

DURABILIDADE DE GEOTÊXTEIS EXPOSTOS A DIVERSOS FACTORES CLIMATÉRICOS

DURABILITY OF GEOTEXTILES EXPOSED TO SEVERAL WEATHERING FACTORS

Carneiro, José Ricardo, *FEUP, Porto, Portugal, rcarneir@fe.up.pt*

Almeida, Paulo Joaquim, *FCUP, Porto, Portugal, pjalmeid@fc.up.pt*

Lopes, Maria de Lurdes, *FEUP, Porto, Portugal, lcosta@fe.up.pt*

RESUMO

Os geotêxteis aplicados em estruturas de engenharia civil podem sofrer alterações de resistência devido à exposição a agentes físicos e/ou químicos. A exposição aos diversos factores climáticos é uma das principais causas de degradação dos geotêxteis, podendo provocar alterações estruturais nos materiais e, conseqüentemente, afectar a sua durabilidade. Neste trabalho foi estudada a durabilidade de geotêxteis polipropileno durante a exposição prolongada (um ano) a condições climáticas reais. Simultaneamente, os geotêxteis foram expostos a condições climáticas artificiais (radiação ultravioleta e chuva) num simulador laboratorial, de modo a tentar estabelecer correlações entre o envelhecimento natural dos materiais e o seu envelhecimento acelerado em laboratório.

ABSTRACT

The geotextiles applied in civil engineering structures can suffer changes on their resistance due to exposition to physical and/or chemical agents. Weathering is one of the main causes for the geotextiles deterioration, leading to structural modifications on the materials and, consequently, affecting their durability. In this paper the durability of polypropylene geotextiles during an extended exposition (one year) to natural weathering was studied. Simultaneously, the geotextiles were exposed to artificial weathering conditions (ultraviolet radiation and rain) on a laboratory weatherometer, in order to try to establish correlations between the natural ageing of the materials and their accelerated ageing in laboratory.

1. INTRODUÇÃO

Os geotêxteis (GTXs) são materiais geossintéticos bastante aplicados na construção civil para o exercício de várias funções (separação, filtração, drenagem, protecção e reforço). Nessas aplicações, os GTXs estão sujeitos à acção de diversos agentes físicos e/ou químicos (agentes climáticos, oxigénio, espécies químicas, entre outros) que podem afectar a sua durabilidade e, conseqüentemente, o seu desempenho ao longo do tempo [1]. Assim, a avaliação do efeito dos diversos agentes de degradação nas propriedades físicas, químicas, mecânicas e hidráulicas dos GTXs é extremamente importante para a previsão do tempo de vida útil destes materiais.

Ao ar livre, os GTXs encontram-se permanentemente sujeitos à acção de diversos factores climáticos, tais como a radiação solar, as variações de temperatura, a chuva, a humidade, o gelo, o vento, entre outros. A exposição à luz solar é considerada como uma das principais causas de degradação prematura de vários polímeros, incluindo os utilizados no fabrico dos GTXs. A radiação solar que atinge a superfície terrestre possui comprimentos de onda

compreendidos entre os 295 nm e os 3000 nm. No entanto, apenas os fótons com comprimentos de onda situados na zona ultravioleta (295-400 nm) são suficientemente energéticos para iniciar o processo de degradação polimérica dos GTXs [2]. A radiação ultravioleta (UV) que incide nos GTXs pode promover a formação de radicais livres e, se o oxigénio atmosférico estiver disponível, é possível a ocorrência de foto-oxidação das cadeias poliméricas e consequente degradação dos materiais [2].

A maneira mais simples de proteger os GTXs da foto-oxidação é evitar a exposição dos materiais à radiação solar. No entanto, a eliminação de toda a exposição à radiação solar é na maioria dos casos impossível, verificando-se nalgumas situações que os GTXs podem mesmo estar expostos durante longos períodos de tempo. A degradação dos GTXs é normalmente retardada pela incorporação de pigmentos e aditivos químicos, tais como estabilizadores UV e antioxidantes, na sua composição [2,3].

A degradação que ocorre ao ar livre sob a acção da radiação solar e na presença de oxigénio depende da natureza (estrutura molecular) do polímero, do comprimento de onda da radiação UV incidente (energia), da intensidade da radiação e de outros factores como a temperatura, a humidade e a presença de espécies metálicas [2]. A degradação natural dos materiais poliméricos é acelerada pelo aumento da temperatura e pela existência de um alto teor de humidade. Embora a água não seja destrutiva por si própria, faz com que o oxigénio dissolvido esteja em permanente contacto com os materiais, estando deste modo mais facilmente disponível para promover a oxidação. Os materiais expostos ao ar livre encontram-se frequentemente molhados devido à ocorrência de condensação na sua superfície (orvalho) e à chuva. A condensação de humidade à superfície dos GTXs ocorre quando a temperatura dos materiais é menor que a temperatura de condensação da água existente no ar, o que acontece principalmente durante a noite quando os objectos sólidos perdem calor por radiação. A água que condensa à superfície dos GTXs está saturada em oxigénio e, como permanece na superfície dos materiais durante horas seguidas, promove a oxidação. O contacto prolongado com a água favorece também a remoção dos aditivos mais solúveis existentes nos GTXs.

Os simuladores climatéricos podem reproduzir num intervalo de tempo relativamente curto (alguns dias ou semanas) os danos causados, a longo prazo, pelos raios UV, chuva e orvalho nos GTXs expostos ao ar livre. A simulação laboratorial da degradação que ocorre nos GTXs durante meses ou anos é importante na previsão de como os materiais se vão comportar em condições reais. No entanto, existem alguns factores (tais como o vento, os poluentes atmosféricos, a sujidade acumulada nos materiais, entre outros) que dificilmente poderão ser simulados em laboratório. Assim, a exposição dos GTXs a condições climatéricas reais fornece uma visão mais concreta do modo como os materiais se vão comportar quando expostos às condições climatéricas de um dado local. A realização conjunta de ensaios laboratoriais e ensaios reais poderá permitir estabelecer relações entre o envelhecimento acelerado em laboratório e o envelhecimento natural dos GTXs.

As condições climatéricas de determinado local podem sofrer variações de ano para ano ou durante as diferentes estações do ano. A exposição no Verão, devido às elevadas temperaturas e ao aumento da radiação UV que atinge a superfície terrestre, é bastante mais severa para os materiais que no Inverno. A radiação UV incidente varia imenso, dependendo do local geográfico, da existência de nuvens e/ou nevoeiro, da proximidade de ambientes industriais, entre outros factores. Assim, é indispensável que exista uma monitorização contínua de alguns parâmetros meteorológicos, tais como a radiação UV incidente, a temperatura, a humidade relativa, a quantidade de chuva, a velocidade do vento, entre outros. Apenas deste modo é possível comparar os resultados obtidos num dado local geográfico com resultados obtidos noutros locais ou mesmo com resultados obtidos em simuladores laboratoriais.

2. GEOTÊXTEIS

Foram estudados GTXs não-tecidos agulhados de polipropileno (PP) especialmente fabricados com diferentes quantidades do aditivo Chimassorb 944 (0%, 0,2% e 0,4%) (Quadro 1). O Chimassorb 944 (C944) (Figura 1) é um composto pertencente à família das HALS (do inglês, *Hindered Amine Light Stabilisers*) e é um aditivo principalmente aplicado na protecção de poliolefinas contra a acção degradante da radiação UV e do oxigénio atmosférico (oxidação). As fibras utilizadas para o fabrico dos GTXs possuíam uma massa linear de 8 denier e foram cortadas com cerca de 7,5 cm de comprimento.

Quadro 1 – Principais características dos GTXs estudados

Geotêxtil	GTX com 0% de C944	GTX com 0,2% de C944	GTX com 0,4% de C944
Massa por unidade de área ¹ (g.m ⁻²)	283 (11%)	272 (7,8%)	263 (7,6%)
Espessura ² (mm)	3,31 (3,5%)	3,24 (3,9%)	3,09 (4,8%)
Resistência à tracção ³ (kN.m ⁻¹)	13,0 (5,5%)	12,4 (4,9%)	14,3 (3,0%)
Extensão na força máxima ³ (%)	112 (6,0%)	113 (8,2%)	116 (7,0%)

¹determinado de acordo com a norma EN ISO 9864 [5]

²determinado de acordo com a norma EN ISO 9863-1 [6]

³determinado de acordo com a norma EN ISO 10319 [7], valores na direcção de fabrico dos GTXs
(entre parêntesis encontram-se os valores dos coeficientes de variação obtidos)

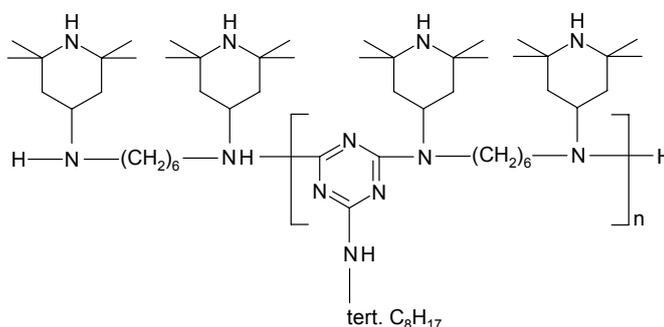
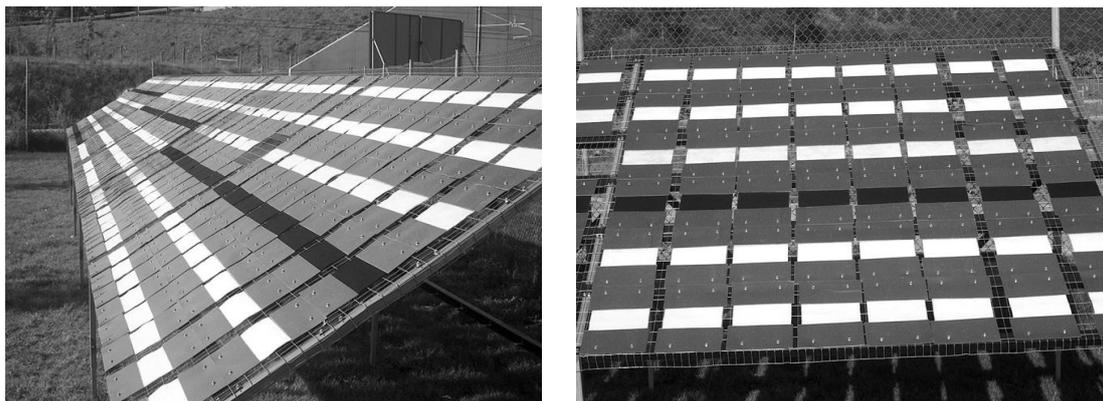


Figura 1 – Fórmula de estrutura do Chimassorb 944

3. DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

3.1 Exposição dos geotêxteis a condições climáticas reais

O local escolhido para a exposição dos GTXs às condições climáticas reais situa-se na localidade de Pedras Rubras, concelho da Maia, distrito do Porto (latitude: 41,20N; longitude: 8,69W; elevação de 70 metros acima do nível do mar). Os GTXs foram colocados em suportes próprios (orientados para sul) com um ângulo de exposição de 30° (Figura 2). O ângulo de exposição pode influenciar a energia radiante recebida pela amostra, a duração do período em que o material está molhado, a temperatura que as amostras vão atingir e a quantidade de lixo que as amostras vão reter. O ângulo de 30° é preferível a 0° porque permite a lavagem dos materiais durante os períodos de chuva, evita que os materiais estejam continuamente molhados devido a um mau escoamento de água e evita a retenção de grandes quantidades de lixo.



(a)

(b)

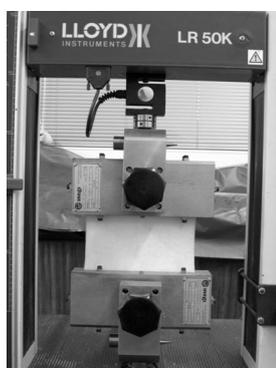
Figura 2 – GTXs expostos a condições climáticas reais: (a) vista lateral; (b) vista frontal

O tempo de exposição a condições climáticas reais é normalmente longo, compreendendo vários meses ou mesmo alguns anos. Neste trabalho, os GTXs foram expostos a condições climáticas reais por um período máximo de 12 meses (de Novembro de 2004 a Novembro de 2005), ao longo do qual foram recolhidas amostras dos GTXs para avaliação da danificação ocorrida nos materiais (3, 6, 9 e 12 meses para o GTX sem C944 e 6 e 12 meses para os GTXs estabilizados com C944). Ao longo dos 12 meses de exposição, foram continuamente registados vários parâmetros meteorológicos, tais como a radiação UV incidente, a temperatura, a precipitação, a humidade relativa e a velocidade do vento (dados não apresentados).

Após exposição aos agentes climáticos, os GTXs foram secos à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. A danificação mecânica ocorrida nos GTXs foi avaliada através de ensaios de tracção-extensão (na direcção de fabrico dos materiais), de acordo com a norma EN ISO 10319 [7] (Quadro 2) (Figura 3), e comparando os valores obtidos para os materiais expostos com os valores obtidos para os materiais de referência (não sujeitos a qualquer tipo de degradação).

Quadro 2 – Condições experimentais dos ensaios de tracção-extensão (EN ISO 10319)

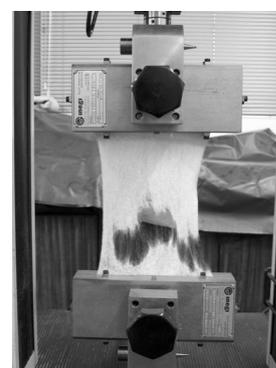
Largura Geotêxtil	Comprimento Geotêxtil (entre garras)	n Amostras	Velocidade	Temperatura	Humidade relativa
200 mm	100 mm	5	20 mm.min ⁻¹	20 ± 2 °C	65 ± 5%



(a)



(b)



(c)

Figura 3 – Ensaios de tracção-extensão de acordo com a norma EN ISO 10319: (a) início do ensaio; (b) durante o ensaio; (c) final do ensaio

3.2 Exposição dos geotêxteis a condições climáticas simuladas laboratorialmente

Os GTXs foram expostos a condições climáticas artificiais no QUV (*Q-Panel Lab Products*, modelo *QUV/spray*). O QUV é um simulador laboratorial que permite expor materiais a ciclos climáticos que envolvam passos de chuva, de condensação (simulam o efeito da humidade e do orvalho) e de exposição à radiação UV (simulam o efeito degradante da luz solar).

Os GTXs foram expostos durante 362 horas (15,1 dias) ao seguinte ciclo climático:

Passo 1: Exposição à radiação UV (50 °C, 5 horas)

Passo 2: Chuva (choque térmico, 10 minutos)

(*retorno ao passo 1*)

Nas 362 horas totais de ensaio, os GTXs estiveram expostos durante 350 horas à radiação UV, o que perfaz uma radiação incidente total (entre os 290 e os 400 nm) de 50 MJ.m⁻² (valor de irradiância a que os materiais devem ser expostos de acordo com a norma EN 12224 [8]). A radiação UV foi obtida através de lâmpadas fluorescentes do tipo UVA-340. Estas lâmpadas fornecem uma excelente simulação da radiação solar entre os 295 e os 365 nm, possuindo um máximo de emissão aos 340 nm. A chuva foi simulada através da projecção de jactos de água (tipo chuveiro) contra a superfície dos GTXs. A água utilizada para simular o efeito da chuva (caudal de 5 L.min⁻¹) foi purificada através de um sistema de osmose inversa com tratamento microbiológico, seguido de desionização em resinas de permuta iónica de leito misto. O passo de chuva causa um choque térmico nos materiais (diminuição brusca da temperatura dos 50 °C para os 24 °C) e promove a erosão da sua superfície.

Após exposição ao ensaio climático, os GTXs foram secos à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. A alteração das propriedades mecânicas dos GTXs (resistência à tracção e extensão na força máxima) foi avaliada através de ensaios de tracção-extensão, de acordo com a norma EN 29073-3 [9] (Quadro 3).

Quadro 3 – Condições experimentais dos ensaios de tracção-extensão (EN 29073-3)

Largura Geotêxtil	Comprimento Geotêxtil (entre garras)	n Amostras	Velocidade	Temperatura	Humidade relativa
50 mm	200 mm	5	100 mm.min ⁻¹	20 ± 2 °C	65 ± 5%

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

4.1 Exposição dos geotêxteis a condições climáticas reais

4.1.1 Geotêxtil sem Chimassorb 944

A cor do GTX sem C944 sofreu alterações durante a exposição às condições climáticas reais. Os materiais adquiriram uma cor cinzenta (originalmente eram brancos) devido à acumulação de pequenas partículas (sujeidade) nas suas fibras. Os GTXs recolhidos após 3 e 6 meses de exposição não apresentavam quaisquer sinais visíveis que indicassem a existência de degradação na sua estrutura polimérica. Aos 9 meses, o GTX libertava pequenos pedaços de fibras, indicando a ocorrência de alguma despolimerização. Após 12 meses de exposição, a estrutura polimérica do GTX encontrava-se bastante danificada (verificou-se a existência de fibras despolimerizadas), tendo ocorrido uma diminuição considerável da espessura do material (Quadro 4 e Figura 4).

Quadro 4 – Espessura do GTX sem C944 antes e após 12 meses de exposição

GTX	Espessura ¹ (mm)	CV (%)	Varição (mm)
Intacto	3,31	3,5	---
Exposto (12 meses)	2,46	5,5	- 0,85

¹determinado de acordo com a norma EN ISO 9863-1 [6], valores médios de 10 amostras

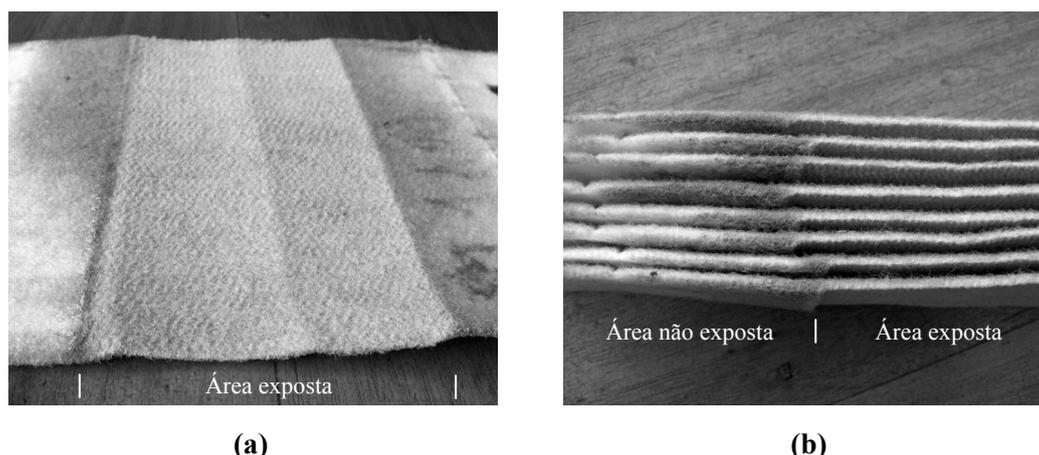


Figura 4 – Redução na espessura do GTX sem C944 após 12 meses de exposição a condições climáticas reais: (a) aspecto geral de uma amostra do GTX; (b) várias amostras do GTX.

As propriedades mecânicas do GTX sem C944 (resistência à tracção e extensão na força máxima) alteraram-se durante a exposição aos agentes climáticos reais, devido à degradação das fibras constituintes do material. Os resultados obtidos para a resistência à tracção e extensão na força máxima do GTX sem C944, antes e após 3, 6, 9 e 12 meses de exposição a condições climáticas reais, encontram-se resumidos no Quadro 5.

Quadro 5 – Resistência à tracção, extensão na força máxima e resistência residual do GTX sem C944 após a exposição durante 3, 6, 9 e 12 meses a condições climáticas reais

Tempo de exposição	Resistência à tracção (kN.m ⁻¹)	Extensão na força máxima (%)	Resistência residual (%)
Intacto	13,0 (5,5%)	112 (6,0%)	---
3 Meses	12,2 (1,4%)	76,1 (11%)	93,8
6 Meses	7,78 (10%)	46,6 (7,6%)	59,8
9 Meses	2,25 (7,2%)	24,5 (8,7%)	17,3
12 Meses	0,78 (28%)	18,6 (12%)	6,0

(entre parêntesis encontram-se os valores dos coeficientes de variação obtidos; 5 amostras)

A resistência à tracção do GTX sem C944 diminuiu drasticamente durante a exposição às condições climáticas reais, mostrando o impacto negativo dos agentes climáticos na durabilidade do material. Após 12 meses de exposição, o GTX sem C944 apresentava uma resistência residual de apenas 6,0%, indicando a existência de uma elevada danificação na sua estrutura polimérica. A diminuição na resistência à tracção foi acompanhada por uma diminuição da extensão na força máxima, que passou de 112% no material intacto para 18,6% após 12 meses de exposição aos agentes climáticos.

4.1.2 Geotêxteis com Chimassorb 944

Os GTXs estabilizados com C944 (0,2% e 0,4%) apresentavam uma cor cinzenta após 6 e 12 meses de exposição a condições climáticas reais. A espessura dos GTXs não sofreu alterações e os materiais não apresentavam quaisquer sinais visíveis de degradação (não foram observadas fibras despolimerizadas à superfície dos GTXs). No entanto, os ensaios de tracção-extensão mostraram uma diminuição da resistência à tracção e da extensão na força máxima dos GTXs expostos aos agentes climáticos (Quadros 6 e 7).

Quadro 6 – Resistência à tracção, extensão na força máxima e resistência residual do GTX com 0,2% de C944 após a exposição durante 6 e 12 meses a condições climáticas reais

Tempo de exposição	Resistência à tracção (kN.m ⁻¹)	Extensão na força máxima (%)	Resistência residual (%)
Intacto	12,4 (4,9%)	113 (8,2%)	---
6 Meses	9,67 (7,1%)	56,1 (9,2%)	78,0
12 Meses	6,61 (5,9%)	43,2 (5,7%)	53,3

(entre parêntesis encontram-se os valores dos coeficientes de variação obtidos; 5 amostras)

Quadro 7 – Resistência à tracção, extensão na força máxima e resistência residual do GTX com 0,4% de C944 após a exposição durante 6 e 12 meses a condições climáticas reais

Tempo de exposição	Resistência à tracção (kN.m ⁻¹)	Extensão na força máxima (%)	Resistência residual (%)
Intacto	14,3 (3,0%)	116 (7,0%)	---
6 Meses	11,9 (1,5%)	62,3 (6,5%)	83,2
12 Meses	9,40 (2,2%)	48,2 (1,4%)	65,7

(entre parêntesis encontram-se os valores dos coeficientes de variação obtidos; 5 amostras)

A diminuição da resistência à tracção mostra que mesmo os GTXs estabilizados com 0,2% e 0,4% de C944 não estão completamente protegidos da acção degradante dos agentes climáticos. No entanto, os GTXs com C944 possuíam uma resistência residual superior à do GTX sem aditivo (Figura 5), o que prova que a incorporação de C944 na matriz polimérica dos GTXs permite retardar a degradação promovida pelos agentes climáticos. A menor degradação do GTX com 0,4% de C944 comparativamente ao GTX com 0,2% de C944 permite concluir que a incorporação de uma maior quantidade de C944 nos GTXs resulta numa melhor protecção dos materiais.

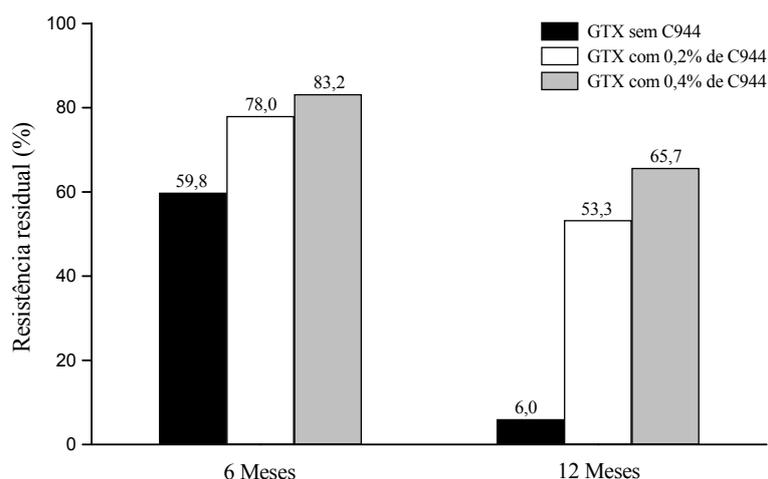


Figura 5 – Resistência residual dos GTXs após exposição aos agentes climáticos

4.2 Exposição dos geotêxteis a condições climáticas simuladas laboratorialmente

O GTX sem C944 não resistiu ao ensaio climático efectuado no laboratório. As fibras de PP sem C944 despolimerizaram por completo e o GTX ficou reduzido a pequenos pedaços ou mesmo a pó (resistência residual nula). Os GTXs estabilizados com C944 não foram destruídos durante o ensaio climático, o que mostra a importância da incorporação de C944 nos GTXs. Apesar de não apresentarem sinais de degradação visíveis, os GTXs com C944 sofreram uma redução considerável na sua resistência à tracção e extensão na força máxima (Quadro 8). A maior degradação sofrida pelo GTX com 0,2% de C944 relativamente ao GTX com 0,4% de C944 confirma que a incorporação de uma maior quantidade de C944 nas fibras de PP resulta numa melhor protecção dos GTXs contra os agentes climáticos.

Quadro 8 – Resistência à tracção, extensão na força máxima e resistência residual dos GTXs estabilizados com C944 após o ensaio climático

Geotêxtil		Resistência à tracção (kN.m ⁻¹)	Extensão na força máxima (%)	Resistência residual (%)
0,2% de C944	Intacto	13,1 (9,7%)	81,6 (12%)	---
	Exposto	6,43 (12%)	45,2 (9,1%)	49,1
0,4% de C944	Intacto	15,1 (6,5%)	73,9 (4,8%)	---
	Exposto	10,3 (9,0%)	44,9 (10%)	68,2

(entre parêntesis encontram-se os valores dos coeficientes de variação obtidos; 5 amostras)

4.3 Exposição a condições climáticas reais versus simulação laboratorial

Os simuladores climáticos podem reproduzir, em alguns dias ou semanas, vários danos que os materiais irão sofrer durante um longo período de tempo (meses ou anos) de exposição a agentes climáticos reais. A previsão do tempo de vida útil dos GTXs, quando expostos ao ar livre, poderá ser rapidamente efectuada através da realização de ensaios laboratoriais. No entanto, é importante estabelecer relações entre a exposição real ao ar livre e a exposição em

laboratório, de modo a prever os danos que surgirão nos materiais expostos em condições reais. A comparação das resistências residuais dos GTXs expostos aos agentes climáticos reais e dos GTXs expostos no QUV permitiu estabelecer uma relação entre o envelhecimento natural e o envelhecimento acelerado dos materiais em laboratório (Figura 6).

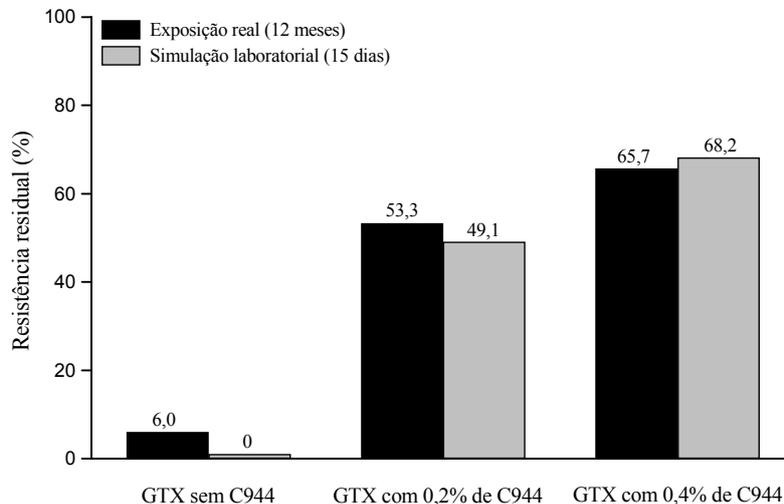


Figura 6 – Exposição a condições climáticas reais (12 meses) *versus* simulação laboratorial

As resistências residuais dos GTXs expostos durante 12 meses a condições climáticas reais foram semelhantes às resistências residuais após a exposição artificial dos materiais. A exposição durante cerca de 15 dias no QUV causou, em termos de resistência à tracção dos GTXs, os mesmos danos que os materiais sofreram durante 12 meses de exposição real. Assim, a previsão dos danos que GTXs semelhantes aos estudados irão sofrer durante um ano de exposição ao ar livre (desde que sob as mesmas condições meteorológicas) poderá ser efectuada laboratorialmente num intervalo de tempo relativamente curto. A danificação natural ocorrida noutro local e sob outras condições meteorológicas poderá também ser comparável, desde que se considerem os diversos parâmetros climáticos.

5. CONCLUSÕES

A resistência dos GTXs de PP diminuiu drasticamente durante a exposição prolongada aos agentes climáticos reais. Após 12 meses de exposição, o GTX sem C944 estava seriamente danificado (redução considerável na espessura do GTX devido ao desprendimento de imensas fibras despolimerizadas) e muito perto da degradação completa (resistência residual de apenas 6%). Apesar de não apresentarem quaisquer sinais visíveis de degradação, os GTXs estabilizados com C944 (0,2% e 0,4%) também sofreram uma redução significativa da sua resistência à tracção e extensão na força máxima, após 12 meses de exposição aos agentes climáticos reais.

Os agentes climáticos simulados no QUV (radiação UV e chuva) também provocaram uma grande diminuição da resistência dos materiais. O GTX sem C944 foi completamente destruído durante o ensaio climático (os materiais ficaram reduzidos a pequenos pedaços ou pó), enquanto que a degradação nos GTXs estabilizados com C944 foi apenas parcial.

A menor degradação dos GTXs estabilizados com C944 relativamente ao GTX sem aditivo mostra a importância do C944 na protecção dos materiais contra a degradação promovida pelos

agentes climatéricos. A incorporação de uma maior quantidade de C944 nas fibras de PP resultou numa maior protecção dos materiais (menor degradação do GTX com 0,4% de C944 relativamente ao GTX com 0,2% de C944).

A exposição a condições climatéricas artificiais provocou, num intervalo de tempo relativamente curto (cerca de 15 dias), uma redução de resistência à tracção similar à que os GTXs sofreram durante os 12 meses de exposição aos agentes climatéricos reais. Esta correlação obtida entre o envelhecimento natural e o envelhecimento acelerado dos GTXs em laboratório poderá ser útil na previsão dos danos que outros GTXs de PP poderão sofrer durante um ano de exposição a agentes climatéricos reais (nas mesmas condições meteorológicas e para GTXs semelhantes aos estudados).

A exposição dos GTXs durante um maior ou menor período de tempo aos diversos agentes climatéricos é, na maioria das aplicações, inevitável. Assim, a incorporação de aditivos químicos, tais como o C944, na formulação dos GTXs é importante para retardar a degradação promovida pelos agentes climatéricos e para prolongar o tempo de vida útil destes materiais.

6. REFERÊNCIAS

- [1] T.S. Ingold, *The Geotextiles and Geomembranes Manual*, 1st Ed., Elsevier (1994) 610 pp.
- [2] D. Feldman “*Polymer weathering: photo-oxidation*” *Journal of Polymers and Environment*, vol. 10-4 (2002) pp. 163-173.
- [3] L.D. Suits, Y.G. Hsuan “*Assessing the photo-degradation of geosynthetics by outdoor exposure and laboratory weatherometer*”, *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 21 (2003) pp. 111-122.
- [4] L.W. Masters, L.F. Bond “*Choices in the design of outdoor weathering tests*”, *Weathering of Plastics – Testing to mirror real life performance*, *Plastics Design Library* (1999) pp. 15-26.
- [5] EN ISO 9864 (2004): *Geosynthetics – Determination of the mass per unit area*.
- [6] EN ISO 9863-1 (2004): *Geosynthetics – Determination of thickness at specified pressures, Part 1: Single layers*
- [7] EN ISO 10319 (1996): *Geotextiles – Wide-width tensile test*.
- [8] EN 12224 (2000): *Geotextiles and geotextiles-related products – Determination of the resistance to weathering*.
- [9] EN 29073-3 (1992): *Textiles – Test methods for nonwovens. Part 3: Determination of tensile strength and elongation*.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CARVALHOS Lda. pelo fabrico das fibras e dos geotêxteis estudados neste trabalho e à Lipor pela cedência do espaço para a exposição dos geotêxteis às condições climatéricas reais.