR 50K). Os parâmetros mecânicos obtidos neste ensaio (valores na direção

de fabrico) incluíram a resistência à tração ( $T$ , em  $\text{kN.m}^{-1}$ ) e a extensão na força máxima ( $E_{FM}$ , em %) (medição da extensão com recurso a um vídeo-extensómetro).

A permeabilidade à água normal ao plano foi determinada através do método de carga constante incluído na norma NP EN ISO 11058 (2016). O método consistiu em submeter o geotêxtil a um fluxo unidirecional de água a diferentes perdas de carga hidráulica: 70, 56, 42, 28 e 14 mm. Para cada perda de carga, foi calculada a velocidade de escoamento ( $v_{20}$ , em  $\text{mm.s}^{-1}$ ) segundo a expressão:

$$v_{20} = \frac{V \times R_T}{A \times t} \quad [2]$$

em que  $V$  e  $t$  são, respetivamente, o volume de água recolhido e o tempo que decorre durante essa recolha,  $R_T$  é um fator de correção para a temperatura da água (determinado de acordo com o Anexo A da norma NP EN ISO 11058 (2016)), e  $A$  é a área de exposição do provete ( $5476 \text{ mm}^2$ ). Para cada provete, representou-se graficamente a perda de carga em função da  $v_{20}$  e ajustou-se uma curva de regressão quadrática com início na origem do gráfico. A velocidade de escoamento para uma perda de carga de 50 mm ( $v_{H50}$ , em  $\text{mm.s}^{-1}$ ) foi determinada por interpolação na curva de regressão quadrática.

Os valores médios das propriedades de tração e permeabilidade à água normal ao plano foram determinados com base nos resultados de cinco provetes ensaiados e são apresentados com intervalos de confiança de 95% segundo Montgomery e Runger (2010). Para avaliar a variação da resistência à tração foi calculada a resistência à tração residual ( $T_{Residual}$ , em %) através do quociente entre as resistências à tração das amostras danificadas e intactas.

#### 2.4. Coeficientes de redução

Considerando as alterações observadas na resistência à tração, foram determinados coeficientes de redução (CR) de acordo com:

$$CR = \frac{T_{Intacto}}{T_{Danificado}} \quad [3]$$

em que  $T_{Intacto}$  e  $T_{Danificado}$  correspondem, respetivamente, à resistência à tração do geotêxtil antes e após os ensaios de degradação mencionados na secção 2.2.

O CR respeitante à ação combinada de dois, ou mais, agentes de degradação é tradicionalmente calculado através da multiplicação dos CR obtidos, de forma isolada, para cada um desses agentes. No caso em estudo neste trabalho, o CR obtido pelo método tradicional ( $CR_{DM+ABR \text{ TRAD}}$ ) é dado por:

$$CR_{DM+ABR \text{ TRAD}} = CR_{DM} \times CR_{ABR} \quad [4]$$

em que  $CR_{DM}$  e  $CR_{ABR}$  são, respetivamente, os CR respeitantes às ações isoladas da DM e da abrasão.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Inspeção visual

A inspeção visual realizada ao geotêxtil G280 após a exposição aos diferentes ensaios de degradação permitiu perceber a extensão dos danos causados à estrutura deste material. Os ensaios de DM provocaram o corte de fibras na estrutura não-tecida, o aparecimento de orifícios de pequenas dimensões (que não são visíveis na Figura 3b) e alguma deformação do material devido às punções impostas pelas partículas de *corundum* (Figura 3b). Além disso, foram detetadas partículas de dimensão reduzida, resultantes da fragmentação do *corundum*, aprisionadas na estrutura não-tecida.

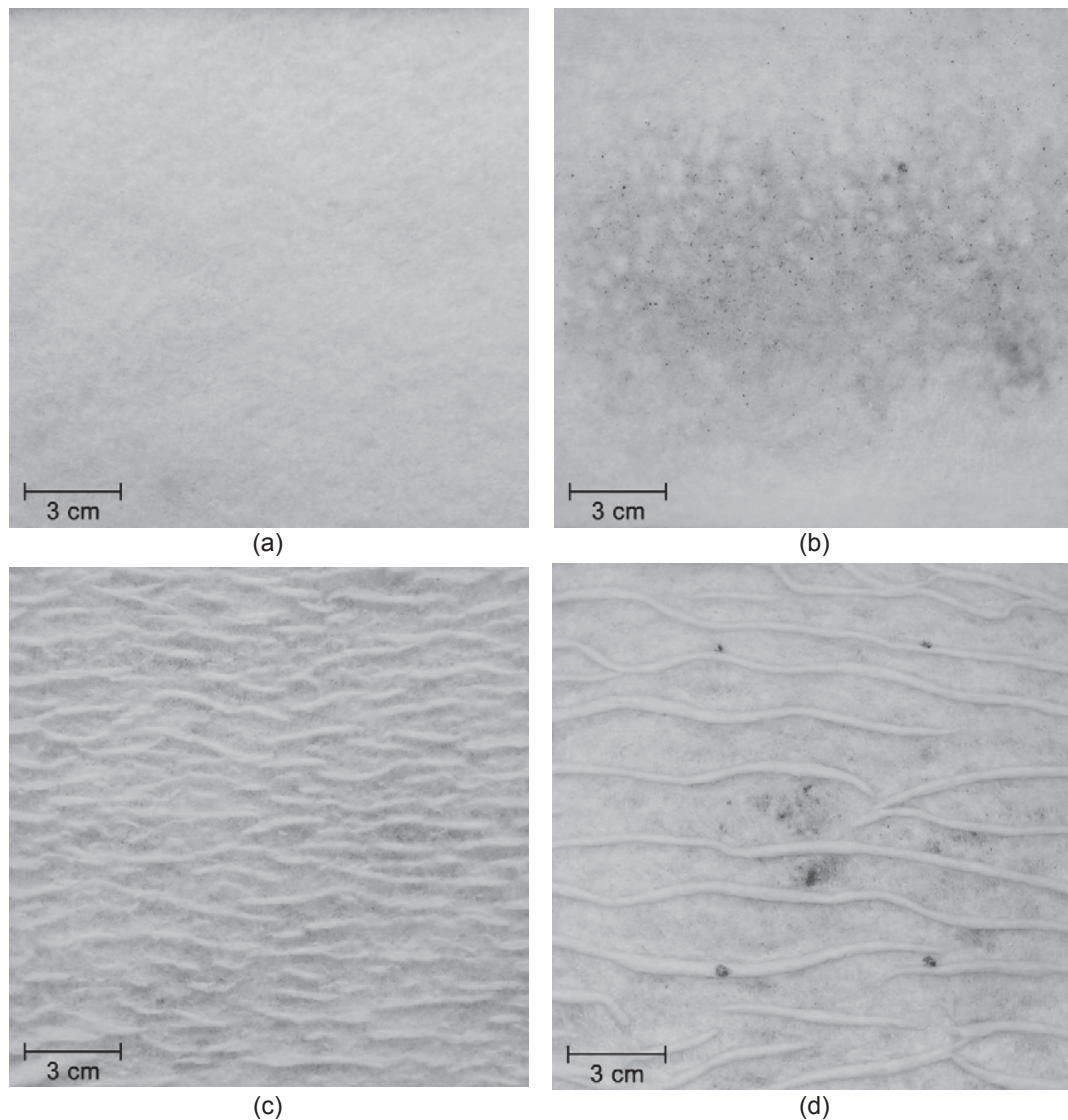


Figura 3 – Inspeção visual do geotêxtil G280: (a) intacto; (b) após DM; (c) após abrasão; (d) após exposição sucessiva a DM e abrasão

Os ensaios de abrasão provocaram, além do corte e extração de fibras, a formação de aglomerados de fibras, de comprimento e diâmetro variáveis, na superfície do geotêxtil

G280, alinhados perpendicularmente ao movimento da plataforma deslizante (Figura 3c). Por último, a exposição sucessiva aos ensaios de degradação também conduziu à formação de aglomerados de fibras (Figura 3d), que, neste caso, tinham comprimentos e diâmetros maiores, quando comparados com os seus congêneres observados após os ensaios de abrasão. São também evidentes a remoção e o destacamento de fibras, o que causou o aparecimento de áreas com grande redução de espessura (um aspeto que pode ser observado na área central da Figura 3d). As partículas de *corundum* que ficaram aprisionadas na estrutura não-tecida (durante os ensaios de DM) podem ter induzido danificação adicional no geotêxtil G280 nos ensaios de abrasão, contribuindo para a ocorrência de danos mais significativos após a exposição sucessiva aos dois ensaios de degradação. Tendo em conta a sua dimensão, estes danos indicaram, desde logo, a existência de alterações relevantes nas propriedades de tração e permeabilidade à água normal ao plano do geotêxtil G280.

### 3.2. Comportamento à tração

O geotêxtil G280 apresentou maior resistência à abrasão do que à DM, uma vez que as reduções ocorridas na sua resistência à tração (após os ensaios de degradação) foram menos pronunciadas (perdas de 16,1% e 52,9%, respetivamente) (Quadro 1). Desta forma, o corte de fibras, o aparecimento de orifícios e as punções induzidas nos ensaios de DM mostraram ser mais prejudiciais para a estrutura não-tecida do que o corte e a extração de fibras ocorridos durante os ensaios de abrasão.

Quadro 1 – Propriedades de tração do geotêxtil G280, antes e após os ensaios de degradação

| Amostra              | $T$ (kN.m <sup>-1</sup> ) | $E_{FM}$ (%)  | $T_{Residual}$ (%) | CR   |
|----------------------|---------------------------|---------------|--------------------|------|
| Referência (íntacto) | 12,64 (± 1,10)            | 67,5 (± 7,3)  | —                  | —    |
| DM                   | 5,95 (± 1,08)             | 42,9 (± 7,8)  | 47,1               | 2,12 |
| Abrasão              | 10,60 (± 2,71)            | 63,0 (± 5,3)  | 83,9               | 1,19 |
| DM + Abrasão         | 2,97 (± 1,19)             | 50,3 (± 10,3) | 23,5               | 4,26 |

(intervalos de confiança de 95% entre parêntesis)

Tal como esperado, a maior redução da resistência à tração (perda de 76,5%) ocorreu após a exposição sucessiva aos dois ensaios de degradação (o que está de acordo com os danos detetados na estrutura não-tecida). Relativamente à extensão na força máxima, constatou-se que esta propriedade também diminuiu depois da exposição do geotêxtil G280 aos diferentes ensaios de degradação.

### 3.3. Permeabilidade à água normal ao plano

A permeabilidade à água normal ao plano do geotêxtil G280 foi afetada pela exposição aos ensaios de degradação, tendo os parâmetros  $v_{20}$  e  $V_{H50}$  aumentado em todos os cenários estudados (Quadro 2 e Figura 4).

Quadro 2 –  $V_{H50}$  do geotêxtil G280, antes e após os ensaios de degradação

| Amostra              | $V_{H50}$ (mm.s <sup>-1</sup> ) | $\Delta V_{H50}$ (%) |
|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| Referência (íntacto) | 71,9 (± 10,2)                   | —                    |
| DM                   | 97,9 (± 10,1)                   | + 36,2               |
| Abrasão              | 90,2 (± 4,3)                    | + 25,5               |
| DM + Abrasão         | 122,2 (± 16,3)                  | + 70,0               |

(intervalos de confiança de 95% entre parêntesis)  
 $\Delta V_{H50}$  – variação da  $V_{H50}$  (em %)

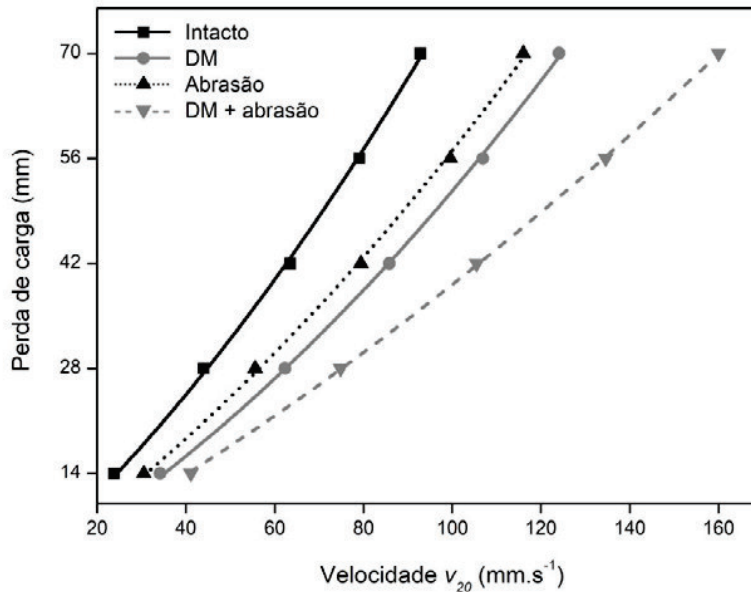


Figura 4 – Curvas médias “perda de carga vs. velocidade de escoamento” obtidas para o geotêxtil G280, antes e após os ensaios de degradação

Os danos induzidos pelos diferentes ensaios de degradação causaram o aumento do fluxo de água através da estrutura não-tecida. No que respeita ao efeito da exposição isolada, verificou-se que a abrasão provocou uma menor variação no parâmetro  $V_{H50}$  do que a DM (aumentos de, respetivamente, 25,5% e 36,2%). Desta forma, os danos provocados pelos ensaios de DM tiveram maior impacto na permeabilidade do geotêxtil G280 que os danos induzidos pelos ensaios de abrasão. O maior aumento do fluxo de água adveio, principalmente, dos orifícios causados pelos ensaios de DM na estrutura não-tecida. No caso da abrasão, o aumento do fluxo de água pode ser explicado pelo corte e extração de fibras na superfície do geotêxtil G280, o que causou uma diminuição da espessura da estrutura não-tecida (considerando os aglomerados de fibras como elementos não constituintes dessa estrutura).

A maior alteração no parâmetro  $V_{H50}$  (aumento de 70,0%) observou-se para o caso em que o geotêxtil G280 foi exposto sucessivamente aos dois ensaios de degradação. O fluxo de água através da estrutura não-tecida foi, neste cenário, consideravelmente superior quando comparado com as exposições isoladas aos agentes de degradação. A formação de aglomerados de fibras com diâmetros e comprimentos maiores revelou uma extração de fibras muito expressiva, originando áreas com uma grande redução de espessura, o que resultou num aumento significativo da permeabilidade. Além disso, os orifícios causados pelos ensaios de DM foram alargados durante os ensaios de abrasão, o que também contribuiu para aumentar o fluxo de água.

### 3.4. Coeficientes de redução

Os CR obtidos para a resistência à tração nas exposições isoladas e sucessiva aos ensaios de degradação estão exibidos no Quadro 1. Com base nos CR obtidos após as exposições isoladas, determinou-se o CR que combina o efeito dos dois ensaios de degradação através do método tradicional ( $CR_{DM+ABR\ TRAD}$ ). Os resultados mostraram que o CR para a ação combinada dos dois agentes de degradação obtido pelo método



tradicional foi significativamente mais baixo, quando comparado com o CR resultante diretamente da exposição sucessiva a esses agentes (2,53 e 4,26, respetivamente). O facto de o CR obtido pelo método tradicional ser 40,6% inferior ao seu congénere resultante da exposição sucessiva indica que o método tradicional pode não estar a considerar adequadamente o efeito combinado dos dois agentes de degradação. Uma incorreta definição dos CR poderá afetar a durabilidade das estruturas nas quais os geotêxteis são aplicados, uma vez que estes materiais correm o risco de não exibirem um comportamento durante a sua vida útil em conformidade com o que foi definido na fase de projeto. Deste modo, torna-se imperativo acautelar devidamente a existência de interações (sinergismos) entre os agentes de degradação com os quais os geotêxteis se irão deparar durante o exercício das suas funções.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados neste trabalho demonstraram que a exposição sucessiva de um geotêxtil não-tecido à DM e à abrasão conduziu a alterações nas propriedades de tração e permeabilidade à água normal ao plano superiores às que foram observadas nas exposições isoladas a cada um desses agentes. O CR que combina o efeito dos dois agentes de degradação calculado de acordo com o método tradicional foi muito inferior ao seu congénere resultante diretamente da exposição sucessiva. Este aspeto indica que o método tradicional não foi capaz de prever devidamente a existência de interações entre a DM e a abrasão, o que pode resultar em dimensionamentos errados. Por fim, é importante realçar que os CR obtidos nesta investigação resultaram da exposição do geotêxtil não-tecido a condições particulares, que podem não ser representativas das condições em obra. Desta forma, os CR apresentados neste trabalho devem ser considerados com reservas, não podendo ser usados diretamente no dimensionamento.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por: (1) projeto PTDC/ECI-EGC/28862/2017 – POCI-01-0145-FEDER-028862, financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE 2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e com o apoio financeiro da FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC); (2) Financiamento Base – UIDB/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Cofinanciado por:



#### REFERÊNCIAS

Allen, T.M. e Bathurst, R.J. (1996). *Combined Allowable Strength Reduction Factor for Geosynthetic Creep and Installation Damage*. Geosynthetics International. Volume 3, n.º 3: pp. 407-439.

- Almeida, F., Carlos, D.M., Carneiro, J.R. e Lopes, M.L. (2019). *Resistance of geosynthetics against the isolated and combined effect of mechanical damage under repeated loading and abrasion*. Materials. Volume 12, n.º 21, 15p.
- Carneiro, J.R., Almeida, P.J. e Lopes, M.L. (2014). *Some synergisms in the laboratory degradation of a polypropylene geotextile*. Construction and Building Materials. Volume 73: pp. 586-591.
- Dias, M., Carneiro, J.R. e Lopes, M.L. (2017). *Resistance of a nonwoven geotextile against mechanical damage and abrasion*. Ciência e Tecnologia dos Materiais. Volume 29, n.º 1: pp. 177-181.
- EN ISO 10722 (2007). *Geosynthetics - Index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading - Damage caused by granular material*. Comité Européu de Normalização, Bruxelas, Bélgica.
- ENV ISO 10722-1 (1998). *Geotextiles and geotextile-related products. Procedure for simulating damage during installation. Part 1: Installation in granular materials*. Comité Européu de Normalização, Bruxelas, Bélgica.
- Greenwood, J.H. (2002). *The Effect of Installation Damage on the Long-Term Design Strength of a Reinforcing Geosynthetic*. Geosynthetics International. Volume 9, n.º 3: pp. 247-258.
- Huang, C.-C. (2006). *Laboratory simulation of installation damage of a geogrid*. Geosynthetics International. Volume 13, n.º 3: pp. 120-132.
- Huang, C.-C. e Chiou, S.-L. (2006). *Investigation of installation damage of some geogrids using laboratory tests*. Geosynthetics International. Volume 13, n.º 1: pp. 23-35.
- ISO/TR 20432 (2007). *Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement*. International Organization for Standardization, Genebra, Suíça.
- Lopes, M.P. e Lopes, M.L. (2003). *Um equipamento para a realização de ensaios laboratoriais de danificação durante a instalação de geossintéticos*. Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia. Volume 98: pp. 7-24.
- Montgomery, D.C. e Runger, G.C. (2010). *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 5ª ed., John Wiley & Sons, Inc., Nova Iorque, Estados Unidos da América.
- NP EN ISO 9863-1 (2017). *Geossintéticos - Determinação da espessura a pressões especificadas - Parte 1: Camadas simples*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal.
- NP EN ISO 9864 (2006). *Geossintéticos - Ensaio para a determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos relacionados*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal.
- NP EN ISO 10319 (2016). *Geossintéticos - Ensaio de tração em tiras largas*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal.
- NP EN ISO 11058 (2016). *Geotêxteis e produtos relacionados - Determinação das características de permeabilidade à água normal ao plano, sem confinamento*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal.
- NP EN ISO 13427 (2017). *Geossintéticos - Simulação do dano por abrasão (ensaio de bloco deslizante)*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal.
- Rosete, A., Lopes, P.M., Pinho-Lopes, M. e Lopes, M.L. (2013). *Tensile and hydraulic properties of geosynthetics after mechanical damage and abrasion laboratory tests*. Geosynthetics International. Volume 20, n.º 5: pp. 358-374.
- Shukla, S.K. e Yin, J.-H. (2006). *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*, 1.ª ed., Taylor & Francis/Balkema, Leiden, Países Baixos.