

Degradação de Geotêxteis Tecidos por Radiação Ultravioleta

José Luiz Ernandes Dias Filho

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil
jlernandes@hotmail.com

Brunner Rabello Frazão Corrêa

UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, brunner.rabello@gmail.com

Taís Lopes da Silva

UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, taislopez@hotmail.com

Tiago Cruz Freitas

UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, tiagocf96@gmail.com

Paulo César de Almeida Maia

UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, maia@uenf.br

Gustavo de Castro Xavier

UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, gxavier@uenf.br

RESUMO: A grande diversidade de obras com aplicação de geotêxteis abrange desde projetos hidráulicos costeiros a projetos geotécnicos de aterros sanitários. Para o dimensionamento de estruturas utilizando esse material, a resistência à tração é uma das principais propriedades a serem consideradas. Quando o material chega à obra, ele sai de um ambiente controlado e entra em contato com o meio exógeno, onde haverá exposição do geotêxtil às intempéries e aos raios ultravioletas, que são um dos mais agravantes para a integridade física destes materiais. Esse artigo avalia o comportamento mecânico e de alterabilidade de quatro geotêxteis tecidos de diferentes gramaturas, sendo dois de polipropileno e dois de poliéster. A realização do estudo constitui primeiramente na obtenção dos geotêxteis e, então, a sua eventual separação em dois lotes distintos. O primeiro lote foi submetido à degradação natural no campo no período de agosto de 2013 a outubro de 2015 e o segundo lote foi submetido à degradação de forma acelerada no laboratório por até 100 dias também em 2013. A degradação natural expõe as amostras da mesma forma que estariam em uma condição real de aplicação. A exposição dos geotêxteis tecidos ocorreu no terraço de um dos prédios da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. Esse método de degradação é influenciado pelas características climáticas do local de exposição como a temperatura, umidade relativa, o vento, a pressão atmosférica e outros fatores. Utilizou-se o equipamento de radiação ultravioleta para acelerar o processo de degradação. Este equipamento simula a condição de alteração provocada pela exposição do material aos raios solares. As amostras são submetidas a ciclos alternados de condensação e de exposição à radiação ultravioleta, ambos sob temperatura controlada. Os resultados indicam elevada perda de resistência do poliéster, que variaram de 75% até 95% de acordo com a gramatura do material. Já os geotêxteis em polipropileno variaram suas perdas entre 45% até 60%. Isso mostra o quanto é importante caracterizar as propriedades do material e restringir sua utilização de acordo com a aplicação desejada, a fim de se obter melhor desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: Degradação, Durabilidade, Geotêxtil Tecido, Geossintéticos, Ultravioleta, Ensaio de Puncionamento.

1 INTRODUÇÃO

Apesar das características da matéria prima, normalmente não degradáveis em curto prazo, é possível que os geossintéticos estejam sujeitos à alteração rápida, principalmente em obras cujas características do meio são agressivas, como os aterros sanitários, as barragens de rejeitos industriais e sistemas de contenção de erosão costeira e de rios, como os geotubos. A degradação dos geossintéticos pode ser entendida como qualquer ação destrutiva dos polímeros causada por agentes físicos, químicos e biológicos (Matheus, 2002). Destaca-se que a degradação provoca modificações irreversíveis nas propriedades dos materiais poliméricos, evidenciada pela deterioração progressiva das suas propriedades, incluindo o aspecto visual.

A literatura pouco informa sobre a degradação dos geossintéticos em obras civis, no entanto Raynond (1999) apresenta um estudo mostrando as variações do comportamento de geossintéticos com o tempo. Para isto, este autor estuda as propriedades de amostras exumadas com diferentes intervalos de tempo, indicando que a alteração do material pode provocar até mesmo a ruptura da obra. Segundo Abramento (1995a e 1995b) pode-se avaliar a durabilidade dos geossintéticos em obras civis através de exumação do material para a avaliação do seu desempenho após a utilização, simulações em laboratório e métodos de avaliação da durabilidade.

A degradação de um geossintético pode ser causada pela ação de um ou mais agentes de alteração que são classificados em físico, químico e biológico. Os agentes físicos podem ser a radiação solar ou radiações α , β e γ , temperatura, abrasão e danos mecânicos. Agentes químicos são a água, ácidos, bases, solventes e outros agentes químicos, oxigênio, ozônio e poluentes atmosféricos. Já os agentes biológicos tem-se a ações de microrganismos, tais como fungos e bactérias.

Os agentes de alteração podem mobilizar diversos mecanismos de degradação. De acordo com Schneider (1988), Robenfeld & Cooke (1988), Abramento (1995a), Abramento (1995b), Budiman (1994) e Matheus (2002), os principais mecanismos de degradação dos

geossintéticos são provocados pela incidência solar, pelo efeito da temperatura, por danos de instalação, por expansão devido à absorção de líquidos, por reações químicas, pela extração de um ou mais componentes do material polimérico e pela ação de microrganismos (ver Figura 1).

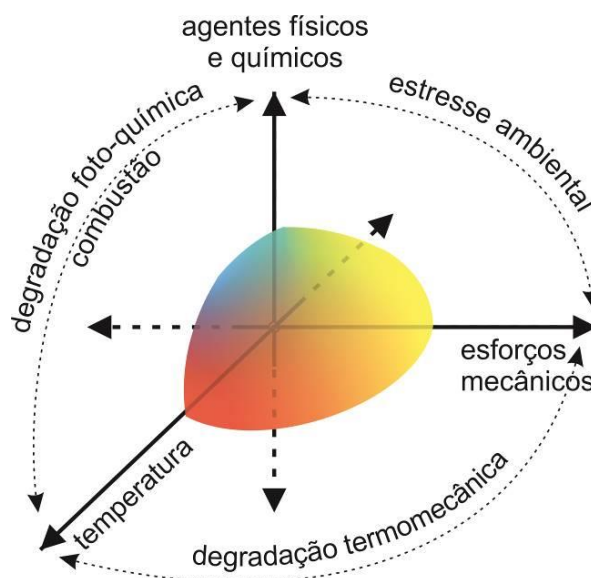


Figura 1 - Mecanismos de degradação em geossintéticos

Ressalta-se que a degradação acelerada dos geossintéticos ocorre, normalmente, pela combinação entre diferentes agentes de degradação, envolvendo diferentes mecanismos de degradação, como por exemplo: oxigênio e luz, ultravioleta e temperatura, temperatura e oxigênio e outras (Liu et al, 1999).

Assim, é fundamental o estudo das transformações dos materiais geossintéticos devido à degradação. Tais transformações podem ocasionar problemas nas obras e até inviabilizar o uso de determinados tipos de materiais. Além disto, o estudo da alterabilidade pode definir a melhor maneira de sua utilização, e sua susceptibilidade às degradações.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material de Ensaio

Nesta pesquisa, foi utilizado 4 geotêxteis tecidos, 2 em monofilamento de polipropileno e 2 em multifilamento de poliéster, cujas características são apresentadas na Tabela 1. Na

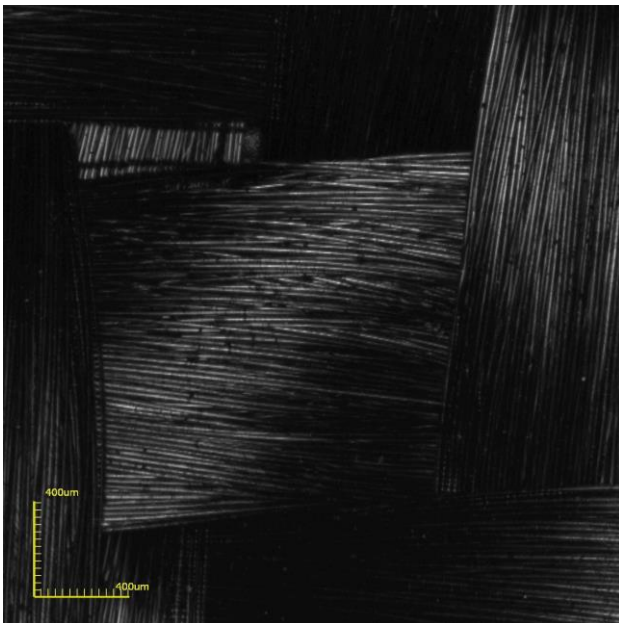
Figura 2, o campo experimental da UENF e a Figura 3, tem-se sua imagem ampliada de microscopia óptica do material intacto.

Tabela 1. Caracterização dos geotêxteis ensaiados.

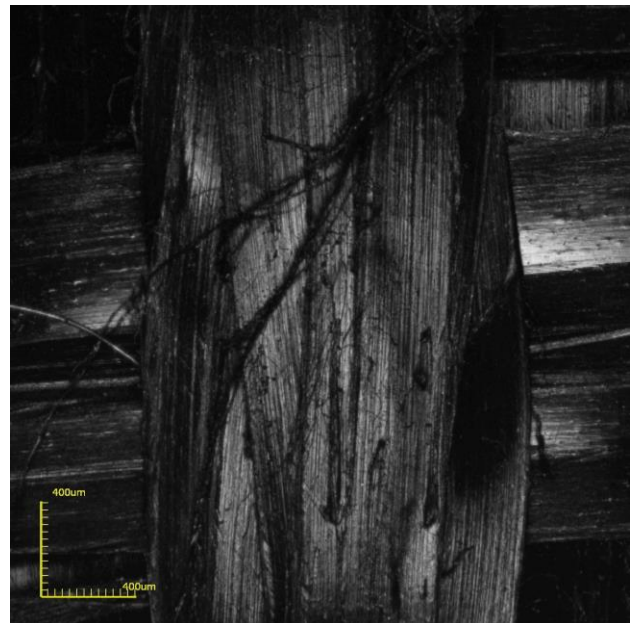
Propriedade	Valores			
	H108	H105	C200	H200
Gramatura (g/m ²)	340	500	740	925
Espessura (mm)	0,51	1,53	1,17	2,62
Resistência à Tração (kN/m)	52	106	149	155



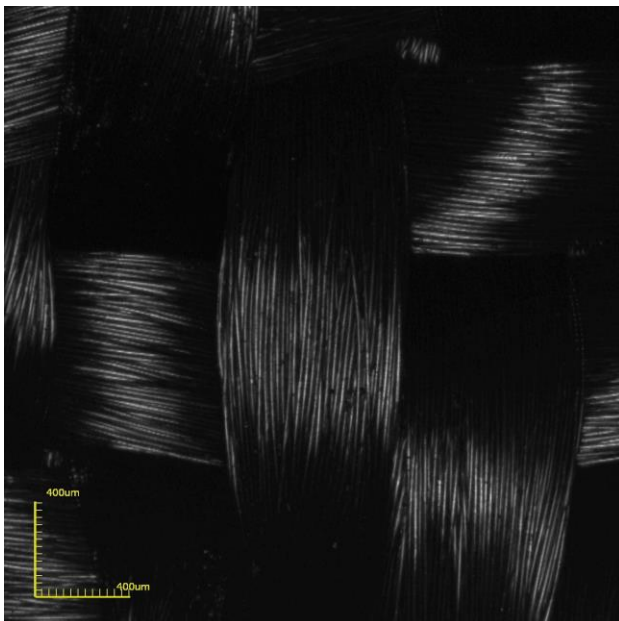
Figura 2. Campo experimental da UENF.



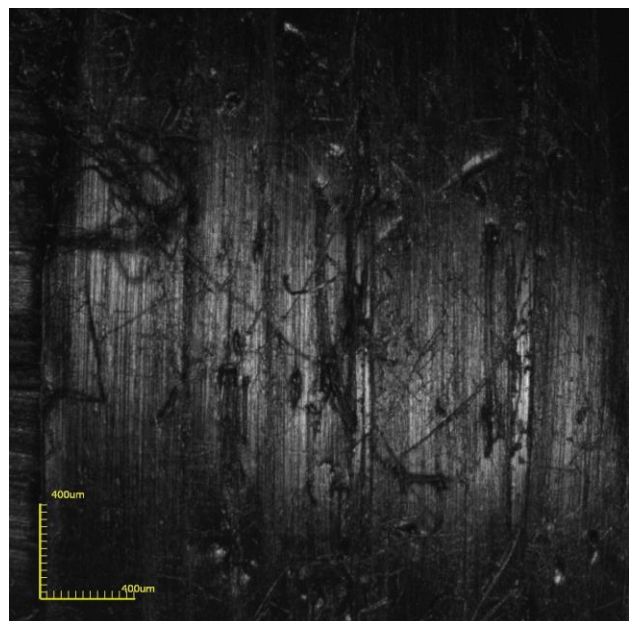
(a) H108



(b) H105



(c) C200



(d) H200

Figura 3. Microscopias ópticas dos geotêxteis tecidos.

2.2 Metodologia

As principais características intrínsecas que interferem na durabilidade de geossintéticos poliméricos são a sua formulação, os possíveis aditivos, a geometria das fibras e a qualidade das ligações. Já as características extrínsecas são relativas ao meio ambiente a que este material ficará exposto às intempéries locais e outras possíveis ações exógenas. Estes fatores interferem diretamente na capacidade dos geossintéticos em manter suas propriedades em projeto durante o tempo desejado. Entretanto, as análises de durabilidade dos geossintéticos é um aspecto importante a ser considerado de acordo com cada projeto, tendo em vista o prolongado contato com agentes de alteração, que podem causar seu envelhecimento prematuro. A Figura 4 apresenta a metodologia aplicada neste trabalho de acordo com Salles e Maia (2004) e Dias Filho et al (2016).

Nesta metodologia destacam-se quatro fases. A primeira é a obtenção do material de estudo, destacado em verde no fluxograma da Figura 2. Em seguida vem a produção de amostras com alteração induzida de forma acelerada no laboratório e natural no campo, que estão apresentados na cor azul. Após a degradação das amostras prossegue com a determinação da característica gerais, sejam elas parâmetros obtidos de propriedades física, mecânica, hidráulica ou desempenho, que podem ser visto nos retângulos laranja. E por último, em rosa, a análise dos resultados e previsão do comportamento do material a longo prazo.

Resumidamente, são estudados os materiais nas condições intacta e degradada. Uma parte do material intacto do estudo é destinada a produção de amostras alteradas de forma natural no campo e sob condição acelerada no laboratório. O restante deste, o material alterado naturalmente e o alterado no laboratório, são destinados à determinação dos parâmetros característicos e os parâmetros de durabilidade. A Tabela 1 apresentam os trabalhos do laboratório da UENF que consagraram esta metodologia no meio acadêmico a nível nacional e internacional.

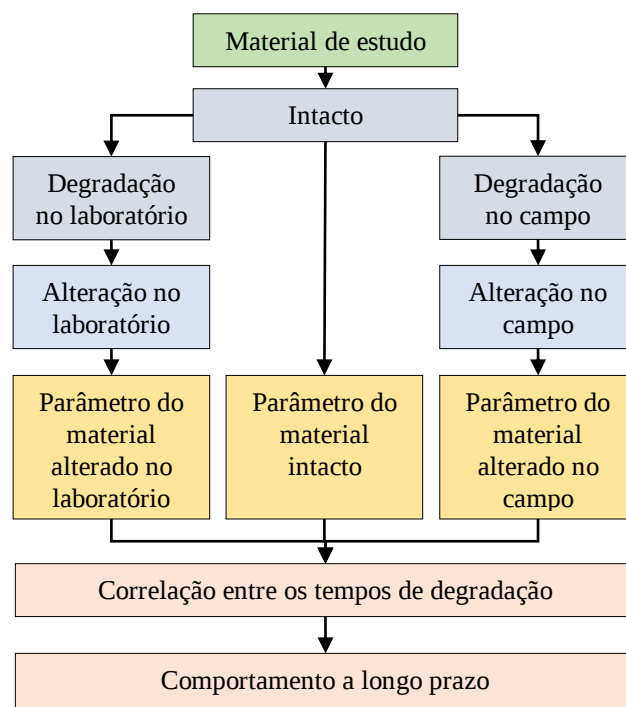


Figura 4 – Metodologia para avaliação da alterabilidade em geossintéticos.

Tabela 1. Artigos com a metodologia para caracterização da durabilidade.

Material	Referências	Observação
Rochas	Maia (2001); Maia et al (2002); Maia et al (2003); Salles e Maia (2004); Maia e Salles (2006); Dias Filho (2012); Dias Filho et al (2012); Dias Filho et al (2013); Dias Filho et al (2013); Salles (2013); Dias Filho et al (2014); Dias Filho et al (2016)	Os estudos permitiram em 15 anos criar um parâmetro de durabilidade dos materiais estudados através da metodologia aplicada.
Cerâmicos	Xavier (2006); Xavier et al (2009); Rodrigues et al (2012); Altoé et al (2012)	Apresentam seu comportamento muito similar as rochas, incluindo a susceptibilidade à degradação por lixiviação ser alta.
Geossintéticos	Salles (2006); Cunha Pinto (2006); Salles et al (2006); Salles et al (2007); Salles et al (2008); Prellwitz et al (2014)	Os padrões de comportamentos dos materiais também são notados nos geossintéticos apresentados nestas pesquisas.

2.3 Equipamento

O equipamento da Figura 5 simula condição de degradação provocada pela exposição do material a raios solares e variações sazonais de umidade, no qual as amostras são submetidas a ciclos de condensação e de exposição à radiação ultravioleta, ambos sob temperatura controlada. Nele utilizam-se as lâmpadas UV-A, UV-B e arco de xenon (Figura 6). A Tabela 2 apresenta estudos sobre com estes procedimento.

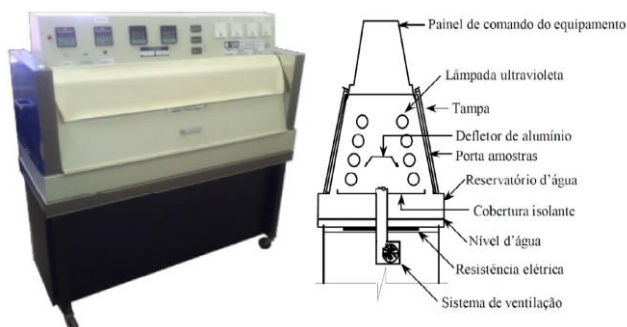


Figura 5. Equipamento de Condensação e Radiação Ultravioleta da UENF.

O espectro da radiação solar que atinge a superfície da Terra possui comprimentos de onda variando entre 295 e 3000 nm e pode ser dividido em três regiões: radiação UV com espectro entre 295 e 400 nm, radiação visível entre 400 e 780 nm e radiação infravermelha com variação entre 780 e 3000 nm. A Figura 6 apresenta uma ilustração geral sobre os espectros ultravioleta, visível, infravermelho e a radiação das lâmpadas usadas no equipamento.

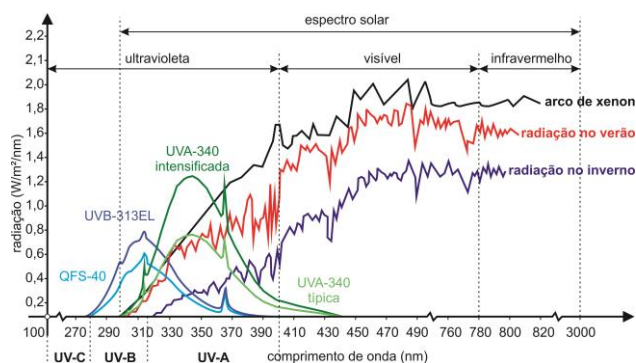


Figura 6. Esquemático com espectros de luz natural e artificial de UVA, UVB e arco de xenon.

Tabela 2. Trabalhos de degradação com equipamento de condensação e radiação ultravioleta.

Referências	Material de Estudo	Análises Sugeridas	Observação
Sullivan e Cooper (1995)	Fibras de PET	UV-A, UV-B e Arco xenon	As lâmpadas UV-B degradaram mais os materiais em relação ao arco xênon e UV-A
Suits e Hsuan (2003)	Geotêxtil não tecido	UV e arco xenon	O arco xenon acelerou o processo de degradação em relação ao método com UV.
Lodi (2003)	Geomembranas	UV	Os ensaios de degradação são bastante úteis na qualificação da degradação dos materiais.
Cunha Pinto et al. (2004)	Geotêxteis	UV-B	A degradação foi influenciada pelos aditivos.
Matheus et al (2004)	Geotêxteis e Geomembranas	Arco xenon	Os materiais pouco se alteraram, mostrando a eficácia de aditivos anti-UV
Yang e Ding (2006)	Fibras de PP	UV	A intensidade e o acúmulo de radiação são fatores que influenciam na previsão do intemperismo nos filamentos
Lodi et al (2007); Lodi et al (2008); Benjamim et al (2008)	Geomembranas	UV-A	Os resultados apresentaram variações para as propriedades de tração, deformação e rigidez
Salles et al (2008)	Geotêxteis	UV-B	A estrutura física do material é afetada
Hsuan et al (2008)	Geotêxtil não tecido	UV e Arco xenon	Ensaio com lâmpadas UV são mais baratos e a escolha do procedimento deve-se adequar ao objetivo da pesquisa
Lima et al (2010)	Geotêxtil não tecido	UV-A	Os materiais apresentaram perda de resistência em torno de 30% em 200 h de exposição
Richgels et al (2015)	Geomembranas	UV-A	Perda de 60% de resistência e previsão de trabalho de 30 anos
Guimarães et al (2015)	Geotêxtil tecido	UV	Em 1080 h o material perdeu 8,4% da resistência mecânica

3 RESULTADOS

A Figura 7 apresentam os gráficos com os resultados dos quatro materiais estudados. São apresentadas as curvas de perda de resistência à tração do material degradado de forma natural no campo e acelerada no laboratório.

Pode-se observar elevada perda de resistência nos materiais, principalmente os poliésteres. O material foi alterado de forma mais significativa que os materiais em polipropileno.

É interessante destacar que o procedimento acelerado conseguiu reproduzir uma curva similar ao do comportamento apresentados pelas amostras degradadas naturalmente no campo. De acordo com Dias Filho (2016), é possível determinar os parâmetros de durabilidade com estes dados e melhor qualificar a finalidade da aplicação dos materiais nas obras.

A partir de 1000 horas de exposição do material à condição natural o material já perde consideravelmente sua resistência no campo, a qual equivale aproximadamente 100 horas de degradação no laboratório. Nestes dados, para

estes dois casos, as perdas de resistência foram de 29,1% e 27,3% para o H108, 10,5% e 7,7% para o H105, 35,9% e 29,0% para o C200 e 10,4% e 7,1% para o H200, respectivamente.

Pode-se notar que os poliésteres H108 e C200 apresentaram resistência muito baixas já nos tempos de degradação no campo e laboratório mencionados anteriormente. Já os polipropilenos mostraram-se mais resistentes aos intempéries no campo e a radiação ultravioleta no laboratório.

As resistências finais foram avaliadas em 17280 horas de exposição natural no campo e 4800 horas de exposição acelerada em laboratório. Como é mostrado no gráfico, com os dados e a tendência do comportamento da curva de resistência à tração pelo tempo, os poliésteres estudados perderam mais resistência que os polipropilenos. Os ensaios de resistência nestes tempos de exposição mostram perda de resistência de 90,9% e 94,5% para o H108, 49,1% e 55,7% para o H105, 75,4% e 83,2% para o C200 e 56,2% e 49,6% para o H200, respectivamente.

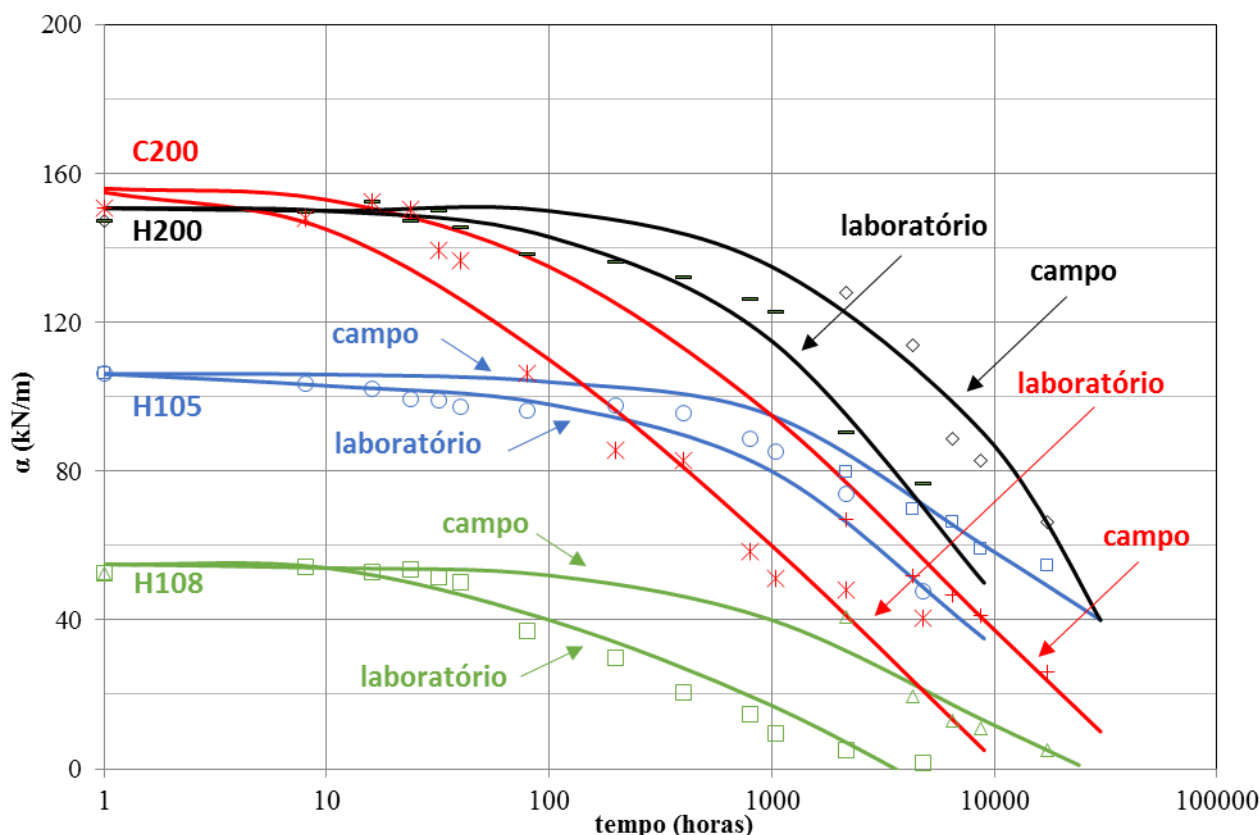


Figura 7. Resistência à tração dos geotêxteis tecidos submetidos à degradação no campo e laboratório.

4 CONCLUSÃO

A metodologia utilizada, que compara o comportamento do material submetido à degradação no campo com o comportamento do material submetido à degradação no laboratório, consegue de forma objetiva os parâmetros necessários para prever a durabilidade do material estudado, o qual é a próxima etapa deste estudo.

Os resultados da resistência à tração indicam elevada perda de resistência do poliéster, que variaram de 75% até 95% de acordo com a gramatura do material. Fica evidente que os poliésteres foram mais suscetíveis a degradação pela radiação ultravioleta. Já os geotêxteis em polipropileno variaram suas perdas entre 45% até 60%. Em aplicações em que estes materiais fiquem exposto ao sol os materiais H108 e H200 seriam os aconselhados. Isso mostra o quanto é importante caracterizar as propriedades do geossintético e assim escolher o material de acordo com a aplicação desejada, a fim de se obter melhor desempenho em obra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UENF, CAPES, CNPq e Huesker.

REFERÊNCIAS

Abramento, M. (1995a). Durabilidade e Comportamento de longo prazo de Geossintéticos - Parte 1: Propriedades Mecânicas e Hidráulicas. Geossintéticos 95, p.216-225.

Abramento, M. (1995b). Durabilidade e Comportamento de longo prazo de Geossintéticos - Parte 2: Durabilidade dos materiais. Geossintéticos 95, p.226-235.

Altoé, L.M., Xavier, G.C., Saboya, F.A.J., Maia, P.C.A., Alexandre, J. e Pedroti, L.G. (2012). Study of Natural and Degradation by Salt Spray of Red Ceramics Incorporated with Ornamental Rock Waste. Materials Science Forum, v. 727, p. 1519-1524.

Ayers, M., Urrutia J. e Geosynthetics, P.W. (2015). Estimation of Geographic Ultraviolet Radiation Levels and Impact on Geosynthetic Cover Systems." Geosynthetics, Portland, Oregon. 10 p.

Benjamim, C.V.S., Bueno, B. S. e Lodi, P. C. (2008). Installation and ultraviolet exposure damage of

geotextiles. Proceedings of the 4th European Geosynthetics Conference, Edinburgh, UK, 8p.

Budiman, J. (1994). Effects of temperature on physical behavior of geomembrane, Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and related Products. Singapore, 1093 – 1096.

Cunha Pinto, V. (2006). Estudo da Degradação de Geotêxteis Tecidos. Dissertação de Mestrado. Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 133p.

Cunha Pinto, V., Maia, P.C.A. e Valinho, R.F. (2004). Avaliação Qualitativa da Degradação de Diferentes Tipos de Geossintéticos. Geojovem, São Carlos. 6 p.

Dias Filho, J.L.E. (2012). Estudo do Efeito da Energia de Desgaste na Previsão Da Durabilidade de Gnaisses Ornamentais de Pádua-RJ. Dissertação de Mestrado. Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 98p.

Dias Filho, J.L.E., Xavier, G.C. e Maia, P.C.A. (2013a). Analysis of the durability of gneiss through wear test. Vértices, v. 15, p. 7-16,

Dias Filho, J.L.E., Maia, P.C.A. e Xavier, G.C. (2014). Critical Analysis of Laboratory Testing Procedures for Setting Properties of Rock Materials. ISRM Conference on Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure-SBMR 2014. International Society for Rock Mechanics, 8p.

Dias Filho, J.L.E., Maia, P.C.A., Xavier, G.C. e Fernandes, P.A.M. (2013b). Performance evaluation of bending strength to predict durability of ornamental gneiss from Santo Antônio de Pádua, RJ, BR. 2nd International Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites, Napoli. 30-31 May 2013. p.353–357.

Dias Filho, J.L.E., Maia, P.C.A., Xavier, G.C. e Fernandes, P.A.M. (2012). Estudo do Efeito da Energia de Desgaste na Previsão da Durabilidade de Gnaisses Ornamentais de Pádua-RJ. XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Porto de Galinhas, PE. 7p.

Dias Filho, J.L.E., Xavier, G.C., Maia, P.C.A. e Santos, V. G. P. (2016). Durability of Ornamental Gneisses from Pádua-RJ as Covering Stone. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 21, p. 1957 – 1976.

Guimarães, M.G.A., Urashima, D.C., Castro A.C. e Lopes, M.L.C. (2015). Durability of a Polypropylene Woven Geotextile under Climatic and Chemical Agents. Modern Environmental Science and Engineering, vol. 1, p. 172-177.

Hsuan, Y.G., Schroeder H.F., Rowe K., Müller W., Greenwood J., Cazzuffi D. e Koerner R.M. (2008). Long-term performance and lifetime prediction of geosynthetics. Proceeding of EuroGeo 4-4th European Geosynthetics Conference. 40 p.

Lima, F.S., Oshio, K.U., Kamiji, T.S.M.M. e Plácido, R.R. (2014). Avaliação do Comportamento à Tração

- de Geotêxteis não Tecidos Submetidos à Radiação Ultravioleta. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Goiânia/GO, 7p.
- Liu, X., Nanjundappa, R. e Cho, U. (1999). Durability of Geotextiles. Nonwovens Science and Technology II, College of Education, Health and Human Sciences Consumer Services. Management Department. 9 p.
- Lodi, P.C. (2003). Aspectos de degradação de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli (cloro de vinila)(PVC). Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 267p.
- Lodi, P.C., Bueno, B.S. e Vilar, O.M. (2008). Mechanical and thermal properties of HDPE and PVC geomembranes after UV exposure. Proceedings of the 4th European Geosynthetics Conference, Edinburgh, UK, 6p. (CD-ROM – Paper 198).
- Lodi, P.C., Bueno, B.S. e Zornberg, J.G. (2007). Degradação Ultra Violeta de Geomembranas Poliméricas. REGeo. 6p.
- Maia, P.C.A., Sayão, A.S.F.J. e Nunes, A.L.L.S. (2003). Alterabilidade de Rochas Basálticas – Caracterização Mecânica, Revista Solos e Rochas. Soil and Rocks, vol.26, no.3, p. 205-215.
- Maia, P.C.A.; Sayão, A.S.F.J.; Nunes, A.L.L.S. and Antunes, F.S. (2002). Alterabilidade de Rochas Basálticas – Petrografia e Caracterização Física. Soil and Rocks, vol. 25, no. 3, p. 207-225.
- Maia, P.C.A. (2001). Avaliação do Comportamento Geomecânico e de Alterabilidade de Enrocamentos. Tese de Doutorado, Departamento de Eng. Civil da PUCRio, Rio de Janeiro, Brasil, 336 p.
- Maia, P.C.A.; Salles, R.O. (2006). Estudo Experimental da Durabilidade de Rochas Ornamentais Através de Procedimentos Especiais de Laboratório. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Curitiba/PR.
- Matheus, E. (2002). Efeitos do Envelhecimento Acelerado e do Dano Mecânico Induzido no Desempenho e Durabilidade de Alguns Geossintéticos. Tese de Doutorado. Publicação G.TD-010A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 284p.
- Matheus, E., Palmeira E.M., e Agnelli, J.A.M. (2004). Degradação de Alguns Geossintéticos por Radiação Ultravioleta e Variação de Temperatura. Nota Técnica. Solos e Rochas 27.2: 177-188.
- Prellwitz, M., Maia, P.C.A. e Dias Filho, J.L.E. (2014). Influence of drying temperature on punching resistance in geotextile fabrics through wet and dry degradation test. 10th International Conference of Geosynthetics - ICG, Berlin, Germany. 7p.
- Raymond, G.P. (1999). Railway Rehabilitation Geotextiles. Geotextiles and Geomembranes, no 17, pp. 213-230.
- Rodrigues, D.V., Xavier, G.C., Saboya, F., Maia, P.C. A. e Alexandre, J. (2012). Durabilidade de peças cerâmicas vermelhas com adição de rejeito de rochas ornamental isenta de gralha. Cerâmica 58.347: 286-293.
- Salles, R.O. e Maia, P.C.A. (2004). Avaliação Experimental da Alterabilidade de Rochas Ornamentais do Norte do Estado do Rio de Janeiro. I Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, São Carlos, SP, 6p.
- Salles, R.O., Maia, P.C.A., Sayão, A.S.F.J. (2007). Degradação de Geotêxteis Tecidos após Exposição no Campo e no Laboratório - V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Recife, PE, 6p.
- Salles, R.O., Maia, P.C.A., Sayão, A.S.F.J. e Sampaio, S.N. (2006). Avaliação do Comportamento Mecânico de Geotêxtil Após Degradação no Campo e no Laboratório. Nova Friburgo/RJ. 2º Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos. 6 p.
- Salles, R.O.; Maia, P.C.A. e Sayão, A.S.F.J. (2008). Efeito da Degradação na Rigidez do Geotêxtil Tecido Após Exposição no Campo e no Laboratório. In: XIV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Búzios/RJ. 7 p.
- Salles, R.O. (2006). Comportamento geomecânico e de alterabilidade da rocha gnáissica da obra do ahe simplício. Tese de Doutorado, Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ: UFRJ/COPPE, 177 p.
- Salles, R.O. (2006). Durabilidade de Geossintéticos em Equipamento de Degradação em Laboratório. Dissertação de Mestrado, Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 121 p.
- Schneider, H. (1988). Long term Performance of Polypropylene Geosynthetics. Durability and Aging of Geosynthetics, R. Koerner Editor, Elsevier, New York, USA, pp.95-108.
- Suits, L. D. e Hsuan Y. G. (2003). Assessing the photo-degradation of geosynthetics by outdoor exposure and laboratory weatherometer. Geotextiles and Geomembranes 21.2: 111-122.
- Sullivan, C.J., e Cooper, C.F. (1995). Polyester weatherability: coupling frontier molecular orbital calculations of oxidative stability with accelerated testing. JCT, Journal of coatings technology 67.847: 53-62.
- Xavier, G.C. (2006). Resistência, Alterabilidade e Durabilidade de Peças Cerâmicas Vermelhas Incorporadas com Resíduo de Granito. Tese de doutorado da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes - RJ, 202p.
- Xavier, G.C., Saboya, F., Maia, P.C.A. e Alexandre, J. (2009). Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. Cerâmica, São Paulo, v. 55, p. 1-10.
- Yang, X., e Ding, X. (2006). Prediction of outdoor weathering performance of polypropylene filaments by accelerated weathering tests. Geotextiles and Geomembranes 24.2: 103-109.