

**Influência das exposições aberta e fechada na durabilidade de geossintéticos sob intempéries****Influence of the open and backed exposures on the geosynthetics' durability by outdoor weathering**

DOI:10.34117/bjdv6n6-295

Recebimento dos originais: 08/05/2020

Aceitação para publicação: 12/06/2020

**Mag Geiselly Alves Guimarães**

Doutoranda em Engenharia Civil

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG

Endereço: Departamento de Computação e Engenharia Civil, Avenida dos Imigrantes, 1.000 – Vargem, Varginha – MG, Brasil

E-mail: mag@cefetmg.br

**Denise de Carvalho Urashima**

Doutora em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG

Endereço: Departamento de Computação e Engenharia Civil, Avenida dos Imigrantes, 1.000 – Vargem, Varginha – MG, Brasil

E-mail: urashima@cefetmg.br

**Delma de Mattos Vidal**

Doutora em Geologie Et Mecanique pela Université Joseph Fourier – Grenoble I, UJF, França

Instituição: Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Endereço: Divisão de Engenharia Civil, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias, São José dos Campos – SP, Brasil

E-mail: delma@ita.br

**Carlos Alberto Carvalho Castro**

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG

Endereço: Departamento de Mecatrônica, Avenida dos Imigrantes, 1.000 – Vargem, Varginha – MG, Brasil

E-mail: carloscastro@cefetmg.br

**RESUMO**

A manutenção das propriedades de materiais poliméricos expostos a fatores que podem induzir a sua degradação prematura deve ser avaliada no desenvolvimento de projetos que utilizam tais materiais. Geossintéticos submetidos ao intemperismo podem sofrer degradação ao longo do tempo, principalmente pela incidência de radiação ultravioleta. Este estudo avalia uma metodologia a ser usada na análise da durabilidade de geossintéticos expostos ao intemperismo de campo e tem como objetivo entender a influência da superfície de contato (exposições aberta e fechada) na degradação. Para análise de durabilidade, foram construídos dois pórticos para testes de intemperismo de campo e, dentre os geossintéticos, optou-se por um geotêxtil tecido de polipropileno, que foi exposto ao tempo durante 295 dias. Os pórticos construídos apresentam uma inclinação semelhante à latitude do local de exposição para garantir maior incidência dos fatores climáticos na superfície do material. A

degradação sofrida pelo geotêxtil foi avaliada por testes de resistência à tração e os parâmetros meteorológicos também foram monitorados. A importância deste estudo é avaliar o comportamento de durabilidade causado pelo intemperismo de campo, bem como a influência do tipo de superfície com a qual os materiais poliméricos entrarão em contato durante a sua vida de projeto.

**Palavras-chave:** degradação, durabilidade, exposição aberta, exposição fechada, geotêxtil, intemperismo, radiação ultravioleta.

#### **ABSTRACT**

The maintenance of the material properties of polymers following exposure to factors that can lead to their premature degradation needs to be evaluated in the development of projects that use these materials. Geosynthetics subjected to outdoor weathering can undergo degradation over time, mainly by incidence of ultraviolet radiation. This study evaluates a methodology to be used in the assessment of geosynthetic's durability after exposure to weathering and aims to understand the influence of the contact surface of exposed materials (open and backed exposures) on degradation. For durability analysis, two frames for outdoor weathering tests were constructed and, among the geosynthetics, a polypropylene woven geotextile was chosen, which was exposed to the weathering for 295 days. The frames built for this study present a slope similar to the location of exposure to guarantee greater effects of climatic elements on the material surface. The degradation suffered by the geotextile was assessed by tensile strength tests, and the meteorological parameters also were monitored. The importance of this study is to evaluate the durability behavior caused by weathering in the field as well as the influence of the type of surface which polymeric materials will be in contact over its service lifetime.

**Key words:** degradation, durability, open exposure, backed exposure, geotextile, weathering, ultraviolet radiation.

## **1 INTRODUÇÃO**

Geossintéticos são produtos industrializados com polímero sintético, na grande totalidade, ou polímero natural, empregados comumente em contato com solo, podendo ser dimensionados para desempenharem distintas funções, tais como reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, barreira de fluxo e controle de erosão superficial (ABNT NBR ISO 10318-1, 2018). Devido a sua matriz polimérica, a durabilidade dos geossintéticos é um relevante requisito a ser ponderado em aplicações na engenharia geotécnica, ambiental e civil, tendo em vista as distintas particularidades de projetos que envolvem, dentre vários parâmetros, a análise de fatores que podem induzir a sua degradação prematura (GREENWOOD; SCHROEDER; VOSKAMP, 2012; LOPES; LOPES, 2010).

Na engenharia com geossintéticos, a durabilidade aceitável a estes materiais está relacionada a capacidade de desempenhar satisfatoriamente suas funções e manter suas propriedades nas condições de uso ao longo da vida de projeto. Assim sendo, é essencial obter maior conhecimento dos fatores que podem resultar na sua degradação e de como tais mecanismos atuam ao longo do tempo (ASTM D 5819, 2018; ISO TS 13434, 2008).

É um consenso na literatura que a exposição dos geossintéticos às intempéries, principalmente a radiação ultravioleta (UV), é um fator preocupante em aplicações acima do solo, tornando-se

necessário ponderar os mecanismos de degradação por fotodegradação (DE PAOLI, 2008; KOERNER; HSUAN; KOERNER, 2017; SUITS; HSUAN, 2003). Por exemplo, a aplicação de geotêxteis em obras costeiras, tais como proteção de margens, quebra-mares e construção de ilhas artificiais (GREENWOOD; SCHROEDER; VOSKAMP, 2012; LAWSON, 2008). Outro exemplo é a aplicação de geotêxteis na configuração de sistemas de confinamento de resíduos (SCRs) em formatos de bolsas, tubos ou contêineres, para o desaguamento e confinamento de resíduos ou rejeitos produzidos em vários processos industriais (GUIMARÃES; URASHIMA; VIDAL, 2014; IGSBrasil 004, 2016; MOO-YOUNG; GAFFNEY; MO, 2002; MUTHUKUMARAN; ILAMPARUTHI, 2006; URASHIMA *et al.*, 2020a). Nas aplicações supracitadas, os geotêxteis são suscetíveis à degradação por intemperismo, degradação química e efeitos devido a danos de instalação, carregamento cíclico e fluência à tração (GREENWOOD; SCHROEDER; VOSKAMP, 2012; HSIEH; WANG; CHIU, 2006; SARSBY, 2007; SHUKLA; YIN, 2006; YEE; CHOI, 2008).

Neste contexto, o artigo apresenta uma metodologia para a análise da durabilidade de geossintéticos após exposição ao intemperismo de campo, bem como compreender a influência da superfície de contato na durabilidade dos materiais expostos. Para tanto, foram construídos dois pórticos para condicionar o material ao intemperismo: exposição aberta e exposição fechada. Para exemplificação do estudo, foi escolhido um geotêxtil tecido de polipropileno que foi exposto ao intemperismo durante 295 dias e, posteriormente, avaliado o comportamento mecânico à tração após 90, 160, 260 e 295 dias com emprego de ferramentas estatísticas.

## **2 DURABILIDADE DOS GEOSINTÉTICOS AO INTEMPERISMO**

A exposição à radiação solar global (G), especialmente à radiação ultravioleta (UV), é uma das principais origens de fotodegradação ou foto-oxidação de materiais poliméricos, reações autocatalíticas por radicais livres que impactam diretamente nas propriedades e desempenho dos geossintéticos. Essa degradação é agravada pelo aumento da temperatura ambiente, umidade, precipitação, dentre outros (ISO TS 13434, 2008; KOERNER; HSUAN; KOERNER, 1998; LOPES; LOPES, 2010; SUITS; HSUAN, 2003; WYPYCH, 2008). Praticamente todos os geossintéticos possuem aditivos para proteção UV. No entanto, esses materiais precisam ser avaliados quanto à durabilidade e ao tempo máximo de exposição permitidos segundo especificações e vida de projeto (ISO TS 13434, 2008).

Para estudos envolvendo degradação por intemperismo de campo, é necessário avaliar a incidência de radiação UV durante o teste de durabilidade. Todavia, poucas estações meteorológicas realizam monitoramentos de radiação UV no Brasil, mas sim da radiação solar global (G), tornando-se necessário estimar o percentual de radiação UV incidente no local de estudo. Monitoramentos

realizados por pesquisadores na cidade de Botucatu, São Paulo, com dados medidos e validados por tratamentos estatísticos, remetem a uma estimativa UV de 4,2% em relação a radiação solar global (ESCOBEDO *et al.*, 2009; ESCOBEDO *et al.*, 2011; ESCOBEDO *et al.*, 2014). Tal estimativa de incidência UV foi adotada nos testes de intemperismo de campo.

Testes de intemperismo de campo, baseados em normas vigentes para geossintéticos e materiais poliméricos (ASTM D 1435, 2013; ASTM D 5272, 2013; ASTM D 5970, 2016; ISO 877-1, 2009; ISO 877-2, 2009; ASTM G7/G7M, 2013), têm sido utilizados por pesquisadores brasileiros em estudos de durabilidade para alguns geossintéticos (GUIMARÃES *et al.*, 2017; MILAGRES, 2016; URASHIMA *et al.*, 2020b; YOSHIMURA, GUIMARÃES; VIDAL, 2014). As normas supracitadas especificam condições para os ensaios de intemperismo, tais como o ângulo de inclinação em relação à horizontal, além do direcionamento da face inclinada para o Equador, situação que caracteriza maior incidência solar durante o dia e ao longo do ano.

Referente ao comportamento de durabilidade ao longo do tempo, alguns modelos matemáticos foram reportados na literatura a partir dos resultados de testes de durabilidade em materiais poliméricos. Por exemplo, relações empíricas baseadas em comportamento linear, lei da potência ou comportamento exponencial, entre outras (DIERICKX; BERGHE, 2004; MAXWELL *et al.*, 2005; YANG; DING, 2006). Esses modelos matemáticos consideram a irradiância UV ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) ou o tempo de exposição (dias, meses ou anos) em relação ao comportamento da propriedade do material em estudo e são ferramentas importantes para avaliar a durabilidade de um determinado material, bem como a confiabilidade de estimativas de vida em projetos de engenharia (FREITAS; COLOSIMO, 1997).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 CONSTRUÇÃO DE PÓRTICOS PARA EXPOSIÇÕES ABERTA E FECHADA**

Para compreender a influência do intemperismo e do tipo de exposição na durabilidade dos geossintéticos, foram construídos dois pórticos para fixação de amostras: exposição aberta e exposição fechada (ISO 877-1, 2009; ISO 877-2, 2009), apresentados na Figura 1.

**Figura 1.** Pórticos para exposição de geossintéticos ao intemperismo.



(a) Exposição aberta.

(b) Exposição fechada.

**Fonte:** Dos autores (2020).

A exposição aberta envolve a fixação das amostras em estrutura que permite o fluxo livre de ar entre as faces superior e inferior das amostras (sujeitas aos efeitos de intemperismo por ambos os lados). Essa estrutura foi construída usando uma tela de arame galvanizado de 30mm × 30mm para evitar corrosão (Figura 1a).

A exposição fechada é realizada para que apenas a face frontal das amostras seja submetida aos efeitos do intemperismo. A estrutura de exposição fechada (Figura 1b) foi construída com uso de folha de metal ao invés de madeira compensada ou naval, especificado em norma, pois o objetivo do estudo foi obter uma condição mais crítica de exposição, submetendo as amostras a uma temperatura de superfície mais elevada. Para isolar as amostras do geossintético em estudo, uma camada de geotêxtil foi fixada entre as amostras e a placa metálica.

Em ambas exposições, as amostras foram fixadas aos pórticos com garras de alumínio, além dos pórticos apresentarem inclinação de 22° em relação à horizontal, referente à proximidade de latitude do local de estudo, e a face inclinada direcionada ao Norte (e, portanto, ao Equador), garantindo-se maior exposição das amostras ao Sol durante o dia (ISO 877-1, 2009; ISO 877-2, 2009).

Os experimentos foram realizados no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Unidade Varginha, Minas Gerais, localizado na região sudeste (-21,5490° Sul, -45,4194° Oeste, 925,00 metros acima do nível do mar). Os pórticos foram montados em um local sem elementos interferentes nos resultados (como árvores e edifícios próximos que possam causar sombras ou altos níveis de poluição atmosférica), de acordo com as recomendações das normas ISO 877-1 (2009) e ISO 877-2 (2009).

### 3.2 GEOTÊXTIL UTILIZADO NO ESTUDO

Para a metodologia de análise da durabilidade ao intemperismo de campo nas duas superfícies de contato, foi utilizado um geotêxtil tecido de polipropileno que apresenta propriedades físicas e

mecânicas listadas na Tabela 1. Ressalta-se que este estudo não tem como objetivo avaliar o comportamento de durabilidade de diferentes geossintéticos frente às intempéries, mas sim um tipo de procedimento de campo para tal análise. Para exemplificar numericamente, foi adotado nesta pesquisa um geotêxtil tecido de polipropileno.

**Tabela 1.** Propriedades do geotêxtil tecido de polipropileno.

Propriedades	Normas utilizadas	Resultados <sup>2</sup>
Massa por unidade de área ( $\rho_A$ )	ABNT NBR ISO 9864 (2013)	273 g/m <sup>2</sup> (1,3%)
Espessura nominal (d)	ABNT NBR 9863-1 (2013)	0,96 mm (4,8%)
Resistência à tração máxima ( $T_{max}$ ) <sup>1</sup>	ASTM D 5035 (2011)	56,7 kN/m (2,9%)
Alongamento à carga máxima <sup>1</sup>	ASTM D 5035 (2011)	12,8% (4,7%)

<sup>1</sup> Propriedades mecânicas na direção longitudinal de fabricação;

<sup>2</sup> Entre parêntesis os respectivos coeficientes de variação.

**Fonte:** Dos autores (2020).

### 3.3 DEGRADAÇÃO POR INTEMPERISMO DE CAMPO

Este estudo foi realizado em quatro períodos consecutivos detalhados na Tabela 2. Parâmetros meteorológicos foram monitorados durante os testes de intemperismo de campo na estação meteorológica localizada no CEFET-MG, Varginha. A incidência de radiação UV foi estimada em 4,2% da incidência da radiação solar global (G) (ESCOBEDO *et al.*, 2009; ESCOBEDO *et al.*, 2011; ESCOBEDO *et al.*, 2014), conforme reportado no item 2.

**Tabela 2.** Resumo dos testes de intemperismo.

Tempo de exposição (dias)	Datas	Radiação UV estimada (MJ/m <sup>2</sup> )	Temperatura média diária (°C)
90	20/05/2015 a 17/08/2015	48	17,8
160	20/05/2015 a 27/09/2015	95	19,7
230	20/05/2015 a 06/01/2016	146	20,7
290	20/05/2015 a 05/03/2016	191	21,2

**Fonte:** Dos autores (2020).

Utilizando-se um termômetro infravermelho (Figura 2), este estudo também incluiu o monitoramento de temperaturas diretamente na superfície do geotêxtil exposto ao intemperismo em três períodos distintos: início da manhã (7:00 horas), início da tarde (12:00 horas) e início da noite (18:00 horas). Tais medidas apresentam o comportamento de variação térmica diária na superfície do material comparados com as temperaturas horárias obtidas na estação meteorológica.

**Figura 2.** Termômetro de infravermelho empregado no estudo de intemperismo.



**Fonte:** Dos autores (2020).

### 3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ensaio de resistência à tração do tipo faixa estreita (ASTM D 5035, 2011) foram realizados em corpos-de-prova obtidos das amostras de geotêxtil expostas ao intemperismo, cujo teste preconiza largura do corpo-de-prova de 50 mm, distância entre garras de 75 mm e velocidade de tracionamento igual a 300 mm/min. Para cada amostra exposta ao intemperismo, foram preparados seis corpos-de-prova para serem submetidos ao ensaio de tracionamento. O número de corpos-de-prova foi previamente avaliado considerando a variabilidade inerente do material intacto (Tabela 1). Gráficos de diagrama de caixa foram construídos a partir dos resultados dos corpos-de-prova de modo a avaliar a distribuições dos dados amostrais em termos de variabilidade.

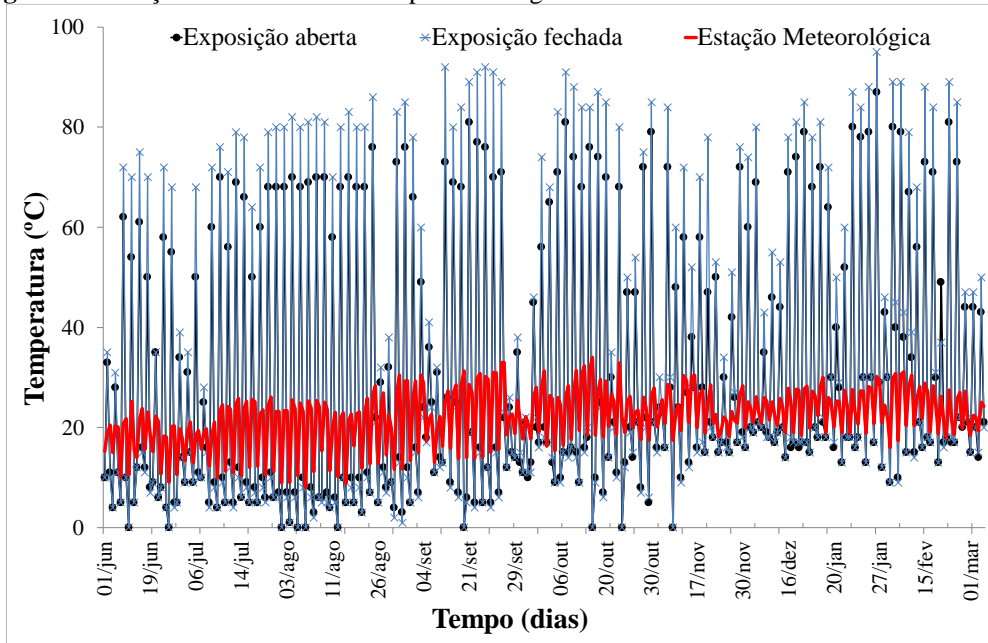
Resultados de resistência à tração máxima retida foram comparados com valores do geotêxtil intacto pela inferência estatística de intervalo de confiança (IC), com nível de confiança de 95%, a partir da distribuição t'Student pelo fato do material apresentar aderência segundo a distribuição Normal (GUIMARÃES, 2012) e pelo desvio-padrão populacional não ser conhecido (MONTGOMERY; RUNGER, 2012; TRIOLA, 2008).

Por último, modelos matemáticos que melhor se ajustam à resistência à tração (kN/m) foram obtidos em função do tempo de exposição (dias) e da radiação ultravioleta estimada ( $M/m^2$ ) para o local do estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

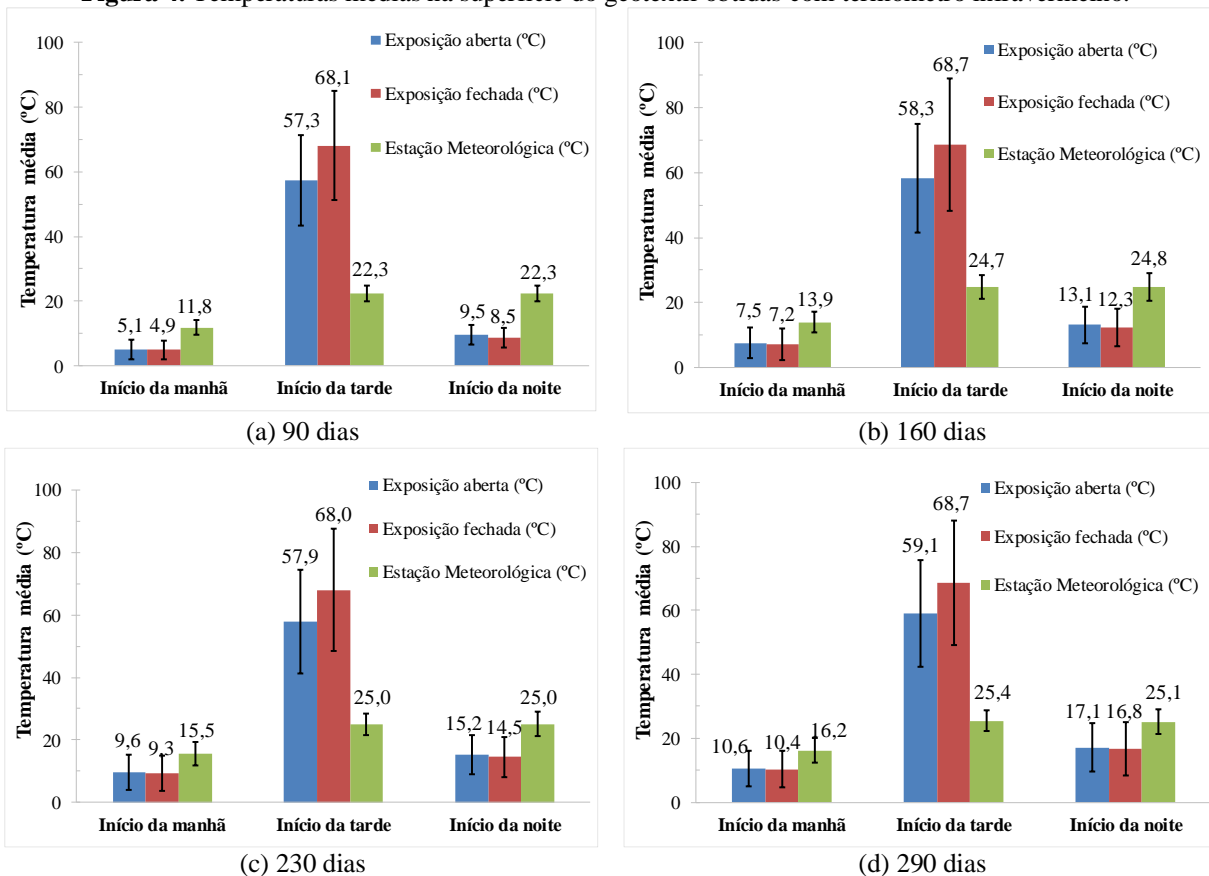
A Figura 3 apresenta medições da variação térmica diária na superfície do geotêxtil exposto e sua comparação com a temperatura horária obtida na estação meteorológica. A Figura 4 resume o comportamento térmico obtido na superfície do geotêxtil ao longo do tempo para as exposições aberta e fechada com a indicação dos valores médios e desvios obtidos.

Figura 3. Variação térmica obtida na superfície do geotêxtil com termômetro infravermelho.



Fonte: Dos autores (2020).

Figura 4. Temperaturas médias na superfície do geotêxtil obtidas com termômetro infravermelho.



Fonte: Dos autores (2020).

Variações térmicas diárias ocorreram ao longo do tempo, com baixas temperaturas no início da manhã que aumentaram para um pico no início da tarde e diminuíram no início da noite (Figura 3). No início da manhã, as temperaturas baixas inferiores aos valores médios obtidos na estação



meteorológica são justificadas devido à presença de orvalho na superfície do geotêxtil (Figura 5), comportamento comum à época de final de outono e inverno incluídos no primeiro período de ensaio (90 dias). Valores mais altos obtidos na superfície do geotêxtil no início da tarde, acima da temperatura média na estação meteorológica, são justificados devido a absorção de energia solar pelo geotêxtil e maior irradiância solar ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) neste intervalo de tempo. Além disso, foi observada uma tendência de variação térmica de 10 a  $11^\circ\text{C}$  entre as exposições aberta e fechada para medições realizadas no início da tarde, conforme indicado na Figura 4, cuja variação térmica, para as mesmas condições climáticas, influencia diretamente no comportamento da resistência à tração do material polimérico.

**Figura 5.** Presença de orvalho na superfície do geotêxtil: a) Detalhes; (b) Evaporação com o aumento da temperatura ao longo do dia.



**Fonte:** Dos autores (2020).

A Tabela 3 apresenta os resultados de resistência à tração retidos ( $\text{kN}/\text{m}$ ) e o alongamento na ruptura (%) obtidos após a degradação por intemperismo durante os quatro períodos de exposição. A Figura 6 apresenta a resistência à tração ( $\text{kN}/\text{m}$ ) e o alongamento na ruptura (%) para os ensaios experimentais.

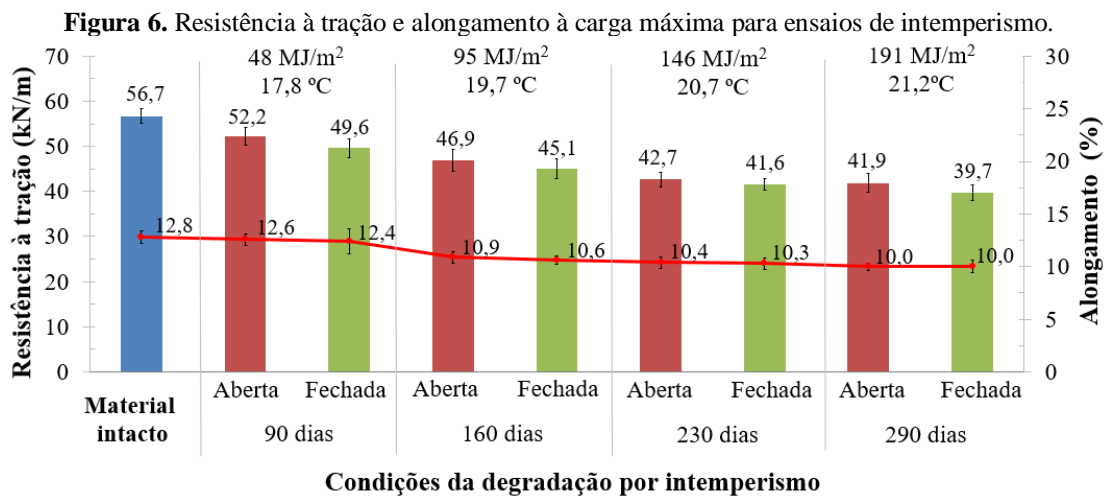
**Tabela 3.** Resultados da análise da durabilidade por intemperismo de campo.

Tempo de exposição	Tipo de exposição	Resistência à tração ( $\text{kN}/\text{m}$ ) <sup>1</sup>	Alongamento à carga máxima (%) <sup>1</sup>	Resistência à tração retida (%)
90 dias (48 $\text{MJ}/\text{m}^2$ )	Exposição aberta	52,2 (3,7%)	12,6 (4,2%)	92,1
	Exposição fechada	49,6 (4,2%)	12,4 (8,2%)	87,7
160 dias (95 $\text{MJ}/\text{m}^2$ )	Exposição aberta	46,9 (5,4%)	10,9 (5,0%)	82,7
	Exposição fechada	45,1 (4,8%)	10,6 (3,7%)	79,5
230 dias (146 $\text{MJ}/\text{m}^2$ )	Exposição aberta	42,7 (3,8%)	10,4 (5,3%)	75,3
	Exposição fechada	41,6 (3,1%)	10,3 (4,8%)	73,4
290 dias (191 $\text{MJ}/\text{m}^2$ )	Exposição aberta	41,9 (4,1%)	10,0 (3,3%)	73,9
	Exposição fechada	39,7 (4,4%)	10,0 (5,9%)	70,0

<sup>1</sup> Entre parêntesis os respectivos coeficientes de variação.

**Fonte:** Dos autores (2020).

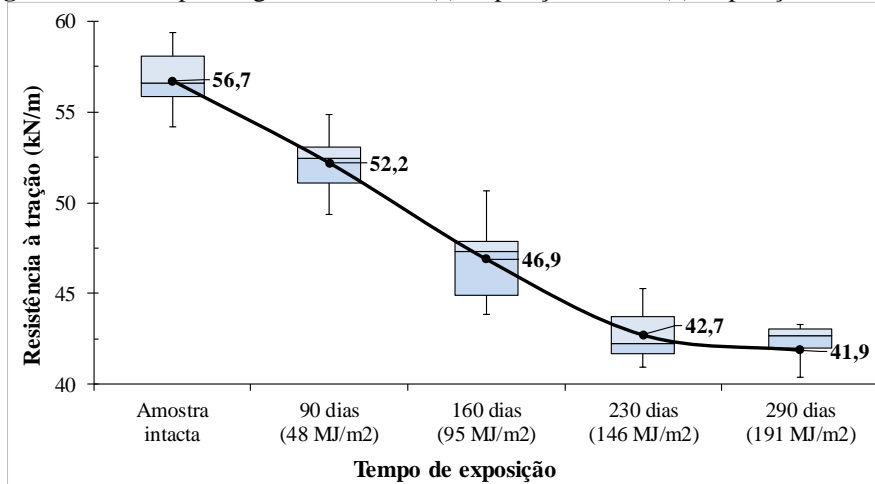
Foi verificado uma perda de resistência mecânica com o aumento dos períodos de exposição, devido à maior incidência de radiação UV e de demais elementos climáticos prejudiciais às cadeias poliméricas. Consequentemente, foi obtida uma diminuição da resistência à tração e alongamento à carga máxima. Esses comportamentos foram observados para as duas condições de exposição. Além disso, observou-se um menor percentual de resistência à tração retida para a exposição do tipo fechada para os quatro períodos de exposição (Figura 6). Provavelmente, isso foi observado devido às condições de exposição da amostra causadas pelo aumento de temperatura na superfície da amostra (ver Figuras 3 e 4).



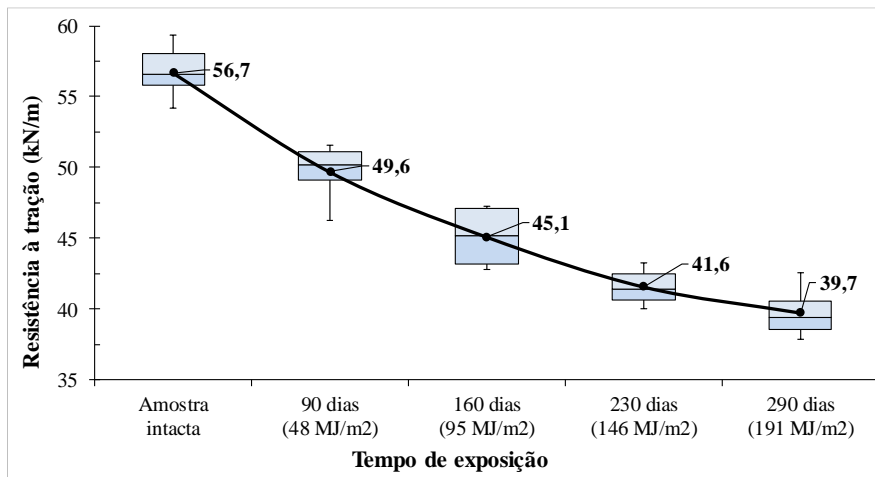
Fonte: Dos autores (2020).

A Figura 7 apresenta os diagramas de caixa a partir dos resultados dos corpos-de-prova. Em ambos os tipos de exposição, a variabilidade aumentou nos 160 dias, provavelmente devido ao acúmulo de degradação iniciada nos primeiros 90 dias e, para esse intervalo de tempo, a ocorrência de pequenos aumentos na temperatura de superfície do geotêxtil por compreender o período entre o final do inverno e o início da primavera.

Figura 7. Análise por diagrama de caixa: (a) Exposição aberta; (b) Exposição fechada.



(a)

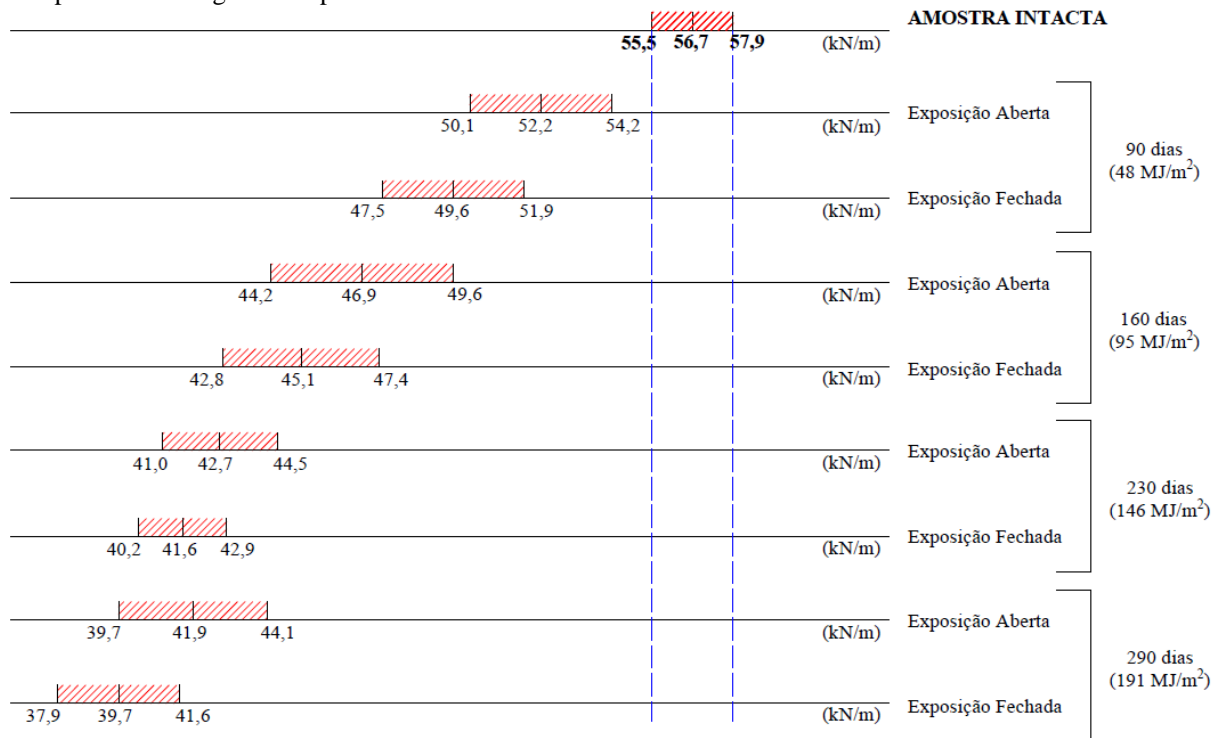


(b)

Fonte: Dos autores (2020).

A Figura 8 apresenta os resultados dos intervalos de confiança (ICs), com um nível de confiança de 95%, para a resistência à tração máxima do geotêxtil (kN/m). Os ICs de todas as amostras expostas ao intemperismo estão fora do intervalo delimitado para resultados de referência (material intacto). Os ICs mais distantes da faixa de valores para a amostra intacta ( $55,5 < 56,7 < 57,9$  kN/m) foram obtidos para amostras sujeitas a exposição fechada, mesmo para a exposição no primeiro intervalo de tempo (90 dias). Esse comportamento é devido a variações térmicas mais acentuadas para a exposição do tipo fechada. Portanto, afirma-se com 95% de confiança, que o geotêxtil tecido de polipropileno sofreu degradação por intemperismo de campo.

**Figura 8.** Intervalo de confiança (IC), com um nível de confiança de 95%, para a resistência à tração do geotêxtil sujeita a intemperismo ao longo do tempo.

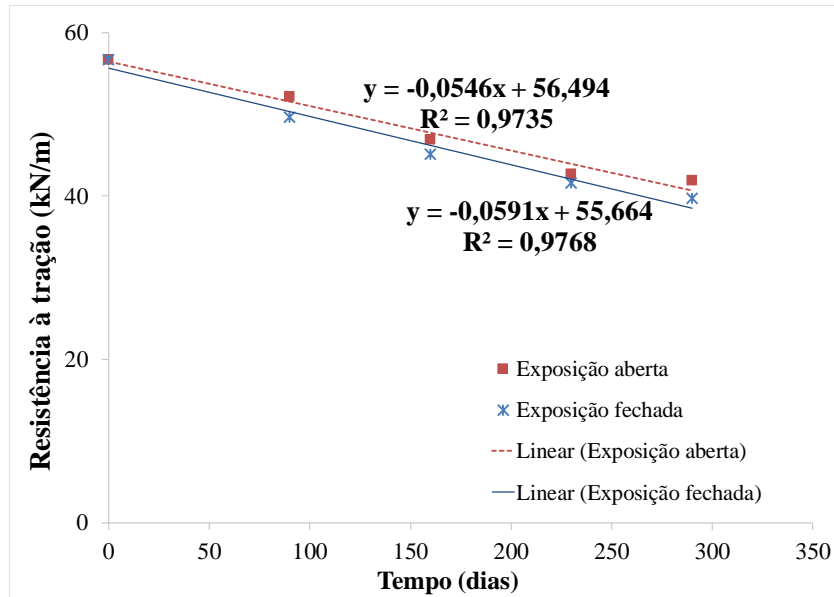


Fonte: Dos autores (2020).

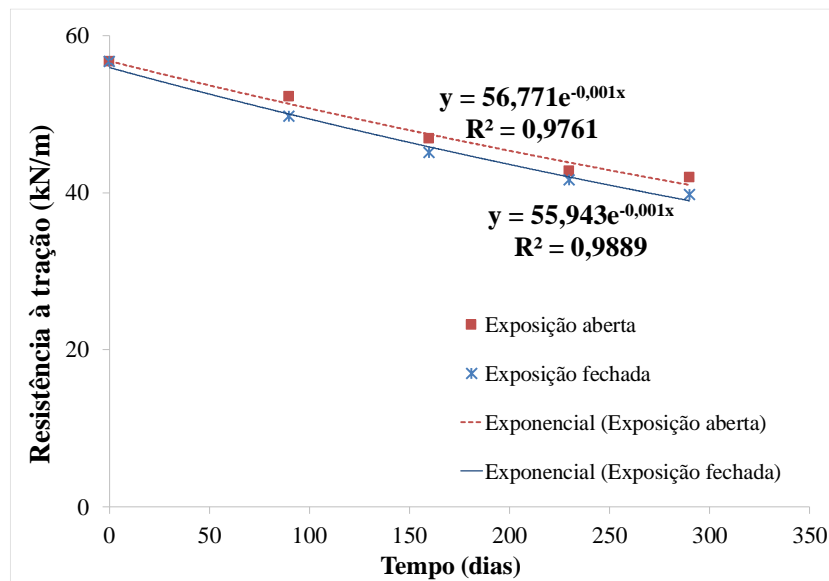
Para verificar um modelo matemático que melhor se ajusta aos resultados obtidos nas condições do experimento, a Figura 9 apresenta o comportamento de resistência à tração retido em função do tempo de exposição. Na Figura 10, tem-se a análise em função da estimativa de radiação UV incidente.

Em uma análise preliminar, é possível inferir que os resultados podem se ajustar tanto aos comportamentos lineares (Figuras 9a e 10a) quanto exponenciais (Figuras 9b e 10b). A partir da avaliação em termos do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), verifica-se que a relação exponencial é a mais adequada e se encaixa nos resultados de exposições aberta e fechada tanto em função do tempo de exposição (dias) quanto da radiação UV total estimada ( $\text{MJ/m}^2$ ).

**Figura 9.** Modelos matemáticos para análise da durabilidade por intemperismo em função do tempo de exposição (dias): (a) comportamento linear; (b) comportamento exponencial.



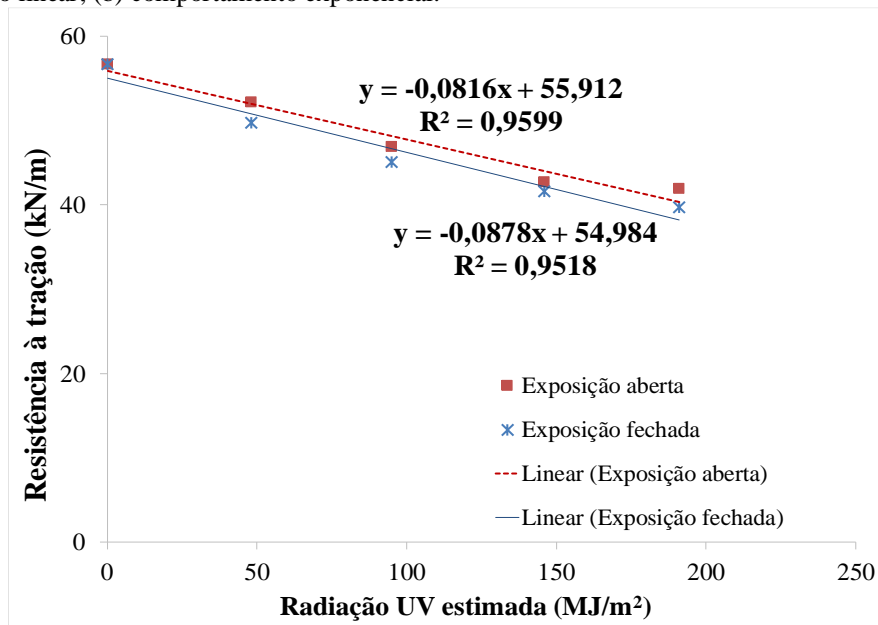
(a)



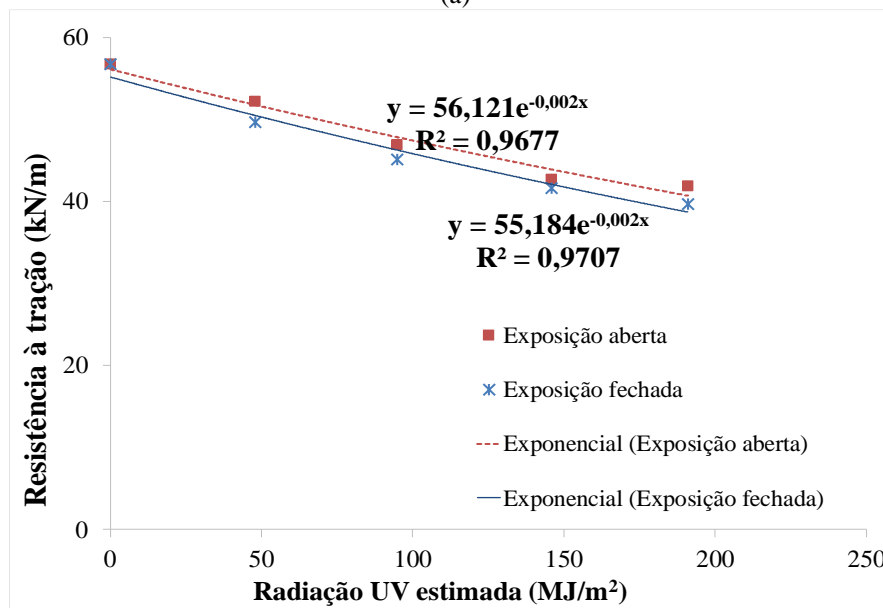
(b)

Fonte: Dos autores (2020).

**Figura 10.** Modelos matemáticos para análise da durabilidade por intemperismo em função da radiação UV estimada: (a) comportamento linear; (b) comportamento exponencial.



(a)



(b)

Fonte: Dos autores (2020).

As relações empíricas obtidas são dadas nas Equações (1) e (2), bem como apresentadas nas Equações (3) e (4), respectivamente:

$$y = 56,771e^{-0,001x} \quad (1)$$

$$y = 55,943e^{-0,001x} \quad (2)$$

Onde,

y = Resistência à tração retida (kN/m);

x = Tempo de exposição (dias).

$$y = 56,121e^{-0,002x} \quad (3)$$

$$y = 55,184e^{-0,002x} \quad (4)$$

Onde,

y = Resistência à tração retida (kN/m);

x = Total irradiância UV estimada (MJ/m²).

**5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Geossintéticos, assim como os demais materiais poliméricos, são sensíveis aos processos de intemperismo, principalmente à radiação UV e variações térmicas ao longo do tempo. A realização de testes de durabilidade por intemperismo em campo para avaliar a perda de resistência à tração podem contribuir para uma melhor compreensão destes fatores de influência. A engenharia com geossintéticos vêm apresentando um aumento significativo em aplicações geotécnicas, ambientais e civis, cuja ocorrência de envelhecimento a níveis acima dos fatores de projeto podem acarretar em impactos econômicos e ambientais significativos.

Os resultados diretos da medição de temperatura na superfície do geotêxtil apresentaram uma tendência à absorção de calor (início da tarde), independentemente do método de exposição (aberta ou fechada), devido à cor preta da superfície do geotêxtil. Além disso, foi observada uma tendência de manutenção da variação térmica de 10 a 11°C entre as tipologias de exposições, de modo que este gradiente de variação térmica corroborou diretamente em maiores perdas de resistência à tração e alongamento para exposição fechada. Portanto, esta análise indica a influência do tipo de interface na durabilidade do material polimérico. Para uma melhor compreensão desta temática, é importante considerar as condições de exposição dos geossintéticos ao intemperismo em diferentes aplicações, bem como realizar estudos experimentais para entender melhor esse problema.

A partir da análise estatística usando ICs, observou-se a ocorrência de degradação para as exposições aberta e fechada, uma vez que todos os intervalos amostrais, para cada tempo de exposição, estão fora do intervalo característico para a amostra intacta. Ressalta-se que o número de corpos-de-prova retirados das amostras expostas permitiu obter resultados de resistência à tração com um erro esperado entre 2-3%.

Modelos matemáticos são ferramentas importantes para a compreensão do comportamento de durabilidade de materiais poliméricos causados por fatores que podem induzir sua degradação ao longo da vida de projeto. Neste trabalho, foram escolhidos modelos matemáticos de resistência à tração retida (kN/m) em função do tempo de exposição (dias) e irradiância UV (MJ/m<sup>2</sup>) estimada. Tais modelos são relativamente semelhantes devido ao aumento da incidência de UV em função do tempo de exposição. Além disso, é importante considerar a variação térmica diária ocorrida e a dinâmica climática inerente do local de exposição. Esta temática ainda requer análises adicionais.

Este estudo contribui para o entendimento da durabilidade e da estimativa da vida de projeto de geossintéticos, materiais que vem ganhando cada vez mais mercado no Brasil e no exterior em distintas aplicações. Além disso, o desempenho satisfatório das suas funções e a manutenção de suas propriedades requeridas ao longo da vida de projeto é um ponto crucial na confiabilidade e segurança das aplicações, cuja preocupação tem sido reportada por pesquisadores, fabricantes e projetistas.

**AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo aporte financeiro. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo acesso ao Periódico Capes. A Huesker Ltda pelo fornecimento de geotêxtil para a pesquisa.

**REFERÊNCIAS**

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1435**: Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States: ASTM, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5035**: Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method). ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States: ASTM, 2011.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5272**: Standard Practice for Outdoor Exposure Testing of Photodegradable Plastics. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States: ASTM, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5819**: Standard Guide for Selecting Test Methods for Experimental Evaluation of Geosynthetic Durability. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States: ASTM, 2018.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5970**: Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles from Outdoor Exposure. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States: ASTM, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G7/G7M**: Standard Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States: ASTM, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOSSINTÉTICOS. **Recomendação IGSBrasil 004**: Aplicação de geossintéticos em áreas de disposição de resíduos. IGB Brasil, São Paulo, São Paulo, 2016.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9863-1**: geossintéticos: determinação da espessura a pressões especificadas: parte 1: camada única. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9864**: geossintéticos: método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10318-1**: geossintéticos: parte 1: termos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

DE PAOLI, M.A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. Chemkeys: Editado por João Carlos de Andrade. 2º versão on-line (revisada), 2008. 228 p.

FREITAS, M.A.; COLOSIMO, E.A. **Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados**. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, 1997. 309 p.

GREENWOOD, J.H.; SCHROEDER, H.F.; VOSKAMP, W. **Durability of Geosynthetics**. CUR committee C 187– Building & Infrastructure, 2012. 295 pages.

GUIMARÃES, M.G.A. **Durabilidade de geotêxteis expostos a fatores climáticos e químicos simulados em laboratório**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

GUIMARAES, M.G.A.; URASHIMA, D.C.; VIDAL, D.M. Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems. **Geosynthetics International**, v. 21, n. 5, p. 310-320, 2014.

GUIMARÃES, M.G.A.; VIDAL, D.M.; URASHIMA, D.C.; CASTRO, C.A.C. Degradation of polypropylene woven geotextile: tensile creep and weathering. **Geosynthetics International**, v. 24, p. 213-223, 2017.

HSIEH, C.; WANG, J. B.; CHIU, Y. F. Weathering properties of geotextiles in ocean environments. **Geosynthetics International**, v. 13, p. 210-217, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 877-1**: Plastics - Methods of exposure to solar radiation — Part 1: General guidance. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 877-2**: Plastics — Methods of exposure to solar radiation — Part 2: Direct weathering and exposure behind window glass. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO TS 13434: Geosynthetics - Guidelines for the assessment of durability.** International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2008.

KOERNER, G. R.; HSUAN, G.; KOERNER, R. M. Photo-Initiated Degradation of Geotextiles. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.** December, p. 1159-1166, 1998.

KOERNER, R.M.; HSUAN, Y.G.; KOERNER, G.R. Lifetime predictions of exposed geotextiles and geomembranes. **Geosynthetics International**, v. 24, n. 2, p. 198-212, 2017.

LAWSON, C.R. Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. **Geosynthetics International**, v. 15, p. 384-427, 2008.

LOPES, M.P.; LOPES, M.L. **A Durabilidade dos Geossintéticos.** Porto: FEUP Edições, 2010. 294 p.

MILAGRES, B.V. **Degradação de geotêxteis frente a elementos climáticos em ensaios de campo e laboratório: realidade climática local.** 2016. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.** 4ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MOO-YOUNG, H.K.; GAFFNEY, D.A.; MO X. Testing Procedures to assess the viability of dewatering with geotextiles tubes. **Geotextile and Geomembranes**, v. 20, p. 289-303, 2002.

MUTHUKUMARAN, A.E.; ILAMPARUTHI, K. Laboratory studies on geotextile filters as used in geotextile tube dewatering. **Geotextile and Geomembranes**, v. 24, p. 210-219, 2006.

SARSBY, R.W. (Edited by). **Geosynthetics in Civil Engineering.** The Textile Institute. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2007. 308 p.

SHUKLA, S.K.; YIN, J.H. **Fundamentals of Geosynthetic Engineering.** London: Taylor & Francis Group, 2006. 428 p.

SUITS, L.D.; HSUAN, Y.G. Assessing the photo-degradation of geosynthetics by outdoor exposure and laboratory weatherometer. **Geotextile and Geomembranes**, v. 21, p. 111-122, 2003.

TRIOLA, M.F. **Introdução à Estatística.** 10ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

URASHIMA, B.M.C.; URASHIMA, D.C.; CASTRO, C.A.C.; GUIMARÃES, M.G.A. Degradação de geotêxteis expostos às intempéries. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25208-25219, 2020b.

URASHIMA, B.M.C.; URASHIMA, D.C.; GUIMARÃES, M.G.A.; PAULINO, G.R.; RIBEIRO, A.G.C. Sistema de confinamento de resíduos empregando geotêxteis comparados a leito de drenagem para desaguamento de lodo de estação de tratamento de água. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25244-25260, 2020a.

WYPYCH, G. **Handbook of Materials Weathering**, Publisher: Chem Tec Publishing, Toronto, 2008.

YEE, T.W.; CHOI, J.C. Geotextile tube application for Islan Grand Bridge Project, Korea. *In: THE FIRST PAN AMERICAN GEOSYNTHETICS CONFERENCE & EXHIBITION*, 2008, Cancun. **Anais [...]**. Cancun, 2008.

YOSHIMURA, P.; GUIMARÃES, M. G. A.; VIDAL, D. M. Some aspects of the durability testing for geosynthetics exposed to climatic degradation agents. *In: 10<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSYNTHETICS*, 2014, Berlim. **Anais [...]**. Berlin, 2014.