

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE GEOGRELHA COMO REFORÇO NA CAMADA DE SUBLEITO DE PAVIMENTOS

ANALYSIS OF THE USE OF GEOGRID AS REINFORCEMENT IN THE SUBGRADE LAYER OF PAVEMENTS

GABRIEL FERNANDES SANTOS^{1*}, LUCAS TEIXEIRA DA SILVA¹, ANDRE KAZUNORI MAEBARA²

1. Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Integrado de Campo Mourão – PR; 2. Professor e Mestre, Universidade Estadual de Maringá - PR.

* Av. Capitão Índio Bandeira, 1400, Ed. Antares Sl. 508 5º Andar, Centro, Campo Mourão, Paraná, Brasil. CEP: 87300-005. gabriel@proverga.com.br

Recebido em 29/03/2023. Aceito para publicação em 08/06/2023

RESUMO

O modal rodoviário é o mais utilizado no Brasil, sendo necessário oferecer segurança, conforto e durabilidade para esse meio de transporte. A geogrelha é um material geossintético composto por multifilamentos de poliéster de elevada resistência, que pode ser utilizada como método de reforço em camadas de solo. O trabalho teve como objetivo analisar, bem como comparar a utilização e a não utilização desse material geossintético como reforço na camada de subleito de pavimentos nas duas amostras de solos para a realização deste estudo, utilizou-se duas amostras de solos distintos, nas quais estas foram submetidas a ensaios de resistência, com e sem a utilização da geogrelha inserida nessas amostras. Nesse sentido, a amostra do solo número 01 sinalizou tratar-se de um solo do tipo arenoso, no qual sua resistência resultou em uma melhoria de 0,23 MPa, quando comparados com o solo sem o material. No que se refere a amostra de solo número 02, os ensaios indicaram tratar-se de um solo do tipo franco-argiloso, nos quais notou-se o aumento da resistência em 0,21 MPa em comparação com o solo sem o material, sendo, no entanto, um material que atua como reforço na camada de subleito em pavimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos; Pavimentação; Solo; Resistência.

ABSTRACT

The highway modal is the most used in Brazil, being necessary to offer safety, comfort, and durability for this means of transport. Geogrid is a geosynthetic material composed of high-strength polyester multifilament, which can be used as a reinforcement method in soil layers. For this study, two different soil samples were used, in which they were submitted to strength tests, with and without the use of the geogrid inserted in these samples. The objective of this study was to analyze and compare the use and non-use of this geosynthetic material as reinforcement in the subfloor layer of the two soil samples. In this sense, soil sample number 01 indicated that it was a sandy type of soil, in which its strength resulted in an improvement of 0.23 MPa, when compared to the soil without the material. Regarding soil sample number 02, the tests indicated that it

was a loamy clay soil, in which it was noted the increase in strength by 0.21 MPa compared to the soil without the material, but it is a material that acts as reinforcement in the subgrade layer in pavements.

KEYWORDS: Geosynthetics; Paving; Soil; Resistance.

1. INTRODUÇÃO

A malha rodoviária brasileira apresenta papel fundamental no desenvolvimento e economia do país. De acordo com dados de 2018 da Confederação Nacional de Transporte (CNT)¹, esta malha representa 61,1% de toda a matriz de transporte do país, sendo a terceira maior malha rodoviária do mundo. No entanto, apenas 12,4% encontra-se pavimentada, dos quais são classificadas como condições regulares, ruins ou péssimas. Diante disso, inúmeros esforços são realizados para a manutenção e conservação das vias, o que gera a necessidade de buscar maiores estratégias para a elaboração e execução de manutenções, acarretando em custos. Ademais, torna-se importante relatar que dentre as manifestações patológicas mais comumente decorrentes nas estruturas rodoviárias, encontra-se afundamentos de trilha de roda e trincamentos por fadiga do revestimento asfáltico¹.

Frente ao objetivo de aperfeiçoar as condições de rodagem das vias, diversos métodos já foram aplicados no intuito de alterar e reforçar os pavimentos, tanto em camadas estruturais quanto em camadas de revestimentos. Conforme postula Vertematti *et al.* (2015)², os métodos se distinguem em reforçar as camadas de revestimentos, as camadas de base, as camadas de sub-base, as camadas de subleito, ou até mesmo em mais de uma camada na mesma estrutura.

Um dos materiais utilizados para o reforço e aprimoramento nas camadas de revestimento, base e sub-base de pavimentos é a geogrelha, um material

polimérico industrializado em forma de grelha, podendo ser sua estrutura quadrada ou retangular, com alta resistência à tração, que absorve os esforços existentes nas camadas inferiores do pavimento, evitando a propagação de trincas, melhorando a capacidade de suporte e distribuindo melhor as tensões³.

O trabalho tem por objetivo principal analisar a utilização do material polimérico geossintético do tipo geogrelha aplicado como reforço na camada de subleito de pavimentos, com propósito de ampliar sua resistência. Bem como objetivos secundários a apresentação dos resultados realizados a fim de demonstrar sua aplicação em solos com características diferentes (arenoso e franco-argiloso), com e sem a utilização do material geossintético inserido na camada de subleito.

Há muito tempo, já eram empregados materiais para reforçar, drenar e estabilizar os solos, sendo misturados com palha, bambus, dentre outros materiais vegetais de fibras resistentes, sendo empregados até mesmo na grande muralha da China e em diversas outras obras do Império Romano, conforme apresenta Vertematti *et al.* (2015)². Este ainda acrescenta que os primeiros geossintéticos desenvolvidos surgiram após a segunda guerra mundial com o intuito principal de ser um elemento filtrante. Além disso, no início da década de 50 esses materiais tinham também como função servir como anti-erosivos em obras hidráulicas, contudo os produtos eram inexequíveis economicamente.

Os geossintéticos nos anos 70 crescera em diversas áreas, ampliando sua utilização como contenção de muros, múltiplas camadas para reforço de taludes, recapeamento asfáltico, bem como o reforço de grandes aterros e barragens. Ainda nessa década, o Brasil começou a fabricar o seu primeiro geossintético, definido como geotêxtil, sendo sua primeira aplicação na rodovia dos Bandeirantes – SP, que ligava a Campinas, consumindo uma área de 500.000m². Com o desenvolvimento desse material, em 1980 iniciou a criação de comitês e padronizações, proporcionando o surgimento de alguns métodos de dimensionamento e técnica mercadológicas. Além do mais, torna-se importante salientar que o Brasil começou a produzir geossintéticos para reforços de aterro sobre solo de baixa resistência².

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10318⁴ o termo de geossintéticos é uma qualificação genérica de produtos industrializados poliméricos, desenvolvidos para finalidades de obras geotécnicas, podendo desempenhar uma ou mais funções, nos quais são: reforço, drenagem, filtração, proteção, impermeabilização, separação e controle de erosões superficiais. Esses materiais têm sido empregados em diversas soluções de problemas dentro da engenharia, nas áreas geotécnicas, pavimentações, estruturais e de saneamento. Segundo Vertematti *et al.* (2015)², a definição de geossintético se dá por meio de produtos

com origem sintética e com utilizações especialmente para obras de engenharia geotécnica, hidráulica, ambiental e viária. Para DAS (2015)⁵, os materiais geossintéticos são definidos como solução de diversos problemas de modo geral dentro da engenharia, diferentemente do autor Vidal (1998)⁶, que define o geossintético como um produto polimérico especificamente desenvolvidos para engenharia geotécnica.

As falhas nas rodovias devido a deficiências estruturais podem acontecer precocemente ou ao longo do tempo por causa dos efeitos combinados de tráfego dos veículos, características do pavimento e fatores ambientais. As ocorrências de deformações por meios cíclicos no subleito e base do pavimento, podem eventualmente gerar trincamentos da superfície ou deformações excessivas. Os danos resultantes por fadiga podem acontecer de maneira gradual no período da vida útil do pavimento, tornando-o inoperável antes mesmo do fim de sua vida útil. Assim, o reforço de geossintético utilizado no pavimento, pode aumentar sua resistência e reduzir as ocorrências de reflexão de trincas².

À vista dessas informações, Asphalt Academy (2008)⁷ relata que a utilização dos geossintéticos em camadas de revestimento asfálticos tem como objetivo evitar a reflexão de trincas entre uma camada nova e uma camada antiga, evitar problemas de drenagens, e causas que sejam capazes de diminuir as condições de resistência da estrutura.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006)⁸, o pavimento de uma rodovia consiste em uma superestrutura formada por um sistema de camadas de espessura finita, construída após a terraplenagem, destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos, a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de rolamento. O pavimento pode ser classificado como flexível, semirrígido e rígido, tendo como distinção as camadas neles existentes. Essas camadas são divididas em (a) revestimento: camada mais acima do pavimento, que recebe diretamente as ações verticais e horizontais dos veículos, e destinada a melhorar as condições do rolamento quanto ao conforto e segurança; (b) base: camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os ao subleito, e sobre a qual se constrói o revestimento; (c) sub-base: camada corretiva do subleito e complementar à base, com as mesmas funções desta, e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base; (d) reforço de subleito: camada granular do pavimento executada com o objetivo de melhorar a capacidade de suporte de carga do subleito e de reduzir espessura da sub-base; (e) subleito: maciço de terra que serve de fundação para o pavimento;

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006)⁸, os pavimentos flexíveis são aqueles

compostos por uma camada superficial asfáltica, revestimento, apoiadas em camadas de base, sub-base, reforço do subleito quando necessário constituído por materiais granulares, e o subleito. No que se refere aos pavimentos semirrígidos, estes são constituídos por revestimento asfáltico e camadas de base ou sub-base em material estabilizado com adição de cimento, e o subleito, esse tipo de pavimento é conhecido como pavimento do tipo direto quando a camada de revestimento asfáltico é executada sobre camada de base cimentada, e do tipo indireto ou invertido quando a camada de revestimento é executada sobre camada de base granular e sub-base cimentada. Por fim, Bernucci *et al.* (2010)⁹ postula que os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento é constituído por placas de concreto, este que possui elevada rigidez em relação às camadas inferiores e espessura fixa em função da resistência à flexão das placas, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Esse revestimento é apoiado diretamente sobre a camada de subleito.

Dentro da engenharia viária, são basicamente usados dois tipos de materiais geossintéticos para retrair a reflexão de trincas, as geogrelhas e os geotêxteis. Os geotêxteis podem ser do tipo “tecido” ou do tipo “não tecido”, que se diferenciam no processo de fabricação, sendo o de “tecido” constituído por fibras alinhadas e o de “não tecido” constituído com as fibras de maneira aleatória, associadas por processos químicos ou físicos. A geogrelha é um produto constituído em uma estrutura em forma de grelha, com as fibras entrelaçadas, tendo função diretamente ligada a reforço, onde suas aberturas são associadas com o meio em que são utilizadas (CTG, 2019)³.

A norma brasileira NBR 10318⁴ define as principais funções dos geossintéticos como: (a) Impermeabilização: Bloqueio ou desvio de fluidos; (b) Drenagem: Coleta e condução de fluido pelo corpo de um geossintético; (c) Controle de erosão superficial: Prevenção de erosão superficial de partículas de solo devido a escoamento superficial de um fluido; (d) Filtração: Retenção de um solo ou de outras partículas, permitindo a passagem livre de fluidos em movimento; (e) Proteção: Limitação ou prevenção de danos a elementos de obras geotécnicas; (f) Reforço: Utilização das propriedades mecânicas de um geossintético para a melhoria do comportamento mecânico de uma estrutura geotécnica; (g) Separação: Ação de impedir a interação de materiais adjacentes. Nesse sentido, é importante ressaltar que os geossintéticos possuem funções diferentes, ainda que algumas se repitam (CTG, 2019)³.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Área de estudo e ensaios

Para desenvolver o estudo, a fim de demonstrar os resultados comparativos de duas amostras de solos da camada de subleito com a utilização do material

geossintético do tipo geogrelha e sem a utilização do material, foram coletadas duas amostras de solos em dois trechos distintos da PR-558, na região de Araruna

– PR, no qual faz conexão com o município de Campo Mourão – PR, cuja rodovia tem 62,9 km de extensão. Ficaram definidas como amostra número 01, coletada no km 09 e amostra número 02, coletada no km 24, que inicialmente por classificação visual se tratavam de dois solos com características diferentes.

As amostras coletadas foram levadas para classificação de solo no laboratório do Centro Universitário Integrado de Campo Mourão – PR. Após a classificação das duas amostras, foram levadas para o laboratório de pavimentação da Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional – FEITEP na cidade de Maringá – PR, para submetê-las ao ensaio de Compactação Proctor Normal, com o objetivo de determinar a umidade ótima e o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC), com objetivo de determinar a expansão e a resistência à penetração de cada amostra. Posteriormente no Centro Universitário Integrado de Campo Mourão – PR, novamente, foram realizados os ensaios de Compressão Axial Simples, com intuito de determinar a resistência à compressão, para a obtenção dos dados entre as duas amostras, com e sem a utilização da geogrelha, a fim de se obter uma comparação.

Ensaio de classificação dos solos

Os materiais utilizados nesse ensaio foram: peneiras nº 50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8; 2,0; 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15; 0,075mm NBR 7181 (ABNT, 2016)¹⁰; forma para mistura; agitador de peneiras; balanças para pesagem com resolução 0,01g; 0,1g; 0,5g; 1,0g; 10g; 1kg; colher de metal; cápsula de alumínio para as amostras e estufa para secagem.

Com as duas amostras de solo coletadas em campo, foi realizado a classificação visual nas quais estas possuem grãos com dimensões menores que 5mm. Ainda conforme essa classificação foram separados 1kg de material para cada amostra a ser ensaiada, de acordo com a NBR 6457¹¹. Em seguida foi realizada a lavagem do material na peneira 0,075mm, e com material retido na peneira foram realizados a secagem na estufa por 24 horas a 110°C, e o material seco utilizado no peneiramento. O material passante foi classificado diretamente como material fino menor que 0,075 mm no fundo das peneiras.

Após a secagem, foi realizado o peneiramento do material na peneira de 2mm, o material retido foi separado para o peneiramento grosso e o material passante separado para o peneiramento fino, conforme especifica a NBR 7181¹⁰. Posteriormente, no agitador, foram pesados cada material retido nas peneiras, realizados os cálculos de porcentagem dos materiais retidos em cada uma e feito a classificação do solo conforme disponibiliza a NBR 6502¹².



Figura 1. Ensaio de Classificação Granulométrica. **Fonte:** De autoriaprópria.

Ensaio de compactação proctor normal

Neste ensaio, os materiais utilizados foram uma peneira nº 4,8mm NBR 7182¹³; um molde cilíndrico de 15,08cm de diâmetro, altura de 17,78 cm com altura útil de 11,43 cm e volume de 2085 cm³ NBR 7182¹³; um soquete cilíndrico com peso de 4,536 kg com altura de queda de 45,7 cm NBR 7182¹³; extrator de corpo de prova; uma forma para mistura; uma balança para pesagem com resolução em 10kg; 200g e 1g; 0,01g; colher de metal; uma proveta de vidro com capacidade de 1000cm³, 200cm³ e 100cm³ e com graduações de 10cm³, 2cm³ e 1cm³; uma cápsula de alumínio para as amostras e estufa para secagem.

O ensaio de Compactação Proctor Normal é regulamentado pela NBR 7182¹³, sendo apresentado o teor de umidade e a massa específica seca dos solos compactados. Após ser realizado, é possível traçar a curva do grau de compactação, definindo a umidade ótima do solo.

Foram montados cinco corpos de prova para cada amostra com teores de umidades diferentes inseridos, a fim de determinar a curva com o grau compactação entre os teores de umidade inseridos. Nesse ensaio, as amostras de solo foram peneiradas utilizando a peneira de 4,8mm, e em seguida divididas em 5 partes de 4kg para cada amostra, onde foram inseridos 3% de água na primeira amostra, acrescidos 2% em cada amostra subsequente. Posterior a adição d'água e mistura, os solos foram inseridos em um molde de 15,08 cm de diâmetro, altura de 11,43 cm em 5 camadas iguais dentro do molde, no qual foi submetido a 12 golpes de um soquete com massa de 4,536Kg caindo a 45,7cm de altura em cada camada para homogeneização da amostra.

Após a compactação, foram removidos os excessos de solo que ultrapassou a borda e a base do corpo de prova, sendo aplainado a superfície com o molde e realizado a pesagem do conjunto cilindro mais solo úmido compactado, para determinar o grau de compactação. Em seguida, foi retirada uma pequena quantidade da amostra úmida, pesada e levada para a estufa de secagem, e após 4 horas na estufa retirou-se a amostra seca para serem pesadas novamente em uma balança com a finalidade de determinar o teor de umidade, seguindo a norma NBR 7182¹³.



Figura 2. Ensaio de Compactação Proctor Normal. **Fonte:** De autoria própria.



Figura 3. Ensaio de Compactação Proctor Normal. **Fonte:** De autoria própria.

Ensaio de índice de suporte califórnia (ISC)

O Ensaio de ISC utilizou uma peneira nº 4,8 mm NBR 7182¹³; um molde Cilíndrico de 15,08 cm de diâmetro, altura de 17,78 cm com altura útil de 11,43 cm e volume de 2085 cm³ NBR 7182¹³; um soquete cilíndrico com peso de 4,536kg com altura de queda de 45,7 cm NBR 7182¹³; um extrator de corpo de prova; uma forma para mistura; prensa para penetração (ISC) e a geogrelha WG40S.

Nesse ensaio foram determinadas as resistências à capacidade de suporte das amostras saturadas

compactadas, conforme prescreve a NBR 9895¹⁴.



Figura 4. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC). **Fonte:** De autoria própria.



Figura 5. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC). **Fonte:** De autoria própria.

Também foram realizados dois corpos de prova para cada amostra analisada, onde em cada uma delas possui o material geossintético inserido. Os corpos de prova foram compactados em umidade ótima, determinado no ensaio de Compactação Proctor Normal. Em seguida foi analisado a expansão do solo nas amostras, na qual a mesma foi submergida na água por 4 dias, sendo feita a leitura de expansão a cada 24 horas. Posteriormente, todas as amostras foram sub

metidas na prensa com um pistão de seção transversal de 49,6 mm de diâmetro, na qual penetra o corpo de prova a uma velocidade de 1,27 mm/min.

Ensaio de compressão axial simples

Por fim, neste ensaio utilizou-se de um soquete cilíndrico com peso de 2,5 kg; uma forma para mistura; uma balança para pesagem com resolução em 10 kg; 200 g e 1g; 0,01g; uma colher de metal; um borrifador de água; um molde cilíndrico de 10 cm de diâmetro, altura de 15 cm e volume de 1178 cm³ e uma prensa de Compressão com controlador de velocidade Manual.

O ensaio de Compressão Simples, prescrito pela NBR 12770¹⁵, consiste em, de forma simples determinar a resistência ao cisalhamento do solo, o qual deve ser realizado com amostras em umidade natural.

Para a realização deste ensaio, as duas parcelas de solo foram compactadas em umidade ambiente de maneira homogênea, em amostras com e sem o uso da geogrelha aplicada. Os moldes foram de 100 mm de diâmetro e altura de 150 mm, de acordo com a NBR 12770¹⁵. Após a realização dos corpos de prova, os mesmos foram submetidos a uma prensa hidráulica com controle de velocidade, com deslocamento entre 0,5%/min e 2%/min da altura da amostra, até sua ruptura, no qual foi anotado o valor de deslocamento inicial até o valor do deslocamento final, obtendo assim o valor da deformação e carga aplicada para cada amostra.



Figura 6. Ensaio de Índice de Compressão Axial Simples. **Fonte:** De autoria própria.

Material geossintético utilizado

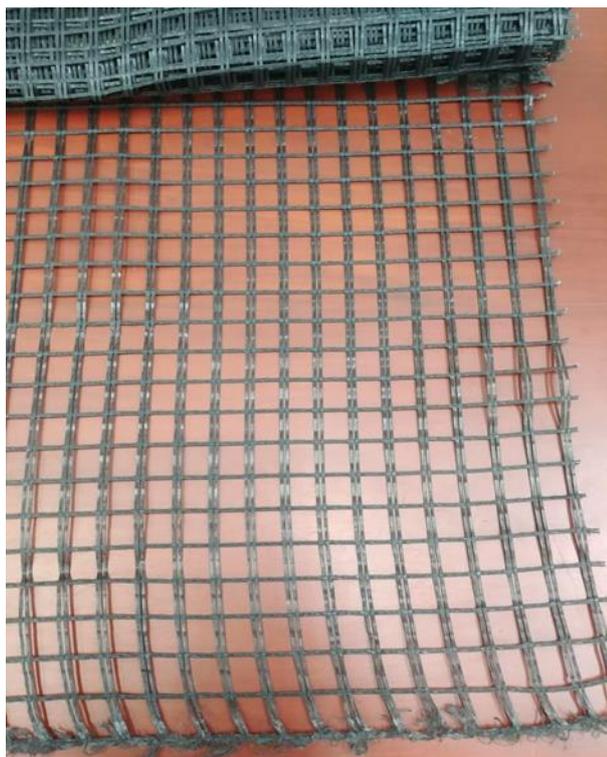


Figura 7. Geogrelha WG40S utilizada. Fonte: De autoria própria.



Figura 8. Geogrelha WG40S utilizada. Fonte: De autoria própria.

O material geossintético utilizado para os ensaios foi a geogrelha WG40S desenvolvida pela Huesker Brasil, material característico utilizado para reforço de bases e sub-bases de pavimentos, tendo resistência à tração correspondente a 40 kN/m, produzida com materiais de tecido e filamentos de poliéster de alta

tenacidade e com baixos valores de alongamento, de acordo com o fabricante.

A normas técnicas não estabelecem um parâmetro para o posicionamento do material geossintético nos corpos de prova ensaiados. Nos ensaios realizados, foi adotado o centro dos moldes como padrão para inserção da geogrelha para a obtenção dos resultados.

3. RESULTADOS

Com os resultados do ensaio de peneiramento obtidos dentre as duas amostras ensaiadas, a amostra número 01 foi classificada como solo arenoso e a amostra número 02 foi classificada como solo franco-argiloso. Com os valores percentuais calculados de argila, silte e areia para cada amostra, conforme a Tabela 1, é determinado no triângulo de classificação a característica do solo, conforme os resultados abaixo apresentados nas Figuras 9 e 10.

Tabela 1. Resultado do Ensaio de Classificação dos Solos.

CLASS.	AMOSTRA N° 01		AMOSTRA N° 02	
	QUANT. (g)	%	QUANT. (g)	%
ARGILA	15,07	1,507	287,11	28,7
SILTE	69,4	6,94	345,12	34,5
AREIA FINA	134,84		163,17	
AREIA MEDIA	609,22	85,41	133,85	34,8
AREIA GROSSA	110,1		51,44	
PEDREGULHO	61,37	6,137	19,34	1,93
PEDRA	0	0	0	0
MATAÇÃO	0	0	0	0

Fonte: De autoria própria.

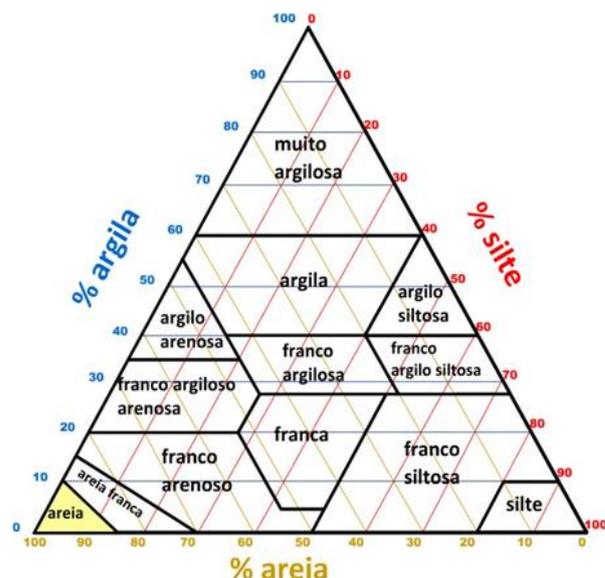


Figura 9. Triângulo de Classificação dos Solos. Amostra n° 01. Fonte: (USDA, 2015)¹⁶.

Após a classificação dos solos, foi realizado o ensaio de Compactação Proctor Normal com as duas amostras, de acordo com a NBR 7181¹⁰ a fim de se obter a umidade ótima de compactação, para posteriormente serem usados nos ensaios de ISC.

A seguir, na Tabela 2 estão os dados percentuais da umidade ótima obtida juntamente com os gráficos da curva do grau de compactação, Figuras 11 e 12,

conforme especifica a NBR 7182¹³.

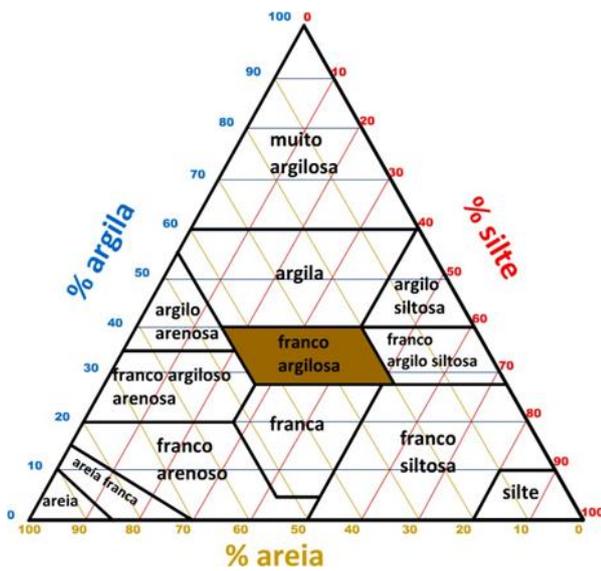


Figura 10. Triângulo de Classificação dos Solos. Amostra nº 02. Fonte: (USDA, 2015)¹⁶.

Tabela 2. Resultado do Ensaio de Classificação dos Solos.

	AMOSTRA Nº 01	AMOSTRA Nº 02
DENSIDADE MÁXIMA	2,025 g/cm ³	1,895 g/cm ³
UMIDADE ÓTIMA	5,53%	6,09%

Fonte: De autoria própria.



Figura 11. Curva de compactação. Amostra nº 01. Fonte: De autoria própria.

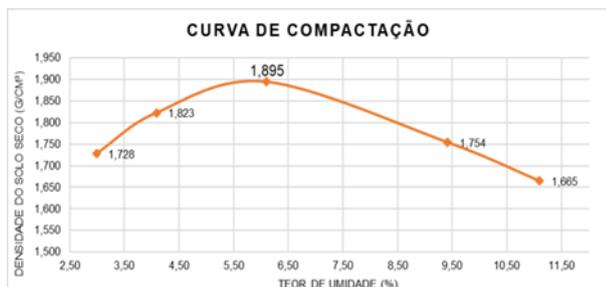


Figura 12. Curva de compactação. Amostra nº 02. Fonte: De autoria própria.

Tabela 3. Resultados de expansão da amostra número 01.

AMOST. Nº 01 SEM GEOGRELHA			AMOST. Nº 01 COM GEOGRELHA		
Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)
0	0	0	0	0	0
0,94	0,94	0,82	0,92	0,92	0,80
1,15	0,21	0,18	1,21	0,29	0,25
1,35	0,20	0,17	1,28	0,07	0,06
1,46	0,11	0,1	1,42	0,14	0,12

Fonte: De autoria própria.

Tabela 4. Resultados de expansão da amostra número 02.

AMOST. Nº 02 SEM GEOGRELHA			AMOST. Nº 02 COM GEOGRELHA		
Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)
0	0	0	0	0	0
0,71	0,71	0,62	0,70	0,70	0,61
0,92	0,21	0,18	0,91	0,15	0,13
1,14	0,22	0,19	1,16	0,25	0,22
1,25	0,11	0,10	1,34	0,18	0,16

Fonte: De autoria própria.

Tendo a definição da umidade ótima de compactação, sendo de 2,025 g/cm³ para amostra nº 01 e de 1,895 g/cm³ para a amostra nº 02, obtidas pelo ensaio anterior, os resultados foram usados para moldar os corpos de prova do ensaio de ISC, nos quais foram obtidos os resultados de expansão do solo e de capacidade de suporte, conforme ilustram as Tabelas 3, 4 e 5a seguir, e as Figuras 13, 14, 15 e 16.

Tabela 5. Resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

MOLDE SEM GEOGRELHA AMOSTRA Nº 01			MOLDE COM GEOGRELHA AMOSTRA Nº 01		
RES. (Mpa)	Pressao Corr.	ISC %	RES. (Mpa)	Pressao Corr.	ISC %
0			0		
0,50			0,59		
0,65			0,70		
0,74			0,79		
0,77	0,77	11,16	0,83	0,83	12,03
0,83			0,92		
0,83	0,83	8,02	0,95	0,95	9,18
0,83			1,06		
0,83			1,06		
0,83			1,06		

MOLDE SEM GEOGRELHA AMOSTRA Nº 02			MOLDE COM GEOGRELHA AMOSTRA Nº 02		
RES. (Mpa)	Pressao Corr.	ISC %	RES. (Mpa)	Pressao Corr.	ISC %
0			0		
0,55			0,68		
0,66			0,84		
0,70			1,01		
0,79	0,79	11,45	1,13	1,13	16,38
0,86			1,22		
0,94	0,94	9,08	1,37	1,37	13,24
1,03			1,44		
1,03			1,44		
1,03			1,44		

Fonte: De autoriaprópria.

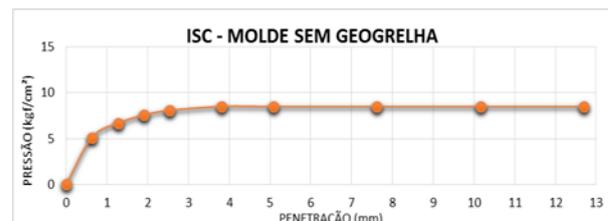


Figura 13. Curva de ISC. Amostra nº 01 sem geogrelha. Fonte: De autoria própria.

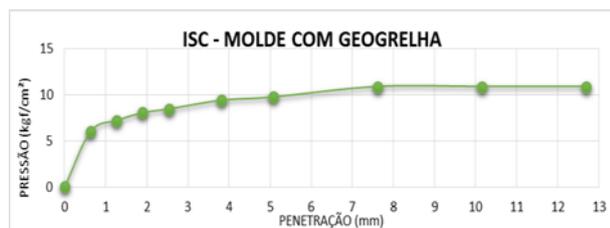


Figura 14. Curva de ISC. Amostra n° 01 com geogrelha. **Fonte:** De autoria própria.

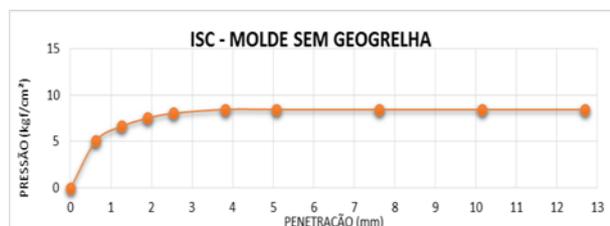


Figura 15. Curva de ISC. Amostra n° 02 sem geogrelha. **Fonte:** De autoria própria.

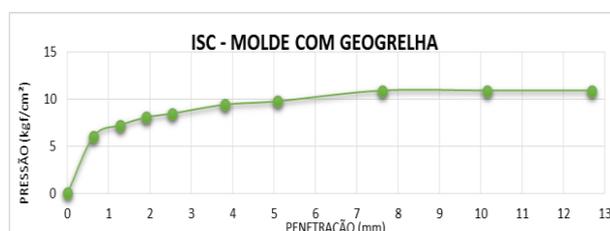


Figura 16. Curva de ISC. Amostra n° 02 com geogrelha. **Fonte:** De autoria própria.

Obtidos os dados dos ensaios de ISC, foram realizados os ensaios de resistência a Compressão Axial Simples, nos quais as amostras também apresentaram resultados superiores com o uso da geogrelha inserida. Abaixo na Tabela 6 estão os dados de resistência à compressão entre as duas amostras, com e sem o uso da geogrelha inserida.

Tabela 6. Resultado do ensaio de Compressão Axial Simples.

	AMOSTRA N° 01		AMOSTRA N° 02	
	SEM GEOG.	COM GEOG.	SEM GEOG.	COM GEOG.
DIAMETRO (cm)	10	10	10	10
ALTURA (cm)	15	15	15	15
VELOCIDADE (mm/min)	1,27	1,27	1,27	1,27
RES. A COMPR. (MPa)	0,59	0,82	0,78	0,99

Fonte: De autoria própria.

4. DISCUSSÃO

A diferença de capacidade de suporte das amostras ensaiadas com o uso do material inserido foi evidente, conforme os dados apresentados na Tabela 5, a capacidade de suporte na amostra n° 01 sendo de 11,16% sem o uso da geogrelha e de 12,03% com o uso da geogrelha, e na amostra n° 02, 11,45% sem o uso e 16,38% com o uso da geogrelha. Os dados de expansão, apresentados nas Tabelas 3 e 4, não apresentaram melhorias significantes, na amostra n° 01, de 0,82% para 0,80% de expansão com a utilização do material, e na amostra n° 02 de 0,62% para 0,61% de expansão, comparados com a utilização do material.

No entanto, dentre os ensaios de Compressão Axial Simples e ISC, os resultados apontaram maiores

capacidade de suporte e resistência a compressão nas amostras analisadas com a aplicação da geogrelha. A amostra número 01, classificada como arenosa, apresentou 0,87% a mais no resultado de capacidade de suporte dentro do ensaio de ISC relacionado a parcela ensaiada sem a geogrelha. Dentro do ensaio de Compressão Axial Simples, a amostra número 01 apresentou 0,23 MPa a mais de resistência.

Nos resultados da amostra número 02, classificada como franco-argilosa, a mesma apresentou 4,93% a mais no resultado de capacidade de suporte dentro do ensaio de ISC, em relação a parcela da amostra ensaiada sem geogrelha inserida, e 0,21 MPa a mais de resistência no ensaio de Compressão Axial Simples.

5. CONCLUSÃO

Embasado nos dados apresentados e no percentual pavimentado da malha rodoviária brasileira existente, observou-se a evidente necessidade de melhorias nas tecnologias construtivas, visando durabilidade em manutenção e conservação das vias. Os resultados obtidos com o emprego do material geossintético geogrelha inserido na camada de subleito, demonstram que se trata de uma tecnologia viável, com resultados que elevam a resistência da estrutura do pavimento, podendo ser utilizado como um método de reforço.

Dentre as duas parcelas analisadas, a amostra número 01 de solo arenoso que possui características de capacidade de suporte inferiores em relação a amostra número 02 de solo franco-argiloso, apresentou resultados mais elevados com o uso da geogrelha. E o solo franco-argiloso da amostra número 02, também apresentou maior resistência nos ensaios de Compressão Axial Simples e capacidade de suporte, respectivamente, com o emprego da geogrelha.

De modo geral, os dois solos analisados, apresentaram resultados satisfatórios nos aspectos analisados, atingindo o objetivo proposto e apresentando a efetividade nos ganhos de resistência com o emprego da geogrelha nas camadas de subleitos para projetos de pavimentação.

Por fim, propõe-se a continuidade do presente trabalho para analisar as patologias geradas no decorrer do tempo com o uso da geogrelha, bem como o estudar a viabilidade com relação ao custo da aplicação do material inserido no subleito.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos às instituições colaboradoras, Centro Universitário Integrado de Campo Mourão – PR e a Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional – FEITEP pela disponibilização dos laboratórios e auxílio nos ensaios realizados. Agradecemos nosso Orientador e Professor Engenheiro Civil Elder Kuhnen Machado, pelo auxílio e suporte ao desenvolvimento do trabalho, por

fim, a empresa Huesker Brasil, juntamente com o Engenheiro Civil responsável Cássio Carmo pela disponibilização do material geossintético utilizado nos ensaios.

6. REFERÊNCIAS

- [1] CNT. Confederação Nacional do Transporte. [acesso 12 mai. 2019] Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/Home>
- [2] Vertematti JC, *et al.* Manual brasileiro de geossintéticos. Edição 2, São Paulo, Editora Blucher. 2015; 413 p.
- [3] CTG. Comitê Técnico de Geossintéticos. Geossintéticos. [acesso 21 mai. 2019] Disponível em: <http://www.geossinteticos.org.br/index.html>
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10318: Geossintéticos – Parte 1: Termos e definições: Rio de Janeiro. 2018; 09 p.
- [5] Das BM. Fundamentos da Engenharia Geotécnica. Edição 8, São Paulo, Editora Cengage, 2015. 630 p.
- [6] Vidal D. Drenagem e filtração, Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente. IGS Brasil e UFSC. 1998; 41-80.
- [7] Asphalt Academy. Reforço de asfalto para construção de estradas. 3º edição. 2008; 23-26,.
- [8] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 031/2006 - ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço: Rio de Janeiro. 2006. 14 p.
- [9] Bernucci LB, *et al.* Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Edição 1, Rio de Janeiro, Editora Rudder. 2010; 739 p.
- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica: Rio de Janeiro. 2016; 16 p.
- [11] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: Amostras de Solos – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: Rio de Janeiro. 2016; 12 p.
- [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502: Rochas e Solos: Rio de Janeiro. 1995; 18p.
- [13] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação: Rio de Janeiro. 2016; 13p.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia: Rio de Janeiro. 2016; 19 p.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12770: Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada: Rio de Janeiro, 1992. 04 p.
- [16] USDA. United States Department of Agriculture. Soil Textural Triangle. [acesso 11 set. 2019] Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nracs142p2_054311