

AValiação DO COMPORTAMENTO À TRACÇÃO DE GEOTÊXTEIS SUJEITOS A AGENTES DE DEGRADAÇÃO

Tensile behaviour of geotextiles under degradation agents

M. LURDES LOPES *

A. VIEIRA MONTEIRO **

RESUMO - Neste trabalho estuda-se a durabilidade dos geossintéticos com base no seu comportamento à tracção. Para tal, foram seleccionados três geotêxteis não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno fabricados pelo mesmo produtor, mas com massas por unidade de área diferentes. Estes geotêxteis foram submetidos por períodos de 5, 15 e 30 semanas à acção dos seguintes agentes de degradação: 1) agentes atmosféricos; 2) temperaturas elevadas; 3) lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos; 4) solução ácida; 5) solução alcalina; 6) solução de cloreto de sódio.

Para cada agente de degradação foram definidas a resistência à tracção e a deformação na rotura, no fim de cada período de exposição, tendo-se comparado os valores obtidos com os valores dos mesmos parâmetros da amostra virgem.

Neste trabalho descreve-se os materiais utilizados e as metodologias de análise seguidas, analisa-se os resultados obtidos e formula-se algumas conclusões julgadas pertinentes face aos resultados obtidos.

SYNOPSIS - In this work the durability of geosynthetics is studied based on the tensile behaviour of these materials. Three polypropylene nonwoven spunbonded long filament geotextiles of the same producer, but with different unit weight were selected for the study. These geotextiles were submitted for periods of 5, 15 and 30 weeks to the action of the following agents of degradation: 1) natural weathering; 2) high temperatures; 3) urban solid waste leachate; 4) acid solution; 5) alkaline solution; 6) sodium chloride solution.

The tensile strength and the elongation at failure were defined, for each degradation agent, at the end of each period of exposure and the results are compared with the values of the same parameters of the virgin sample.

In this work materials and methodologies of analysis are described, the obtained results are analysed and the main conclusions are put forward.

1 - INTRODUÇÃO

Os geossintéticos são materiais que nos últimos anos têm vindo a ser cada vez mais aplicados nos diversos domínios da engenharia e, em particular, em estruturas de carácter ambiental, como é o caso dos aterros sanitários. Embora seja reconhecido um avanço significativo dos conhecimentos acerca do comportamento destes materiais, quer isolados, quer

* Doutora em Engenharia Civil, Professora Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

** Mestre em Engenharia do Ambiente, Assistente da Universidade Fernando Pessoa.

inseridos na estrutura conjunta mantêm-se, ainda, algumas dúvidas em relação ao seu comportamento ao longo do tempo, particularmente, em casos de sujeição a agentes de degradação responsáveis pela redução dos valores das suas propriedades.

Com o objectivo de lançar algum esclarecimento acerca do modo como alguns agentes de degradação podem afectar o comportamento dos geossintéticos, estudar-se-á, neste trabalho o comportamento à tracção de três geotêxteis não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno fabricados pelo mesmo podutor, mas com massas por unidade de áreas diferentes. A utilização da massa por unidade de área como propriedade distintiva dos diferentes geotêxteis ensaiados tem a ver com a prática, ainda corrente no nosso país nos meios técnicos, de seleccionar os geotêxteis através dessa propriedade.

Os três geotêxteis seleccionados foram submetidos, por períodos de 5,15 e 30 semanas, à acção de agentes de degradação. Na selecção dos agentes de degradação procurou-se incluir alguns dos normalmente presentes em aterros de resíduos com o objectivo de definir a susceptibilidade dos materiais em causa quando inseridos numa estrutura ambiental de tão elevada importância. Os agentes de degradação considerados foram os seguintes:

- atmosféricos naturais;
- temperaturas elevadas (65°C e 105°C);
- lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos;
- solução ácida;
- solução alcalina;
- solução de cloreto de sódio.

Os geotêxteis em aterros de resíduos poderão estar expostos aos agentes atmosféricos naturais por períodos mais ou menos longos durante a fase de construção e exploração. Por sua vez, a sua exposição aos lixiviados é inevitável já que são, normalmente, colocados nas fronteiras das camadas drenantes. A temperatura elevada é outro agente responsável pela degradação dos geotêxteis que está sempre presente nos aterros de resíduos. Na fase de degradação anaeróbica dos resíduos essa temperatura é, em média, de 50°C podendo localmente ser mais elevada. Nesta base optou-se, nos ensaios, por um valor de temperatura um pouco superior à média, e por outro, significativamente superior com vista à obtenção de informação acerca do comportamento dos geotêxteis em situações mais desfavoráveis que a considerada média.

As soluções consideradas foram realizadas em laboratório e a submissão dos geotêxteis à sua acção visa, fundamentalmente, simular teoricamente a situação de lixiviados de resíduos industriais e urbanos (soluções ácida e alcalina). O estudo do comportamento dos geotêxteis sujeitos a acção da solução de cloreto de sódio tem por objectivo obter informação acerca do comportamento destes materiais face a lixiviados ricos em sal (constituente comum da alimentação portuguesa).

No final de cada período de exposição e para cada agente de degradação efectuou-se a definição da resistência à tracção e da deformação na rotura, comparando-se os resultados obtidos com os da amostra virgem. Procurando-se, deste modo, definir a influência no comportamento à tracção dos geotêxteis da acção dos agentes de degradação por períodos máximos de 30 semanas (cerca de 7,5 meses).

2 - MATERIAIS E ENSAIOS DE CONTROLO

Os geotêxteis ensaiados eram não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno com massas por unidade de área de 150g/m², 235g/m², 400g/m². Ao longo deste trabalho estes geotêxteis serão designados, respectivamente por GT150g/m², GT235g/m², GT400g/m².

O ensaio de controlo considerado foi o de tracção - alongação, segundo a norma ASTM D4595-86, tendo-se apenas ensaiado os provetes na direcção de produção.

O estudo foi desenvolvido avaliando os valores da resistência à tracção e da alongação na rotura das amostras virgens, os quais foram considerados como correspondentes a 100%. Os valores obtidos para os mesmos parâmetros após exposição aos agentes de degradação foram comparados com os anteriores e indicados, também, em percentagem (superior a 100%, no caso de aumento do parâmetro, e inferior a 100%, no caso de redução).

Como já foi dito atrás, os agentes de degradação considerados no estudo foram:

- os atmosféricos naturais;
- as temperaturas elevadas (65°C e 105°C);
- o lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos;
- a solução ácida;
- a solução alcalina;
- a solução de cloreto de sódio.

A exposição aos agentes atmosféricos naturais, ao lixiviado de resíduos sólidos urbanos e às soluções ácida, alcalina e de cloreto de sódio foi levada a cabo no aterro de resíduos sólidos urbanos de Matosinhos, tendo a exposição às temperaturas de 65°C e 105°C sido efectuada em duas estufas de laboratórios da FEUP. Os ensaios mecânicos de controlo do comportamento dos geossintéticos foram realizados no laboratório de Geotecnia da FEUP.

Foram considerados três períodos de exposição dos geotêxteis a cada agente de degradação. Esses períodos foram de 5, 15, e 30 semanas. O número de provetes ensaiados à tracção-elongação de cada geotêxtil foi de 132, ou seja, foram ensaiados um total de 396 provetes (ver Quadro I).

Os provetes imersos em líquidos foram suspensos em fios de nylon com 0,5mm de diâmetro espaçados de pelo menos 5mm. Todos os provetes sujeitos aos diferentes agentes de degradação foram, no final do período de exposição, cuidadosamente limpos e colocados em repouso durante 24 horas. Os que estiveram sob a acção das soluções foram lavados com água corrente, tendo a secagem dos mesmos sido feita no interior de uma sala, por forma a evitar a incidência da luz solar.

3 - ENSAIOS DE DEGRADAÇÃO

3.1 - Agentes atmosféricos

Foram construídas estruturas horizontais em cantoneira de ferro e rede de arame para colocar as amostras dos geotêxteis durante a exposição aos agentes atmosféricos (Figura 1).

Os raios ultravioletas são um dos principais agentes de degradação dos geotêxteis, pois conduzem à quebra das ligações poliméricas. Embora a degradação dos geotêxteis por exposição aos agentes atmosféricos tenha muito a ver com o tempo de exposição, há que não descurar a influência nesse tipo de degradação de algumas características dos geotêxteis, nomeadamente, do polímero constituinte, do tipo de aditivos utilizados no fabrico, do tipo de ligação, etc.. Por outro lado, juntamente com acção da luz solar existem outros agentes que, directa ou indirectamente, intervêm na degradação dos geotêxteis, tais como: a chuva, o vento, a humidade e a temperatura.

Quadro I - Número de provetes ensaiados à tracção-elongação.

Agentes de degradação		Tempo (semanas)	Geotêxteis		
			GT150g/m ²	GT235g/m ²	GT400g/m ²
Inexistente (provetes virgens)		-	6	6	6
Atmosféricos		5	6	6	6
		15	6	6	6
		30	6	6	6
Temperatura	65°C	5	6	6	6
	105°C	5	6	6	6
	65°C	15	6	6	6
	105°C	15	6	6	6
	65°C	30	6	6	6
	105°C	30	6	6	6
Lixiviado		5	6	6	6
		15	6	6	6
		30	6	6	6
Solução ácida		5	6	6	6
		15	6	6	6
		30	6	6	6
Solução alcalina		5	6	6	6
		15	6	6	6
		30	6	6	6
Solução de cloreto de sódio		5	6	6	6
		15	6	6	6
		30	6	6	6

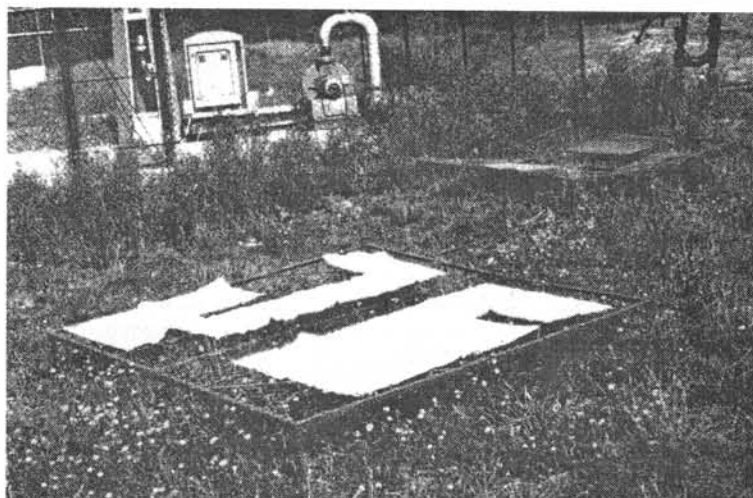


Figura 1 - Exposição dos geotêxteis aos agentes atmosféricos.

3.2 - Lixiviado

Um lixiviado é constituído por todos os líquidos e sólidos em suspensão, resultantes da deposição e decomposição dos resíduos nos aterros e que percolam através destes.

Com o objectivo de estudar a degradação mecânica dos geotêxteis sujeitos à acção de um lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos construiu-se um cesto em estrutura de madeira revestida a rede plástica, no interior do qual foram colocados os provetes dos materiais. Este cesto foi totalmente mergulhado na lagoa de lixiviados do aterro de resíduos sólidos urbanos de Matosinhos. As características médias desse lixiviado durante o período de imersão constam no Quadro II.

De todas as acções de degradação consideradas a do lixiviado, a par da dos agentes atmosféricos, são aquelas que lidam com os agentes reais, fornecendo, por isso, resultados inequívocos para o tempo de exposição considerado. Na verdade, os geotêxteis quando colocados no fundo ou nos taludes das células dos aterros de resíduos como protectores das geomembranas ficam em contacto directo com o lixiviado, sofrendo acção de degradação por parte deste. Portanto, ao colocar os provetes dos geotêxteis directamente na bacia de recepção dos lixiviados de um aterro de resíduos sólidos urbanos, está-se a submetê-los a condições próximas das reais, apesar de poderem existir outros factores, actuando em simultâneo, potenciadores ou inibidores da acção de envelhecimento por parte do lixiviado, como são, no primeiro caso, as temperaturas elevadas, e que não são considerados neste estudo.

Quadro II -Composição média dos lixiviados do aterro de resíduos sólidos urbanos de Matosinhos.

ELEMENTOS	QUANTIDADE
Amoníaco	1098,00 mg/l
Azoto Kjeldahl	1285,67 mg/l
PH	9,55
Temperatura	17,50 °C
Oxidabilidade	1245,00 mg/l
Fósforo	202,00 mg/l
CBO ₅	444,50 mg/l
CQO	4344,67 mg/l
Resíduo seco total	17689,50 mg/l
Resíduo seco volátil	7118,50 mg/l
Sólidos suspensos totais	743,00 mg/l
Sólidos suspensos voláteis	607,00 mg/l
Oxigénio dissolvido	0,00 mg/l
Magnésio	155,00 mg/l
Arsénio	<0,0012 mg/l
Cádmio	0,16 mg/l
Crómio total	0,21 mg/l
Cobre	0,85 mg/l
Mercúrio	<0,0001 mg/l
Níquel	1,04 mg/l
Chumbo	<0,0001 mg/l
Selénio	<0,0001 mg/l
Zinco	0,49 mg/l

3.3 - Solução ácida

Com a submissão dos provetes de geotêxteis à acção de uma solução ácida pretendeu-se estudar o efeito sobre os geotêxteis da acção de uma solução com pH muito baixo.

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993) os lixiviados dos aterros de resíduos sólidos urbanos podem apresentar pH variando entre 4,5 e 7, sendo, em regra, de 6. Segundo a EPA (Environmental Protection Agency) o valor do pH dos lixiviados dos aterros em causa varia entre 3,7 e 8,5. Porém, nos aterros de resíduos industriais esse pH pode ser significativamente menor. Por esta razão, optou-se por submeter os geotêxteis à acção de uma solução com pH de 1,5, para assim poder conhecer o comportamento destes materiais sob condições de agressividade elevada.

A solução ácida foi preparada com ácido sulfúrico e ácido nítrico por serem ácidos de baixo custo e de fácil obtenção no mercado, por serem ácidos fortes e, no caso do segundo, por ser fortemente oxidante. A razão de se utilizar ácidos fortes e oxidantes teve a ver com o facto de os polipropilenos serem atacados por estes tipos de ácidos.

Foi preparada uma solução de ácido sulfúrico na proporção de 2 partes de água para uma de ácido, num total de 15 ml. Misturou-se a solução obtida com 400 ml de água, do abastecimento público, em pequenas porções, controlando continuamente o pH (ver Figura 2). Na mistura de 400 ml estavam presentes cerca de 4 ml de ácido sulfúrico. Para conferir à solução condições oxidantes adicionou-se à mistura anterior cerca de 100 ml de ácido nítrico.

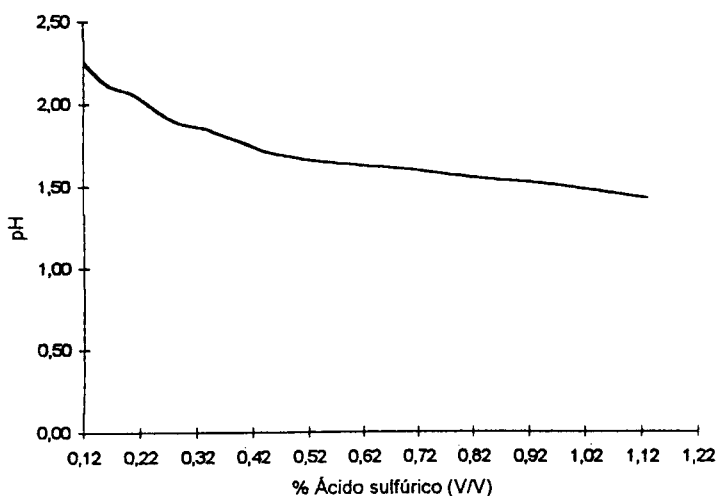


Figura 2 - Evolução do pH com a concentração de ácido sulfúrico na solução.

A Figura 3 mostra as tinas utilizadas para imersão dos provetes de geotêxteis nas soluções consideradas no estudo (soluções ácida, alcalina e de cloreto de sódio). Durante o tempo de exposição dos provetes à solução ácida o pH foi sistematicamente controlado e mantido constante.

3.4 - Solução alcalina

A solução alcalina utilizada nos ensaios de degradação dos geotêxteis foi preparada recorrendo à utilização de hidróxido de sódio. O método de preparação da solução foi semelhante ao utilizado na preparação da solução ácida. Assim, foi feita uma solução inicial de

2,47 g de hidróxido de sódio em 40 ml de água do abastecimento público. Esta solução foi adicionada a 400 ml de água da mesma origem, controlando sempre o pH. Foi conseguido um pH de 12,50 com 30 ml de solução alcalina inicial, contendo cerca de 1,86 g de hidróxido de sódio. A evolução do pH na preparação da solução alcalina está representada na Figura 4.

À semelhança do que aconteceu com a solução ácida, ao longo da exposição dos geotêxteis à solução alcalina houve a necessidade de compensar as perdas por evaporação, quer juntando água, quer juntando hidróxido de sódio com vista à manutenção do pH constante.

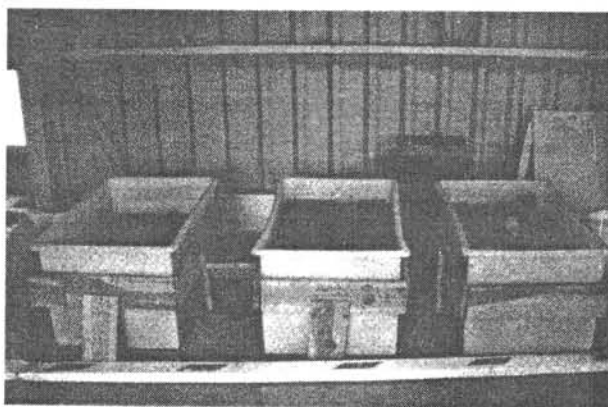


Figura 3 - Tinas de imersão dos provetes de geotêxteis nas soluções.

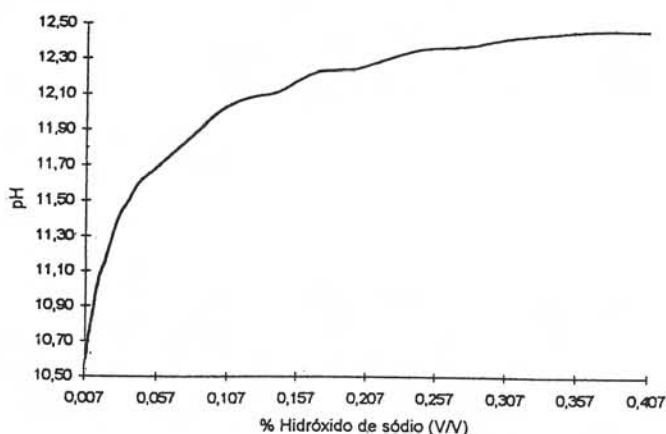


Figura 4 - Evolução do pH com a concentração de hidróxido de sódio na solução.

3.5 - Solução de cloreto de sódio

O estudo do efeito degradativo de uma solução de cloreto de sódio nos geotêxteis pretendeu simular o efeito da exposição dos geotêxteis à acção de soluções salinizadas. Para realizar a solução colheu-se água do mar numa praia do concelho de Matosinhos. Após um período de repouso de 12 horas retirou-se uma amostra com 100 ml para um balão previamente pesado. Seguidamente, levou-se a amostra à ebulição durante o tempo necessário para que toda a água presente se evaporasse. O balão foi levado até à temperatura ambiente num excicador de modo que o peso da matéria presente não sofresse alteração devido à absorção de humidade

existente no ar. O conjunto balão e matéria foi pesado. O peso da matéria existente na amostra de água de mar colhida foi calculado a partir da diferença entre o peso do conjunto balão e matéria e o peso do balão vazio, assumindo-se como sendo este o peso de cloreto de sódio (NaCl) existente na amostra, apesar de se saber que existem outros elementos dissolvidos na água do mar e que os resultados obtidos podem não expressar correctamente a concentração de NaCl.

Quadro III - Determinação da concentração de NaCl existente na amostra de água do mar.

Pesos (gr.)	Balão 1	Balão 2	Balão 3	Balão 4
do balão vazio	105,63	105,02	106,46	107,19
do balão+matéria	109,00	108,22	109,76	110,46
da matéria	3,37	3,20	3,31	3,27

O procedimento de medição da concentração da solução foi repetido 4 vezes, sendo o valor considerado no estudo a média dos 4 valores obtidos (ver Quadro III).

Se se efectuar a média simples dos valores da matéria sólida obtida tem-se cerca de 3,29 g por cada 100 ml de água do mar, sendo a concentração de NaCl na solução utilizada de 33,7 g por cada litro de água.

4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

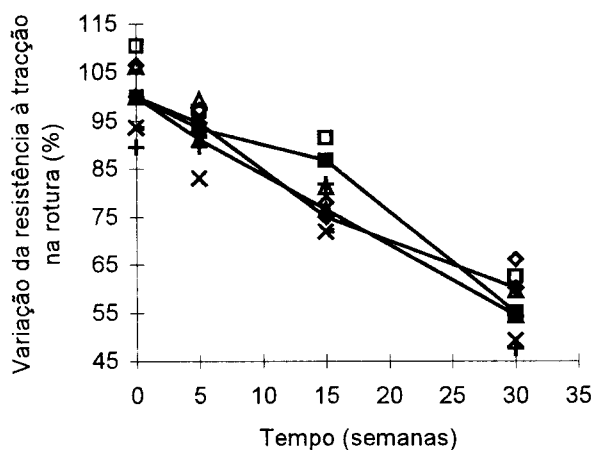
4.1 - Exposição aos agentes atmosféricos

Para o estudo do efeito no comportamento à tracção dos geotêxteis da exposição aos agentes atmosféricos procedeu-se à exposição de amostras de três geotêxteis não tecidos, sem aditivos anti-UV (radiações ultravioletas), do mesmo produtor e com características de fabrico idênticas, mas com massas por unidade diferentes, no topo de uma célula fechada do aterro de resíduos sólidos urbanos de Matosinhos. O local de exposição tem de latitude 41,2° Norte e de longitude 8,8° Oeste. As amostras foram colocadas em estruturas metálicas horizontais com 0,5m de altura (ver Figura 1).

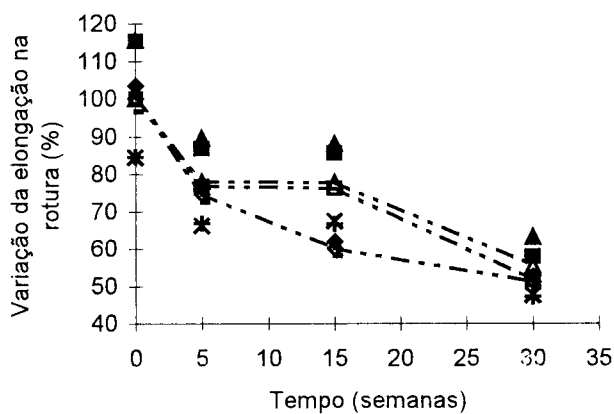
Quadro IV - Valores médios dos parâmetros atmosféricos controlados durante os períodos de exposição dos geotêxteis.

	Tempo (semanas)		
	0 a 5	5 a 15	15 a 30
Temperatura máxima (°C)	16,2	22,3	21,8
Temperatura mínima (°C)	9,0	12,0	14,2
Precipitação (mm)	1,27	1,13	2,59
Humidade relativa (%)	89,9	68,1	78,2

Ao longo dos períodos de exposição foram registados os valores da humidade relativa e das temperaturas máxima e mínima do ar, bem como da precipitação. O Quadro IV mostra os valores médios destes parâmetros nos períodos compreendidos entre 0 e 5, 5 e 15 e 15 e 30 semanas de exposição dos geotêxteis.



(a)



(b)

Figura 5 - Variação da resistência à tracção (a) e da elongação na rotura (b) dos provetes de geotêxteis após exposição aos agentes atmosféricos.

Quadro V - Valores médios e coeficientes de variação obtidos nos ensaios de tracção-elongação dos geotêxteis submetidos à acção dos agentes atmosféricos.

Tem.	GT150g/m ²				GT235g/m ²				GT400g/m ²			
	Tracção		Deformação		Tracção		Deformação		Tracção		Deformação	
	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺
(sem.)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0	100	6,3	100	15,5	100	10,5	100	15,3	100	6,5	100	3,5
5	91,2	9,0	77,9	15,0	93,4	4,0	76,8	13,0	94,6	3,0	74,6	3,0
15	76,5	6,0	77,7	13,4	86,7	5,5	76,2	12,5	75,0	4,0	60,0	3,0
30	54,4	9,5	55,3	14,0	55,1	13,4	51,6	12,3	60,1	10,0	51,1	3,0

- * - Valor em percentagem da força de tracção na rotura. Neste trabalho o valor médio da força de tracção na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.
- + - Coeficiente de variação.
- ×

A variação da resistência à tracção e da elongação médias na rotura dos três geotêxteis em estudo durante a exposição aos agentes atmosféricos está representada na Figura 5. O Quadro V resume, para os três materiais e para os diferentes tempos de exposição considerados, os valores médios e os coeficientes de variação da força de tracção e da elongação na rotura obtidos nos ensaios mecânicos de tracção-elongação.

Observa-se uma diminuição acentuada na resistência à tracção dos geotêxteis independentemente do valor da massa por unidade de área. Ao fim de 30 semanas de exposição a redução da resistência à tracção média na rotura dos geotêxteis é de cerca de 45,6% do valor médio inicial para o geotêxtil GT150g/m² e cerca de 39,9% do mesmo valor para o geotêxtil GT400g/m². Para o mesmo período de exposição a elongação média na rotura é da ordem dos 44,7% do valor médio inicial no geotêxtil GT150g/m², chegando aos 48,9% do mesmo valor no geotêxtil GT400g/m².

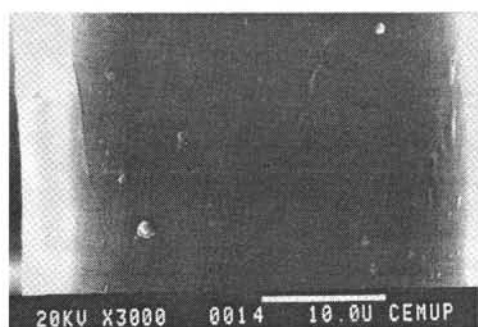
É de notar que, em termos gerais, o agente de degradação em causa induz, nos três geotêxteis estudados, percentagens de alteração nos valores da resistência à tracção e da elongação na rotura semelhantes, o que permite concluir não haver melhoria do comportamento dos geotêxteis face à acção dos agentes atmosféricos com o aumento da sua massa por unidade de área.

Nos geotêxteis, devido à sua estrutura aberta e à sua maior superfície específica, a luz solar tem a possibilidade de chegar ao mesmo tempo às camadas superficiais e às camadas mais internas, induzindo degradação significativa em toda a estrutura do material.

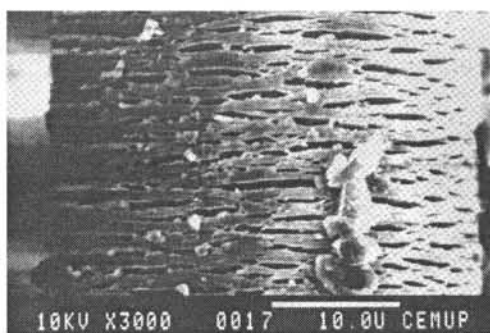
A diminuição observada da elongação e da resistência à tracção na rotura dos geotêxteis resulta da quebra das ligações entre as cadeias moleculares do polímero base.

A Figura 6 mostra fotografias efectuadas por microscopia electrónica de varrimento de um filamento de polipropileno do GT400g/m² da amostra virgem (Figura 6a) e da amostra do mesmo material depois de exposta por 30 semanas aos agentes atmosféricos (Figura 6b). Por sua vez, a Figura 7 mostra fotografias efectuadas pelo mesmo método de uma pequena área da amostra virgem do GT400g/m² (Figura 7a) e da amostra do mesmo material após 30 semanas de exposição aos agentes atmosféricos (Figura 7b). Como se pode observar das figuras a exposição do geotêxtil a estes agentes conduz à quebra da continuidade da estrutura dos seus filamentos constituintes, quebra essa, responsável pela redução observada na sua resistência

mecânica. Estas imagens são expressivas da degradação do material após a exposição aos agente atmosféricos.

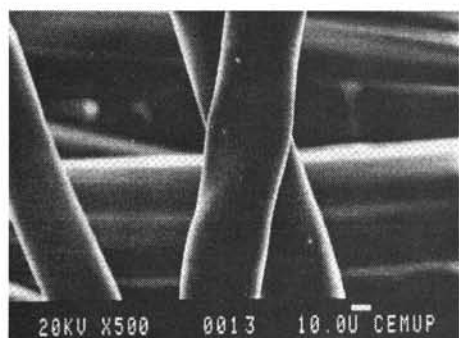


(a)

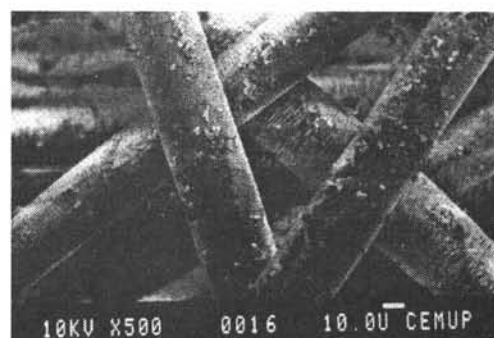


(b)

Figura 6 - Fotografia obtida por microscopia electrónica de varrimento (ampliação 3000×) de um filamento de polipropileno do GT400g/m²: a) antes da exposição aos agentes atmosféricos; b) após exposição por 30 semanas aos agentes atmosféricos.



(a)

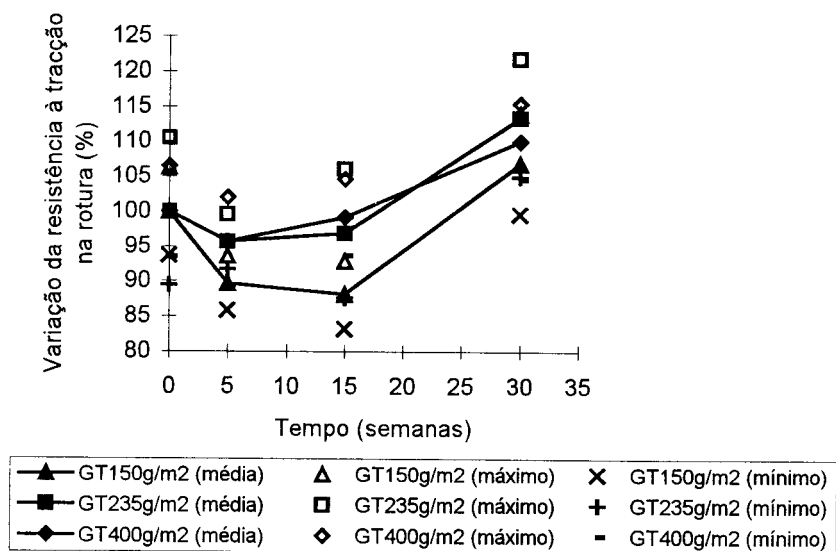


(b)

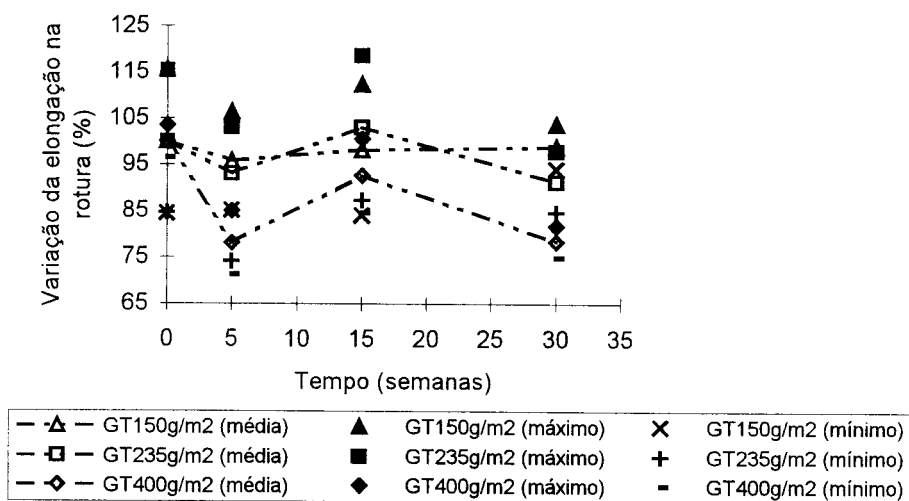
Figura 7 - Fotografia obtida por microscopia electrónica de varrimento (ampliação 500×) do GT400g/m²: a) antes da exposição aos agentes atmosféricos; b) após exposição por 30 semanas aos agentes atmosféricos.

4.2 - Exposição às temperaturas de 65°C e 105°C

Para analisar o efeito da temperatura no comportamento à tracção dos geotêxteis colocaram-se amostras dos materiais em estudo em estufas às temperaturas de 65 °C e 105 °C. A Figura 8 mostra a variação dos valores médios da resistência e da elongação na rotura ao longo dos vários períodos de exposição dos materiais à temperatura de 65°C. Por sua vez, o Quadro VI apresenta, para os três materiais em estudo e para os diferentes tempos de exposição considerados, os valores médios e os coeficientes de variação da força de tracção e da elongação na rotura obtidos nos ensaios mecânicos de tracção-elongação.



(a)



(b)

Figura 8 - Variação da resistência à tração (a) e da elongação na rotura (b) dos geotêxteis após exposição à temperatura de 65° C.

Quadro VI - Valores médios e coeficientes de variação obtidos nos ensaios de tracção-elongação dos geotêxteis submetidos à acção da temperatura de 65 °C.

Tem.	GT150g/m ²				GT235g/m ²				GT400g/m ²			
	Tracção		Deformação		Tracção		Deformação		Tracção		Deformação	
	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺
(sem.)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0	100	6,3	100	15,5	100	10,5	100	15,3	100	6,5	100	3,5
5	89,7	4,3	95,8	11,1	95,7	4,1	93,0	10,7	95,7	6,6	78,1	8,8
15	88,1	5,5	98,2	14,5	96,9	9,5	103,0	15,2	99,2	5,5	92,6	8,6
30	106,8	6,7	98,9	5,0	113,4	7,4	91,3	7,2	110,0	4,9	78,3	4,4

- * - Valor em percentagem da força de tracção na rotura. Neste trabalho o valor médio da força de tracção na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.
- + - Coeficiente de variação.
- × - Valor em percentagem da deformação na rotura. Neste trabalho o valor médio da deformação na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.

A resistência à tracção média do geotêxtil GT150g/m² submetido à temperatura de 65°C diminui durante as primeiras 15 semanas, cerca de 11,9%, mantendo-se a elongação praticamente constante e diminuindo a rigidez cerca de 10,3%. Os restantes materiais acompanham a tendência de comportamento observado anteriormente, embora com valores superiores da resistência à tracção e valores inferiores da elongação (em particular, o GT400g/m² no que se refere à elongação)

Em termos de rigidez (ver Figura 9), os três geotêxteis apresentam comportamento qualitativamente concordante, com a rigidez a aumentar ao longo do tempo com a massa por unidade de área do material. Nos três casos ao fim de 30 semanas de exposição observa-se que a rigidez dos materiais é superior à dos materiais intactos.

Pode-se considerar dois efeitos contraditórios no comportamento dos geotêxteis sujeitos a temperaturas elevadas:

- a degradação provocada pela temperatura;
- a ligação térmica dos filamentos.

Se por um lado o aumento da temperatura facilita a quebra de ligações poliméricas fazendo com que a resistência à tracção diminua, por outro, a ligação térmica dos pontos de contacto entre os filamentos aumenta-lhe essa resistência.

Cabe aqui referir que as temperaturas utilizadas nos ensaios podem não corresponder às temperaturas de fusão do polímero constituinte dos geotêxteis (o polipropileno). Porém, dado o seu valor elevado, os filamentos de polipropileno podem atingir um estado viscoso, e dar origem, após arrefecimento, a ligações mais rígidas nos pontos de contacto entre eles, inexistentes nos geotêxteis virgens. Neste trabalho este tipo de ligação será designada por ligação térmica.

Note-se que os geotêxteis foram ensaiados à tracção após arrefecimento até à temperatura ambiente de ensaio (20±2°C) dando-se, por isso, solidificação do material. Caso tivesse sido possível ensaiá-los à temperatura de 65°C o efeito da ligação térmica dos filamentos resultante do arrefecimento até à temperatura do ensaio de tracção não existiria, sendo, provavelmente, observado um comportamento mais desfavorável do que o apresentado nas Figuras 8 e 9 deste trabalho.

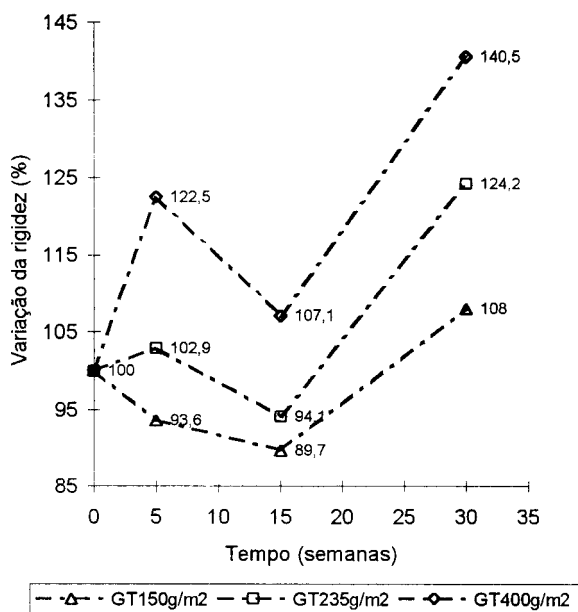
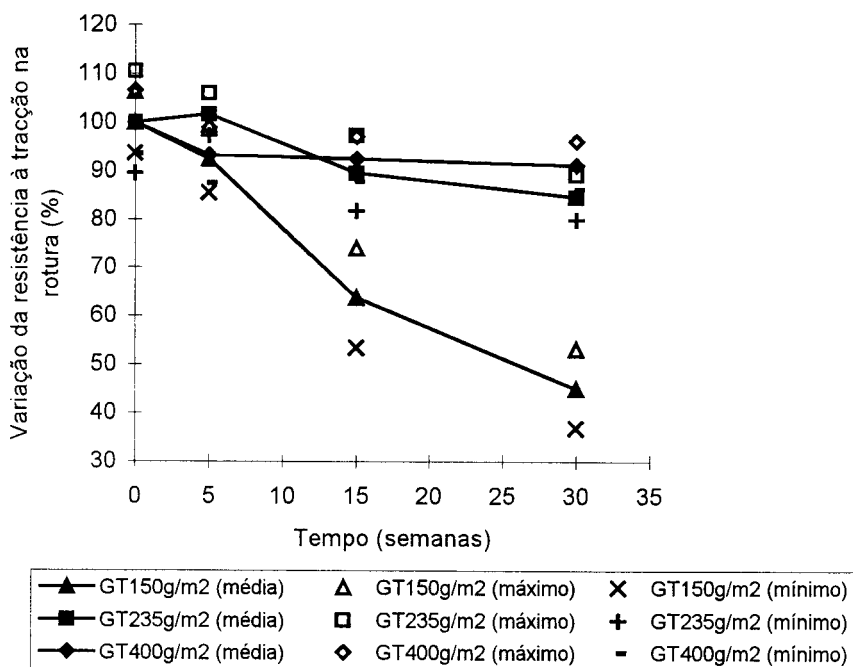


Figura 9 - Variação da rigidez dos geotêxteis após exposição à temperatura de 65° C.

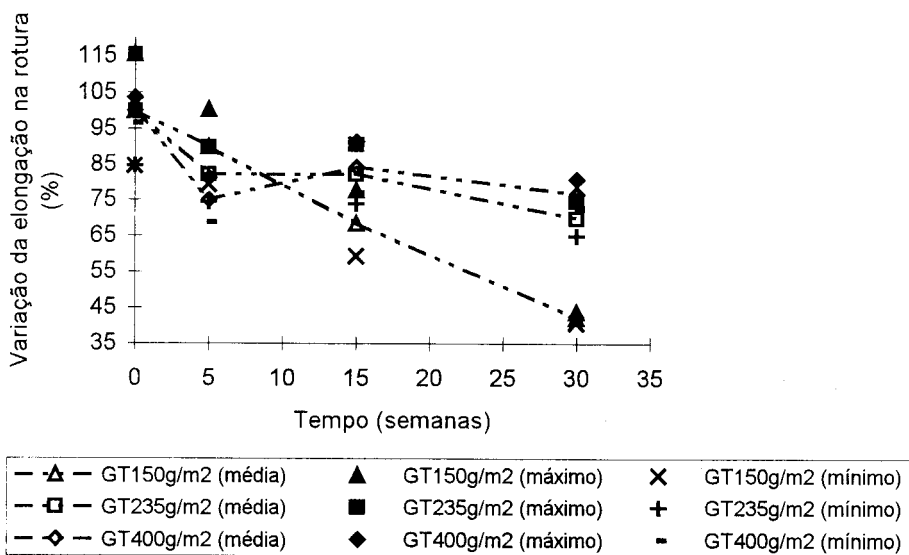
Neste pressuposto é de referir que a maior resistência e rigidez observada ao fim de 30 semanas de exposição dos geotêxteis (em relação aos valores dos mesmos parâmetros dos geotêxteis virgens) poderá ser devida ao aumento dos pontos de contacto dos filamentos ligados termicamente com o tempo de exposição, sendo este aspecto mais significativo nos geotêxteis de maior massa por unidade de área, pois estes contêm na sua constituição maior número de filamentos, dando, por isso, origem a um também maior número de pontos de ligação térmica na sua estrutura.

A Figura 10 mostra a variação dos valores médios da resistência à tracção e da elongação na rotura dos geotêxteis ensaiados ao longo dos três períodos de exposição considerados à temperatura de 105°C. Por sua vez, o Quadro VII apresenta, para os três materiais em estudo e para os diferentes tempos de exposição considerados, os valores médios e os coeficientes de variação da força de tracção e da elongação na rotura obtidos nos ensaios mecânicos de tracção-elongação.

Como se pode observar das Figuras 8 e 10, o aumento da temperatura conduz à diminuição da resistência à tracção média dos geotêxteis à medida que o tempo de exposição aumenta. Este efeito é tanto mais significativo quanto menor é a massa por unidade de área do material. Por sua vez, a rigidez do material aumenta com o acréscimo da temperatura para períodos curtos (5 semanas) de exposição dos GT150g/m² e GT235g/m², diminuindo para o período mais longo de exposição (30 semanas) do GT400g/m² (ver Figuras 9 e 11).



(a)



(b)

Figura 10 - Variação da resistência à tração (a) e da elongação na rotura (b) dos geotêxteis após exposição à temperatura de 105°C.

Quadro VII - Valores médios e coeficientes de variação obtidos nos ensaios de tracção-elongação dos geotêxteis submetidos à acção da temperatura de 105 °C.

Tem. (sem.)	GT150g/m²				GT235g/m²				GT400g/m²			
	Tracção		Deformação		Tracção		Deformação		Tracção		Deformação	
	F* (%)	Cv+ (%)	ε× (%)	Cv+ (%)	F* (%)	Cv+ (%)	ε× (%)	Cv+ (%)	F* (%)	Cv+ (%)	ε× (%)	Cv+ (%)
0	100	6,3	100	15,5	100	10,5	100	15,3	100	6,5	100	3,5
5	92,5	7,6	89,9	11,7	101,7	4,2	82,2	9,2	93,2	6,1	75,0	8,2
15	63,7	16,2	68,5	13,4	89,6	8,7	82,3	10,1	92,5	5,0	84,2	8,4
30	45,0	18,2	42,2	3,6	84,5	5,4	69,9	7,0	91,2	5,5	76,7	5,4

- * - Valor em percentagem da força de tracção na rotura. Neste trabalho o valor médio da força de tracção na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.
- + - Coeficiente de variação.
- × - Valor em percentagem da deformação na rotura. Neste trabalho o valor médio da deformação na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.

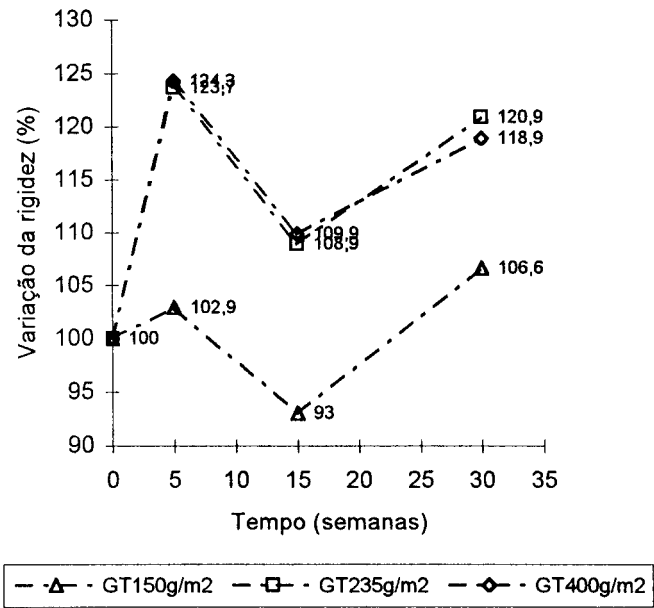


Figura 11 - Variação da rigidez dos geotêxteis após exposição à temperatura de 105°C.

À medida que a temperatura aumenta, aumenta a degradação dos geotêxteis e, de modo menos significativo, o efeito da ligação térmica nos pontos de contacto dos seus filamentos constituintes. Em consequência observa-se uma redução significativa da resistência, diminuindo também a deformação. Para o período mais longo de exposição considerado (30 semanas) a rigidez dos GT150g/m² e GT235g/m² sofre alterações pouco significativas com o aumento da temperatura, diminuindo de modo importante a do GT400g/m².

4.3 - Lixiviado

A Figura 12 mostra a variação da resistência à tracção e da elongação médias na rotura dos três geotêxteis considerados neste trabalho (GT150g/m², GT235g/m² e GT400g/m²) após exposição ao lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos durante um período máximo de 30 semanas. A composição média do lixiviado utilizado no estudo está apresentada no Quadro II da secção 3.2.

O Quadro VIII apresenta, para os três materiais em estudo e para os diferentes tempos de exposição considerados, os valores médios e os coeficientes de variação da força de tracção e da elongação na rotura obtidos nos ensaios mecânicos de tracção-elongação.

Constata-se que a resistência à tracção média do geotêxtil GT150g/m² diminui sob a acção do lixiviado, dando-se a redução máxima à 5ª semana de exposição (cerca de 8,5%). Como, no mesmo período, o acréscimo da elongação média é de cerca de 1,8%, a rigidez média do material diminui aproximadamente 10,1% em relação ao valor inicial (ver Figura 13).

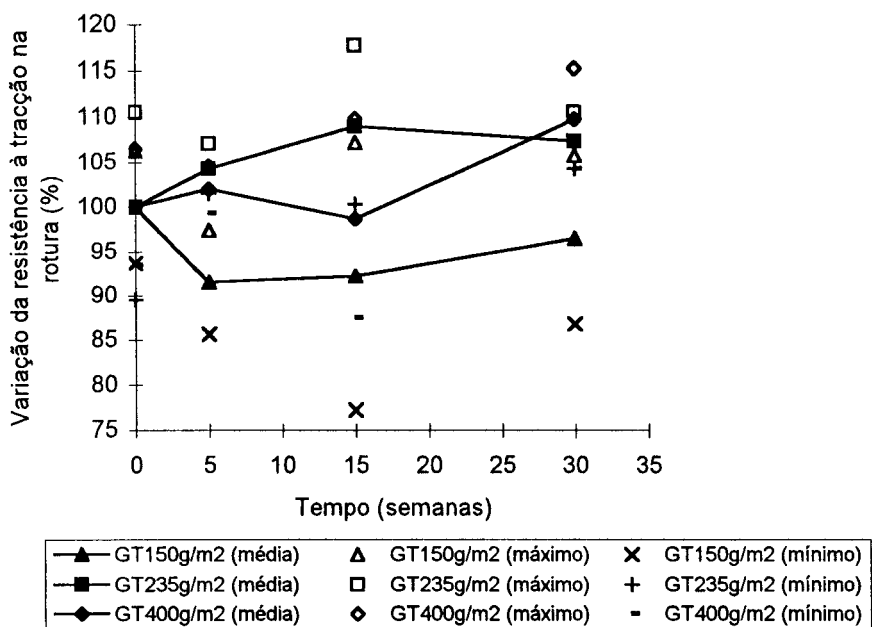
O aumento do tempo de exposição conduz à redução da deformação na rotura do material, em relação ao valor do mesmo parâmetro da amostra virgem. Esta redução, associada à diminuição da resistência à tracção leva à variação pouco significativa da rigidez do material para exposições da ordem das 15 a 30 semanas.

Para o primeiro período de exposição (5 semanas) verifica-se no geotêxtil GT400g/m² um aumento muito ligeiro da resistência à tracção média (cerca de 2%), associado a uma diminuição mais acentuada da elongação média (cerca de 14,8%), aumentando a rigidez do material. Esta tendência de comportamento (ou seja de aumento da rigidez do material) mantém-se nos dois períodos mais longos de exposição considerados. O geotêxtil GT235g/m² exposto à acção dos lixiviados evidencia, tal como o GT400g/m², aumento de rigidez (ver Figura 13).

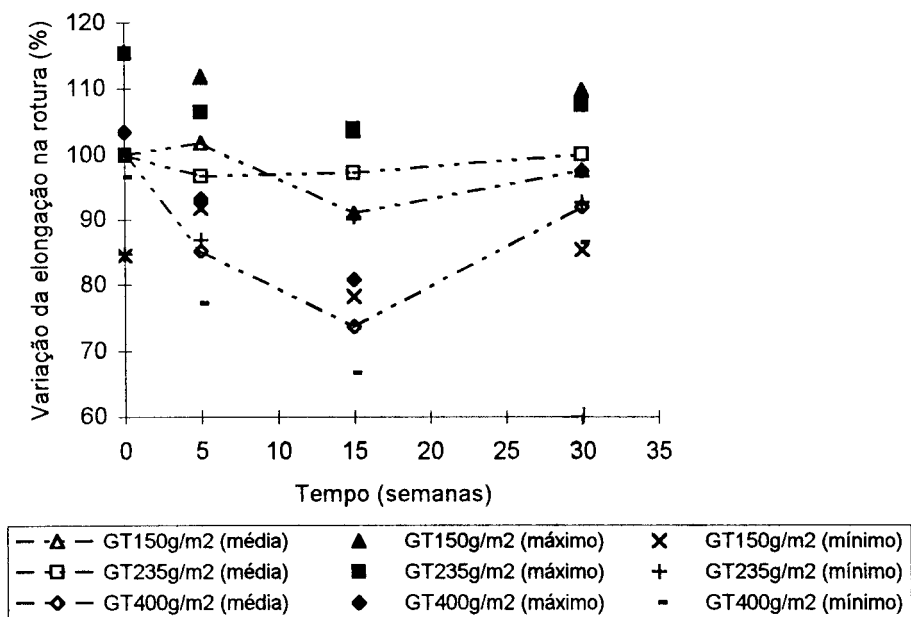
O comportamento observado para os três geotêxteis ensaiados pode ser justificado, pelo menos em parte, pela deposição da fracção sólida do lixiviado nos poros e nas paredes dos filamentos do geotêxtil, sendo esta deposição tanto mais significativa quanto maior é a massa por unidade de área do material. É de referir que ao aumento deste parâmetro está associado um maior número de filamentos constituintes e de poros no geotêxtil.

Embora os provetes de geotêxtil tenham sido limpos antes de ser ensaiados é provável que não tenha sido possível retirar a totalidade da parte sólida depositada que, ao secar, induziu redução na deformação estrutural nos geotêxteis. Esta acção associada à acção propriamente dita da solução de lixiviado conduziu ao comportamento expresso nas Figuras 12 e 13.

A Figura 14 mostra fotografias efectuadas por microscopia electrónica de varrimento de um filamento de polipropileno do GT400g/m² da amostra virgem (Figura 14a) e da amostra do mesmo material depois de exposta por 30 semanas à acção do lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos (Figura 14b). A figura expressa a alteração da superfície exterior do filamento por acção do agente de degradação em consideração. A alteração da estrutura do material é pouco significativa, especialmente quando comparada com a induzida pelos agentes atmosféricos (ver Figura 6) o que está em concordância com os resultados obtidos que evidenciam uma muito menor sensibilidade do material à acção do lixiviado do que em relação à acção dos agentes atmosféricos.



(a)



(b)

Figura 12 - Variação da resistência à tracção (a) e da elongação (b) na rotura dos geotêxteis após exposição ao lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos.

Quadro VIII - Valores médios e coeficientes de variação obtidos nos ensaios de tracção-elongação dos geotêxteis submetidos à acção do lixiviado de aterro de RSU.

Tem.	GT150g/m ²				GT235g/m ²				GT400g/m ²			
	Tracção		Deformação		Tracção		Deformação		Tracção		Deformação	
	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺
(sem.)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0	100	6,3	100	15,5	100	10,5	100	15,3	100	6,5	100	3,5
5	91,5	6,5	101,8	9,8	104,3	2,7	96,7	10,1	102,0	2,6	85,2	9,4
15	92,2	16,3	91,0	14,0	109,0	8,0	97,2	7,0	98,7	11,3	73,7	9,6
30	96,3	9,9	97,6	12,5	107,4	2,9	100,1	7,5	109,8	5,0	92,0	6,0

- * - Valor em percentagem da força de tracção na rotura. Neste trabalho o valor médio da força de tracção na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.
- + - Coeficiente de variação.
- × - Valor em percentagem da deformação na rotura. Neste trabalho o valor médio da deformação na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.

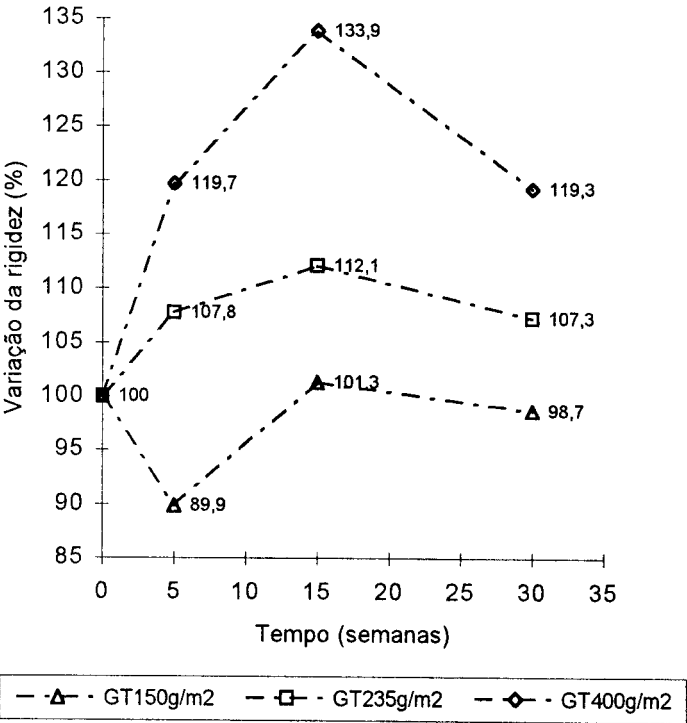


Figura 13 - Variação da rigidez dos geotêxteis após exposição ao lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos.

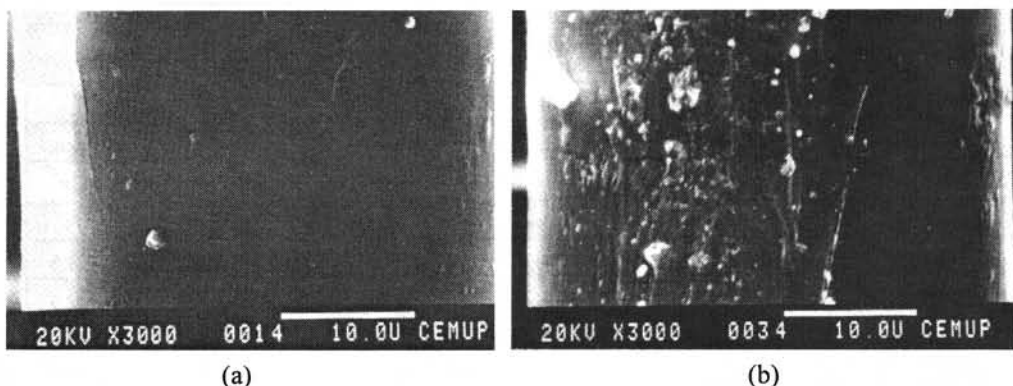


Figura 14 - Fotografia obtida por microscopia electrónica de varrimento (ampliação 3000×) de um filamento de polipropileno do GT400g/m²: a) antes da exposição à acção do lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos; b) após exposição por 30 semanas à acção de um lixiviado do aterro de resíduos sólidos urbanos.

4.4 - Solução ácida

Os geotêxteis submetidos à acção de degradação da solução ácida apresentam, em geral, pequena diminuição da resistência à tracção média (ver Quadro IX e Figura 15).

De todos os materiais estudados apenas o GT235g/m² evidencia um acréscimo de resistência ao fim de 30 semanas de exposição. Para o GT150g/m² a redução máxima de resistência dá-se ao fim de 15 semanas de exposição e é de cerca de 11,1%. Para os outros geotêxteis considerados a redução máxima de resistência dá-se ao fim de 5 semanas e é cerca de 7,6% e 5,7%, respectivamente, para os geotêxteis GT235g/m² e GT400g/m².

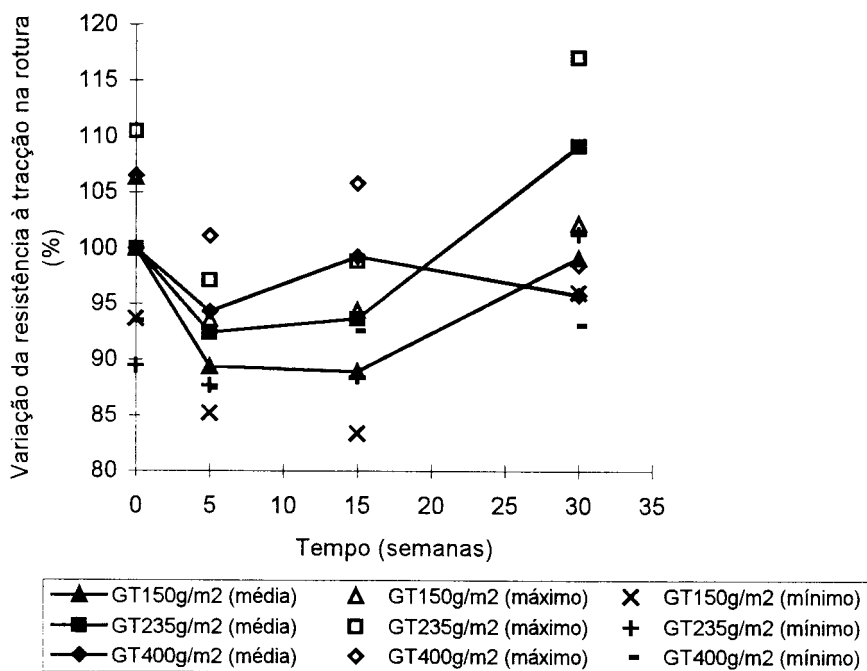
Quadro IX - Valores médios e coeficientes de variação obtidos nos ensaios de tracção-elongação dos geotêxteis submetidos à acção da solução ácida.

Tem.	GT150g/m ²				GT235g/m ²				GT400g/m ²			
	Tracção		Deformação		Tracção		Deformação		Tracção		Deformação	
	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺
(sem.)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0	100	6,3	100	15,5	100	10,5	100	15,3	100	6,5	100	3,5
5	89,4	4,7	92,4	7,5	92,4	5,1	83,4	8,1	94,3	7,2	79,8	4,6
15	88,9	6,2	97,8	5,3	93,7	5,5	98,1	6,0	99,2	6,7	105,9	15,5
30	99,1	3,1	97,8	4,3	109,2	7,2	101,6	3,5	95,8	2,8	81,7	7,2

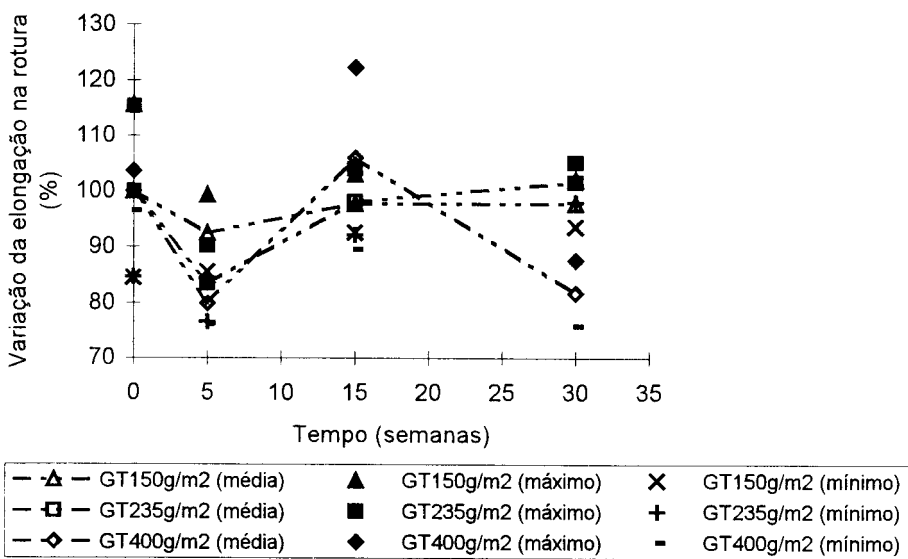
* - Valor em percentagem da força de tracção na rotura. Neste trabalho o valor médio da força de tracção na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.

+ - Coeficiente de variação.

× - Valor em percentagem da deformação na rotura. Neste trabalho o valor médio da deformação na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.



(a)



(b)

Figura 15 - Variação da resistência à tracção (a) e da elongação na rotura (b) após exposição à solução ácida.

A elongação média na rotura decresce no primeiro período de exposição para depois aumentar no seguinte. Ao fim de 30 semanas de exposição a elongação média na rotura é muito semelhante à dos geotêxteis virgens, para o GT150g/m² e o GT235g/m². Para o GT400g/m² e para 30 semanas de exposição constata-se uma redução do parâmetro em causa em relação ao valor inicial de cerca de 18,3%.

Ao fim de 30 semanas de exposição à solução ácida os geotêxteis apresentam acréscimo de rigidez, sendo esse acréscimo mais significativo à medida que a massa por unidade de área do material aumenta (cerca de 1,3%, 7,5% e 17,3%, respectivamente, para o GT150g/m², GT235g/m² e GT400g/m²).

4.5 - Solução alcalina

O Quadro X apresenta, para os três geotêxteis submetidos à acção da solução alcalina e para os períodos de exposição considerados, os valores médios e os coeficientes de variação da força de tracção e da elongação na rotura obtidos nos ensaios mecânicos de tracção-elongação. A Figura 16 mostra a variação da resistência à tracção e da elongação médias na rotura dos mesmos materiais após exposição à solução alcalina descrita em 3.4 por períodos de 5, 15 e 30 semanas.

Quadro X - Valores médios e coeficientes de variação obtidos nos ensaios de tracção-elongação dos geotêxteis submetidos à acção da solução alcalina.

Tem.	GT150g/m ²				GT235g/m ²				GT400g/m ²			
	Tracção		Deformação		Tracção		Deformação		Tracção		Deformação	
	F [*]	Cv ⁺	ε ^x	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε ^x	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε ^x	Cv ⁺
(sem.)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0	100	6,3	100	15,5	100	10,5	100	15,3	100	6,5	100	3,5
5	94,7	7,3	92,4	7,6	98,4	4,5	89,8	8,7	97,3	3,2	76,6	6,4
15	98,7	10,5	107,7	7,0	95,1	5,0	113,1	9,1	103,4	3,5	96,8	8,3
30	96,0	7,0	94,8	8,9	94,9	4,2	88,1	7,9	102,3	3,0	82,6	7,1

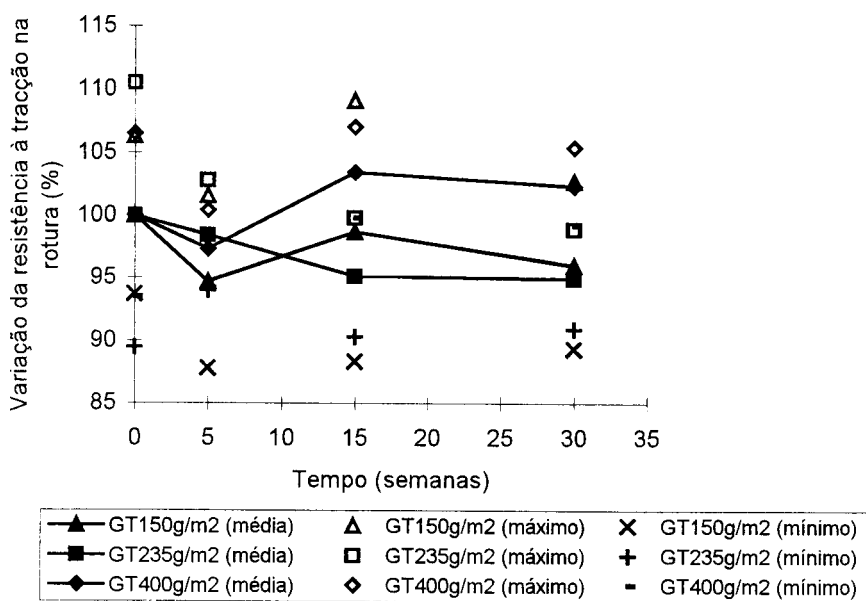
* - Valor em percentagem da força de tracção na rotura. Neste trabalho o valor médio da força de tracção na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.

+ - Coeficiente de variação.

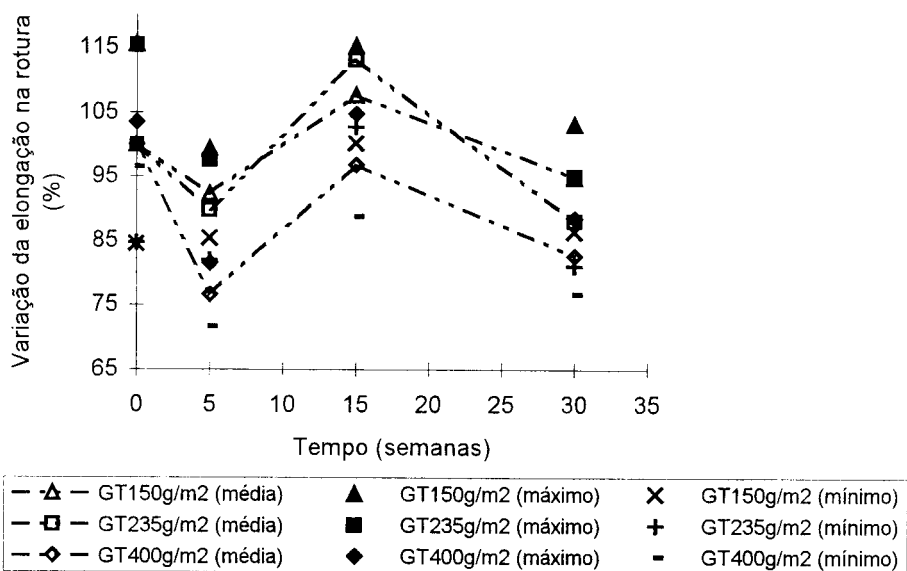
x - Valor em percentagem da deformação na rotura. Neste trabalho o valor médio da deformação na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.

Da análise do quadro e da figura verifica-se que a variação da resistência à tracção média na rotura é pouco acentuada em qualquer dos três geotêxteis ensaiados. Nos geotêxteis GT150g/m² e GT235g/m², para as 30 semanas de exposição, ocorre um decréscimo de 4,0% e 5,1%, enquanto que, para a geotêxtil GT400g/m² regista-se um aumento de 2,3% em relação ao valor inicial. A maior redução da elongação média dá-se , para todos os geotêxteis ensaiados, ao fim de 5 semanas de exposição, sendo os valores máximo e mínimo observados, respectivamente para o GT400g/m² (cerca de 23,4%) e para o GT150g/m² (cerca de 7,6%).

Tal como ao fim de 5 semanas de exposição, ao fim de 30 semanas verifica-se redução da elongação média na rotura dos geotêxteis, sendo essa redução tanto mais significativa quanto maior é a massa por unidade de área do material.



(a)



(b)

Figura 16 - Variação da resistência à tração (a) e da elongação na rotura (b) dos geotêxteis após exposição à solução alcalina.

Havendo ao fim de 30 semanas de exposição variações menos significativas da resistência à tracção do que da elongação na rotura, não é de estranhar que ao fim desse período a rigidez dos geotêxteis aumente, ocorrendo o menor aumento para o GT150g/m² (cerca de 1,3%) e o maior para o GT400g/m² (cerca de 17,3%). O acréscimo de rigidez que ocorre no GT235g/m² assume um valor intermédio em relação aos dois anteriores.

4.6 - Solução de cloreto de sódio

O Quadro XI apresenta, para os três geotêxteis submetidos à acção da solução de cloreto de sódio por períodos de 5, 15 e 30 semanas, os valores médios e os coeficientes de variação da força de tracção e da elongação na rotura obtidos nos ensaios mecânicos de tracção-elongação. A Figura 17 mostra a variação da resistência à tracção e da elongação médias na rotura dos mesmos materiais durante os períodos de exposição referidos à solução de cloreto de sódio descrita em 3.5.

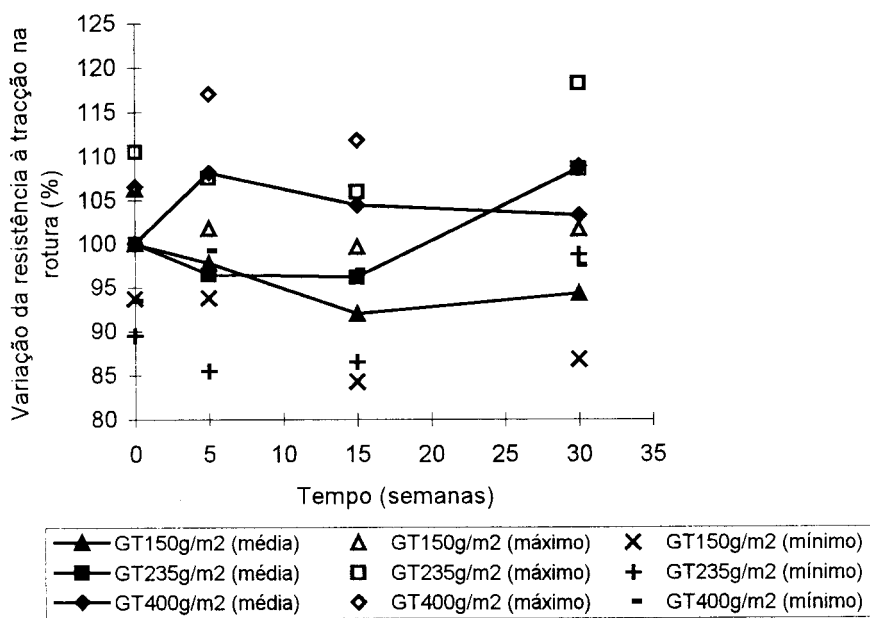
Quadro XI - Valores médios e coeficientes de variação obtidos nos ensaios de tracção-elongação dos geotêxteis submetidos à acção da solução cloreto de sódio.

Tem.	GT150g/m²				GT235g/m²				GT400g/m²			
	Tracção		Deformação		Tracção		Deformação		Tracção		Deformação	
	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺	F [*]	Cv ⁺	ε [×]	Cv ⁺
(sem.)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0	100	6,3	100	15,5	100	10,5	100	15,3	100	6,5	100	3,5
5	97,8	4,1	112,5	4,5	96,5	11,4	96,6	7,9	108,1	8,2	94,8	6,3
15	92,0	8,4	110,3	7,5	96,2	10,1	123,1	19,1	104,4	7,1	100,8	11,1
30	94,3	7,9	98,4	8,6	108,5	8,9	103,4	4,2	103,2	5,4	78,7	3,5

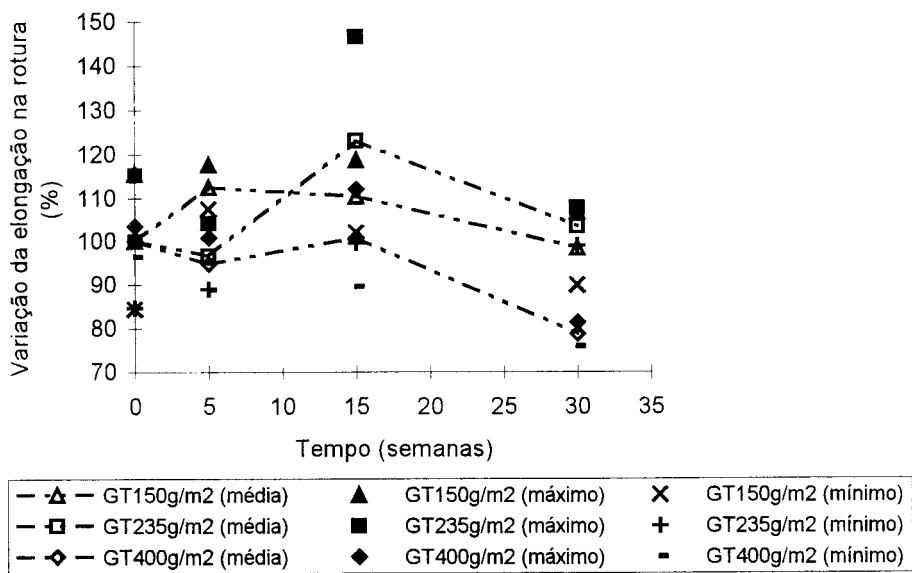
- * - Valor em percentagem da força de tracção na rotura. Neste trabalho o valor médio da força de tracção na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.
- + - Coeficiente de variação.
- × - Valor em percentagem da deformação na rotura. Neste trabalho o valor médio da deformação na rotura da amostra intacta do material é considerado 100%.

Da análise do quadro e da figura constata-se que o GT150g/m² evidencia redução da resistência à tracção média na rotura, seja qual for o período de exposição considerado. Por sua vez, o GT235g/m² comporta-se de modo idêntico ao GT150g/m², em termos de resistência à tracção média na rotura, até às 15 semanas de exposição, ultrapassando o valor inicial dessa resistência ao fim de 30 semanas. Finalmente, refira-se que o GT400g/m² apresenta aumento do parâmetro em causa para os três períodos de exposição considerados, parecendo, no entanto haver redução desse aumento com o acréscimo do tempo de exposição.

A elongação média na rotura do geotêxtil GT150g/m² começa por apresentar um acréscimo significativo, em relação ao valor inicial, para períodos curtos de exposição (5 semanas), reduzindo-se esse acréscimo à medida que esses períodos aumentam. Ao fim de 30 semanas de exposição à solução de cloreto de sódio a elongação média do material diminui cerca de 1,6% em relação ao valor inicial.



(a)



(b)

Figura 17 - Variação da resistência à tracção (a) e da elongação na rotura (b) dos geotêxteis após exposição à solução de cloreto de sódio.

Um comportamento mais errático, em termos de alongação média na rotura, é apresentado pelos geotêxteis GT235g/m² e GT400g/m² quando sujeitos ao agente em consideração. Ao fim das 30 semanas de exposição o acréscimo da alongação média, em relação ao valor inicial, é de cerca de 3,4% para o geotêxtil GT235g/m², sendo a redução do mesmo parâmetro, em relação ao mesmo valor, cerca de 21,3% para o geotêxtil GT400g/m².

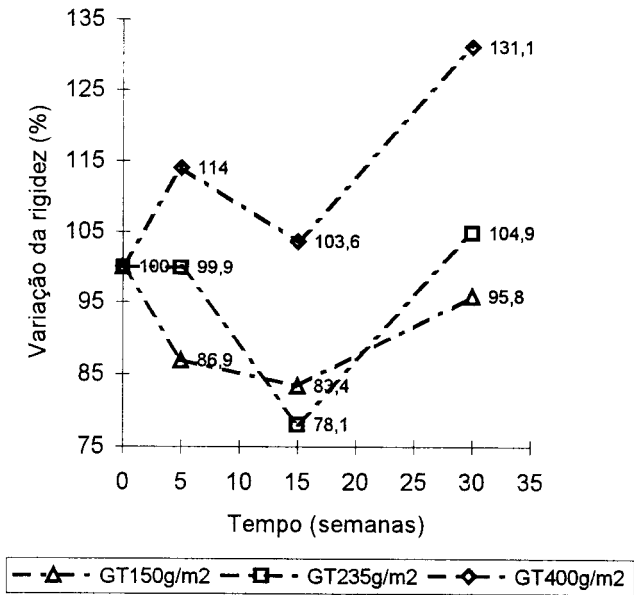


Figura 18 - Variação da rigidez dos geotêxteis após exposição à solução de cloreto de sódio.

No que se refere à rigidez (ver Figura 18) pode dizer-se que a acção de solução de cloreto de sódio induz redução do parâmetro, no caso do geotêxtil GT150g/m², e acréscimo do mesmo, no caso do geotêxtil GT400g/m². O geotêxtil GT235g/m² mostra redução da rigidez, em relação ao valor inicial, ao fim de 15 semanas de exposição, ultrapassando esse mesmo valor às 30 semanas de exposição.

5 - CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudada o influência da acção de 6 agentes de degradação no comportamento à tracção de três geotêxteis não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno fabricados pelo mesmo produtor, mas com massas por unidade de área diferentes (150 g/m², 235 g/m² e 400 g/m²). Os seis agentes de degradação seleccionados (agentes atmosféricos, temperatura, lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos e soluções ácida, alcalina e de cloreto de sódio) foram considerados como actuando isoladamente com o objectivo de possibilitar a informação acerca da influência de cada um, per si, na degradação dos geotêxteis. É de referir, no entanto, que nas estruturas reais, em regra, coexiste a actuação simultânea de vários agentes (por exemplo: temperaturas elevadas e lixiviados) podendo, por isso, ocorrer agravamento da degradação.

Outro aspecto a referir relaciona-se com o tempo limite de degradação estudado. Com

efeito, dado praticamente nenhum dos estudos poder ser considerado acelerado (excepção feita à acção das temperaturas elevadas) seria da máxima conveniência conduzir estudos mais longos do que 30 semanas, porém, limitações inultrapassáveis de tempo e de espaços físicos para o desenvolvimento do trabalho obrigaram a que o tempo máximo do estudo se limitasse às 30 semanas.

A heterogeneidade intrínseca aos materiais estudados dificulta a formulação de conclusões inequívocas, no entanto, com base nos resultados obtidos no estudo formular-se-ão as seguintes conclusões:

- 1) todos os geotêxteis evidenciam importante diminuição de resistência à tracção e de elongação na rotura quando expostos aos agentes atmosféricos, sendo as gamas de reduções máximas registadas da ordem dos 40 a 45% para a resistência à tracção, e, de cerca de 45 a 50% para a elongação na rotura;
- 2) o comportamento atrás descrito parece ser independente da massa por unidade de área do material e ser fortemente influenciado pelo facto dos geotêxteis ensaiados não conterem aditivos anti-UV;
- 3) a temperatura influencia significativamente o comportamento mecânico dos geotêxteis em especial quando é muito elevada (105°C) e, particularmente, no caso do geotêxtil com menor massa por unidade de área;
- 4) o comportamento observado dos geotêxteis submetidos a temperaturas elevadas foi, certamente, influenciado pelo arrefecimento dos provetes previamente à realização dos ensaios de controlo, já que, tal arrefecimento induz termossoldadura nos geotêxteis e este tipo de ligação não existe nos materiais virgens, nem existirá em situações reais de submissão ao agente;
- 5) em termos globais, a acção do lixiviado do aterro de resíduos sólidos urbanos não afecta de modo importante a resistência à tracção dos geotêxteis ensaiados, porém induz aumento de rigidez crescente com a massa por unidade de área do material;
- 6) em termos gerais, pode afirmar-se as acções das soluções ácida, alcalina e de cloreto de sódio não afectam de modo importante o comportamento à tracção-elongação dos geotêxteis ensaiados;
- 7) dado o presente estudo ter sido feito considerando apenas geotêxteis não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno, e dado existir uma grande variedade de geotêxteis (nomeadamente, em termos de estrutura, polímeros constituintes, tipo de ligação, etc.), considera-se que a generalização dos comportamentos constatados exige a sua comprovação para outros geotêxteis com características distintas das dos estudados.

AGRADECIMENTOS

Os autores querem expressar os seus agradecimentos pelo patrocínio e apoio financeiro ao FEDER e Programa PRAXIS XXI, no âmbito do projecto de investigação 3/3.1/CEG/2598/95, à Polyfelt TS e à GEOPAVI pela oferta dos materiais ensaiados e à SERURB pela cedência, no aterro de resíduos sólidos de Matosinhos, de instalações e de alguns equipamentos e dados fundamentais ao desenvolvimento do presente trabalho.

REFERÊNCIA

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H. e VIRGIL, S. A. - *Integrated Solid Waste Management*. McGraw-Hill International Editions, 1993.