XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/30

Danos de Instalação em Geogrelhas Tecidas de Poliéster: Microdanos e Implicações nos Fatores de Redução em RAP

Fernando Affonso Névoa
Doutorando, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil, fernandonevoa@estudante.ufscar.br

Natália de Souza Correia
Professora, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil, ncorreia@ufscar.br

Fernando H. M. Portelinha
Professor, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil, fportelinha@ufscar.br

RESUMO: Este estudo analisou a perda de resistência por danos de instalação em geogrelhas tecidas de poliéster causada pelo uso de fresado de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) como material de aterro, comparando-a aos danos provocados por areia. Foram construídas duas seções experimentais em escala real, compactadas com procedimentos padrão de campo, nas quais quatro tipos de geogrelhas foram instalados sobre camadas de 30 cm de RAP ($D_{máx}$ = 38,1 mm) e de areia ($D_{máx}$ = 5,66 mm). Após a instalação, as amostras foram exumadas e submetidas a ensaios de tração para determinação dos fatores de redução por danos de instalação (FR_{DI}). A análise incluiu a inspeção por microscopia eletrônica de varredura (MEV), avaliando a influência da granulometria do material e das características da geogrelha (abertura de malha e largura dos filamentos) na magnitude e no mecanismo de dano. Os fatores de redução por danos de instalação variaram entre 1,36 e 1,59 para o RAP e entre 1,27 e 1,42 para a areia. Na areia predominaram abrasão superficial e micro-punção, enquanto no RAP observaram-se abrasão, corte e contusão. Conclui-se que os danos de instalação não dependem exclusivamente do diâmetro máximo do material de aterro, mas principalmente da compatibilidade entre a abertura de malha da geogrelha e o diâmetro modal dos agregados.

PALAVRAS-CHAVE: Geogrelhas, Danos de Instalação, RAP, Areia, Fator de Redução.

ABSTRACT: This study evaluated tensile strength loss due to installation damage in woven polyester geogrids caused by the use of reclaimed asphalt pavement (RAP) as backfill material, comparing it with damage induced by sand. Two full-scale experimental sections were constructed and compacted using standard field procedures, in which four types of geogrids were installed over 30 cm layers of RAP (D_{max} = 38.1 mm) and sand (D_{max} = 5.66 mm). After installation, specimens were exhumed and subjected to tensile testing to determine installation damage reduction factors (RF_{ID}). The analysis included scanning electron microscopy (SEM), assessing the influence of backfill gradation and geogrid characteristics (aperture size and filament width) on damage magnitude and mechanisms. The reduction factors for installation damage ranged from 1.36 to 1.59 for RAP and from 1.27 to 1.42 for sand. Surface abrasion and micro-puncturing predominated in the sand, whereas abrasion, cutting, and impact-related damage were observed in the RAP. It is concluded that installation damage does not depend exclusively on the maximum particle size of the backfill material, but primarily on the compatibility between the geogrid aperture size and the modal aggregate diameter.

KEYWORDS: Geogrids, Installation Damage, RAP, Sand, Reduction Factor.

1 INTRODUÇÃO

O uso de Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) como substituto a materiais naturais na engenharia geotécnica tem se mostrado uma prática sustentável e economicamente viável. O RAP é um resíduo composto por agregados e ligante asfáltico, proveniente do processo de manutenção por fresagem da camada de revestimento do pavimento, esse resíduo pode ser usado em diversas obras de infraestrutura (FHWA, 2024). O emprego desse material nessas obras geotécnicas diminui o consumo de agregados naturais e a emissão de gases de efeito estufa, associados a extração e transporte desses materiais (Sunarjono & Hidayati, 2019). De acordo com Lopes et al. (2024) o Brasil gerou pouco mais de 2 milhões de toneladas de fresado entre os anos

2019 e 2021. Embora o interesse em seu reuso tenha crescido nos últimos anos, pouco se sabe sobre o seu comportamento quando usado com geossintéticos.

Nesse contexto, a aplicação do RAP como camada granular reforçada ou mesmo em estruturas de solo reforçado demanda a avaliação de sua interação com geossintéticos, especialmente com geogrelhas, amplamente utilizadas para melhoria de desempenho e estabilidade. Durante o processo construtivo, a etapa de lançamento e compactação do material de aterro pode induzir danos mecânicos nos elementos de reforço, comprometendo sua capacidade resistente. Assim, compreender como as características físicas e granulométricas do RAP influenciam os mecanismos de dano nas geogrelhas torna-se fundamental para garantir desempenho estrutural e segurança nos projetos.

Os danos que as geogrelhas sofrem durante a instalação são quantificados por fatores de redução (FR), definidos como a razão entre a resistência à tração última da geogrelha virgem e da geogrelha danificada (exumada). Esses fatores permitem ajustar os parâmetros de resistência utilizados em projeto para valores compatíveis com as condições de campo, por meio da aplicação de fatores parciais de segurança que consideram a degradação decorrente da construção (Koerner et al., 2023). A severidade dos danos está associada às características físico-mecânicas do geossintético e do material de aterro, como tipo de polímero, abertura de malha, graduação, forma e diâmetro máximo dos agregados (Barbosa et al., 2021; Hufenus et al., 2005; Lackner, 2012; Lim & McCartney, 2013). Em especial, os danos causados por agregados dependem da distribuição granulométrica, do diâmetro máximo e do formato dos grãos, bem como das propriedades da geogrelha, incluindo polímero e processo de fabricação (Hufenus et al., 2005). Além disso, o desempenho e a interação com o aterro estão diretamente relacionados às suas características físicas e mecânicas (Lackner, 2012).

Em geral, os danos de instalação em geogrelhas são governados apenas pelo diâmetro máximo do material de aterro, mas principalmente pela compatibilidade dimensional entre a abertura de malha da geogrelha e o diâmetro mais frequente dos agregados, bem como pelas características superficiais dos grãos. Assim, materiais com granulometria semelhante podem induzir mecanismos de dano distintos, resultando em fatores de redução significativamente diferentes. E apesar do crescente uso do RAP em obras geotécnicas, ainda não há estudos sistemáticos que investiguem, em escala real e com análise microestrutural, os mecanismos de danos de instalação em geogrelhas e sua implicação direta nos fatores de redução adotados em projeto, favorecendo a aplicação de materiais alternativos em obras geotécnicas.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é quantificar e interpretar mecanicamente os danos de instalação em geogrelhas tecidas de poliéster instaladas em camada de fresado RAP e camada areia, correlacionando os mecanismos de microdano observados por microscopia eletrônica de varredura com os fatores de redução obtidos experimentalmente em escala real. Para isso foram construídas seções experimentais em campo seguindo as especificações da norma D5818 (ASTM, 2022).

2 MATERIAIS

2.1 Geogrelhas

Este estudo avaliou o desempenho de quatro geogrelhas tecida de poliéster (PET) revestidas com policloreto de vinila (PVC) com diferentes resistências última à tração. As especificações e características físicas das geogrelhas usadas nesse trabalho estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização das geogrelhas utilizadas neste estudo.

		Norma	Unid.	GG1	GG2	GG3	GG4
Propriedades Mecânicas	Resistência à Tração última (Long.)	ASTM D6637	kN/m	59.0	83.6	133.4	155.5
	Alongamento Resistência Ultima	ASTM D6637	%	<12	<12	<12	<12
	Resistência à tração em 2% alongamento	ASTM D6637	kN/m	9.6	14.5	24.0	29.6
	Resistência à tração em 5% alongamento			13.9	22.6	345.0	42.8
	Abertura Nominal Longitudinal		mm	24	29	25	27
	Abertura Nominal Transversal		mm	25	24	20	15

As amostras de geogrelhas a serem utilizadas para caracterização física em laboratório, e no trecho experimental, foram retiradas do mesmo rolo de fabricação. As geogrelhas virgens, assim como as geogrelhas danificadas, foram submetidas a ensaios de resistência à tração no Laboratório de Geotecnia e Geossintéticos da Universidade Federal de São Carlos (LabGEO/UFSCar), conforme a norma D6637 (ASTM, 2023), utilizando o método *Single Rib*.

2.2 Pavimento asfáltico fresado (RAP) e areia

O RAP utilizado neste estudo foi obtido do processo de manutenção por fresagem de um pavimento asfáltico de uma rodovia da cidade de Araraquara, no interior do estado de São Paulo, Brasil. O RAP coletado é composto por grãos angulares, com índices de forma variando conforme as seguintes passagens: $IF_{38.1} = 3{,}61$; $IF_{25,4} = 3{,}38$; $IF_{19,1} = 2{,}98$; $IF_{12,7} = 2{,}57$; e $IF_{9,52} = 2{,}61$, indicando elevada angularidade especialmente nas frações de maior diâmetro. Os grãos apresentam textura superficial áspera, revestidos por cimento asfáltico de petróleo (CAP) com teor de 5,85%, determinado de acordo com o ensaio da norma D6307 (ASTM, 2019). É importante ressaltar que as propriedades físico-mecânicas do RAP são influenciadas pela configuração da fresadora, especialmente pelo espaçamento das ferramentas de corte (bits) e pela velocidade do cilindro de fresagem, conforme diretrizes da FHWA (2023).

A areia, por sua vez, foi adquirida em comércio local, apresenta-se limpa e em coloração amarelada. Por meio das imagens de microscopia, os grãos foram classificados como tendo forma angular segundo a norma D2488 (ASTM, 2017). As curvas granulométricas dos materiais utilizados neste estudo é apresentada na Figura 1. É importante notar na Figura 1 que a areia natural adotada como material de referência tem composição granulométrica mais fina ($D_{50} = 0{,}3$) que o agregado de RAP ($D_{50} = 8$).

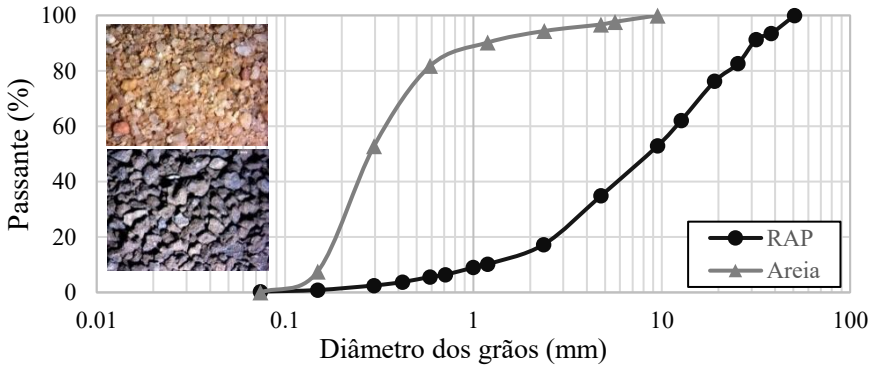


Figura 1. Curva de distribuição granulométrica do RAP e da areia natural.

3 METODOLOGIA

3.1 Execução das seções experimentais

Para avaliar o dano de instalação das geogrelhas devido uso em camada de RAP e em camada de areia, foram construídas duas seções experimentais, cada uma utilizando um dos materiais propostos. A execução do canteiro experimental seguiu as diretrizes da norma D5818 (ASTM, 2022), empregando-se equipamentos e procedimentos similares aos utilizados em obras geotécnicas.

Inicialmente, o terreno natural foi preparado por meio de limpeza e remoção da camada superficial de vegetação com o uso de pá carregadeira, seguida do nivelamento da área. O controle de compactação foi realizado na camada de base, utilizando um cilindro de controle com volume conhecido. Para atingir grau de compactação superior ao mínimo desejado na norma foram aplicadas passadas do rolo vibratório liso de 4,2 toneladas sobre a camada de agregado RAP e sobre a camada de areia, atingindo graus de compactação de 102,5% e 109,3% respectivamente. Os graus de compactação foram determinados em relação à densidade seca máxima do Proctor Modificado. Valores superiores a 100% são compatíveis com materiais granulares compactados por energia vibratória, pois o ensaio Proctor não reproduz integralmente o rearranjo particulado promovido por rolos vibratórios em campo.

Cada seção experimental (Figura 2) apresentou dimensões de 3,20 m de largura por 5,10 m de comprimento, sendo composta por uma camada de base de agregados com 12 cm de espessura, seguida da instalação da geogrelha, e uma camada de topo com 20 cm.

Em seguida, os agregados foram lançados diretamente sobre as geogrelhas com o auxílio de pá carregadeira, adotando-se uma altura de queda de 1,20 m. Essa altura foi definida por representar condições típicas de campo e por não provocar a dispersão das frações mais finas dos materiais.

Após a distribuição uniforme do material, foi realizada a compactação da camada de topo, finalizando a execução das seções. Após 24 horas da conclusão da construção da seção experimental, foi realizada a exumação das geogrelhas, de forma manual, sem o uso de equipamentos mecanizados, com o objetivo de evitar danos adicionais. A exumação consistiu na remoção cuidadosa dos agregados até a completa exposição das geogrelhas. Somente após estarem totalmente livres dos agregados sobre sua superfície, as geogrelhas foram retiradas e armazenadas adequadamente no laboratório, garantindo que os danos observados fossem exclusivamente decorrentes do processo de instalação.



Figura 2. Execução da seção experimental.

3.2 MEV e Microscopia Digital

Para uma avaliação dos danos e microdranos causados pelos agregados nas geogrelhas, foram realizadas análises por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e microscopia digital. O equipamento utilizado para o ensaio de MEV foi o modelo MIRA da TESCAN, com ampliação variando de 0 a 1000 vezes. Considerando que a análise nesse tipo de equipamento pode ser prejudicada pela presença de poeira ou resíduos dos agregados, as amostras foram limpas cuidadosamente com pincel de cerdas finas e macias, evitando danos adicionais as geogrelhas. Amostras das quatro geogrelhas danificadas por areia e por RAP, além de amostras virgens (controle) foram cortadas para análise.

A microscopia digital foi realizada com equipamento da ZEISS, equipado com uma câmera digital AxioCam ERc, com ampliação de 0 a 20 vezes. A seleção das amostras de geogrelhas foi baseada na presença de danos característicos observados, mas que também apresentassem áreas intactas ao redor, para que fosse possível comparar as camadas danificadas e íntegras do material. Foi realizado o ensaio de microscopia nos agregados RAP e areia, para que pudesse avaliar a forma dos grãos mais finos do material.

3.3 Análise Estatística

Inicialmente, foi realizada a verificação da normalidade dos dados amostrais, para garantir que os métodos estatísticos paramétricos fossem adequados. A normalidade foi testada utilizando o teste de Shapiro-Wilk, amplamente utilizado devido à sua eficácia em detectar desvios da distribuição normal em amostras com N>30. O teste calculou o W estatístico e o valor p correspondente, sendo este último usado para avaliar a hipótese nula de que os dados seguiram uma distribuição normal.

Confirmada a normalidade, foram calculadas as principais medidas de estatísticas descritiva, incluindo média amostral, desvio padrão, coeficiente de variação, erro padrão e os valores mínimo e máximo, conforme apresentado na Tabela 2. A média foi adotada como medida de tendência central das resistências das geogrelhas, enquanto o desvio padrão foi utilizado para quantificar a dispersão dos dados.

Em seguida, realizou-se a análise de valores discrepantes, com base no intervalo interquartil. Valores identificados como outliers foram excluídos da amostra, uma vez que poderiam influenciar de forma significativa a interpretação dos resultados. Após a remoção dos outliers, foi determinado o intervalo de confiança com nível de 95%, utilizando-se a distribuição de *Student*, permitindo estimar a faixa de valores na

qual se encontra a média populacional com determinado grau de confiança e avaliar a precisão das estimativas obtidas.

Tabela 2. Estatistica Descritiva

Geogrelha	Nº Corpos-de-prova	Média (kN/m²)	Desvio Padrão	COV	IQR	Intervalo Confiança 95%		Shapiro-Wilk	
						Limite Inferior	Limite Superior	W	P
GG1-V	10	59.0	2.23	3.78	2.81	57.4	60.6	0.928	0.426
GG2-V	10	83.6	2.43	2.91	2.15	81.9	85.3	0.910	0.284
GG3-V	10	133.4	4.25	3.19	6.57	130.4	136.5	0.919	0.346
GG4-V	10	155.5	5.92	3.81	7.35	151.3	159.7	0.872	0.105
GG1-RAP	32	37.0	3.94	10.64	6.51	35.6	38.5	0.945	0.102
GG2-RAP	36	59.7	5.47	9.16	6.38	57.8	61.5	0.981	0.768
GG3-RAP	36	98.3	9.80	9.96	13.14	95.0	101.6	0.966	0.329
GG4-RAP	32	105.1	12.93	12.30	18.47	100.5	109.8	0.978	0.741
GG1-Areia	34	46.4	4.24	9.15	5.64	44.9	47.9	0.970	0.459
GG2-Areia	35	64.1	5.39	8.40	7.87	62.3	66.0	0.976	0.612
GG3-Areia	35	99.4	10.67	10.73	13.85	95.8	103.1	0.959	0.212
GG4-Areia	33	109.5	7.71	7.04	8.83	106.8	112.2	0.965	0.361

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Danos visuais observados na Geogrelha

Alguns dos danos mecânicos observados nas geogrelhas foram visualmente identificados, como abrasão, corte, desfilamento e esmagamento, e correspondem aos mesmos tipos caracterizados por Lopes (2006) e por Lim & McCartney (2013). A Figura 3 apresenta os principais danos mecânicos em geogrelhas. Nos testes realizados em camada de areia, os danos observados foram menos severos, sendo os danos visualmente constatados em sua grande maioria sendo do tipo abrasão, e em alguns poucos pontos foram observados danos de desfilamento. Os danos recebidos na geogrelha exumada do fresado RAP foram mais severos em comparação com aqueles constatados na areia. Foram observados danos por abrasão, desfilamento, esmagamento e, em alguns pontos específicos, por corte.



Figura 3. Danos observados nas geogrelhas – corte, esmagamento, desfilamento e abrasão.

4.2 Danos observados nas análises microscópicas

A Figura 4 apresenta imagens típicas dos resultados dos ensaios de MEV em geogrelhas instaladas em camada de areia e RAP. Embora visivelmente alguns pontos nos filamentos de geogrelha aparentassem estar sem dano algum, os ensaios de MEV revelaram que os grãos em formato angular de areia causaram micro punções na estrutura da geogrelha, gerando pontos de acúmulo de tensão e consequentemente, perda de resistência última à tração, conforme é observado nas Figuras 4a e 4b. A geometria plana da geogrelha utilizada no presente estudo criou uma condição favorável para aderência e acúmulo dos grãos finos entres os fios que compõem um filamento. Notou-se um aumento gradativo nestes micro danosconforme maior a área de contato do filamento da geogrelha, ou seja, quanto maior a largura do filamento, maior o dano mensurado

O ensaio de MEV revelou, em alguns casos, perda significativa do revestimento de PVC da geogrelha, onde o desgaste desse revestimento danificou parcialmente os fios mais externos do filamento, visto que o PVC estava aderido a esses fios (Figuras 4c e 4d). Lopes & Pinho-Lopes (2014) observaram danos semelhantes em análises de MEV com geogrelhas de poliéster, onde a perda da camada de PVC resultou em danos aos fios externos, que estavam aderidos a essa camada.

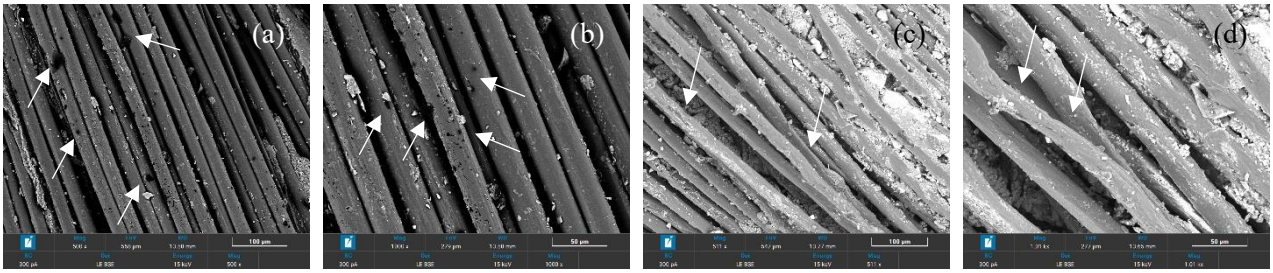


Figura 4. Resultado das análises MEV – 'a' e 'b' micro danos e 'c' e 'd' desgaste do revestimento de PVC.

No caso do RAP, apesar da variedade dos danos, estes foram predominantemente superficiais. Isso pode ser explicado pelas características físicas do RAP, que, quando compactado, passam a apresentar um comportamento de cimentação, devido à característica coesiva do ligante asfáltico, gerando um endurecimento e uma conformação do RAP em torno da geogrelha, minimizando danos mais profundos.

4.3 Redução na resistência à tração devido aos danos de instalação

Após realizado o ensaio de campo, que simula danos de instalação (i.e. danos mecânicos), é esperado que as geogrelhas exumadas e danificadas apresentem resistência última à tração média ($\bar{T}_{ult,d}$) menor do que a obtida nas geogrelhas virgens ensaiadas. Foram analisados pelo menos 30 corpos-de-prova de geogrelha de cada combinação avaliada. A perda de resistência última à tração média, das geogrelhas instaladas em camadas de agregado RAP foi de 37.29% para a GG1, de 28.59% para a GG2, de 26.31% para a GG3 e de 32.41% para a GG4. Já a perda de resistência última à tração média, obtida para as geogrelhas instaladas em camadas de areia foram de 21.36% para a GG1, de 23.32% para a GG2, de 25.49% para a GG3 e de 29.58% para a GG4. A partir das médias de resistência à tração das geogrelhas danificadas, e das médias de resistência à tração das respectivas geogrelhas virgens, foram obtidos os fatores de redução (FR_{DI}) apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Fatores de redução obtidos no presente estudo.

Geogrelha	FR_{DI} (médio)		Faixa calculada do FR_{DI} (todos os valores)
	Agregado 1 (RAP)	Agregado 2 (Areia)	
GG1	1,59	1,27	1,27-1,59
GG2	1,40	1,30	1,30-1,40
GG3	1,36	1,34	1,34-1,36
GG4	1,48	1,42	1,42-1,48

Conforme discutido anteriormente, as características físicas do material usado como aterro exerceram grande influência sobre os danos de instalação nas geogrelhas. Os resultados apresentados na Tabela 3 indicam que os fatores de redução por danos de instalação foram consistentemente maiores para o RAP em comparação com a areia. Observa-se ainda que a variação dos FR_{DI} entre as geogrelhas evidencia a influência das características geométricas dos elementos estruturais na severidade do dano, especialmente no caso da GG4, que apresentou os maiores valores médios.

O RAP apresenta fração de grãos finos (34.92% < D:4.76mm) com proporção próxima a um terço dos grãos grossos (65.08% > D:4.76mm), sendo um material bem graduado o que confere uma boa sinergia com as geogrelhas. As geogrelhas GG1, GG2 e GG3 apresentam aberturas de malha superiores ao diâmetro máximo de aproximadamente 82,6% das partículas que compõem o RAP, favorecendo a passagem dos agregados predominantes através da malha e reduzindo a concentração de tensões nos filamentos. Por outro lado, a GG4

possui menor abertura efetiva e maior largura de filamento, o que intensifica a interação agregado–filamento e aumenta a suscetibilidade a danos mecânicos, comportamento refletido nos maiores valores de fator de redução por danos de instalação observados (Figura 5). Já a areia estudada é mal graduada, formada por grãos angulares e constituída de 96.73% dos grãos menores que o diâmetro de 4.76 mm. Por ser formada por material com diâmetro muito inferior a abertura das malhas da geogrelha, seu mecanismo de dano parece estar associado à área de contato com a geogrelha, sendo observado que, quanto menor a largura (área de contato) do filamento da geogrelha, menor a perda de resistência medida. Portanto, foram constatados menores fatores de redução para as geogrelhas com largura de filamento menor (GG1 e GG2) em comparação com as geogrelhas de largura de filamento maior (GG3 e GG4).

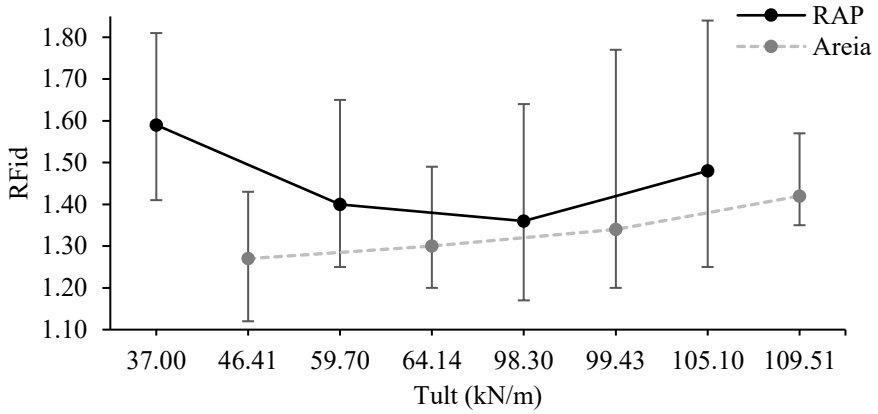


Figura 5. Fator de redução de dano de instalação (FR_{ID}) versus resistência à tração ultima (Tult).

A perda de resistência das geogrelhas instaladas em RAP ($D_{máx}$ = 38,1 mm) indicou comportamento semelhante ao de agregados convencionais de mesma dimensão máxima, com FR_{DI} entre 1,36 e 1,59, enquanto para a areia os valores variaram entre 1,27 e 1,42. No RAP, os danos foram condicionados principalmente pela compatibilidade entre a abertura de malha e os diâmetros mais frequentes, enquanto na areia, composta por partículas menores que as aberturas, o dano foi predominantemente controlado pela área de contato partícula–filamento, tornando a largura do filamento o parâmetro determinante da severidade.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais obtidos e nas análises mecânicas e microestruturais realizadas, foi possível avaliar de forma consistente os mecanismos de dano por instalação em geogrelhas tecidas de poliéster submetidas a diferentes materiais de aterro.

- Os fatores de redução por danos de instalação variaram entre 1,36 e 1,59 para o RAP ($D_{máx}$ = 38,1 mm) e entre 1,27 e 1,42 para a areia (Dmáx = 5,66 mm).
- Os resultados indicaram que a severidade do dano no RAP não foi governada exclusivamente pelo Dmáx, mas predominantemente pela compatibilidade entre a abertura de malha da geogrelha e os diâmetros mais frequentes do material. A granulometria bem distribuída e a presença de ligante asfáltico conferiram comportamento parcialmente coeso após compactação. A maior interação malha–agregado observada na GG4 explica o aumento do fator de redução nessa configuração.
- Para a areia, cujo tamanho de partícula é significativamente inferior às aberturas de malha da geogrelha, o dano mostrou-se independente da compatibilidade malha–agregado e foi controlado principalmente pela área de contato partícula–filamento.
- A análise microestrutural por MEV confirmou a distinção dos mecanismos de dano: na areia predominaram abrasão superficial e micro-punção, enquanto no RAP observaram-se abrasão, corte e contusão associados às frações grossas predominantes.

Conclui-se que os danos de instalação em geogrelhas tecidas de poliéster são controlados principalmente pela relação entre abertura de malha e diâmetro predominante dos agregados, e não apenas pelo diâmetro máximo do material. Assim, a adoção de fatores de redução baseados exclusivamente no $D_{máx}$ pode não representar adequadamente o comportamento de materiais alternativos como o RAP.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Geotecnia e Geossintéticos, Laboratório de Caracterização Estrutural e Laboratório de Biologia Experimental da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM International. (2017). *Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures)*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D2488-17E01

ASTM International. (2019). *Test Method for Asphalt Content of Asphalt Mixture by Ignition Method (ASTM D6307)*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D6307-19

ASTM International. (2022). *Designation: D5818 − 22 Standard Practice for Exposure and Retrieval of Samples to Evaluate Installation Damage of Geosynthetics 1*. https://doi.org/10.1520/D5818-22

ASTM International. (2023). *Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method (D6637)*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D6637_D6637M-15R23

Barbosa, K. R. M., Dos Santos, E. C. G., & Gusmão, A. D. (2021). Geogrid mechanical damage caused by recycled construction and demolition waste (RCDW) under in-field cyclic loading. *Soils and Rocks*, *44*(2). https://doi.org/10.28927/SR.2021.056520

Dager, C. H., Morro, R. H., Hubler, J. F., & Sample-Lord, K. M. (2023). Review of Geotechnical Properties of Reclaimed Asphalt Pavement for Reuse in Infrastructure. *Geotechnics*, *3*(1), 21–42. https://doi.org/10.3390/geotechnics3010003

FHWA. (2024). *FHWA-HRT-23-110: Alternative Backfills for Highway Applications: State of the Practice*. https://www.ntis.gov

FHWA. (2023). *Reclaimed Asphalt Pavement: Material Description*. Washington, DC: FHWA. Disponível em: https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/rap131.cfm.
Acesso em: 10 jun. 2026.

Hufenus, R., Rüegger, R., Flum, D., & Sterba, I. J. (2005). Strength reduction factors due to installation damage of reinforcing geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes*, *23*(5), 401–424. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2005.02.003

Koerner, G. R., Loux, T., Filshill, A., & Schuller, J. (2023). Geosynthetic damage due to installation stresses in ultra-light weight foamed glass aggregate versus conventional aggregate. In *Geosynthetics: Leading the Way to a Resilient Planet* (pp. 213–218). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003386889-8

Lackner, C. (2012). *Prestressed reinforced soil – Concept, investigations and recommendations*.

Lim, S. Y., & McCartney, J. S. (2013). Evaluation of effect of backfill particle size on installation damage reduction factors for geogrids. *Geosynthetics International*, *20*(2), 62–72. https://doi.org/10.1680/gein.13.00002

Lopes, A. F. D., Savasini, K. V., Almeida, M. S. de A., & Bernucci, L. L. B. (2024). GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO RAP NO BRASIL. *Revista ENINFRA*, *3*(3), 201–217. https://doi.org/10.70859/2764-9539.v3.n3.126

Lopes, M. J. F. de P. (2006). Estudo de coeficientes de segurança a aplicar em estruturas de controlo de erosão e de estabilização de maciços com geossintéticos. *Universidade de Porto*, 1–764. http://hdl.handle.net/10216/13380

Lopes, M. L., & Pinho-Lopes, M. (2014). Tensile properties of geosynthetics after installation damage. *Environmental Geotechnics*, *1*(3), 161–178. https://doi.org/10.1680/envgeo.13.00032

Névoa, F. A. (2025). *Danos de instalação em geogrelhas de poliéster em agregado natural e fresado de revestimento asfáltico (RAP)*. Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Sunarjono, S., & Hidayati, N. (2019). Physical properties of reclaimed asphalt pavement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *674*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/674/1/012029