

DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS – ANÁLISE LABORATORIAL DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE MATERIAL GRANULAR E DA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO

DAMAGE DURING INSTALLATION OF NON-WOVEN GEOTEXTILES – LABORATORY ANALYSIS OF THE INFLUENCE THE TYPE OF SOIL AND LEVEL OF COMPACTION

Paula, António Miguel, *Escola Sup. Tecnologia Gestão de Bragança, Portugal*, mpaula@ipb.pt
Silvano, Rui Pedro, *Universidade do Porto, Portugal*, rsilvano@fe.up.pt
Pinho-Lopes, Margarida, *Universidade de Aveiro, Portugal*, mlopes@civil.ua.pt
Lopes, M. Lurdes, *Universidade do Porto, Portugal*, lcosta@fe.up.pt

RESUMO

A danificação durante a instalação (DDI) de geossintéticos tem sido alvo de estudos extensivos, sendo normalizada com a introdução da ENV ISO 10722-1 (1997) sob a forma de um ensaio de identificação para a simulação laboratorial da danificação. Foi estabelecido um programa de ensaios de modo a contribuir para a avaliação do efeito do material granular e da energia de compactação usados no ensaio. Realizaram-se ensaios de DDI laboratorial em diferentes geotêxteis não tecidos, mediante a utilização de dois materiais granulares e duas energias de compactação. A danificação induzida é caracterizada através da resistência à tracção, das amostras de geossintéticos intactos e danificados, e também através da observação da estrutura dos materiais recorrendo a microscopia electrónica de varrimento.

ABSTRACT

Damage during installation of geosynthetics has been subjected to extended studies and became standardised with the introduction of ENV ISO 10722-1 (1997). A test program was established to study the influence of the granular material and of the compaction energy used in this standard. DDI laboratory tests were carried out on three non-woven geotextiles, using two different aggregates and two maximum load levels. The effect of the DDI induced was characterised by performing tensile tests and observations of the structure of the materials, using scanning electronic microscope, both on intact and damaged samples.

1. INTRODUÇÃO

Um dos aspectos fundamentais a ter em conta na aplicação de geossintéticos em obras de Engenharia Civil é a sua durabilidade. De facto, nas obras onde estes materiais são aplicados é necessário garantir que o geossintético cumpra a sua função (mantendo um valor mínimo exigido de certas propriedades) durante o tempo de serviço da obra. Entre os factores capazes de afectar o comportamento dos geossintéticos, a danificação durante a sua instalação (DDI) pode ser bastante significativa e daí que tenha vindo a ser bastante estudada. Se por um lado estes materiais sofrem fluência (efeito a longo prazo), por outro o processo de instalação em obra também pode (o que normalmente é inevitável) induzir alterações nos materiais, que por vezes poderão condicionar a resposta dos geossintéticos.

Embora os ensaios de campo sejam o melhor método de aferir a danificação causada ao geossintético durante a sua instalação, estes têm a desvantagem de ser muito morosos e caros.

Por isso, o ideal é realizar ensaios de laboratório, aferidos por ensaios de campo, que simulem a DDI desses materiais (ver [1]). Assim, a DDI tem sido alvo de estudos extensivos e foi normalizada com a introdução da ENV ISO 10722-1 [2] sob a forma de um ensaio de identificação para simulação laboratorial dos efeitos da danificação durante a instalação.

2. REFERÊNCIA NORMATIVA

Essencialmente, nos procedimentos de simulação dos efeitos da DDI descritos na ENV 10722-1 (Geotextiles and geotextile-related products – Procedure for simulating damage during installation – Part 1: Installation in granular material), preparada pela Comissão Europeia de Normalização CEN/TC 189 “Geotextiles and geotextile-related products”, em colaboração com Comissão Técnica ISO/TC 38 “Textiles”, cada provete de geossintético é colocado entre duas camadas de um agregado sintético e submetido a uma carga dinâmica durante um determinado intervalo de tempo. O provete de geossintético danificado é retirado do equipamento de ensaio, examinado para que se detecte a danificação visível e, finalmente, submetido a um ensaio mecânico ou hidráulico, para avaliar as alterações nas propriedades mecânicas ou hidráulicas, respectivamente. O resultado é expresso em termos da variação, em percentagem, da propriedade de referência, devendo ser também incluídos no relatório do ensaio a danificação visual observada.

Na Figura 1 está representada esquematicamente a caixa de danificação com o provete de geossintético a danificar e o material granular.

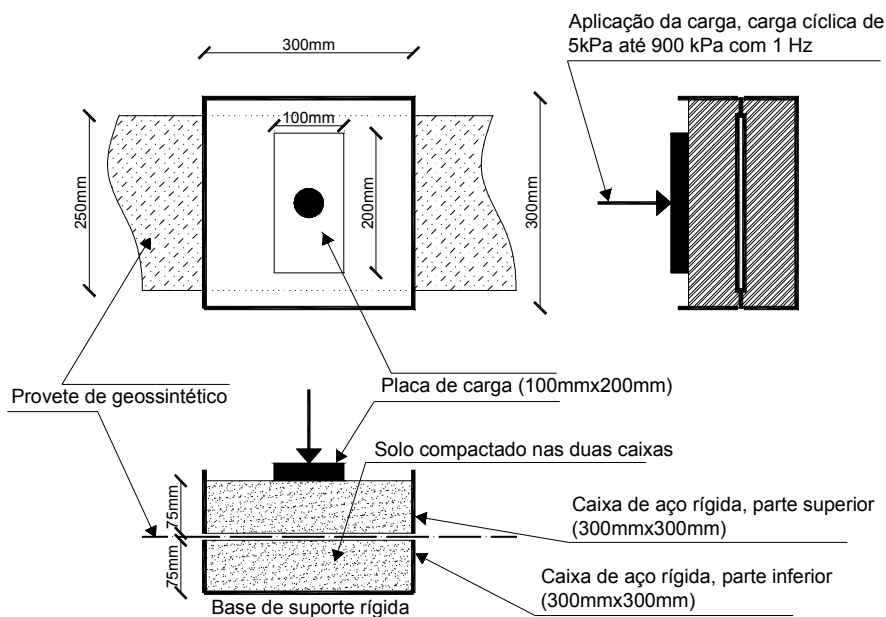


Figura 1 – Representação esquemática da caixa de danificação

O carregamento cíclico triangular aplicado é de 5 ± 5 kPa a 900 ± 10 kPa com uma frequência de 1 Hz, durante 200 ciclos. É de notar, tal como é realçado na norma Europeia, que a tensão a aplicar é determinada usando a área da placa de carga (100mmx200mm) e não a área total da caixa.

O equipamento para a simulação da danificação durante a instalação de geossintéticos em laboratório utilizado na parte experimental deste trabalho (cuja descrição pormenorizada se

encontra em [3]) foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (ver Figura 2) e teve como base as orientações contidas na ENV ISO 10722-1 [2].

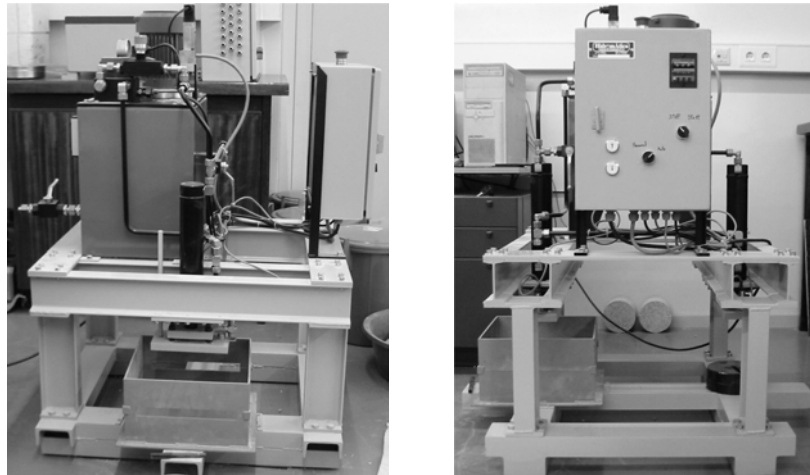
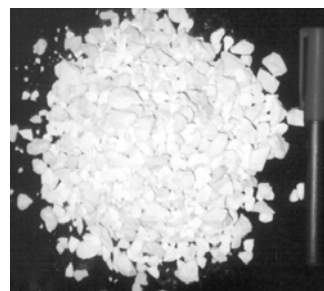
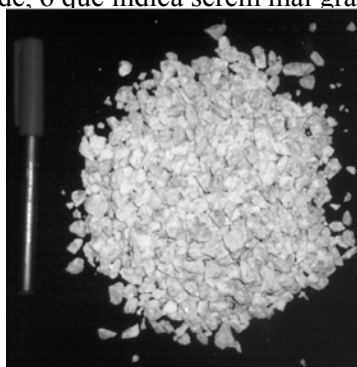


Figura 2 – Vista geral do equipamento de danificação de geossintéticos.

3. MATERIAIS E ENSAIOS REALIZADOS

3.1 Materiais

De acordo com a ENV ISO 10722-1, o material granular a utilizar no ensaio de DDI é sintético. Porém, como um dos objectivos deste trabalho é a quantificação da influência do tipo de material granular confinante na danificação durante a instalação dos geossintéticos, optou-se por realizar ensaios de danificação com dois materiais naturais, de granulometria uniforme, e com a mesma gama de diâmetros do material granular sintético proposto na ENV ISO 10722-1. Os dois materiais naturais utilizados (Figura 3) são de origem petrográfica distinta e apresentam valores do coeficiente Los Angeles diferentes. Um deles é de origem granítica (Figura 3a), apresenta partículas de dimensões variáveis entre 4,75mm e 12,5mm e o coeficiente Los Angeles é de 28. O outro é de origem calcária (Figura 3b), as suas partículas têm dimensões variáveis entre 4,75mm e 19mm, sendo o coeficiente Los Angeles de 19. Ambos os materiais têm um coeficiente de uniformidade próximo da unidade e um coeficiente de curvatura inferior à unidade, o que indica serem mal graduados.



b)

Figura 3 – Materiais granulares: a) granítico; b) calcário.

Os três geossintéticos usados no estudo são geotêxteis não tecidos (Figura 4), os GTnt1 e GTnt2 são termo-ligados de filamento contínuo em polipropileno e o GTnt3 é agulhado e também de filamento contínuo de polipropileno.

Os valores da massa por unidade de área (definida de acordo com a EN 956 [4]) e da resistência à tracção (definida de acordo com a EN ISO 10319 [5]) dos geotêxteis estão indicados no Quadro 1. Esses valores foram apenas definidos na direcção de fabrico dos geotêxteis, uma vez que a influência da danificação durante a instalação no comportamento dos materiais foi estudada apenas nessa direcção.



a) b) c)
Figura 4 – Geotêxteis não tecidos ensaiados: a) GTnt1; b) GTnt2; c) GTnt3

Quadro 1 – Geossintéticos ensaiados

| Material | Massa por unidade de área (valores nominais) | Massa por unidade de área (EN965) | Resistência à tracção (valores nominais) | Resistência à tracção (EN 10319) |
|----------|--|-----------------------------------|--|----------------------------------|
| | g/m ² | | kN/m | |
| GTnt1 | 165 | 167,72 | 12,6 | 12,17 |
| GTnt2 | 375 | 393,92 | 30 | 31,77 |
| GTnt3 | 800 | 823,81 | 40 | 50,11 |

3.2 Programa de ensaios

O programa de ensaios realizado para o estudo laboratorial da danificação durante a instalação de geossintéticos consistiu em danificar 5 provetes de cada geotêxtil com cada um dos dois materiais granulares. Os geossintéticos foram danificados com duas energias de compactação distintas, uma com a carga cíclica variando entre $5\pm 5\text{kPa}$ e $900\pm 10\text{kPa}$ (como referido na norma Europeia) e outra com a carga cíclica variando entre $5\pm 5\text{kPa}$ e $500\pm 10\text{kPa}$, ambas com a mesma frequência e número de ciclos indicados na ENV ISO 10722-1 (1997).

Procurou-se deste modo contribuir para o esclarecimento do mecanismo de DDI e da influência neste das características dos materiais de confinamento, da energia de compactação e da massa por unidade de área dos geotêxteis.

Como se ilustra na Figura 5, realizaram-se ensaios de caracterização mecânica sobre amostras de referência (intactas) e sobre amostras de geossintéticos danificadas. O ensaio de caracterização da danificação dos geossintéticos é o ensaio de tracção, realizado de acordo com a EN ISO 10319 [5]. Os provetes são também analisados detalhadamente usando a técnica da microscopia electrónica de varrimento.

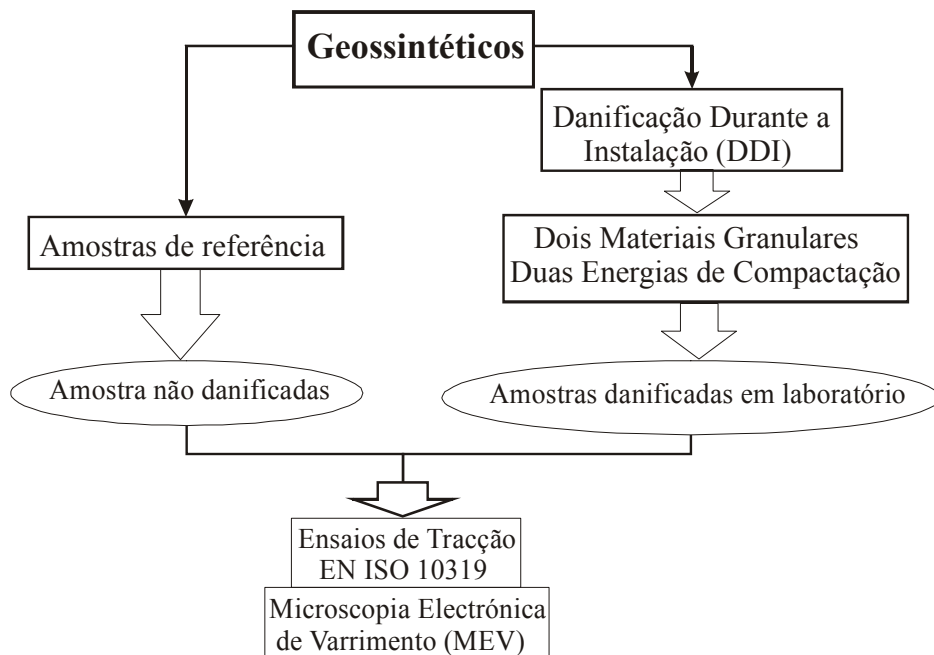


Figura 5 – Programa de ensaios

Para diminuir o efeito do desgaste e do esmagamento do material confinante, procedeu-se à sua peneiração e eliminação dos passados no peneiro com abertura de malha 4,75mm, após 5 utilizações. O material foi rejeitado após 30 utilizações.

4. RESULTADOS DOS ENSAIOS

4.1 Observação visual

A observação a olho nu do efeito da DDI evidenciou diferenças no aspecto dos geotêxteis intactos e danificados em laboratório. Nos danificados foi possível observar cortes e a acumulação de material granular em certas zonas dos provetes. Por outro lado, pode-se constatar que o geotêxtil com menor massa por unidade de área, GTnt1, foi o mais seriamente danificado, apresentando fibras rasgadas, pequenos buracos e deformações superficiais excessivas devido à penetração de pedras isoladas. O geotêxtil GTnt2 também apresentava marcas evidentes da danificação, porém, de menor monta do que as do GTnt1. No GTnt3 não se visualizou nenhum buraco, nem qualquer perfuração significativa do geotêxtil.

Os geotêxteis confinados por material granítico apresentavam maiores evidências de danificação do que os confinados por material calcário (Figura 6), denunciando assim a maior agressividade do primeiro.

A observação a olho nu não evidenciou influência significativa da energia de compactação (500kPa e 900kPa) na danificação durante a instalação dos geotêxteis.

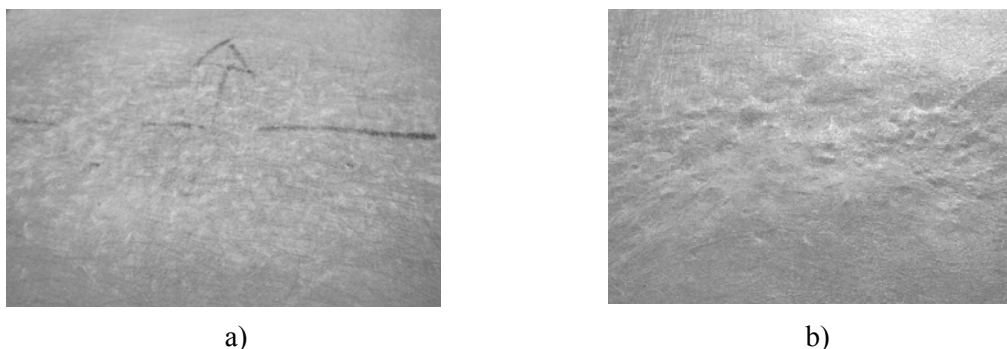


Figura 6 – Imagens de amostras (GTnt1) danificadas: a) com material granítico e 900 kPa; b) com material calcário e 900kPa.

A Figura 7 mostra imagens obtidas por microscopia electrónica de varrimento (MEV) do GTnt1 com três factores de escala distintos (20x, 200x e 1000x). É clara a diferença entre o geotêxtil de referência (intacto) e o danificado com o material granítico para uma energia máxima de 900 kPa. Em todas as fotografias do geotêxtil danificado é possível observar a acumulação de partículas do material granular na sua estrutura. Observam-se algumas zonas na estrutura do geotêxtil totalmente destruídas (foto com factor de escala 20). A foto com factor de escala 1000 mostra claramente a danificação dos filamentos e o efeito das partículas do material granular em contacto com o geotêxtil.

| | | | |
|---|------|-------|--------|
| GTnt1 referência (intacto) | | | |
| | x 20 | x 200 | x 1000 |
| GTnt1 após DDI Agr. Granítico 900 kPa | | | |
| | x 20 | x 200 | x 1000 |

Figura 7 – Imagens de amostras (GTnt1) danificadas laboratorialmente obtidas através de MEV.

A Figura 8 mostra imagens obtidas por MEV do GTnt2 intacto, danificado com agregado calcário e 900 kPa de energia de compactação e danificado com o agregado granítico compactado a 500 kPa. Também para este geotêxtil é evidente a danificação (embora menos gravosa do que a observada para o GTnt1) e a acumulação de partículas de material granular na estrutura do geossintético. Verifica-se que a DDI do confinamento com o material calcário compactado à energia máxima de 900 kPa é mais superficial do que a resultante do confinamento com o material granítico compactado à energia máxima de 500 kPa. Para as últimas condições visualizam-se cortes e furos nas fibras e uma maior uniformidade da danificação ao longo da amostra.

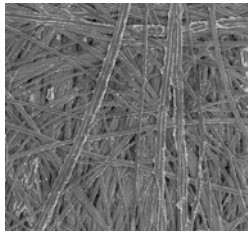
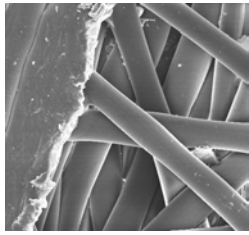
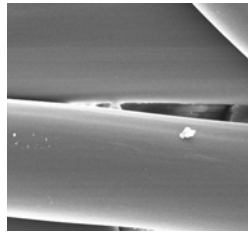

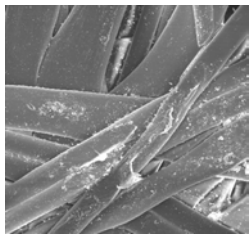
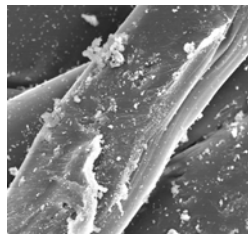


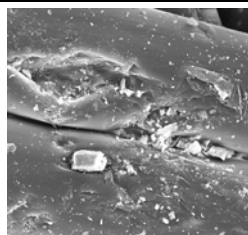
| | | | |
|---|--|---|--|
| GTnt2 referência (intacto) |  |  |  |
| | x 20 | x 200 | x 1000 |
| GTnt2 após DDI Agr. Calcário 900 kPa |  |  |  |
| | x 20 | x 200 | x 1000 |
| GTnt2 após DDI Agr. Granítico 500 kPa |  |  |  |
| | x 20 | x 200 | x 1000 |

Figura 8 – Imagens de amostras (GTnt2) danificadas laboratorialmente obtidas através de MEV.

4.2 Ensaio de tracção

Nesta secção são apresentados os resultados dos ensaios de tracção dos geossintéticos de referência (intactos) e danificados em laboratório. 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 de cinco provetes ensaiados para cada material.

Os resultados dos ensaios de tracção das amostras danificadas laboratorialmente são apresentados em termos de resistência residual (em relação ao valor correspondente para as amostras intactas).

A resistência residual dos diferentes materiais danificados (ver Figura 9) é muito dispar, variando entre 47% (para o geotêxtil de menor massa por unidade de área (GTnt1) confinado por material granular granítico compactado a 900kPa) e 91% (para o geotêxtil de maior massa por unidade de área (GTnt3) confinado por material granular calcário compactado a 500kPa). De todos os geotêxteis considerados, aquele que apresenta maior sensibilidade à danificação é o GTnt1, uma vez que para qualquer das condições consideradas é o que apresenta menor resistência residual.

Os geotêxteis GTnt2 e GTnt3 evidenciam índices de danificação semelhantes para condições idênticas de danificação, facto que pode indicar que a partir de um dado valor limite da massa por unidade de área do material este parâmetro perde relevância no controlo da danificação durante a instalação dos geotêxteis não tecidos. Porém, até que esse valor limite seja atingido a massa por unidade de área do geotêxtil é determinante, dado que foram observadas resistências

residuais do GTnt1 cerca de 40% inferiores às do GTnt2 para idênticas condições de estudo (material granítico – 900kPa).

Outro aspecto interessante a realçar é a semelhança, para cada um dos geotêxteis, da danificação induzida pelo material confinante granítico compactado a 500kPa e pelo material confinante calcário compactado a 900kPa. Esta circunstância denuncia claramente que a origem petrográfica do material confinante influencia de forma mais importante a danificação durante a instalação dos geotêxteis do que a energia de compactação utilizada.

Acresce ainda referir que a influência da energia de compactação depende da origem petrográfica do material confinante, pois observam-se reduções de resistência muito mais significativas quando a energia de compactação aumenta de 500kPa para 900kPa e o material confinante é granítico (por exemplo, 26% para o GTnt1) do que quando é calcário (por exemplo, 12% para o GTnt1).

O facto de a resistência residual de todos os geotêxteis diminuir com o aumento da energia de compactação e com a utilização do material confinante granítico deve-se, provavelmente, ao tipo de partículas resultantes da fragmentação deste. Com efeito, o material granítico ao fragmentar evidencia arestas vivas induzindo, por isso, maior danificação do que o material calcário (cuja fragmentação origina partículas com superfície mais arredondada).

Finalmente, refira-se que a influência das características do material confinante e da energia de compactação diminuem significativamente com o aumento da massa por unidade de área do geotêxtil.

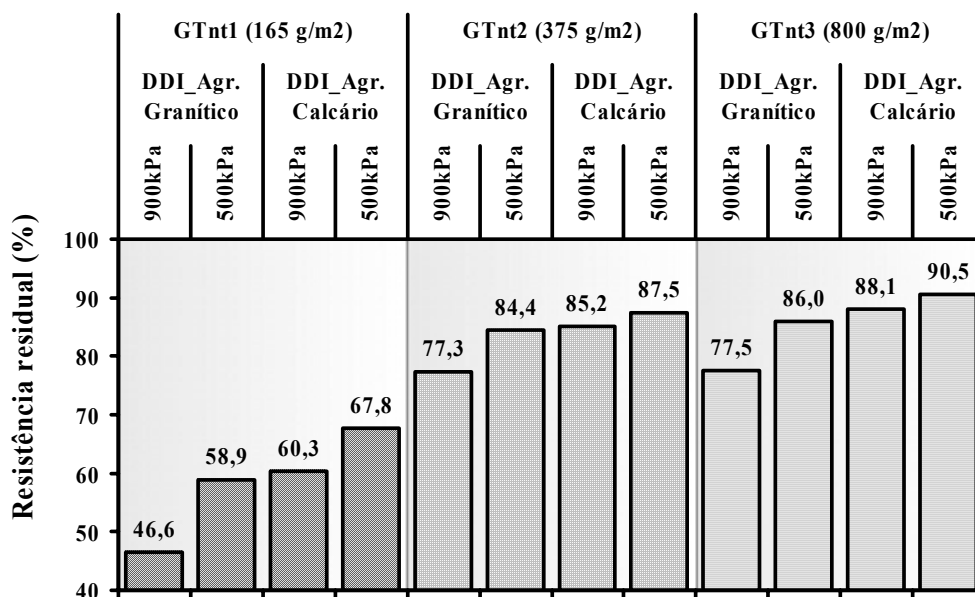


Figura 9 – Resistência residual (em %) dos geotêxteis danificados em laboratório

Na Figura 10 está ilustrado o coeficiente de variação da resistência à tracção das amostras de geotêxteis, tanto de referência como danificadas em laboratório. Constata-se, em geral, uma grande dispersão nos valores do coeficiente de variação da resistência à tracção, o que atendendo a que todos os geossintéticos foram danificados nas mesmas condições, com cada um dos materiais confinantes e para cada grau de compactação, significa que os diferentes geossintéticos respondem com mecanismos de danificação distintos [6]. No entanto, verifica-se que o valor mais alto do coeficiente de variação pertence, para os três geotêxteis estudados, a situações em que foram danificados com o material granular granítico.

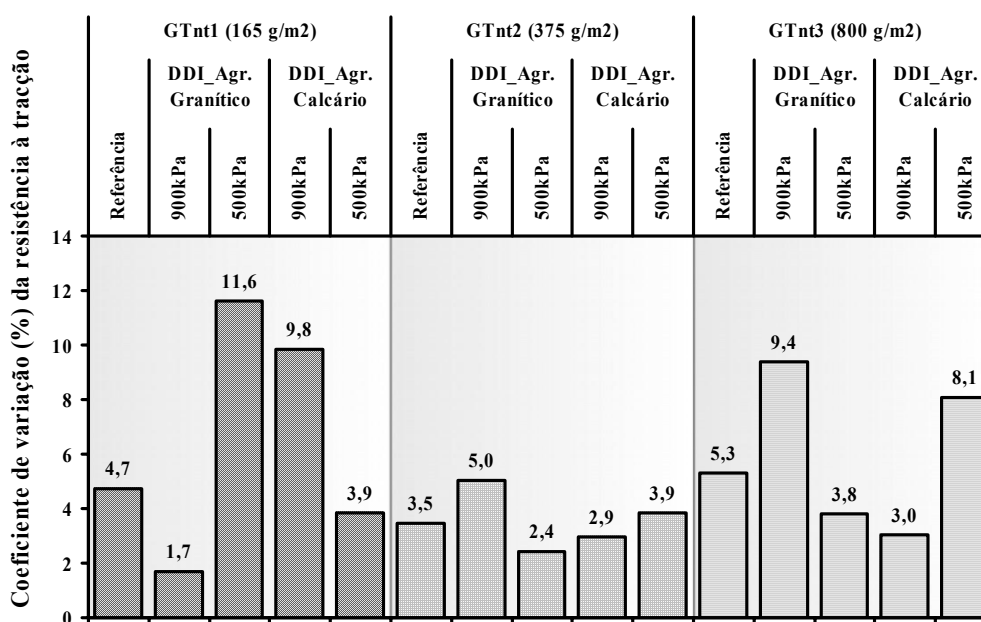


Figura 10 – Coeficiente de variação (em %) da resistência à tracção dos geotêxteis

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se laboratorialmente a DDI de três geotêxteis não tecidos de modo a quantificar a influência da massa por unidade de área dos geossintéticos, do tipo de material confinante e da energia de compactação. A caracterização da danificação induzida nos geossintéticos foi feita através da resistência à tracção das amostras de referência e danificadas, e também através da observação da estrutura dos geotêxteis recorrendo a microscopia electrónica de varrimento.

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que:

- a observação visual evidencia os efeitos da DDI, sendo estes mais relevantes no GTnt1 (fibras rasgadas e aparecimento de buracos);
- a observação por microscopia electrónica de varrimento realça a influência do tipo de material granular confinante e da energia de compactação na DDI dos geotêxteis;
- o geotêxtil mais sensível à DDI é o que apresenta menor massa por unidade de área (GTnt1) com valores de resistências residuais cerca de 23% a 40% inferiores aos obtidos para os geotêxteis GTnt2 e GTnt3;
- a partir de um valor mínimo da massa por unidade de área do geotêxtil a influência deste parâmetro na DDI decresce de relevância;
- a resistência residual dos materiais danificados diminui com o aumento da energia de compactação e com a utilização de material confinante granítico;
- a influência na DDI dos geotêxteis da origem petrográfica do material confinante é maior que a da energia de compactação, provavelmente devido a maior angulosidade das partículas resultantes da fragmentação do material de origem granítica;

- a influência do material confinante e da energia da compactação na DDI dos geotêxteis diminui significativamente com o aumento da massa por unidade de área dos geossintéticos.

REFERÊNCIAS

[1] GREENWOOD, J. H., “The assurance of durability” Sixth International Conference on Geosynthetics, Vol. 2, 1998, pp. 657-662.

[2] ENV 10722-1, Geotextiles and geotextile-related products – Procedure for simulating damage during installation – Part 1: Installation in granular materials (1997).

[3] Pinho Lopes, Margarida e Lopes, Maria de Lurdes, “Um equipamento para realização de ensaios laboratoriais de danificação durante a instalação de geossintéticos”, Revista Geotecnia, Volume Nº 98, Julho 2003, 2003, pp 7-24.

[4] EN 956, Geotextiles and geotextiles-related products – Determination of mass per unit area (1994).

[5] EN ISO 10319, Geotextiles – Wide-width tensile test (1996).

[6] Pinho Lopes, Margarida e Lopes, Maria de Lurdes, “Efeito no comportamento mecânico dos geossintéticos da danificação sofrida durante a instalação – resultados iniciais”, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia – Geotecnia nº 93, 2001, pp. 81- 99, Lisboa.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos pelo apoio e patrocínio da FCT, POCTI e FEDER, Projecto de Investigação POCTI/42822/ECM/2001.