

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Anna Sarah Vasconcelos Fava

**APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS EM
PAVIMENTAÇÃO**

Trabalho de Graduação
2017

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Anna Sarah Vasconcelos Fava

**APLICAÇÕES DE GEOSINTÉTICOS EM
PAVIMENTAÇÃO**

Orientador

Prof. Dr. Régis Martins Rodrigues (ITA)

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2017





Agradecimentos

A Deus, que me ajudou a me reerguer nos momentos mais difíceis desses cinco anos e encheu minha vida de bênçãos.

Ao professor Régis Rodrigues, pelo conhecimento partilhado e orientação neste trabalho.

Ao Cássio Carmo, pela prontidão em tirar minhas dúvidas e me auxiliar em minha pesquisa.

Ao Flavio Montez, Cristina Schmidt e todos os meus amigos da HUESKER, pelo apoio, aprendizado e oportunidades que me proporcionaram.

Ao Paulo Brugger, que me ajudou a conseguir a oportunidade da qual eu precisava.

À Zeli e ao Thiago, que me deram imenso suporte e me acolheram com sua amizade.

A minha família, que sempre me incentivou a perseguir meus objetivos, me ajudou e me motivou a persistir quando nada mais parecia possível, e mesmo na distância, nunca deixou nosso amor perecer.

Ao Assis, por todo o amor e paciência.

À Nat e à Ruth, pela amizade que vou levar até o fim de meus dias.

Ao Rodolfo e ao Felipe, amigos queridos e de longa data.

Resumo

O pavimento é o componente de maior custo dentro da infraestrutura de transportes de uma rede rodoviária ou urbana. É necessário, portanto, que tais obras sejam o mais econômicas e sustentáveis possível, exigência que pode ser alcançada pela inclusão de geossintéticos no projeto.

Este trabalho visa estudar o uso de geossintéticos em pavimentação, reunindo casos de obras no país e indicando os usos mais eficazes desses materiais, abordando três aspectos principais: Pavimentos Reabilitados, Reforço de Lastro Ferroviário e Reforço de Base de Pavimentos Novos. São apresentados os mecanismos teóricos de acordo com os quais cada material trabalha, seguidos de alguns ensaios em laboratório e ensaios em escala real, e por fim casos de obras contemplando os conceitos discutidos, quando possível, com análise dos resultados, problemas e benefícios gerados pela inclusão do geossintético.

Diante de todos os ensaios e casos de obras apresentados neste trabalho, verifica-se que os geossintéticos são alternativas que, a longo prazo, se mostram bastante eficientes na redução dos custos de manutenção, são de fácil instalação e podem reduzir também o tempo de execução da obra.

Existe experiência no Brasil com geossintéticos, apesar de ser pequena comparada a outros países, em especial da Europa, e essas aplicações tendem a crescer, devido aos muitos benefícios apresentados.

Abstract

Pavements are the costliest components of a transport or urban infrastructure. It is necessary therefore that such projects be as cost-effective and sustainable as possible, a requirement that can be achieved by using geosynthetics.

The purpose of this work is to study the use of geosynthetics in pavementation, collecting case studies and pointing the most efficient application of these materials, covering three main aspects: maintenance of deteriorated pavements, new pavements base reinforcement and ballast reinforcement. The theoretical mechanisms according to which each material works will be presented, followed by a few laboratory and field tests, and finally case studies illustrating the covered concepts, when possible along with results, challenges and benefits generated by the inclusion of geosynthetics.

Before all the tests and case studies showed in this work, it can be stated that geosynthetics are very efficient solutions when it comes to reducing maintenance costs, and they are also easy to install and may reduce the time necessary for the execution of the project.

There is some experience with geosynthetics in Brazil, even though it is still little when compared to other countries, especially in Europe. However, these applications are expected to grow because of the many benefits presented here.

Lista de Figuras

FIGURA 2.1 - Formas de Movimentação das Trincas (Rodrigues, 1991, apud (BÜHLER, 2007)).	18
FIGURA 2.2 - Resultados dos Ensaios das Grelhas de Reforço (BÜHLER, 2007).	22
FIGURA 2.3 - Curvas de Fadiga para Corpos de Prova (BASTOS, 2010).	26
FIGURA 2.4 - Solução Adotada para Reabilitação do Trecho do Anel Viário de Campinas (MONTESTRUQUE, RABAÇA e MONDOLFO, 2003).	27
FIGURA 2.5 - Reflexão das Juntas na Capa Asfáltica no Aeroporto de Congonhas (RUIZ, PANDOLPHO, et al., 2015).	28
FIGURA 2.6 - Instalação da Geogrelha no Aeroporto de Carrasco (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).	29
FIGURA 2.7 - Comparação entre Região Central Reforçada e Lateral Não-Reforçada (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).	30
FIGURA 2.8 - Deslocamento Vertical entre as Paredes das Trincas (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).	31
FIGURA 2.9 - Deslocamento Horizontal entre as Paredes das Trincas (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).	31
FIGURA 2.10 - Trincas de Reflexão na Superfície (CORREIA, PORTELINHA, et al., 2013).	32
FIGURA 2.11 - Análise Visual das Pontes Não-Reforçadas Após Seis Anos (CORREIA, PORTELINHA, et al., 2013).	33
FIGURA 2.12 - Análise Visual da Ponte Reforçada Após Seis Anos (CORREIA, PORTELINHA, et al., 2013).	34
FIGURA 3.1 - Redução de espessura e de resistência pela cravação do material granular no subleito (HUESKER LTDA., 2017).	36
FIGURA 3.2 - Confinamento Lateral Proporcionado pela Geogrelha (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003).	37
FIGURA 3.3 - Efeito Membrana em Geogrelha (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003).	37
FIGURA 3.4 - Efeito Membrana em Geocélulas (AVESANI NETO, 2013).	38

FIGURA 3.5 - Efeito do Confinamento Lateral do Solo na Geocélula (AVESANI NETO, 2013).....	38
FIGURA 3.6 - Efeito Laje (AVESANI NETO, 2013).....	39
FIGURA 3.7 - Solo Envelopado com Geotêxtil (HUESKER SYNTHETIC GMBH, 2017). .	39
FIGURA 3.8 - Seção Transversal da Pista Experimental (HUFENUS, RÜEGGER, et al., 2004).....	40
FIGURA 3.9 - Afundamentos em uma Geogrelha de PET (à esquerda) e em um Geotêxtil de PP (à direita) (HUFENUS, RÜEGGER, et al., 2004).	41
FIGURA 3.10 - Configuração do Reforço para os Ensaios A (WATTS, BLACKMAN e JENNER, 2004).....	42
FIGURA 3.11 - Configuração do Reforço para os Ensaios B (WATTS, BLACKMAN e JENNER, 2004).....	42
FIGURA 3.12 - Divisão do Trecho Experimental (FERREIRA, 2008).....	45
FIGURA 3.13 - Seção do Trecho Experimental (a) Antes da Reconstrução (b) Depois da Reconstrução (FERREIRA, 2008).	46
FIGURA 3.14 - Pavimento-tipo (HUESKER LTDA., 2009).	48
FIGURA 3.15 - Resultados das medidas de deflexões (HUESKER LTDA., 2009).....	48
FIGURA 3.16 - Estrutura Original do Pavimento Existente (HUESKER LTDA., 2012).	49
FIGURA 3.17 - Pavimento Novo Implantado (HUESKER LTDA., 2012).....	49
FIGURA 3.18 - Pavimento Projetado para o Centro de Distribuição (HUESKER LTDA., 2013).....	50
FIGURA 3.19 - Toras de Eucalipto a Serem Utilizadas no Reforço (FERRETI, LIMA e SANTOS JÚNIOR, 2012).....	51
FIGURA 3.20 - Solução com Geocomposto Proposta (FERRETI, LIMA e SANTOS JÚNIOR, 2012).....	51
FIGURA 3.21 - Instalação do Reforço e Lançamento do Material (FERRETI, LIMA e SANTOS JÚNIOR, 2012).....	52
FIGURA 3.22 - Soluções Propostas Com e Sem Geogrelha (CENTURIÓN, VILELA e MARQUINA, 2012).....	53
FIGURA 3.23 - Instalação de Geocomposto no Porto de Mersin (European Association of Geosynthetic product Manufacturers).	54
FIGURA 3.24 - Instalação de Geocélulas em Coari/AM (Comitê Técnico de Geossintéticos).	55
FIGURA 4.1 - Seção Transversal da Plataforma Rodoviária (NABAIS, 2014).....	57

FIGURA 4.2 - Possíveis Aplicações de Geossintéticos na Via Ferroviária (NABAIS, 2014).	58
FIGURA 4.3 - Mecanismo de Embricamento (Tensar Internacional, 2013).	58
FIGURA 4.4 - Aparato Triaxial Utilizado nos Ensaios de Lastro Reforçado (INDRARATNA, SALIM e RUJIKIATKAMJORN, 2011).	60
FIGURA 4.5 - Resultados de Lastro Reforçado (INDRARATNA, SALIM e RUJIKIATKAMJORN, 2011).....	60
FIGURA 4.6 - Resultados do Estudo do Solo (KUO, LIN, et al., 2006).	61
FIGURA 4.7 - Resultados Observados nas Seções Experimentais (KUO, LIN, et al., 2006).	62
FIGURA 4.8 - Seções-Teste na EFVM (FERNANDES, 2005).....	63
FIGURA 4.9 - Redução na Camada de Sublastro Proporcionada pela Geogrelha (Tensar Internacional, 2013).....	65
FIGURA 4.10 - Deformações no Lastro Ferroviário Antes e Depois da Solução com Geossintético (DAS).....	65
FIGURA 4.11 - Lastro Contaminado (SILVA, RAMIRES, et al., 2015).	66
FIGURA 4.12 - Seção do Trecho Experimental V1 (SILVA, RAMIRES, et al., 2015).....	67
FIGURA 4.13 - Reconstrução da Faixa 2 do Amtrak's Northeast Corridor (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).	68
FIGURA 4.14 - Zona de Aquisição de Dados (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).....	69
FIGURA 4.15 - Células de Aquisição de Dados (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).....	69
FIGURA 4.16 - Pressão no Subleito após Passagem de um Trem (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).	70
FIGURA 4.17 - Pressões Medidas no Subleito Durante 7 Meses (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).....	70
FIGURA 4.18 - Redução de Custos com a Inclusão dos Geossintéticos (GRANSKI, 2016).	71
FIGURA 4.19 - Número de Deslocamentos por km em um Ano (GRANSKI, 2016).....	72

Lista de Tabelas

TABELA 2.1 - Classificação Econômica e Técnica das Soluções (BÜHLER, 2007).....	23
TABELA 2.2 - Ensaio de Fadiga Realizados (MONTESTRUQUE, 2002).....	25
TABELA 3.1 - CBR do Subleito (WATTS, BLACKMAN e JENNER, 2004).....	42
TABELA 3.2 - Comparação entre as Espessuras Real e Teórica da Camada de Base (WATTS, BLACKMAN e JENNER, 2004).	44
TABELA 3.3 - Resultados dos Ensaio com Diferentes Combinações de Geossintéticos (CHRISTOPHER e SCHWARZ, 2010).....	44
TABELA 3.4 - Resumo das Eficiências Calculadas em Cada Ensaio (ANTUNES, 2008). ...	47
TABELA 4.1 - Características das Seções-Teste (FERNANDES, 2005).....	63
TABELA 4.2 - Parâmetros dos Solos Estudados (FERNANDES, 2005).....	64
TABELA 4.3 - Deflexões Medidas com a Viga Benkelman (SILVA, RAMIRES, et al., 2015).....	67
TABELA 4.4 - Comparativo de Custos e Tempo de Manutenção das Seções Reforçadas (GRANSKI, 2016).....	71

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo	15
1.2 Definições	15
2. PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS REABILITADOS	17
2.1 Revisão Bibliográfica	17
2.1.1 Experiência Internacional	19
2.1.2 Experiência Nacional	21
2.2 Casos de Obras	26
2.2.1 Anel Viário de Campinas.....	26
2.2.2 Pista Auxiliar do Aeroporto de Congonhas	27
2.2.3 Reabilitação da Pista do Aeroporto Internacional de Montevideu (Carrasco)/Uruguai.....	28
2.2.4 Reabilitação da Pista do Aeroporto de Balmaceda/Chile.....	29
2.2.5 Reabilitação da Pista de Taxiamento do Aeroporto Internacional Salgado Filho/RS	30
2.2.6 Rodovia MG-424.....	31
2.2.7 Ponte sobre o Rio Monjolinho em São Carlos/SP	32
2.3 Análise	34
3. PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS NOVOS	36
3.1 Revisão Bibliográfica	36
3.1.1 Experiência Internacional	40
3.1.2 Experiência Nacional	45
3.2 Casos de Obras	47
3.2.1 Rodoanel Mário Covas/SP.....	47
3.2.2 Via Sudoeste – Viana/ES.....	48
3.2.3 Centro de Distribuição Translovato – São José dos Pinhais/PR.....	49

3.2.4	Reforço Construtivo de Aterro de Conquista para Expansão de Redes de Gás Natural Gasbel II – Vassouras/RJ	50
3.2.5	Eixo Viário do Novo Acesso ao Centro - Rio das Ostras/RJ	52
3.2.6	Construção da Rodovia Iquitos – Nauta/Peru	52
3.2.7	Porto de Mersin - Turquia.....	53
3.2.8	Estrada para a unidade da Petrobrás em Urucu/AM.....	54
3.3	Análise	55
4.	PAVIMENTOS FERROVIÁRIOS	57
4.1	Revisão Bibliográfica	57
4.1.1	Experiência Internacional	59
4.1.2	Experiência Nacional	62
4.2	Casos de Obras	64
4.2.1	Reconstrução de Linha Férrea em Bratislava/ Eslováquia	64
4.2.2	Deutsche Bahn – Cologne/Alemanha	64
4.2.3	Estabilização de Solo para Linha Férrea em Nagykanizsa/Hungria	65
4.2.4	Trecho Experimental em Porto Alegre/RS	66
4.2.5	Amtrak’s Northeast Corridor - EUA	67
4.2.6	Redução dos Custos de Manutenção em Lastro na Rússia.....	70
4.3	Análise	72
5.	CONCLUSÃO	74
	BIBLIOGRAFIA	75

1. Introdução

Segundo Ferreira (2008) o pavimento é o componente de maior custo dentro da infraestrutura de transportes de uma rede rodoviária ou urbana. É necessário, portanto, que tais obras sejam o mais econômicas e sustentáveis possível, especialmente em regiões com subleito de baixa capacidade de suporte.

A busca dessa otimização tem motivado o aumento da utilização de geossintéticos em obras de infraestrutura viária, pois estes possibilitam a redução da espessura de camadas de materiais de reforço nas camadas do pavimento e/ou aumentam a vida de serviço deste, permitindo um intervalo de tempo maior entre restaurações e conseqüentemente poupando recursos. A aplicação de uma geogrelha para reforçar a base de um pavimento, por exemplo, pode trazer economia de vários centímetros de camada de material granular, ou mesmo evitar a necessidade de adição de solo compactado em casos nos quais se deseja construir um pavimento sobre um solo de subleito de resistência muito baixa.

1.1 Objetivo

Este trabalho visa estudar o uso de geossintéticos em pavimentação, reunindo casos de obras no país e indicando os usos mais eficazes desses materiais. A pesquisa será dividida em três partes principais: Pavimentos Reabilitados, Reforço de Lastro Ferroviário e Reforço de Base de Pavimentos Novos.

1.2 Definições

Segundo a NBR ISO 10318 (2013) geossintético pode ser definido como um produto no qual pelo menos um de seus componentes é produzido a partir de um polímero sintético ou natural. Há diversos tipos de geossintéticos, dentre eles:

- Geotêxtil Tecido: confeccionado pela união de conjuntos de fios, normalmente em ângulo reto.
- Geotêxtil Não-tecido: formado pela união de filamentos distribuídos de forma aleatória, por processos térmicos, químicos ou mecânicos, como a agulhagem.
- Geogrelha: malha aberta de elementos resistentes à tração, cujas aberturas são maiores que os elementos constituintes.

- Geocomposto: associação de dois ou mais geossintéticos para combinar suas diferentes funções.
- Geocélula: estrutura polimérica tridimensional em forma de casa de abelha ou similar produzida a partir de tiras de geossintéticos ligadas entre si.

2. Pavimentos rodoviários reabilitados

2.1 Revisão Bibliográfica

Os pavimentos estão sujeitos à constante deterioração, a qual diminui seu grau de serventia. Quando esse grau atinge um limite inferior, o pavimento precisa ser reabilitado, para que possa continuar atendendo com qualidade aos fins para os quais foi projetado.

A utilização mais comum dos geossintéticos em obras de Reabilitação de Pavimento Asfáltico se dá por meio da combinação das funções:

- Constituir um sistema antirreflexão de trincas;
- Reduzir as deformações plásticas;
- Bloquear o bombeamento de finos;

De acordo com Rodrigues (1991, apud (BÜHLER, 2007)), a expressão fadiga está associada à ocorrência de deterioração localizada em um elemento estrutural, gerada pela repetição de solicitações. As trincas nas camadas asfálticas e cimentadas surgem naturalmente devido a movimentações térmicas e à fadiga gerada pelas cargas cíclicas circulando no pavimento. Essas trincas, contudo, são descontinuidades na estrutura, constituindo pontos de acúmulo de tensão e tendendo a crescer em extensão, severidade e intensidade, o que acelera o processo de deterioração do pavimento. Algumas abordagens assumem que a ruptura por fadiga é o resultado de dois processos distintos: o surgimento das trincas e a sua propagação. O trincamento por fadiga geralmente acontece quando uma trinca surge no fundo de uma camada asfáltica e se propaga até a superfície.

A Mecânica da Fratura permite observar que o comportamento da trinca pode ser representado por três independentes movimentos cinemáticos em relação às faces da fratura. O deslocamento relativo dos bordos de uma trinca contribui para os movimentos de abertura, escorregamento ou rasgamento, que descrevem completamente o comportamento da trinca no estado geral de tensões elásticas, ilustrados na FIGURA 2.1.



FIGURA 2.1 - Formas de Movimentação das Trincas (Rodrigues, 1991, apud (BÜHLER, 2007)).

Quando se constrói uma camada de recapeamento simples sobre um pavimento trincado, a tendência é de que as trincas da camada antiga subjacente se propaguem e continuem na nova camada, devido ao acúmulo de tensões em suas extremidades. A nova camada, que trincaria por fadiga apenas após um maior número de solicitações, acaba trincando prematuramente, e prejudicando o desempenho do pavimento recapeado. No caso de pavimentos rígidos, as juntas entre as placas tendem a se refletir através da camada asfáltica de recapeamento mesmo sem a presença de tráfego pesado, devido aos movimentos de retração e expansão térmicos das placas.

Os geossintéticos a serem utilizados no sistema antirreflexão de trincas podem ser tanto geotêxteis quanto geogrelhas. Em ambos os casos, é importante que o geossintético esteja impregnado por asfalto, para garantir a aderência deste às camadas de pavimento.

O uso de geotêxtil impregnado por asfalto na camada intermediária não bloqueia o processo de trincamento por reflexão, mas o atrasa, devido a um mecanismo no qual a dissipação da energia aplicada pelas cargas de roda ao pavimento é feita produzindo-se temporariamente um desligamento localizado entre a face inferior do Geotêxtil e a plataforma subjacente. A trinca que se reflete, contudo, tem menor severidade que a que seria formada sem a presença do Geotêxtil. O desempenho global do pavimento é melhorado por uma combinação de fatores: atraso do trincamento por reflexão, trincas refletidas com menor severidade e manutenção da estanqueidade do revestimento (MONTESTRUQUE, 2002).

A geogrelha atua convertendo as trincas de reflexão em microfissuras, pois sua presença faz com que seja impossível a monopolização da energia dissipada para a progressão de apenas uma única trinca, ao invés disso formam-se inúmeras microfissuras de baixa

severidade e trajetória randômica. Esse mecanismo proporciona ao pavimento alto grau de impermeabilização, devido às trincas serem mais fechadas e não interligadas, e também possibilita um futuro recapeamento diretamente sobre a camada asfáltica de recapeamento antiga, sem a preocupação com o trincamento por reflexão, uma vez que as microfissuras subjacentes terão atividade baixa.

Quanto à redução de deformações plásticas, no caso dos geotêxteis, a impermeabilização evita a perda de capacidade de suporte dos solos e materiais granulares sob o umedecimento, e também bloqueia o bombeamento de finos. No caso das geogrelhas, a redução do grau de severidade das fissuras permite que o entrosamento entre agregados permaneça elevado, gerando pequenas deformações plásticas nas camadas asfálticas e mantendo a rigidez elevada (RODRIGUES, 2015).

Além das geogrelhas, costumava-se empregar grelhas metálicas para reforçar o pavimento. Esses produtos, porém, caíram em desuso, devido à sua difícil instalação. Podem ser utilizadas também grelhas de fibra de vidro, mas sua utilização ainda é relativamente recente no Brasil. Alguns projetistas a preferem devido à sua elevada rigidez, como em obras realizadas na França (rodovia RN 139, avenida Gustave Eiffel, rua Alfred Catel e Route 1015). Contudo, essa é uma abordagem simplista, e muitos engenheiros consideram esse critério de escolha inadequado (BÜHLER, 2007).

Na engenharia rodoviária brasileira existe certa resistência quanto à utilização de sistemas de reforço asfáltico com geogrelhas, devido principalmente à dúvida sobre a possibilidade de se fresar e/ou reciclar um pavimento reforçado com esses materiais. Para responder a essa questão, Bühler (2007) salienta que se deve analisar a viabilidade econômica dessa fresagem e, principalmente, a capacidade técnica das empresas em executá-la. Experiências no exterior mostram que geogrelhas poliméricas rígidas não apresentam problemas quanto à reciclagem, diferentemente de outros tipos de solução, como adição de fibras poliméricas na mistura de concreto asfáltico ou grelhas metálicas (JENNER e UIJTING, 2004).

2.1.1 Experiência Internacional

Dois casos na Europa são descritos por Jenner & Uijting (2004), nos quais são utilizadas geogrelhas poliméricas para reforço de pavimento reabilitado. O primeiro deles ocorreu no Reino Unido, na estrada B8004. A seção experimental reforçada possuía espessura de 10 cm, sendo os primeiros 6 cm material de base depositado sobre a geogrelha e compactado à mão, e os 4 cm restantes de revestimento.

Foi construída uma seção de controle não reforçada de mesma espessura. Puderam ser observados benefícios imediatos na seção reforçada, a princípio, pela redução das deformações verticais de 10 a 20 mm para menos de 5 mm devido à passagem de uma carga de eixo único. A longo prazo, o trincamento por fadiga na seção não reforçada apareceu após 3 meses, e houve a ruptura do pavimento após 6 meses, enquanto a seção reforçada não mostrou deterioração.

Nos projetos posteriores, a espessura total da camada foi reduzida para 7 cm (3 cm de material de base e 4 cm de revestimento). A estrada foi monitorada regularmente nos 14 anos seguintes e todas as seções reforçadas tiveram desempenho satisfatório e pouparam várias manutenções na estrada, de acordo com os engenheiros responsáveis.

O segundo caso foi observado nos Países Baixos. Entre 1985 e 1989 muitas estradas foram renovadas utilizando geogrelha polimérica, e recentemente as autoridades questionaram o desempenho a longo prazo dessas soluções. Dez a quinze anos depois, sete dessas estradas foram investigadas: Dronrijp, Menaldum, Uithuizermeeden, Purmerend, Monnickendam, Graft-De Rijk em Alkmaar. Foram feitos furos para recolher material e analisar o efeito do reforço no pavimento, investigando as causas das poucas trincas observadas na estrada existente.

A análise mostrou que as trincas estavam ligadas a erros de instalação, e concluiu-se que o desempenho desses pavimentos e a ligação entre o recapeamento e o asfalto antigo eram muito bons.

No início da primavera de 2000, foi reabilitada a pista principal do aeroporto de Túnis-Cartago, a qual encontrava-se severamente trincada e com as juntas do pavimento rígido refletidas na superfície. Foi utilizada uma geogrelha de poliéster sobre uma camada de nivelamento de 6 cm e abaixo de mais 9 cm de revestimento. Até o meio do ano de 2005, não haviam sido observadas trincas refletidas no pavimento reconstruído (HUESKER SYNTHETIC GMBH, 2013).

Os jogos olímpicos de inverno em 2006 ocorreram em Torino, na Itália. Uma das principais estradas da cidade, Corso Giovanni Agnelli, necessitava urgentemente de reparos, possuindo alta reflexão de trincas da camada de concreto abaixo do revestimento. Em junho de 2005, portanto, foi realizada a reabilitação da estrada, tendo sido utilizada geogrelha de poliéster coberta por 4 cm de revestimento em um comprimento de aproximadamente 500 m, e o restante sem reforço, apenas com uma camada de 5 cm de asfalto. Em maio de 2006 já podiam ser observadas as primeiras trincas na camada não-reforçada. Em agosto de 2010, a

área não-reforçada teve de ser completamente restaurada novamente, enquanto ainda não se observavam trincas no trecho reforçado (HUESKER SYNTHETIC GMBH, 2014).

2.1.2 Experiência Nacional

Bühler (2007) Realizou ensaios de fadiga sob cargas repetidas senoidais com frequência de 25 Hz, posicionadas no modo cisalhante, em vigas asfálticas reforçadas com geogrelhas de poliéster, PVA, grelhas de fibra de vidro, geotêxtil não-tecido de poliéster com gramatura de 150 g/m² e um geocomposto (geotêxtil não-tecido de polipropileno reforçado com fibras de vidro, de gramatura 140 g/m²). O carregamento foi aplicado por meio de um atuador hidráulico do equipamento MTS (Material Test System), gerando pressões de 0,56 MN/m² (maior pressão), 0,52 MN/m² (pressão média) e 0,47 MN/m² (menor pressão). Foi feita uma pré-trinca de 3 mm no pavimento subjacente, e as camadas intermediárias foram posicionadas imediatamente acima da abertura da trinca.

Os resultados mostraram que as geogrelhas poliméricas têm desempenho superior aos demais materiais por apresentarem melhor aderência ao CBUQ, o que comprova que a resistência à tração da geogrelha por si só deve ser um critério secundário no dimensionamento. As geogrelhas de PVA mostraram um fator de efetividade de até cinco vezes quando inseridas no interior da camada asfáltica, enquanto as grelhas de fibra de vidro, que era o material de maior rigidez, apresentaram um fator de 2,7.

A geogrelha de PVA apresentou melhores resultados que a de PET, o que era esperado, já que o PVA é um material mais rígido e ambas as geogrelhas possuíam a mesma abertura de malha (40 mm) e condições de instalação. O melhor desempenho das geogrelhas em comparação aos geotêxteis ratifica que estes não são materiais de reforço, e apenas atuam como sistemas que redirecionam as trincas e atuam como barreira de fluxo.

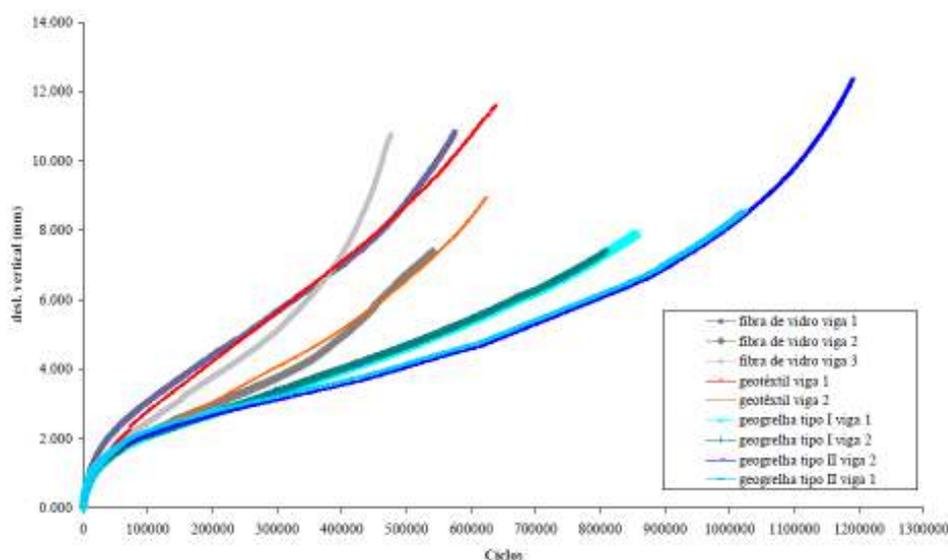


FIGURA 2.2 - Resultados dos Ensaios das Grelhas de Reforço (BÜHLER, 2007).

Em seguida, foram realizados testes em campo, com o objetivo de calibrar os resultados obtidos em laboratório. O primeiro trecho foi na avenida Pedro Friggi, no município de São José dos Campos, SP, alargada em meados de 2000 e com presença notória de afundamentos em trilha de roda apenas dois anos depois. Em 2002, construiu-se um trecho experimental de 470 m na pista alargada, sendo em alguns pontos o pavimento fresado (espessura de 5 cm), reforçado com geogrelha polimérica de poliéster, e em seguida recoberto com uma camada asfáltica de 5 cm, e em outros apenas recoberto com a camada asfáltica, sem a presença da geogrelha. A geogrelha foi instalada somente nas trilhas de roda, com largura de apenas 1 m.

Os resultados não foram condizentes com o esperado, devido, provavelmente, à pequena largura na qual foi aplicado o reforço. A geogrelha praticamente não proporcionou mudanças quanto ao trincamento por fadiga da camada nova. A principal melhoria trazida foi em relação aos afundamentos em trilha de roda, que produziu um fator de benefício de 1,41 em relação ao trecho sem reforço.

Outro caso de aplicação de geogrelha foi na rodovia BR-386/RS, no ano de 2005, responsável pelo escoamento da safra de grãos da região norte do Rio Grande do Sul. Inicialmente foram selecionadas várias alternativas: recapeamento convencional com ligante asfáltico CAP 50/70 e asfalto modificado por polímeros (AMP) com e sem a inserção de geogrelha polimérica (GG).

Foi feita uma análise econômica das soluções, a qual se encontra resumida na TABELA 2.1, que permitiu constatar que, apesar de alternativas com geogrelha apresentarem

um maior custo de implantação total, a melhoria na vida de serviço do pavimento fazia com que essa solução se tornasse mais econômica que as demais, como pode ser observado nas últimas colunas.

Escolheu-se para os locais mais críticos a solução asfalto modificado por polímeros + geogrelha, sendo utilizada uma geogrelha de poliéster e sobre esta uma camada asfáltica de 5 cm, e para o restante a mesma solução porém sem a inserção de geogrelha, tornando-os seções de referência do trecho experimental. Foram executadas duas seções reforçadas, com extensões de 564 e 179 metros, além de 1700 metros sem geogrelha.

Foi observada uma melhoria na capacidade estrutural do trecho, por meio do aumento do raio de curvatura do pavimento, tendo sido encontrado após cinco meses de serviço um valor 2,4 vezes maior que antes da reabilitação, enquanto no trecho sem reforço foi observada melhoria de 2,1 vezes, sendo que o reforço foi aplicado nos locais críticos.

Após um ano de serviço, verificou-se que a irregularidade longitudinal também havia melhorado: houve diminuição em torno de 55% com relação ao pavimento antigo nos trechos reforçados e 50% nos trechos sem reforço, tendo sido aplicadas as geogrelhas nos locais com maior irregularidade inicial, o que mostra maior garantia das condições de conforto ao rolamento proporcionada pelas geogrelhas. Após dois anos de serviço, não foi observada a presença de trincas.

TABELA 2.1 - Classificação Econômica e Técnica das Soluções (BÜHLER, 2007).

Ligante	Custo Total de Implantação (UM/km)	Vida de Serviço (anos)	Valor Residual, VR – (UM/km)			CCV12	CCV15
			t=1,9; i = 9% a.a.	t=0; k = 12% a.a.	t=0; k = 15% a.a.		
AMP 1 + GG	65.955,78	6,1	53.491,24	43.128,90	41.016,32	22.826,88	24.939,45
AMP 1	58.840,94	2,8	22.109,34	17.826,31	16.953,13	41.014,63	41.887,81
Convencional + GG	64.228,60	3,3	32.096,15	25.878,47	24.610,87	38.350,13	39.617,73
Convencional	57.113,96	1,9	-	-	-	57.113,96	57.113,96
Largura de pista (m)			3,5				
Inflação (%a.a.)			1,09				
Taxa de Desconto (%a.a.)			1,12				
			1,15				
Solução de Projeto			Reperfilagem (1,5 cm) + CBUQ (5 cm) + geogrelha				
CCV			Custo no ciclo de vida				
CCV12			Custo no ciclo de vida com taxa de desconto de 12% a.a.				
CCV15			Custo no ciclo de vida com taxa de desconto de 15% a.a.				

Por último, aplicou-se uma geogrelha na rodovia Presidente Dutra – BR116/SP no ano de 2005, entre os quilômetros 211+500 e 211+650, no município de Guarulhos. Devido ao tráfego intenso, essa rodovia não podia ser interditada para reconstrução, e portanto resolveu-se testar o uso de geogrelhas poliméricas de poliéster no interior da nova camada asfáltica de 5 cm de CBUQ. Foi construída também uma seção de controle de 5 cm de CAUQ entre os quilômetros 211+650 e 211+760.

Após dez meses de serventia, ambas as seções apresentavam alta incidência de defeitos, estando a seção reforçada com geogrelha ainda mais trincada que a seção de controle. Após dois anos, notou-se que a seção de controle apresentava grau de trincamento mais severo, porém a seção reforçada apresentava o surgimento de defeitos de forma mais acelerada.

A avaliação deflectométrica realizada antes e depois da obra mostrou também que a inserção da geogrelha não contribuiu para a redução das deflexões. O trecho com geogrelha teve um acréscimo de deflexões de 7%, e o trecho de referência, 11%. Tal desempenho pode ter sido provocado por um projeto inadequado e problemas construtivos no pavimento a princípio, o que leva a uma capacidade de suporte insuficiente nas camadas inferiores e à consequente queda no desempenho das camadas superiores.

Montestruque (2002) realizou também ensaios em laboratório para a determinação do fator de efetividade de um Geotêxtil e de uma Geogrelha. Estes ensaios, porém, foram realizados de forma ligeiramente diferente em relação aos citados anteriormente. Inicialmente, foram feitas análises para os dois modos de propagação da trinca, o de flexão e o de cisalhamento. Além disso, foram feitos ensaios com diferentes tamanhos de abertura das pré-trincas e diferentes critérios de parada. Os critérios e resultados dos ensaios de fadiga realizados encontram-se na TABELA 2.2.

Foi feito, em seguida, um trecho experimental na rodovia Ayrton Senna (SP-070) com 600 m de comprimento, sendo 300 deles reforçados com Geotêxtil impregnado com asfalto e o restante reabilitado da forma convencional, com 4 cm de camada nova de asfalto. O trecho sem geotêxtil apresentou trincas apenas quatro meses após a reabilitação, enquanto o trecho reforçado demorou onze meses para apresentar deterioração perceptível na superfície, indicando um fator de efetividade de 2,75, o que é condizente com os resultados obtidos em laboratório e mostra os benefícios trazidos pela aplicação do geossintético.

Montestruque (2002) Conclui afirmando que o dimensionamento da espessura de camadas asfálticas de recapeamento poderia ser feito apenas por meio da aplicação direta dos fatores (2,8 e 1,3 para o geotêxtil; 6,1 e 6,1 para a geogrelha; para as posições de carga de

flexão e de cisalhamento, respectivamente) a um modelo de previsão de desempenho mecanístico-empírico apropriado.

TABELA 2.2 - Ensaio de Fadiga Realizados (MONTESTRUQUE, 2002).

Ensaio	1	2	3	4	5	6
Camada Intermediária	Geotêxtil não-tecido	Geogrelha de Poliéster	Geogrelha de Poliéster	Geogrelha de Poliéster	Geogrelha de PVA	Geogrelha de PVA
Características da Camada Intermediária	Filamentos contínuos de Poliéster, 200 g/m ²	Poliéster, com resistência nominal 50 kN/m, abertura de malha 40 mm e deformação máxima na ruptura de 12%	Poliéster, com resistência nominal 50 kN/m, abertura de malha 40 mm e deformação máxima na ruptura de 12%	Poliéster, com resistência nominal 50 kN/m, abertura de malha 40 mm e deformação máxima na ruptura de 12%	PVA, com resistência nominal 35 kN/m, abertura de malha 40 mm e deformação máxima na ruptura de 6%	PVA, com resistência nominal 50 kN/m, abertura de malha 40 mm e deformação máxima na ruptura de 6%
Abertura da Pré-trinca (mm)	3	3	3, 6, 9	3	3	3
Posição da Camada	a 20 mm da camada trincada	a 20 mm da camada trincada	Diretamente sobre a extremidade da trinca	Diretamente sobre a extremidade da trinca	Diretamente sobre a extremidade da trinca	Diretamente sobre a extremidade da trinca
Posição da Carga	Flexão e Cisalhamento	Flexão e Cisalhamento	Flexão e Cisalhamento	Flexão	Flexão	Flexão
Pressão de Contato (kPa)	560; 433 e 333	326,5; 424,5; e 549	549	549	549	549
Frequência do Pulso de Carga (Hz)	20	20	20	20	20	20
Critério de Parada	Aparecimento de Trincas na Superfície	Deformação Plástica de 2,5 mm	Aparecimento de Trincas na Superfície	Até a Ruptura	Até a Ruptura	Até a Ruptura
Ff	2,85 a 3,5	4,6 ; 4,2; e 3,7	6,1; 4,8 e 5,4	10	12	16
Fc	1,3 a 1,6	3,1; 3,5; e 2,1	6,1; 4,5 e 5,0	-	-	-

Em sua tese, Fritzen (2005) construiu trechos experimentais na BR-116/RJ, os quais foram testados com o auxílio de um simulador de tráfego. Foram implementadas quatro soluções diferentes: recapeamento convencional de 6 cm, reforço com geogrelha de poliéster e camada asfáltica de 6 cm, camada de 6 cm asfalto-borracha e construção de um pavimento semi-rígido, com 15 cm de concreto compactado a rolo e mais 5 cm de CBUQ. Os testes foram interrompidos quando o pavimento apresentou 40% de área trincada.

As soluções utilizadas levaram, respectivamente, 192000, 220500, 207450 e 245100 ciclos de carga para atingirem o critério de parada, correspondendo a fatores de efetividade de 1,15 para a geogrelha de poliéster, 1,08 para o asfalto-borracha e 1,28 para o pavimento semi-rígido.

Bastos (2010) realizou testes em laboratório com uma geogrelha de poliéster e com uma geogrelha de fibra de vidro, e concluiu que o desempenho da geogrelha de poliéster foi melhor que a de fibra de vidro, comparando parâmetros como resistência à tração, módulo de resiliência, energia de fratura e resistência à fadiga. Não foram obtidos fatores de efetividade, porém, na curva de fadiga gerada pode-se observar o melhor desempenho da geogrelha de poliéster que as demais soluções para níveis de tensões menores que 30%, como pode ser verificado na FIGURA 2.3.

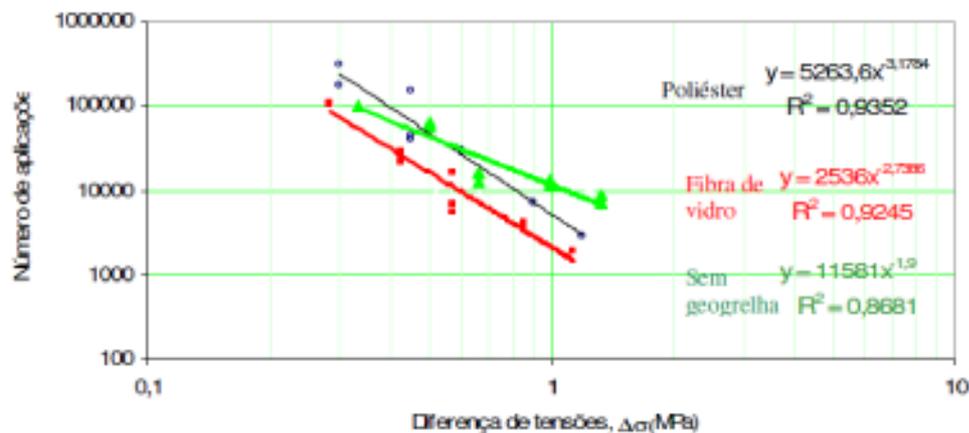


FIGURA 2.3 - Curvas de Fadiga para Corpos de Prova (BASTOS, 2010).

2.2 Casos de Obras

2.2.1 Anel Viário de Campinas

Foi utilizada uma geogrelha de poliéster para impedir a reflexão de trincas no trecho do anel viário de Campinas, entre as rodovias Anhangüera (SP-330) e Dom Pedro I (SP-65), cuja base era composta de Brita Graduada Tratada com Cimento. Essa opção foi escolhida buscando-se um mínimo impacto no cronograma e nos custos da obra.

As trincas de retração da base haviam sido refletidas para a camada asfáltica inicialmente construída no pavimento. Uma nova camada asfáltica foi construída sobre o pavimento trincado, porém não conseguiu impedir a reflexão das trincas. Decidiu-se então

utilizar a geogrelha na nova reabilitação. Havia trincas de tamanho pequeno, até 6 mm, e de médio a grande, de 6 a 50 mm. Nos trechos que apresentavam trincas com abertura de até 6 mm, a geogrelha foi aplicada diretamente sobre a superfície da trinca. Nos demais, foi feita a fresagem de 30 cm do revestimento, retirando-se todo o material asfáltico trincado, e sendo este reconstruído. Em seguida, foi aplicada a geogrelha, coberta por uma camada de 5 cm de CBUQ. As soluções adotadas são ilustradas na FIGURA 2.4, sendo o item (a) a aplicação direta da geogrelha sobre a trinca seguida do revestimento asfáltico, e o item (b) a fresagem na largura de 30cm + reposição + geogrelha, seguida do revestimento asfáltico.

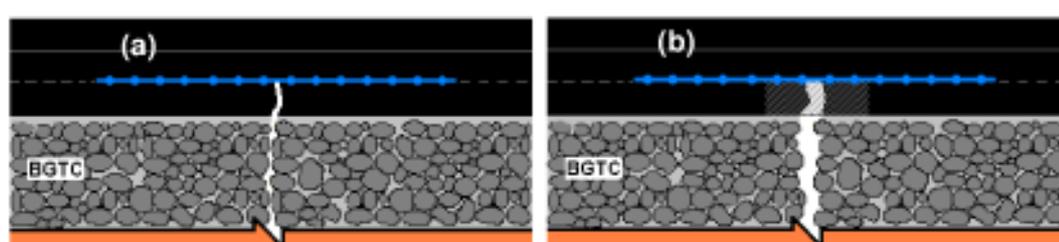


FIGURA 2.4 - Solução Adotada para Reabilitação do Trecho do Anel Viário de Campinas (MONTESTRUQUE, RABAÇA e MONDOLFO, 2003).

Após 18 meses de operação, foi observada uma melhora no desempenho global do pavimento, tendo havido atraso na reflexão das trincas e eliminação ou menor incidência de trincas severas na superfície. O comportamento obtido para uma trinca pré-existente foi semelhante ao constatado por Montestruque (2002), constituído pela formação de várias pequenas trincas em direções diversas, ao invés de uma trinca de maior severidade continuando a trinca já existente (MONTESTRUQUE, RABAÇA e MONDOLFO, 2003).

2.2.2 Pista Auxiliar do Aeroporto de Congonhas

O aeroporto de Congonhas é o aeroporto com a segunda maior movimentação do Brasil. O pavimento da pista auxiliar existente era formado por placas de concreto de cimento Portland com dimensões 3,50 x 7,00 x 0,25 m e barras de transferência de carga nas juntas, recapeado com concreto asfáltico de 8 cm de espessura, e encontrava-se com todas juntas do pavimento rígido refletidas no revestimento.

Em 2008, foi realizada uma reabilitação do no pavimento. A análise com o Crack Activity Meter indicou uma boa transferência de carga entre as paredes das trincas. Optou-se por utilizar como sistema antirreflexão de trincas uma geogrelha de poliéster, tendo sido a

superfície inicialmente fresada e as trincas maiores que 3 mm seladas. Foi executada uma camada de binder de 3 cm de espessura, seguida da aplicação da geogrelha e depois de mais 5 cm de camada asfáltica.

Os resultados observados após alguns anos indicam que a geogrelha apresentou excelente desempenho e que bloqueou a propagação de trincas provenientes das camadas subjacentes (RUIZ, PANDOLPHO, et al., 2015).



FIGURA 2.5 - Reflexão das Juntas na Capa Asfáltica no Aeroporto de Congonhas (RUIZ, PANDOLPHO, et al., 2015).

2.2.3 Reabilitação da Pista do Aeroporto Internacional de Montevideu (Carrasco)/Uruguai

O Aeroporto Internacional de Carrasco, no Uruguai, possui uma infraestrutura composta por uma faixa principal (Cabeceiras 06-24) de 3,20 km de extensão e uma secundária (Cabeceiras 01-19) de 2,25 km. O pavimento é constituído de uma laje de concreto de 35 cm de espessura sobre uma base granular tratada com cimento de 30 cm de espessura, assentada sobre solo natural argiloso. As lajes possuem dimensões 5,60 x 6,00 m. O projeto estrutural da reabilitação exigiu uma espessura mínima de recapeamento de 16 cm, devido à elevada movimentação nesse aeroporto.

A reabilitação da cabeceira 24, executada em 2005, incluiu a instalação de uma geogrelha como sistema antirreflexão de trincas, um método inovador e pioneiro no país. Foi aplicada inicialmente uma camada de regularização de 6 cm sobre o pavimento antigo, e em seguida foi instalada a geogrelha de poliéster, em forma de faixas de 1,00 m de largura, sobre

as trincas do pavimento. Antes da instalação do reforço, a camada de regularização de 6 cm já encontrava-se trincada devido aos efeitos térmicos, reproduzindo o mesmo padrão das trincas existentes no pavimento antigo. Após a instalação da geogrelha, foi executado o restante da espessura prevista para o projeto.

Essa primeira aplicação de geogrelhas para reforço de pavimentos asfálticos mostrou ser uma alternativa viável e simples no controle da reflexão de trincas na superfície (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).



FIGURA 2.6 - Instalação da Geogrelha no Aeroporto de Carrasco (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).

2.2.4 Reabilitação da Pista do Aeroporto de Balmaceda/Chile

O aeroporto da cidade de Balmaceda é o principal acesso por via aérea à região da Patagônia Chilena, com grande movimentação anual. Em 1998 foi feita uma reabilitação da faixa principal desse aeroporto, e a empresa responsável optou pela utilização de uma geogrelha de poliéster para prevenir a reflexão de trincas e controlar os custos de manutenção da faixa. A obra foi finalizada sob graves condições climáticas (temperatura abaixo de zero) e fortes ventos (acima de 60 km/h). A decisão a respeito de qual reforço usar foi baseada na semelhança entre o módulo de elasticidade do poliéster e do asfalto.

A duração eficiente do recapeamento durou 10 anos, tendo colapsado devido ao surgimento de trincas de origem térmica no recapeamento. A abertura e o nível de atividade dessas trincas, contudo, foi avaliado como menor em relação a outras zonas do aeroporto onde o reforço não foi instalado (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).

2.2.5 Reabilitação da Pista de Taxiamento do Aeroporto Internacional Salgado Filho/RS

O Aeroporto Internacional Salgado Filho é o aeroporto brasileiro com a 7ª maior movimentação de aeronaves. Em 2002, foi restaurada a faixa de Taxi Golf que dá acesso ao hangar de manutenção de uma companhia aérea comercial. A estrutura consistia de lajes de concreto de 5,00 x 3,50 x 0,25 apoiadas sobre base granular. O pavimento encontrava-se bastante deteriorado, com várias lajes quebradas e com processo de perda de agregados causado pelos deslocamentos excessivos das lajes de concreto.

A reabilitação foi executada em quatro etapas: injeção de argamassa de concreto nas juntas; aplicação de camada de 2 cm de massa fina asfáltica para regularização; instalação de geogrelha de poliéster; e por fim recapeamento asfáltico com 5 cm de espessura. O reforço foi aplicado apenas na região central da pista, não tendo sido aplicado no acostamento. Após 11 anos, foi possível observar apenas duas trincas de baixa severidade na região central, enquanto que na lateral, onde não foi aplicado reforço, todas as juntas do pavimento rígido foram refletidas, como pode ser verificado na FIGURA 2.7.

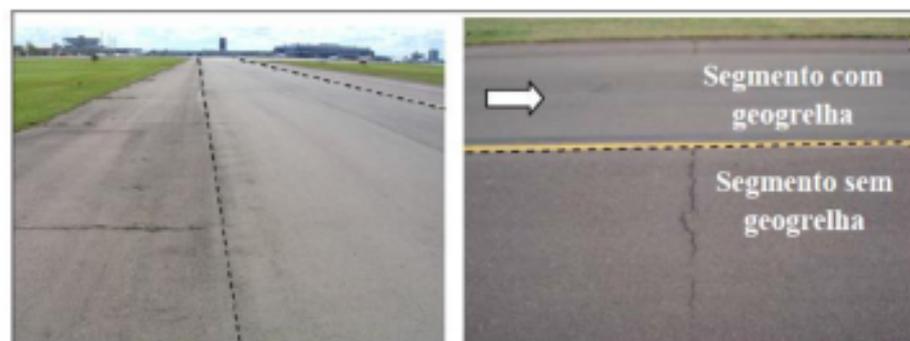


FIGURA 2.7 - Comparação entre Região Central Reforçada e Lateral Não-Reforçada (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).

O Crack Activity Meter foi usado para analisar os deslocamentos entre as paredes das trincas observadas. Nota-se que esse deslocamento vertical foi bem menor nas trincas da região reforçada que nas trincas da região não-reforçada, o que indica que a presença da geogrelha mantém as paredes da trinca mais unidas, pois absorve as tensões de tração (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014). Esse resultado pode ser observado na FIGURA 2.8 e na FIGURA 2.9.

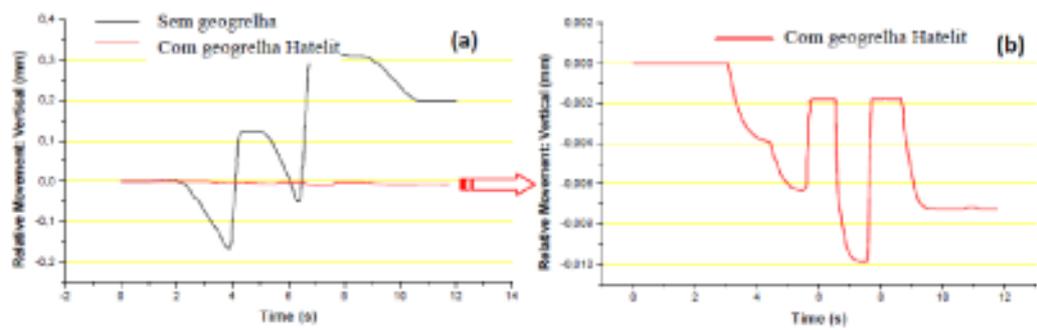


FIGURA 2.8 - Deslocamento Vertical entre as Paredes das Trincas (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).

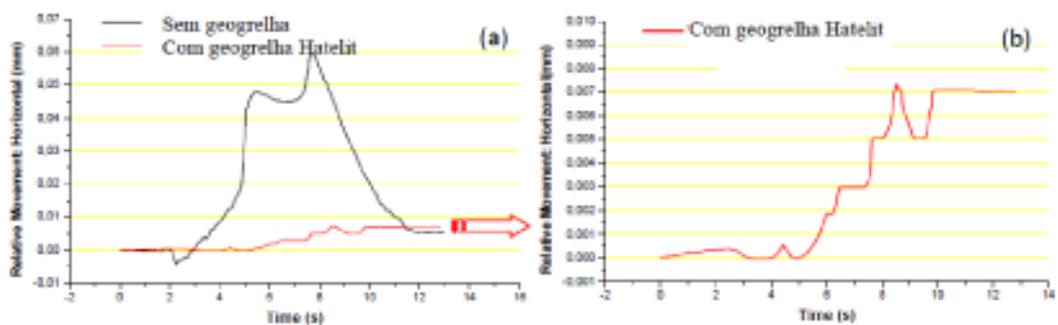


FIGURA 2.9 - Deslocamento Horizontal entre as Paredes das Trincas (MONTESTRUQUE, RUIZ e CARMO, 2014).

2.2.6 Rodovia MG-424

A Rodovia MG-424 começa numa interseção com a rodovia MG-010 na região metropolitana de Belo Horizonte, e possui tráfego de cargas pesadas, sendo o pavimento existente constituído de lajes de concreto revestidas por uma capa asfáltica. Em 2012, o pavimento encontrava-se severamente deteriorado, podendo ser observadas na superfície as reflexões das trincas de retração da camada de concreto. Foram realizados testes com o aparelho Crack Activity Meter, a fim de se avaliar a transferência de carga entre as paredes das trincas.

O resultado mostrou uma boa transferência de carga para a maioria das trincas, indicando uma boa capacidade de suporte do subleito. Dessa forma, presume-se que não era necessário o acréscimo de reforço nas camadas inferiores do pavimento, pois as placas de concreto encontravam-se estáveis em suas posições, e simplesmente um sistema antirreflexão de trincas deveria bastar para solucionar o problema.

A solução proposta foi fresagem e reconstrução de 4 cm de asfalto, para nivelar a camada, seguida da colocação de uma geogrelha de poliéster, e por fim construção de mais 5 cm de camada asfáltica. Ao final da execução da camada de nivelamento, já podiam ser observadas as trincas de retração das juntas das lajes de concreto refletidas. A obra foi concluída em abril de 2013. Dois anos depois, ainda não haviam aparecido trincas na superfície, comprovando a efetividade do uso da geogrelha (GEMBUS, THOMSON e CARMO, 2016).

2.2.7 Ponte sobre o Rio Monjolinho em São Carlos/SP

O uso de asfalto como superfície de revestimento em pontes de madeira com baixo volume de tráfego melhora a vida de serviço da estrutura e o conforto ao rolamento. Várias organizações internacionais, como American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Federal Highway Administration (FHWA) e United States Department of Agriculture Forest Services (USDA Forest Services), recomendam o uso de geossintéticos como reforço para a camada asfáltica nessas situações, pois há grande tendência de haver reflexão das juntas entre as placas de madeira e das juntas entre o talude e a estrutura da ponte.



FIGURA 2.10 - Trincas de Reflexão na Superfície (CORREIA, PORTELINHA, et al., 2013).

Em 2006, foram construídas quatro pontes de madeira na Universidade de São Carlos para permitir o acesso ao Campus II. Duas delas foram construídas com uma placa de concreto sobre vigas de madeira, e as outras duas com decks de madeira, sendo incluída no revestimento asfáltico de uma delas uma geogrelha de poliéster. Foram executados inicialmente 3 cm do revestimento, em seguida a aplicação do reforço, e por fim construção de mais 2 cm. A geogrelha foi aplicada com uma ancoragem de 1 m além da junção entre a ponte e o terreno.

Em 2012 foi realizada uma análise de campo para as quatro pontes. Na ponte com geogrelha não houve trincamento, nem mesmo na transição entre a ponte e a estrada, conforme mostrado na FIGURA 2.12. As demais pontes encontravam-se trincadas, como pode ser observado na FIGURA 2.11.

Os resultados mostram o excelente comportamento da ponte reforçada seis anos após sua construção, comprovando a eficiência da geogrelha na prevenção da reflexão de trincas e retificando essa prática como indispensável à construção de pontes de madeira, como sugerem as organizações internacionais peritas no assunto (CORREIA, PORTELINHA, et al., 2013).



FIGURA 2.11 - Análise Visual das Pontes Não-Reforçadas Após Seis Anos (CORREIA, PORTELINHA, et al., 2013).



FIGURA 2.12 - Análise Visual da Ponte Reforçada Após Seis Anos (CORREIA, PORTELINHA, et al., 2013).

2.3 Análise

Quando o problema é, de fato, a reflexão de trincas, estudos em laboratório e em campo permitem concluir que o uso de geossintéticos, em especial, geogrelhas, proporciona um desempenho superior ao pavimento quando comparado com outras soluções.

Em casos nos quais as trincas surgem devido a fadiga ou movimentações térmicas, seja em pavimentos flexíveis, rígidos, ou pontes de madeira, o geossintético eficientemente absorve as tensões de tração no pavimento e, apesar de não impedir a formação de novas trincas, retarda bastante esse processo e garante que a severidade das novas trincas seja menor que a das trincas pré-existentes. Reduzindo a severidade dessas trincas, a vida de serviço do pavimento é estendida, pois diversos outros problemas, por exemplo, problemas de impermeabilização, passam a ser evitados, já que trincas pequenas e não interligadas prejudicam menos a estanqueidade do pavimento.

Quando há outros problemas que comprometem a estabilidade das camadas inferiores do pavimento, porém, o uso de geossintéticos dificilmente evitará o surgimento de novas trincas, o que ocorre em casos nos quais a capacidade de suporte do subleito é muito baixa, por exemplo, e são gerados deslocamentos excessivos entre as paredes das trincas existentes. Nesse caso, o mais adequado seria a reconstrução do pavimento inteiro, atentando-se a esse problema da baixa capacidade de suporte do subleito, o que pode ser resolvido com a aplicação de uma outra geogrelha para reforçar a camada de base, como será aprofundado na próxima parte deste trabalho.

O ideal em cada obra, portanto, seria avaliar inicialmente a transferência de carga entre as paredes das trincas, como foi feito em 2.2.6 com o Crack Activity Meter, para que se possa analisar se é simplesmente um problema de reflexão de trincas ou se há também problemas de suporte nas camadas subjacentes, e assim escolher a melhor solução para o projeto.

Os resultados obtidos em laboratório para os geossintéticos foram, em geral, melhores que os obtidos em campo, devido à difícil simulação dos elementos climáticos e da erosão do pavimento, que interferem consideravelmente em seu desempenho e não foram levados em conta em muitos dos ensaios. Guardando-se as devidas proporções, porém, esses resultados podem ser utilizados como base para dimensionamento e escolha do reforço adequado para cada situação.

3. Pavimentos rodoviários novos

3.1 Revisão Bibliográfica

A principal aplicação de geossintéticos em pavimentos novos se dá nas funções separação, impermeabilização e reforço de base. Os geossintéticos empregados são, em geral, geotêxteis, para as duas primeiras funções, e geogrelhas ou geocélulas, para a terceira, podendo ser empregados também geocompostos que combinem essas funções. Esses produtos são usados tanto em estradas pavimentadas quanto em estradas não pavimentadas e com baixo volume de tráfego.

A função separação atua evitando a perda de material granular da base no solo de subleito e também impedindo a contaminação desse mesmo material com solo fino, que possui capacidade de suporte praticamente nula. Esse efeito pode ser observado na FIGURA 3.1.



FIGURA 3.1 - Redução de espessura e de resistência pela cravação do material granular no subleito (HUESKER LTDA., 2017).

A função reforço de base com geogrelha em pavimentos sobre solos moles acontece por meio de dois mecanismos principais: o efeito membrana e o confinamento lateral, os quais podem ser observado na FIGURA 3.2 e na FIGURA 3.3. O efeito membrana está relacionado à movimentação de tensões no reforço: conforme este se deforma, são gerados esforços de tração cujas componentes verticais restringem o movimento do aterro, diminuindo também a transmissão de solicitações ao subleito.

A passagem de cargas na superfície gera tensões de cisalhamento na camada de base e faz com que o material se desloque para baixo e para as laterais, criando afundamentos em trilha de roda. Quando se inclui a geogrelha, esta absorve as tensões cisalhantes, confinando o solo e proporcionando um aumento de rigidez na base, pois para os materiais granulares um

aumento na tensão confinante gera um aumento no módulo elástico. Esse aumento de rigidez resulta em menores deformações no pavimento, implicando na redução da fadiga no revestimento (FERREIRA, 2008).

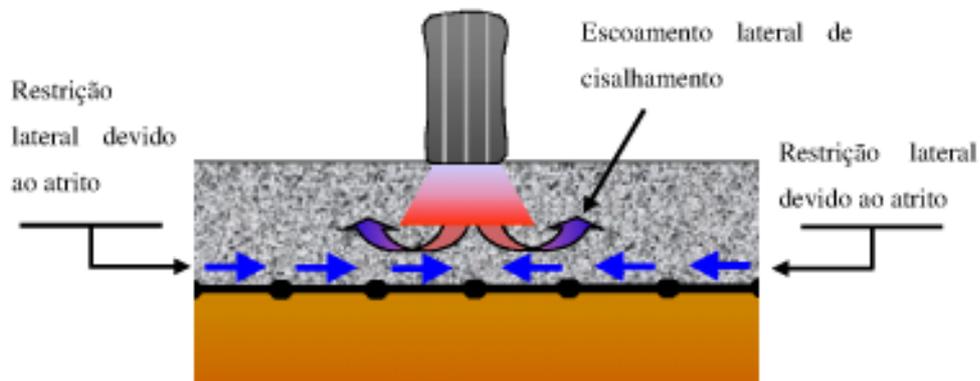


FIGURA 3.2 - Confinamento Lateral Proporcionado pela Geogrelha (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003).

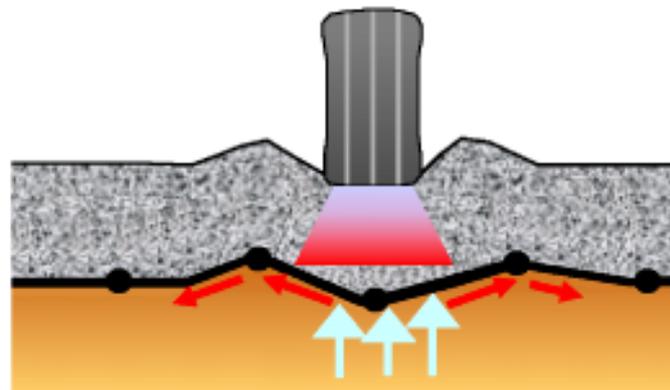


FIGURA 3.3 - Efeito Membrana em Geogrelha (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003).

As geocélulas melhoram a capacidade de suporte do solo, além dos mecanismos de confinamento lateral e efeito membrana, por meio do efeito laje. Adicionalmente, a maioria delas contém furos de modo a permitir a passagem de água e não prejudicar a drenagem na camada granular do pavimento.

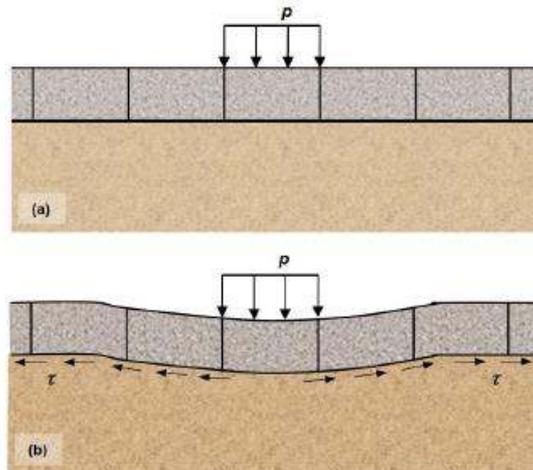


FIGURA 3.4 - Efeito Membrana em Geocélulas (AVESANI NETO, 2013).

O confinamento lateral nas geocélulas se dá por meio da compressão do agregado quando o pavimento é sujeito ao carregamento, densificando-o. Há também a mobilização de tensões horizontais entre o material e as paredes das células, mobilizando uma resistência passiva. Assim, o efeito de confinamento nas geocélulas melhora a capacidade de suporte do solo de duas formas: por meio da redução da deformabilidade e aumento da resistência; e por meio da dissipação do carregamento através das tensões horizontais transmitidas entre células adjacentes.

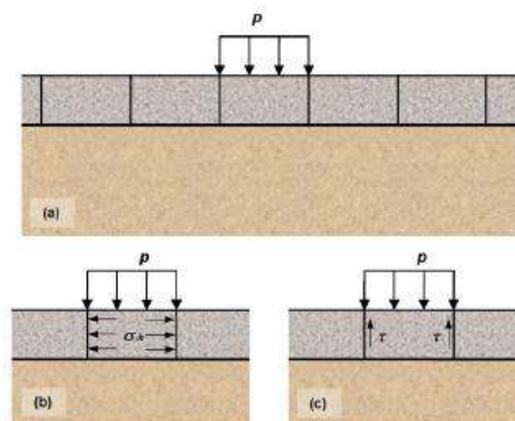


FIGURA 3.5 - Efeito do Confinamento Lateral do Solo na Geocélula (AVESANI NETO, 2013).

O Efeito Laje, também conhecido como Efeito Radier, é interpretado como a dispersão das tensões para a camada subjacente, fazendo com que as cargas transferidas atuem em uma área maior e gerando menores valores de tensão (FILGUEIRA, 2016).

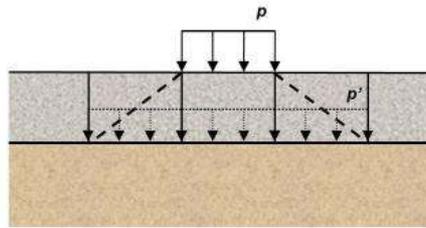


FIGURA 3.6 - Efeito Laje (AVESANI NETO, 2013).

Segundo Garcez (1999), o solo perde resistência mecânica e se torna mais deformável em contato prolongado com a água. Isto ocorre principalmente porque o aumento da quantidade de água aumenta a poropressão, conseqüentemente reduzindo as tensões efetivas e podendo diminuir também as tensões elétricas. A combinação desses efeitos torna mais fácil o deslizamento entre os grãos, aumentando a deformabilidade do solo e reduzindo sua resistência ao cisalhamento. Sabe-se ainda, que argilas não-orgânicas compactadas na umidade ótima para uma determinada energia de compactação podem atingir altos valores de densidade e resistência.

É importante, portanto, garantir que os solos utilizados nas camadas internas do pavimento mantenham sua umidade em níveis aceitáveis. Para se adotar uma medida de impermeabilização, primeiramente é necessário saber a origem da água que penetra no pavimento. Se ela for proveniente apenas da chuva, uma solução é utilizar simplesmente uma cobertura de geotêxtil impregnado com betume, como já abordado no item 2.1. Caso a água seja proveniente de um lençol freático, é necessário proteger toda a base, por meio do envelopamento do solo, como mostrado na FIGURA 3.7.

Os geossintéticos podem ser usados ainda como reforço construtivo para o aterro de conquista, que constitui-se de uma camada de areia lançada sobre o terreno cuja função é permitir o tráfego de equipamentos pesados para a execução da obra.



FIGURA 3.7 - Solo Envolvido com Geotêxtil (HUESKER SYNTHETIC GMBH, 2017).

O dimensionamento do reforço a ser utilizado pode ser feito com base em diversos métodos existentes. Tais métodos são divididos em duas categorias principais: os que se baseiam na capacidade de carga das fundações e contemplam estruturas pavimentadas e não-pavimentadas, e os que se baseiam no dimensionamento da AASHTO, contemplando apenas vias pavimentadas.

Dentre os métodos baseados na capacidade de carga do solo, podem ser citados os métodos de Giroud e Noiray (1981), Giroud et al. (1985), Milligan et al. (1989), Houlsby e Jewell (1990), Sellmeijer (1990), Burd (1995), Palmeira (1998) e Giroud e Han (2004). Esses métodos são descritos em diversos trabalhos, como Garcez (1999) e Ferreira (2008).

Para a função de separação, Vertematti e Aguiar (2015) propõem um método de dimensionamento de geotêxtil que une vários outros métodos, contemplando os aspectos: retenção de finos, resistência a estouros, resistência à tração localizada, solicitação de perfuração e resistência a impacto.

Avesani (2013) apresenta os métodos de dimensionamento para geocélula propostos por Koerner (1994), Presto (2008), Zhang et al. (2010) , e no mesmo trabalho propõe seu próprio método.

3.1.1 Experiência Internacional

Hufenus, Rüegger, et al. (2004) construíram uma pista experimental de 130 m usando 10 tipos de geossintéticos de diferentes materiais para reforçar a camada de base: cinco geogrelhas, um geocomposto, dois geotêxteis não-tecidos e dois geotêxteis tecidos laminados. A pista foi construída sobre solo muito mole, constituído de silte-argiloso, com CBR <1,5%, e foi montada com equipamentos de medição ao longo de todos os trechos. A base granular, constituída de concreto reciclado foi posicionada em três camadas de 20 cm cada, sendo realizadas medições após a construção, compactação e passagem de tráfego sobre cada camada.

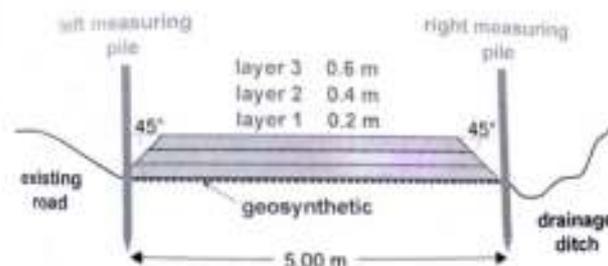


FIGURA 3.8 - Seção Transversal da Pista Experimental (HUFENUS, RÜEGGER, et al., 2004).

Os resultados obtidos para um geotêxtil tecido de polipropileno e para uma geogrelha de PET encontram-se na FIGURA 3.9.

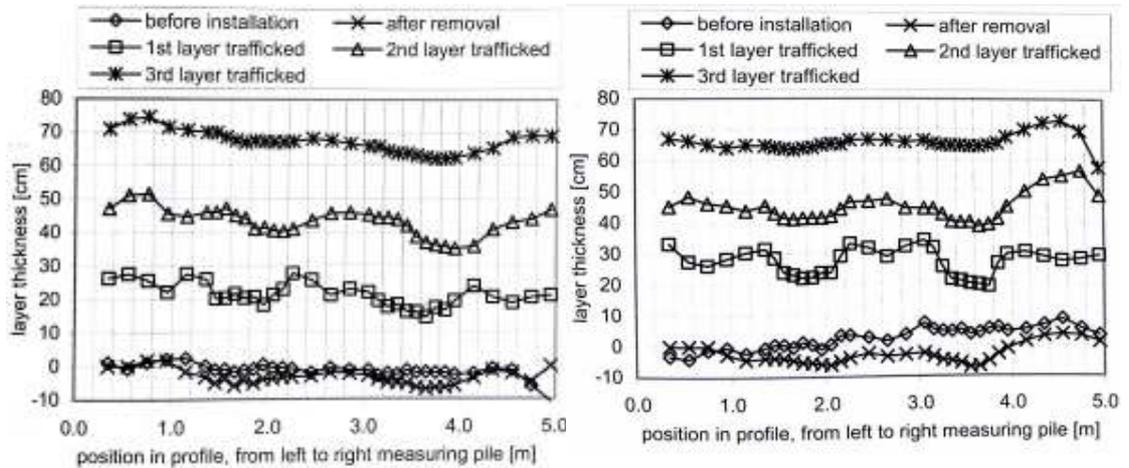


FIGURA 3.9 - Afundamentos em uma Geogrelha de PET (à esquerda) e em um Geotêxtil de PP (à direita) (HUFENUS, RÜEGGER, et al., 2004).

Essa pesquisa proporcionou várias conclusões interessantes, dentre elas:

- O reforço só tem um efeito relevante sobre solo mole ($CBR < 3\%$), pois dessa forma o geossintético se deforma e mobiliza resistência (efeito membrana);
- O afundamento é reduzido para espessuras da camada de base maiores que 40 cm, não havendo necessidade do geossintético nesses casos;
- O geossintético mobiliza forças entre 8 kN e 12 kN. Valores maiores de força de tração não têm efeito, devido à limitação das forças laterais de ancoragem.

Watts, Blackman e Jenner. (2004) também realizaram experimentos com diversos tipos de geossintéticos, no aparelho Pavement Test Facility, do Laboratório de Pesquisas de Transportes no Reino Unido, distribuídos de acordo com a FIGURA 3.10 e a FIGURA 3.11.

Os resultados foram comparados em relação ao número de passagens do eixo padrão de 40 kN para que ocorresse uma deformação de 40 mm no solo. Foi discutida também a validade da “Regra do 1/3”, muito utilizada por fabricantes, no dimensionamento da espessura da camada de base, em comparação com a equação proposta por Giroud e Noiray (1981), obtendo-se a espessura necessária da camada de base para os valores de CBR e de N obtidos:

$$\text{Log}_{10}N = \frac{h(\text{CBR})^{0,63}}{190}$$

Estando h em mm e CBR em %. Por exemplo, para o trecho 1-a:

$$h = \frac{190 \times \text{Log}_{10} 1100}{(1,52)^{0,63}} = 444$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{444 - 320}{444} = 28\%$$

Para as seções reforçadas, foram encontradas reduções variando de 8 a 44% em relação à equação de Giroud e Noiray (1981), indicando que esta é a favor da segurança, mas a “Regra do 1/3” não é aplicável a todos os casos, pois foram observadas reduções menores que 33%. Os resultados podem ser observados na TABELA 3.2.

Christopher e Schwarz (2010) realizaram ensaios com geogrelhas sobrepostas a geotêxteis de diferentes formas. Foram usados quatro tipos de materiais entre a base e o subleito, além da seção de controle sem geossintético: Uma geogrelha soldada biaxial de polipropileno (GG_{wd-pp}); um geotêxtil não-tecido agulhado de gramatura 151 g/m² (GT_{np-nw}); um geotêxtil não-tecido termoligado de gramatura 140 g/m² (GT_{tb-nw}); e um geocomposto formado por uma geogrelha soldada biaxial de polipropileno e um geotêxtil não-tecido agulhado de gramatura 151 g/m² firmemente ligados (GC_{gg-nwgt}). As combinações utilizadas foram geogrelha sozinha, geogrelha sobreposta a cada um dos geotêxteis, e geocomposto sozinho.

O solo de subleito era constituído de silte arenoso micáceo de Georgia, US, com CBR de aproximadamente 1%. O material usado na base foi um cascalho bem graduado com ângulo de atrito de 43°. A caixa de testes possuía dimensões 2 m x 2 m x 1,5 m, sendo a altura de 1,5 m distribuída entre 30 cm de agregado da base e 1,1 m de subleito, além dos

geossintéticos. A esse conjunto foram aplicadas cargas cíclicas de 500 kPa. Os resultados obtidos encontram-se na TABELA 3.3.

TABELA 3.2 - Comparação entre as Espessuras Real e Teórica da Camada de Base (WATTS, BLACKMAN e JENNER, 2004).

Seção	N	H_real(mm)	H_teórico(mm)	Redução(%)
Ensaio A				
1a	1100	320	444	28
1b	1610	328	448	27
1c	480	320	408	22
2a	9800	322	568	43
2b	3300	323	499	35
2c	600	331	411	19
3a	10000	331	591	44
3b	4650	334	542	38
3c	1550	327	476	31
4a	300	316	362	13
4b	1590	318	465	32
4c	1770	304	478	36
Ensaio B				
1a	800	288	342	16
1b	530	292	319	8
1c	1310	292	364	20
2a	6100	286	423	32
2b	3150	292	399	27
2c	2350	275	397	31
3a	570	280	314	11
3b	1380	283	362	22
3c	1340	284	371	23

TABELA 3.3 - Resultados dos Ensaios com Diferentes Combinações de Geossintéticos (CHRISTOPHER e SCHWARZ, 2010)

	Seção-teste				
	Controle	GG _{wd-pp}	GT _{np-nw}	GT _{tb-nw}	GC _{gg-nwgt}
Número de Ciclos					
Afundamento de 25mm	1,5	4,5	1,2	1,5	6,5
Afundamento de 76mm	5	97	31	19	855
TBR					
Afundamento de 25mm	1	3	0,8	1	4,3
Afundamento de 76mm	1	19,4	6,2	3,8	171

Analisando os resultados, observou-se que a geogrelha aplicada diretamente sobre esse tipo de solo pode não ser uma solução tão vantajosa, pois a grande abertura de sua malha não impede a migração de finos do subleito para a base granular. Notou-se que o desempenho da geogrelha simplesmente sobreposta ao geotêxtil, em ambos os casos, foi bem inferior ao da geogrelha sozinha e ao do geocomposto, o que pode ser justificado pelo fato de o atrito entre

o solo e a geogrelha ser bem maior que o atrito entre a geogrelha e o geotêxtil, havendo escorregamento entre os dois geossintéticos quando sujeitos à carga.

Foi observado também que durante os ensaios houve maior deslizamento entre a geogrelha e o geotêxtil agulhado que entre esta e o geotêxtil termoligado, o que pode ter causado a diferença no desempenho, assim como a menor permeabilidade do termoligado em relação ao outro geotêxtil.

3.1.2 Experiência Nacional

Ferreira (2008) construiu um trecho experimental na Rodovia Presidente Dutra, no sentido São Paulo - Rio de Janeiro, próximo às cidades de Cachoeira Paulista-SP e Cruzeiro-SP. O trecho de 390 m de extensão foi construído em novembro de 2006 e dividido conforme indicado na FIGURA 3.12.

Foram utilizadas geogrelhas biaxiais de polipropileno, de abertura de malha 15 mm e resistência nominal à tração de 12 e 8 kN/m, cujos módulos de rigidez à tração a 2% de deformação são 400 e 600 kN/m, respectivamente. As seções transversais antes e depois da reconstrução encontram-se indicadas na FIGURA 3.13.

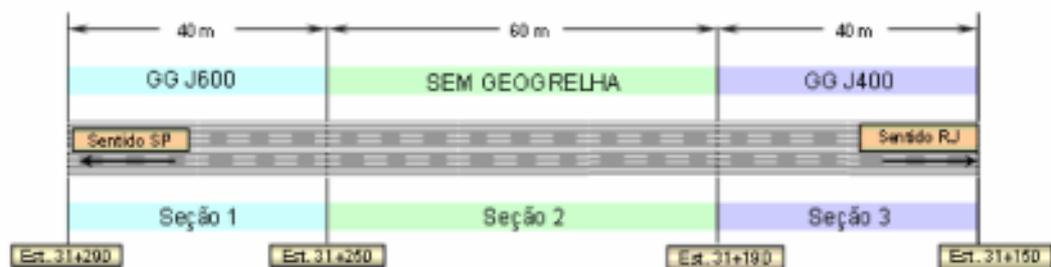


FIGURA 3.12 - Divisão do Trecho Experimental (FERREIRA, 2008).

Foram realizados ensaios com viga Benkelman eletrônica em maio de 2008 e com FWD em novembro de 2008. As deflexões após dois anos diminuíram, porém não foi observada uma grande influência do geossintético, provavelmente devido à alta capacidade de suporte do solo de subleito (CBR entre 8% e 18%) e da granulometria do rachão ser superior à abertura da geogrelha, o que prejudicou o intertravamento entre o agregado e o reforço. Percebeu-se, porém, um ganho imediato no processo construtivo, tendo a geogrelha J600 ajudado no processo de compactação da base.

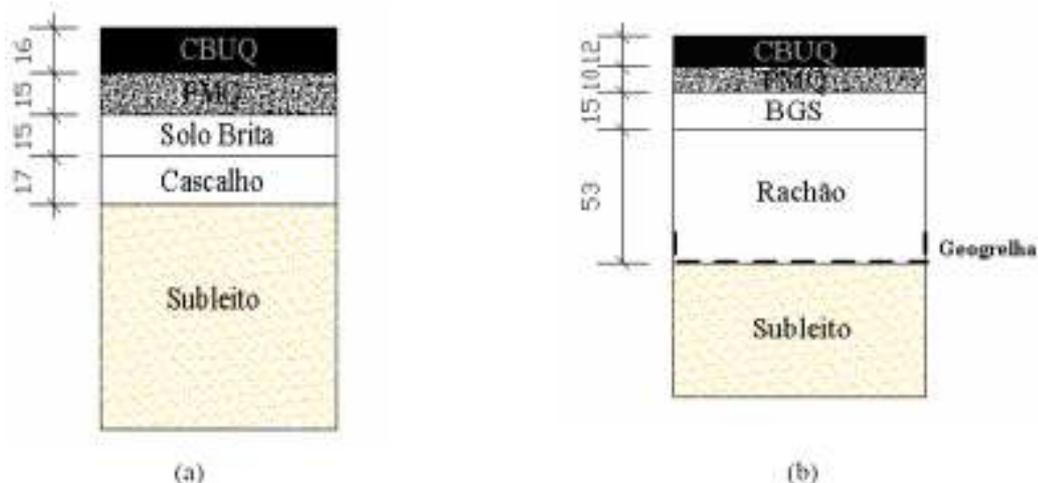


FIGURA 3.13 - Seção do Trecho Experimental (a) Antes da Reconstrução (b) Depois da Reconstrução (FERREIRA, 2008).

Concluiu-se que a eficiência do reforço cresce diretamente com a interação entre o geossintético e a base, com a rigidez do reforço em pequenas deformações e inversamente com a capacidade de suporte do subleito.

Lages (2004) realizou ensaios com geotêxteis para avaliar sua influência no melhoramento do CBR do solo. Os materiais ensaiados foram um geotêxtil tecido de polipropileno e gramatura 132 g/cm² e um geotêxtil tecido de poliéster, de gramatura 397 g/cm². Foi realizado um ensaio CBR no solo não-reforçado e nos solos reforçados com cada um dos geossintéticos, tendo sido encontrados os valores 4%, 7% e 9% para o caso não-reforçado, reforçado com geotêxtil de polipropileno e reforçado com geotêxtil de poliéster respectivamente.

Antunes (2008) estudou o efeito do reforço de base com geogrelhas e geotêxteis em pavimentos novos e após restaurações. Os ensaios foram realizados em uma caixa de dimensões 1,60 m x 1,60 m, sobre 60 cm de subleito com CBR 8,7% compactado em três camadas e camada de base de 20 cm de brita. A carga aplicada foi um eixo padrão de 40 kN a 1Hz. Os ensaios consistiram na aplicação de carga até que fosse obtido um afundamento de 25 mm no topo da camada de base (padrão), reabilitação desse pavimento seguida da aplicação de carga, até que fossem obtidos os 25 mm de afundamento novamente (reabilitação 1) e por fim uma nova reabilitação e aplicação de carga até que o mesmo afundamento fosse obtido mais uma vez (reabilitação 2).

Os resultados obtidos mostraram grande eficiência no uso dos geossintéticos, como pode ser observado na TABELA 3.4.

TABELA 3.4 - Resumo das Eficiências Calculadas em Cada Ensaio (ANTUNES, 2008).

Ensaio	N	Fator de Eficiência Calculado
Sem reforço – Padrão	30720	-
Sem reforço – Reabilitação 1	25164	-
Sem reforço – Reabilitação 2	19470	-
Reforçado com geogrelha – Padrão	282000	9,2
Reforçado com geogrelha – Reabilitação 1	210906	8,4
Reforçado com geogrelha – Reabilitação 2	144000	7,4
Reforçado com geotêxtil – Padrão	85044	2,8
Reforçado com geotêxtil – Reabilitação 1	58698	2,3
Reforçado com geotêxtil – Reabilitação 2	45073	2,3

Além disso, foi feita uma breve análise do impacto financeiro da inserção de geossintéticos na obra, constatando-se que o uso da geogrelha poderia aumentar em até 21,3% o custo da obra, e o geotêxtil 14,2%. As maiores vidas úteis dos pavimentos reforçados, contudo, superam em muito os custos da incorporação do reforço, tendo sido verificado que apenas uma reabilitação do pavimento não-reforçado teria o mesmo custo do uso de geossintéticos na construção inicial do pavimento.

3.2 Casos de Obras

3.2.1 Rodoanel Mário Covas/SP

O trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas é uma das principais vias de tráfego na região metropolitana de São Paulo. Em seu período construtivo, uma das exigências era que a deflexão medida na execução da camada de sub-base de 40 cm de bica corrida fosse inferior a 120×10^{-2} mm. Cumprir essa exigência, porém, foi um grande desafio, devido à alta pluviosidade na época.

Uma das alternativas cogitadas foi trocar a camada de bica corrida por uma camada de 60 cm de rachão. Essa mudança, porém, ainda não foi suficiente para se atender às exigências do projeto. A fim de que o prazo estabelecido não fosse prejudicado, recorreu-se à instalação de uma geogrelha bidirecional de polipropileno com módulo de deformação de 600 kN/m. A instalação foi feita imediatamente, não prejudicando o andamento do projeto, e finalmente a deflexão desejada foi alcançada. A seção construída com geogrelha e uma comparação entre as duas soluções podem ser observadas, respectivamente, na FIGURA 3.14 e na FIGURA 3.15.

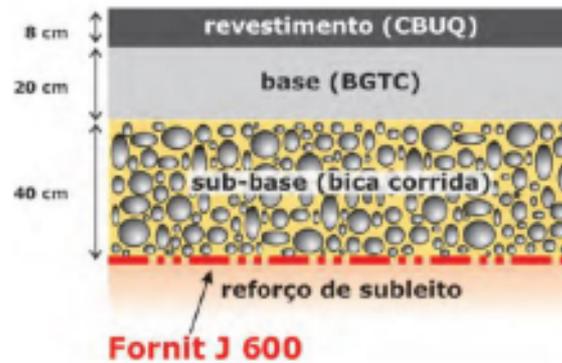


FIGURA 3.14 - Pavimento-tipo (HUESKER LTDA., 2009).

Em 2010, o trecho construído com reforço encontrava-se em perfeitas condições de serviço, tendo sido este essencial para o sucesso da obra e sua conclusão no prazo correto (HUESKER LTDA., 2009).

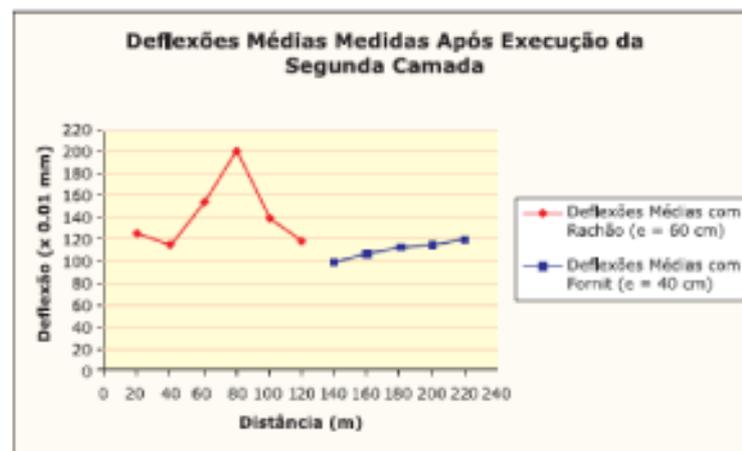


FIGURA 3.15 - Resultados das medidas de deflexões (HUESKER LTDA., 2009).

3.2.2 Via Sudoeste – Viana/ES

Em 2009 foi iniciada a implantação do corredor Sudoeste no município de Viana, região metropolitana de Vitória, no Espírito Santo. O grande desafio dessa obra surgiu devido à via ser inserida no contexto urbano e possuir ocupação residencial em ambos os lados. A ocupação desordenada resultou em cotas de soleiras das edificações não superiores a 20 cm da cota do leito da rua existente, e por isso o greide do projeto teve de ser limitado. Além disso, à medida que se aprofundava a escavação, verificou-se que a umidade aumentava, devido ao aumento da proximidade em relação ao nível d'água, como pode ser observado na FIGURA 3.16.

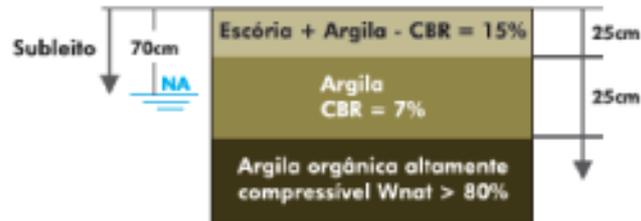


FIGURA 3.16 - Estrutura Original do Pavimento Existente (HUESKER LTDA., 2012).

Dessa forma, buscou-se a solução que permitisse implantar um pavimento no qual se removesse no máximo 10 cm do subleito e cuja estrutura pudesse ser bastante delgada, devido à limitação do greide, satisfazendo ao elevado tráfego de projeto, $N = 5,0 \times 10^6$. Optou-se por utilizar uma geogrelha bidirecional de polipropileno com módulo de deformação de 600 kN/m, juntamente com um geotêxtil bidirecional tecido de polipropileno, para reforçar a base de 30 cm de brita graduada simples e o revestimento de 5 cm de CBUQ, como ilustrado na FIGURA 3.17.

A solução escolhida possibilitou a execução da obra num prazo bastante curto e satisfazendo às limitações do projeto, além de proporcionar simplicidade e facilidade construtiva à obra (HUESKER LTDA., 2012).

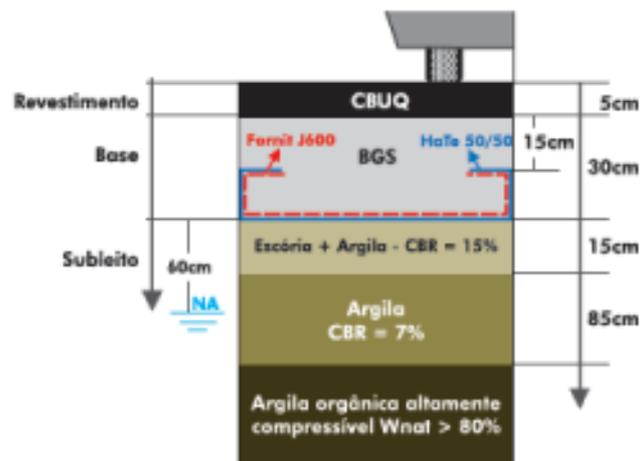


FIGURA 3.17 - Pavimento Novo Implantado (HUESKER LTDA., 2012).

3.2.3 Centro de Distribuição Translovato – São José dos Pinhais/PR

No início de 2008, foi construído um novo centro de distribuição para a empresa de logística rodoviária Translovato, na cidade de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba. A área apresentava dificuldades técnicas devido à baixa capacidade de suporte do

terreno e à grande carga operacional da empresa, estimada em 5 t/m², para caminhões trucados e carretas carregadas com carga por eixo de 8,2 t.

A solução encontrada foi a aplicação de uma geogrelha bidirecional de polipropileno com módulo de deformação de 400 kN/m para reforçar a estrutura do pavimento, mostrada na FIGURA 3.18.

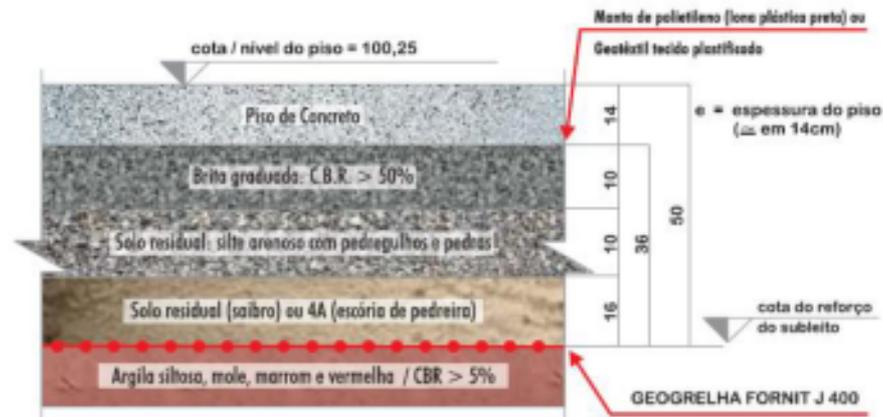


FIGURA 3.18 - Pavimento Projetado para o Centro de Distribuição (HUESKER LTDA., 2013).

Devido à facilidade construtiva, a obra pôde ser concluída num prazo bastante curto, o que era uma das exigências do empreendedor, e apresentou resultado muito positivo: o centro de distribuições, com capacidade de movimentação de 2500 toneladas de carga por dia está em plena operação desde o início de 2009, e até os últimos relatos, no final de 2013, encontrava-se em perfeita condição de trabalho, sem a necessidade de intervenções até o então momento (HUESKER LTDA., 2013).

3.2.4 Reforço Construtivo de Aterro de Conquista para Expansão de Redes de Gás Natural Gasbel II – Vassouras/RJ

Na fase de expansão de suas redes de abastecimento de gás natural, em 2009, no município de Vassouras, a Petrobrás precisava acessar áreas de topografia acidentada e subleito com baixa capacidade de suporte, nas quais os equipamentos pesados de construção operavam com dificuldade. A solução inicial para esse problema foi a construção de plataformas de trabalho com toras de eucalipto com posterior lançamento de camadas de aterro com resistência melhor que a do subleito para permitir o tráfego.



FIGURA 3.19 - Toras de Eucalipto a Serem Utilizadas no Reforço (FERRETI, LIMA e SANTOS JÚNIOR, 2012).

A utilização dessas plataformas, porém, tornava o processo construtivo muito lento, além da preocupação ecológica. Foi proposta então a utilização de um geocomposto para reforçar o subleito ao invés das plataformas de madeira, sendo este composto por uma geogrelha de poliéster termofixada com um geotêxtil não-tecido agulhado também de poliéster.

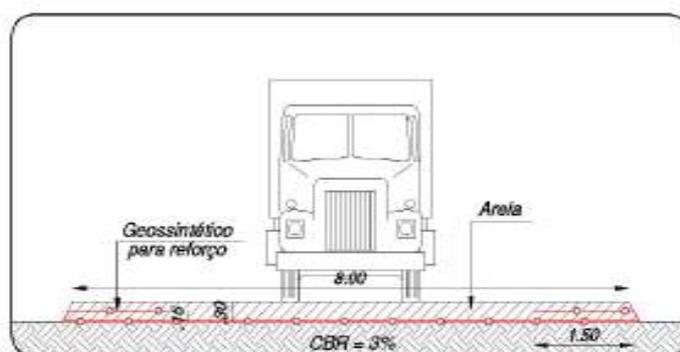


FIGURA 3.20 - Solução com Geocomposto Proposta (FERRETI, LIMA e SANTOS JÚNIOR, 2012).

Não foi realizado nenhum tipo de limpeza ou nivelamento da base antes da instalação do reforço. A única solicitação feita foi que o lançamento do material do aterro de conquista fosse lançado a partir de uma plataforma já existente para que se criasse uma ancoragem para o reforço. O aterro foi lançado em uma camada única de 30 cm e compactado apenas pelo peso próprio dos equipamentos.

A solução com geossintético trouxe vantagens técnicas e econômicas para a obra, dentre elas: simplicidade na instalação; possibilidade de controle do afundamento de trilha de

roda, sendo este mantido em torno de 15 cm, valor razoável para que fosse mantida a trafegabilidade e estabilidade dos equipamentos; menor custo de mão de obra, já que a instalação do geocomposto demorou menos de 5 min e foi feita por apenas dois homens; menor custo de hora máquina, com diferença de mais de 60% em relação à solução original; e sustentabilidade (FERRETI, LIMA e SANTOS JÚNIOR, 2012).



FIGURA 3.21 - Instalação do Reforço e Lançamento do Material (FERRETI, LIMA e SANTOS JÚNIOR, 2012).

3.2.5 Eixo Viário do Novo Aceso ao Centro - Rio das Ostras/RJ

No final de 2006, começou a ser implantada uma nova rodovia na cidade de Rio das Ostras, com o objetivo de melhorar o trânsito na cidade e ligar diversos bairros à Rodovia do Contorno. A rodovia implantada cruzava ao longo de 8 km uma área de solo mole composto por argila orgânica saturada, com resultado no ensaio SPT inferior a dois golpes nas camadas superficiais.

O projeto previa a construção de um aterro para adensar o solo mole, executado sobre um colchão drenante com drenos verticais. Era necessária, porém, a circulação de equipamentos pesados de terraplenagem nesta primeira fase da construção. Foi empregado então um geotêxtil bidirecional de polipropileno como reforço construtivo do aterro de conquista, o qual garantiu a rapidez da entrada dos equipamentos na obra e a construção do aterro de modo eficiente. A obra via rodoviária foi inaugurada no início de 2008 (HUESKER LTDA., 2008).

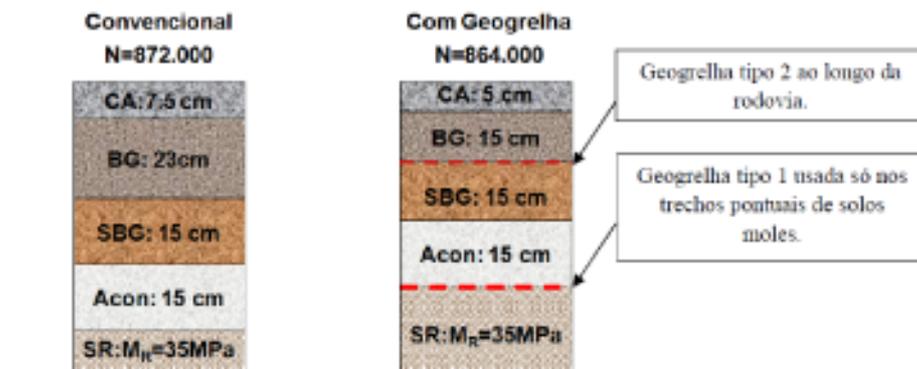
3.2.6 Construção da Rodovia Iquitos – Nauta/Peru

No início de 2004 foram iniciadas as obras de conclusão dos 19 km finais da rodovia Iquitos-Nauta, no Peru. No local do projeto, porém, no meio da Amazônia Peruana, não havia pedreiras apropriadas ou mesmo vias de comunicação nas quais pudesse ser transportado o

material granular necessário. O material da base granular e o asfalto teriam de viajar por um dia inteiro de balsa (mais de 300 km) da cidade de Yurimaguas até Nauta e posteriormente ser transportado por caminhões até o local da obra, o que incrementava o custo com transporte em até cinco vezes.

A fim de se reduzir ao máximo a espessura da camada de material granular em vista da dificuldade de transporte, foi proposta uma solução com geogrelhas bidirecionais rígidas. No ano de 2007 foram realizados ensaios com viga Benkelman (dois anos após o fim da construção) e com os resultados desses ensaios foram feitas retro-análises em um software especializado para pavimentos, tendo sido demonstrado um incremento no módulo da base granular reforçada com geogrelhas em aproximadamente 33%.

As reduções da camada asfáltica e da camada de base geraram economias calculadas em R\$ 2.500.000,00, além do incremento na vida útil proporcionado pelas deflexões menores que o esperado medidas nos ensaios com viga Benkelman, o que se reflete em menores gastos com manutenção (CENTURIÓN, VILELA e MARQUINA, 2012).



NOTA:

- CA: Camada de Asfalto,
- BG: Base Granular,
- SBG: Sub-Base Granular,
- ACon: Areia Anticontaminante,
- SR: Subleito
- MR: Módulo Resiliente
- N: Número de passadas por eixo (requerido pelo projeto: N=835.000).

FIGURA 3.22 - Soluções Propostas Com e Sem Geogrelha (CENTURIÓN, VILELA e MARQUINA, 2012).

3.2.7 Porto de Mersin - Turquia

O porto de Mersin é o maior principal para a indústria e agricultura da região leste do mar mediterrâneo. Devido ao seu uso intenso, em 2004 houve necessidade de reabilitação de alguns lotes do terminal de contêineres devido aos grandes afundamentos que lá ocorreram.

Grandes afundamentos e recalques diferenciais possibilitam o tombamento de contêineres e prejudicam a segurança do local.

As autoridades responsáveis optaram então pelo uso de geocomposto na reabilitação desse pavimento, especialmente por causa das vantagens econômicas. Foi realizado inicialmente a recuperação de 5200 m², a fim de se testar a solução. A laje e o material de aterro previamente existentes foram removidos, tendo sido retirado o material até uma altura de 1,4 m e deixado apenas o subleito. Foi então instalado um geocomposto Combigrid, constituído de um geotêxtil não-tecido agulhado e uma geogrelha soldada de alta rigidez. No mesmo dia, foi depositada sobre o geocomposto uma camada de 1 m de material granular bem graduado e uma laje de concreto de 40 cm.

Após a experiência com 5200 m², no ano de 2006 o restante da área que precisava de manutenção, 34000 m², foi restaurada com a mesma solução (European Association of Geosynthetic product Manufacturers).



FIGURA 3.23 - Instalação de Geocomposto no Porto de Mersin (European Association of Geosynthetic product Manufacturers).

3.2.8 Estrada para a unidade da Petrobrás em Urucu/AM

Para possibilitar a comunicação entre a unidade da Petrobrás no município de Urucu e os poços de extração de gás e petróleo no interior da selva amazônica, foram construídas estradas de acesso, no final de 2012, de modo a permitir a passagem dos equipamentos pesados necessários à construção desses poços. As precipitações diárias ao longo de todo o ano dificultam a execução de processos executivos convencionais, e a presença de solo mole nessa região prejudica mais ainda a construção dos poços.



FIGURA 3.24 - Instalação de Geocélulas em Coari/AM (Comitê Técnico de Geossintéticos).

Na construção de uma estrada de acesso de um poço em Coari/AM, foi adotada uma solução com geocélulas de polipropileno para confinar o solo e aumentar sua capacidade de suporte. Foram instaladas em torno de 55000 m², tendo esse sistema se mostrado como uma ótima alternativa devido principalmente à facilidade e praticidade na execução, as quais aliadas à alta produtividade proporcionada resultaram em vantagens técnicas e econômicas para o projeto (Comitê Brasileiro de Geossintéticos).

3.3 Análise

A experiência mostra que geossintéticos à base de Polipropileno são melhores para casos com cargas cíclicas e rápidas. Nos ensaios realizados por Lages (2004), mencionados em 3.1.2, uma das possíveis causas para que o desempenho do geotêxtil à base de Poliéster tenha sido melhor que o de Polipropileno é o fato de o ensaio CBR ser realizado com uma carga quase-estática. Além disso, por se tratar de geotêxteis – e não geogrelhas – o intertravamento do solo foi comprometido, e possivelmente por essa razão o reforço não foi tão significativo.

Hufenus, Rüegger, et al. (2004), no item 3.1.1, observaram que a contribuição do reforço é maior quando o CBR do solo a ser reforçado é baixo, o que foi comprovado nos ensaios realizados por Ferreira (2008) em 3.1.2. Dessa forma, percebe-se que é de fato necessário um estudo inicial do solo antes de se definir o reforço com geossintético como solução para o projeto, para que seja avaliado se sua contribuição trará algum impacto.

Os ensaios em laboratório mostram que a combinação da geogrelha com geotêxtil é mais vantajosa, pois há combinação das funções de separação, filtração e de reforço de base, e portanto, essa solução deve ser aplicada sempre que possível. A utilização de geocélulas como reforço de base de rodovias ainda é pouco explorada na literatura e no mercado brasileiro.

Por fim, conclui-se que o reforço de base com geossintético é extremamente prático devido à sua facilidade construtiva e uma boa alternativa em projetos com particularidades como restrição da cota final do terreno, nos quais não se pode aumentar ou variar muito a espessura da camada de base, como os casos de obras expostas. Essa alternativa também se mostra muito útil em projetos nos quais a disponibilidade de jazidas próximas de material granular para compor a base é limitada, podendo trazer economia ao projeto.

4. Pavimentos ferroviários

4.1 Revisão Bibliográfica

Nabais (2014) define ferrovia como um sistema de transporte terrestre autoguiado no qual os veículos se deslocam sobre duas vigas metálicas contínuas longitudinais (trilhos). Os apoios transversais dos trilhos são chamados dormentes, e repousam sobre um colchão amortecedor de material granular, denominado lastro, o qual é responsável por transmitir ao solo as cargas suportadas pelos trilhos. Essa estrutura pode ser observada na FIGURA 4.1.

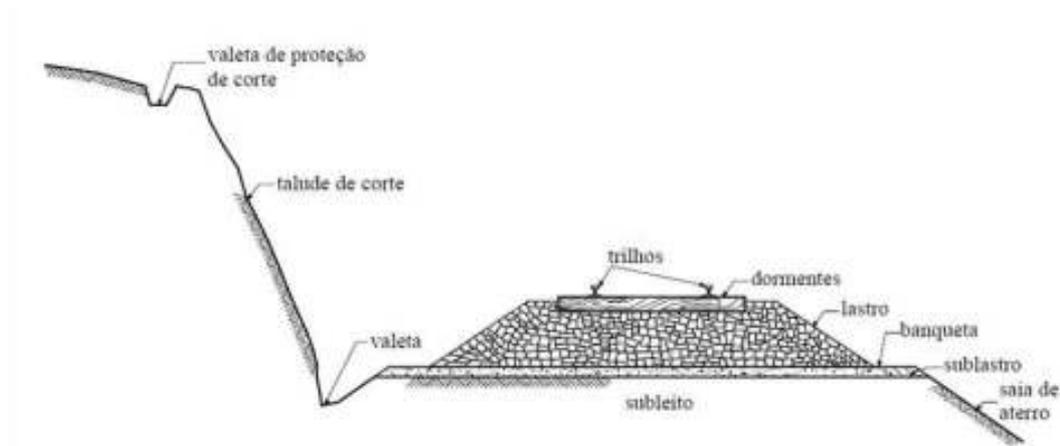


FIGURA 4.1 - Seção Transversal da Plataforma Rodoviária (NABAIS, 2014).

Em uma obra ferroviária, os geossintéticos podem ser utilizados para desempenhar diversas funções: separação, filtração, proteção, drenagem, controle de erosão, reforço de base. A FIGURA 4.2 ilustra algumas dessas situações.

A função reforço de lastro e sublastro se dá de forma semelhante ao explorado em 3.1: por meio de geocélulas, que proporcionam o Confinamento Lateral e o Efeito Laje; ou com o uso de geogrelhas, que além do confinamento mobiliza também o Efeito Membrana. Outro efeito importante para o reforço do lastro é o embricamento (interlock) do agregado na malha, o qual depende da compatibilidade entre a granulometria do solo e a abertura da malha.

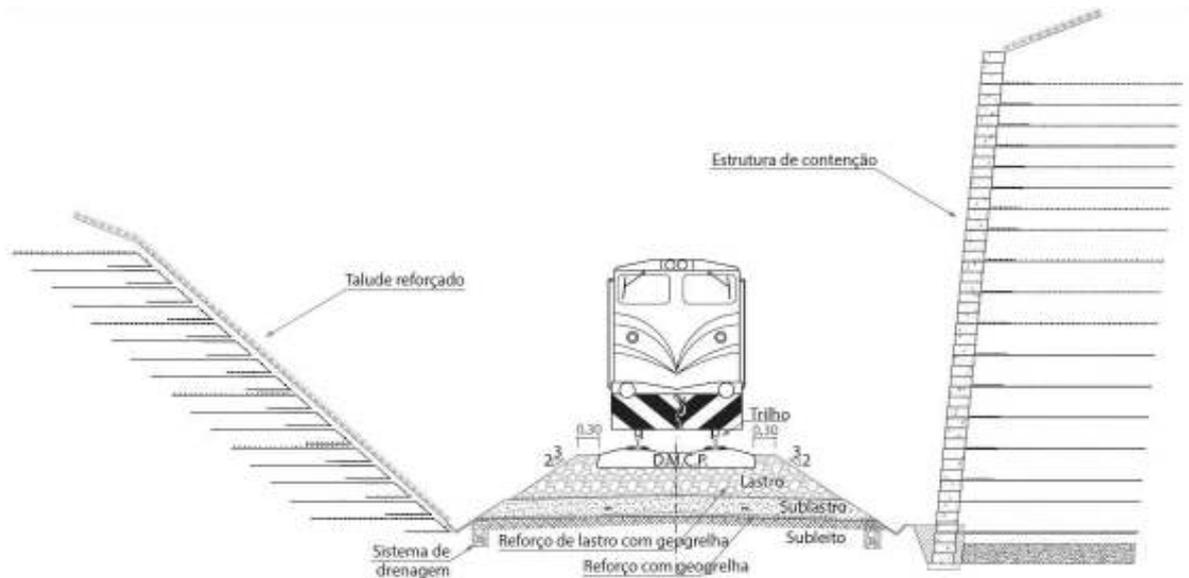


FIGURA 4.2 - Possíveis Aplicações de Geossintéticos na Via Ferroviária (NABAIS, 2014).

Partículas de solos com alto índice de vazios sujeitas a esforços de cisalhamento se deslocam no plano de cisalhamento. Já em solos mais compactos, é preciso superar a interação física entre as partículas, e para isso deve-se movimentar os grãos do solo também na direção perpendicular ao plano de cisalhamento, o que requer uma quantidade adicional de energia. Essa interação constitui o embricamento, e quanto mais denso o solo, maior o embricamento e conseqüentemente maior a resistência. O embricamento das partículas na malha da geogrelha tem um efeito semelhante, melhorando a resistência do solo ao cisalhamento.

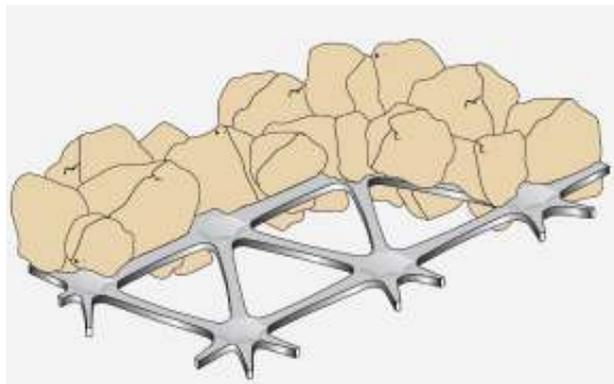


FIGURA 4.3 - Mecanismo de Embricamento (Tensar Internacional, 2013).

Nabais (2014) aponta como benefícios da utilização de geogrelha no reforço do lastro ferroviário a redução das deformações verticais em até 60%, redução de quebra das partículas do agregado, reduzindo os ciclos de manutenção da via e permitindo que esse material seja

reutilizado, e a melhora da homogeneidade do comportamento mecânico da estrutura, evitando deformações diferenciais.

Indraratna, Salim e Rujikiatkamjorn (2011) expõem vários métodos de dimensionamento da espessura da camada de lastro, dentre eles o método da AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association), Odemark (1949) e Zimmermann (1888).

4.1.1 Experiência Internacional

Indraratna, Salim e Rujikiatkamjorn (2011) realizaram experimentos com cargas cíclicas em lastros ferroviários novos e reciclados, sendo estes reforçados ou não, em condições secas e úmidas. Os reforços utilizados foram geotêxteis, geogrelhas e geocomposto. O solo usado como subleito é uma argila de alta plasticidade, já no sublastro há uma mistura de areia e cascalho. Durante os ensaios foram monitoradas as deformações verticais e laterais do solo. O recalque medido encontra-se na FIGURA 4.5.

Foi observado nos ensaios que o desempenho do lastro novo é bastante superior ao reciclado. Todos os geossintéticos melhoraram o desempenho do lastro reciclado, fazendo com que esse se aproximasse do lastro novo. Dentre os geossintéticos, porém, a geogrelha foi o que melhorou menos esse resultado, provavelmente devido à grande de abertura de sua malha, a qual não impede a contaminação da camada de lastro pelo sublastro. O melhor resultado foi apresentado pelo geocomposto, o qual combinou as funções de separação e de reforço de base.

O monitoramento das deformações verticais e laterais mostrou tendência semelhante nos resultados. Para as deformações laterais na direção paralela aos dormentes (perpendicular aos trilhos), porém, o desempenho das amostras com geocomposto e com geotêxtil foi ainda superior ao do lastro novo, indicando uma menor deformação lateral nesses casos, o que é uma característica muito benéfica ao processo de manutenção dos trilhos, pois diminui a necessidade de camadas adicionais para restringir a movimentação do lastro durante essa operação.

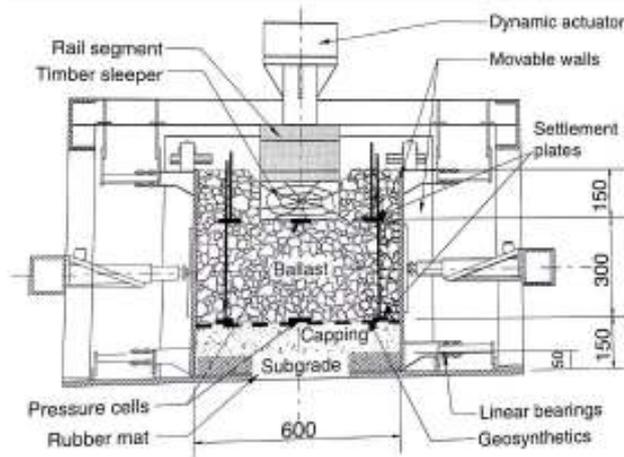


FIGURA 4.4 - Aparato Triaxial Utilizado nos Ensaios de Lastro Reforçado (INDRARATNA, SALIM e RUJIKIATKAMJORN, 2011).

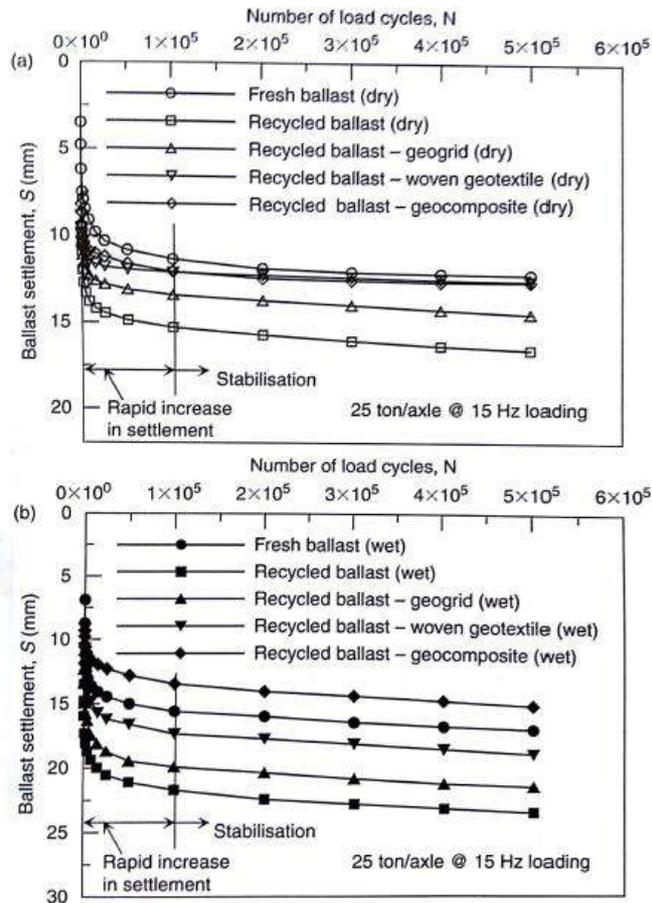


FIGURA 4.5 - Resultados de Lastro Reforçado (INDRARATNA, SALIM e RUJIKIATKAMJORN, 2011).

Kuo, Lin, et al. (2006) estudaram possíveis soluções para os problemas de bombeamento de finos, recalque excessivo e consequente distorção dos trilhos no sistema de estradas de ferro da maior companhia de aço da China, a China Steel Company, em Taiwan.

Essas estradas faziam transporte de aço líquido em vagões que chegavam a pesar 800 toneladas cada.

Foram feitos então estudos do solo no sítio em questão e para cada solução foi criada uma seção teste de 20 m de extensão e 4 m de largura. Os estudos no solo mostraram que o bombeamento de finos do subleito de argila amarela havia contaminado a sub-base em mais de 60 cm, como pode ser observado na FIGURA 4.6.

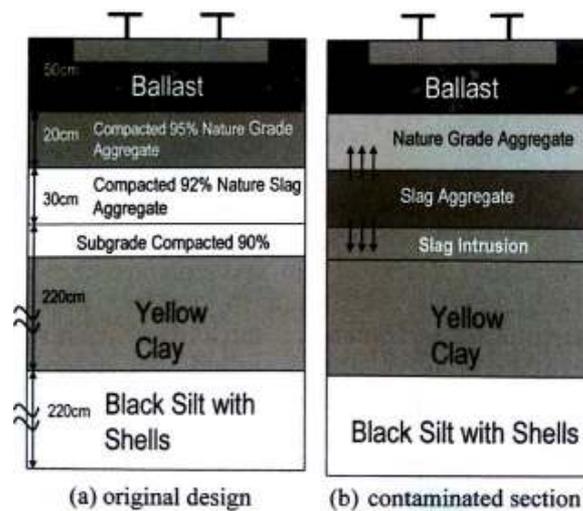


FIGURA 4.6 - Resultados do Estudo do Solo (KUO, LIN, et al., 2006).

As quatro seções teste incluíam: Uma seção com geocomposto na interface entre sub-base e subleito e entre lastro e sub-base, sendo o geocomposto formado por um geotêxtil e uma geogrelha rígida (seção A); duas com geossintético apenas na interface subleito-sub-base, sendo uma delas o mesmo geocomposto da seção A (seção B) e na outra uma geogrelha flexível (seção C); e uma seção de controle sem geossintético.

Os resultados observados nas seções teste 74 semanas após sua instalação encontram-se na FIGURA 4.7. Pode-se constatar que as seções B e C mostraram um recalque muito menor que a seção de controle, enquanto a seção A, apesar de possuir duas camadas de geossintético, mostrou comportamento pior que as de uma camada. Os autores citam como possíveis causas para esse resultado as piores condições de drenagem na seção A e o fato de ela se localizar num ponto de parada das locomotivas, havendo além da carga cíclica cargas de frenagem e de partida nessa localidade.

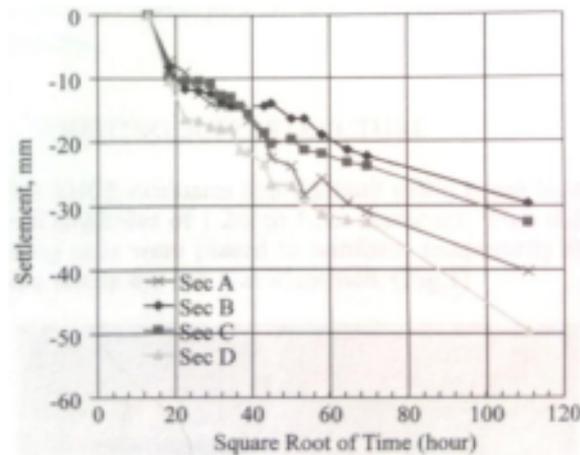


FIGURA 4.7 - Resultados Observados nas Seções Experimentais (KUO, LIN, et al., 2006).

Foi observado também que as seções A, B e C não apresentaram bombeamento de finos do subleito nas camadas subjacentes, enquanto a seção de controle D sofreu bombeamento de argila amarela no lastro durante o período de observação.

4.1.2 Experiência Nacional

Fernandes (2005) construiu sete seções-tipo entre os quilômetros 40+975 e 41+294, do Pátio 5 da Variante Capitão Eduardo, Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), localizado no município de Barão de Cocais/MG. Essa ferrovia possui um intenso tráfego diário, em média duas locomotivas com 160 t e mais 100 vagões com 100 t de minério.

A construção do trecho experimental foi iniciada em outubro de 2002 e foi concluída em junho de 2003, tendo havido várias interrupções devido ao período chuvoso. Os materiais utilizados nas seções são listados na TABELA 4.1 e sua localização na FIGURA 4.8.

As camadas de subleito e sublastro foram construídas com solo granular friável cuja granulometria está entre areia e pedregulho e com magnetismo sempre presente. O Cascalho Laterítico (EL) é uma rocha friável, também com granulometria variando entre areia e pedregulho e teor de minério de ferro variando entre 47% e 57%. A mistura de resíduos da pista utilizada no sublastro é constituída de 50% de solo granular, 25% de cascalho laterítico e 25% de rejeito de minério de ferro, com granulometria entre areia e argila e teor de ferro intermediário. Alguns parâmetros dos solos estudados encontram-se na TABELA 4.2.

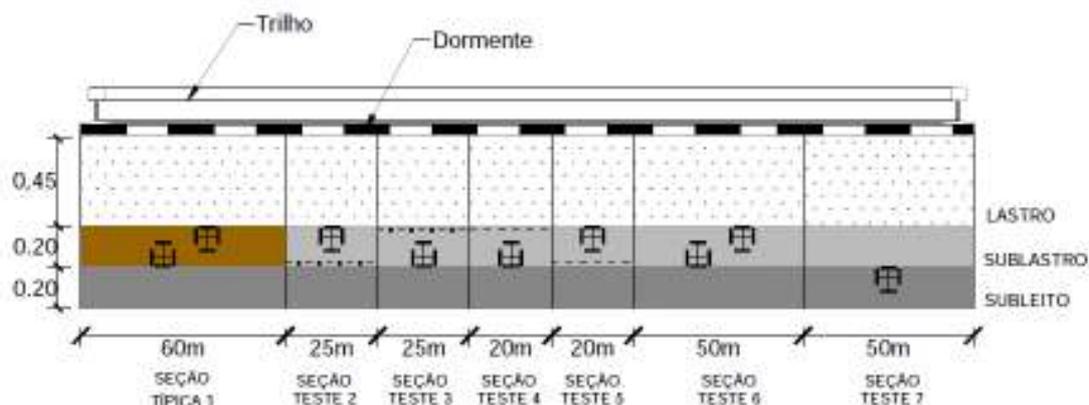


FIGURA 4.8 - Seções-Teste na EFVM (FERNANDES, 2005).

TABELA 4.1 - Características das Seções-Teste (FERNANDES, 2005).

Seção Teste	Material	Sublastro (m)	Localização (estaca)	Geogrelha (posição)	Geotêxtil (posição)
1	Cascalho Laterítico (EL)	4,5 x 0,20 x 60	24/21	-	-
2	Mistura de Resíduos (MP) + Geogrelha	4,5 x 0,20 x 25	17+10/16+5	Fundo da Camada	-
3	Mistura de Resíduos (MP) + Geogrelha	4,5 x 0,20 x 25	16+5/15	Topo da Camada	-
4	Mistura de Resíduos (MP) + Geotêxtil	4,5 x 0,20 x 20	15/14	-	Topo da Camada
5	Mistura de Resíduos (MP) + Geotêxtil	4,5 x 0,20 x 20	14/13	-	Fundo da Camada
6	Mistura de Resíduos (MP)	4,5 x 0,20 x 50	11+10/9	-	-
7	Mistura de Resíduos (MP)	5,5 x 0,20 x 50	10+10/8	-	-

O lastro foi constituído por escória de aciaria resfriada, na forma de agregados grandes e regulares, com aspecto vítreo e poroso e espessura de 45 cm. O geotêxtil utilizado foi um não-tecido de poliéster com gramatura 300 g/m². A geogrelha utilizada foi uma bidirecional de poliéster, com resistência 65 kN/m.

Os Ensaios de campo mostraram que, na avaliação das deformações elásticas, os geossintéticos foram mais eficientes quando colocados na interface subleito-sublastro. Já na avaliação da magnitude das deformações residuais, notou-se uma maior redução das deformações residuais quando o reforço foi colocado entre o lastro e o sublastro.

Nos ensaios com viga Benkelman no subleito e na superestrutura, os melhores resultados foram na seção 3, e nos ensaios do sublastro as menores deflexões ocorreram na seção 2. Nos ensaios de monitoramento dinâmico, considerando o eixo padrão de 300 kN, constatou-se que, para um menor número de passagens do eixo padrão, $N=6,31 \times 10^5$, a seção

1 (EL) apresentou melhor desempenho que a seção 6 (MP). Já a longo prazo, $N=1,40 \times 10^6$, o desempenho delas é semelhante. A inclusão do geossintético, nos dois casos, proporcionou redução nas deformações da mistura de resíduos de minério de ferro, tanto no curto prazo quanto no longo, apresentando uma leve tendência de eficiência com o aumento do número de passagens do eixo-padrão.

TABELA 4.2 - Parâmetros dos Solos Estudados (FERNANDES, 2005).

Amostra	ϕ (°)	c (kPa)
Solo Granular	42,0	0
Rejeito de Ferro	43,7	20
Cascalho Laterítico	37,3	0
Mistura de Pista (MP)	41,8	0
MP+Geotêxtil	33,2	0
MP+Geogrelha	34,6	0
RF+ Geogrelha	30,4	0

4.2 Casos de Obras

4.2.1 Reconstrução de Linha Férrea em Bratislava/ Eslováquia

Os trilhos existentes encontravam-se deteriorados devido ao solo mole abaixo do lastro ferroviário combinado com um alto nível d'água no solo, de modo que a linha férrea em questão não atendia aos padrões de qualidade das demais linhas europeias.

A solução proposta foi a remoção da camada de solo mole e sua reconstrução usando lastro reciclado como sublastro e uma geogrelha de malha triangular. A utilização da geogrelha abaixo do sublastro permitiu que fosse diminuída a profundidade da escavação. Em algumas seções foram usadas duas camadas de geogrelha. A grande abertura da malha da geogrelha escolhida compatível com a granulometria do lastro reciclado possibilitou um bom intertravamento com o agregado e poupou custos de construção ao cliente.

Foi usado também um geotêxtil para separar as camadas de subleito e sublastro, o que também trouxe grandes benefícios, evitando os problemas que poderiam ser trazidos pela granulometria aberta do agregado sobre o solo fino e o elevado nível d'água no solo. A obra foi concluída em 2008 (Tensar International, 2012).

4.2.2 Deutsche Bahn – Cologne/Alemanha

Em um projeto monitorado em Colônia, no ano de 2003, a inclusão de um geocomposto sobre um subleito mole, de módulo 10 Mpa (CBR aproximadamente 1,5%)

permitiu a redução da camada de sublastro em 35 cm, mantendo o módulo de 120 MPa, que corresponde a um CBR de 40%, para a capacidade de suporte do lastro (Tensar Internacional, 2013).

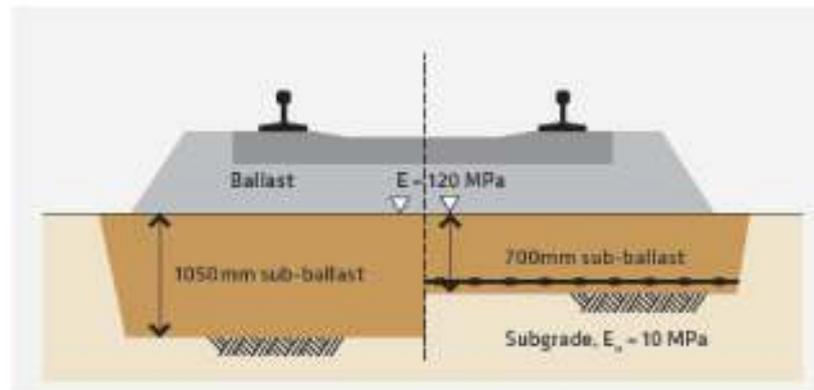


FIGURA 4.9 - Redução na Camada de Sublastro Proporcionada pela Geogrelha (Tensar Internacional, 2013).

4.2.3 Estabilização de Solo para Linha Férrea em Nagykanizsa/Hungria

A manutenção da ferrovia em Nagykanizsa era frequente e cara devido à mistura dos materiais do subleito e da base em sua interface, sendo necessárias manutenções mensais. Em 2000, decidiu-se adotar uma solução permanente para esse problema, sendo proposta a escavação até 10 cm abaixo do lastro, seguida da instalação de uma geogrelha e de um geotêxtil leve diretamente sobre o solo mole e de sua cobertura com a nova camada de lastro.

Após a instalação do novo lastro, medições na ferrovia mostraram reduções significativas nas deformações quando comparadas com a situação antiga. Na FIGURA 4.10 podem ser observados esses resultados (DAS).

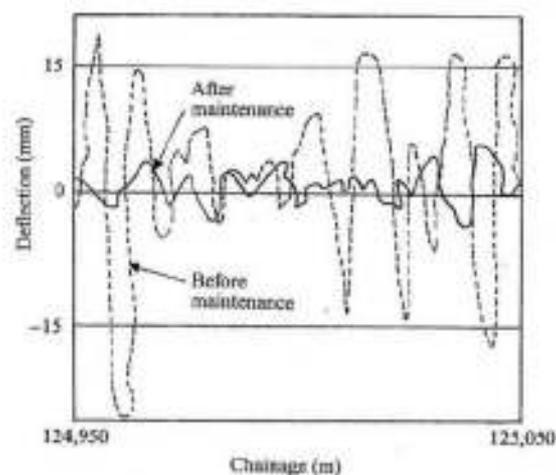


FIGURA 4.10 - Deformações no Lastro Ferroviário Antes e Depois da Solução com Geossintético (DAS).

4.2.4 Trecho Experimental em Porto Alegre/RS

Na região metropolitana de Porto Alegre, o principal sistema de transporte é o trem de superfície operado pela Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S. A. (TRENSURB). O trem liga as cidades Porto Alegre, Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, São Leopoldo e Novo Hamburgo.

Em busca de uma solução para as manutenções frequentes na via ferroviária, Silva, Ramires, et al. (2015) criaram trechos de estudo junto à TRENSURB a fim de avaliar a possível solução com geogrelha. O trecho em estudo possuía cerca de 300 m, subdivididos em três partes: V1, local onde foi aplicada a geogrelha; V2, trecho contaminado sem realização de manutenção; e V3, trecho renovado sem a aplicação de geogrelha.

Os pontos onde ocorre contaminação do lastro pelo subleito são identificados por inspeção visual. Nesses pontos, devido à quantidade excessiva de finos, as pedras do lastro adquirem um tom mais claro. O estágio de contaminação observado na FIGURA 4.11 é considerado muito contaminado:



FIGURA 4.11 - Lastro Contaminado (SILVA, RAMIRES, et al., 2015).

O trecho V1 foi construído a partir da remoção do lastro existente. Aplicou-se então uma camada de 6 cm de lastro novo, instalou-se a geogrelha, e em seguida foi construído o restante da camada, com 22,5 cm, sendo a seção deste trecho mostrada na FIGURA 4.12. O trecho V3 foi reconstruído de forma semelhante, porém sem a inserção da geogrelha. As deflexões foram medidas com a Viga Benkelman, após 6 meses, e podem ser observadas na TABELA 4.3.

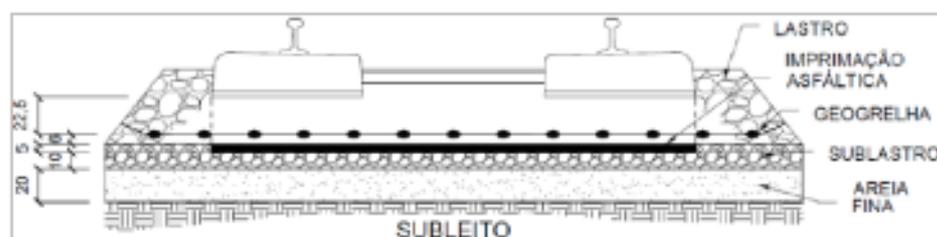


FIGURA 4.12 - Seção do Trecho Experimental V1 (SILVA, RAMIRES, et al., 2015).

TABELA 4.3 - Deflexões Medidas com a Viga Benkelman (SILVA, RAMIRES, et al., 2015).

Trecho	Deflexão Máxima (10^{-2} mm)
V1	207
V2	973
V3	264

Foram realizados também ensaios granulométricos com amostras retiradas no lastro. Nesses ensaios, pôde-se observar que houve uma redução da quebra de partículas de 91% no trecho V1 em relação ao V3. Esse valor demasiadamente alto pode ter sido devido à presença de grande quantidade de partículas lamelares no basalto utilizado no lastro novo, o que também pôde ser constatado nos ensaios granulométricos.

Por fim concluiu-se que a geogrelha trouxe resultados benéficos em relação ao trecho não reforçado, apresentando melhora de 27% em relação às deformações e 91% em relação à quebra de partículas do lastro.

4.2.5 Amtrak's Northeast Corridor - EUA

Zarembski, Palese, et al. (2017) realizaram um trecho experimental na ferrovia Amtrak's North East Corridor, onde havia uma área problemática perto de Oakington Road, Havre de Grace, Maryland, entre Philadelphia e Washington DC. A localização escolhida encontrava-se com alto nível de degradação dos trilhos, com necessidade recorrente de manutenção, e tinha problemas com bombeamento de finos.

A ferrovia possuía 3 faixas, sendo a faixa 3, central, a mais deteriorada, seguida da faixa 2. Na faixa 2 circulavam trens de passageiros em alta velocidade (200 km/h) com 20 a 25 milhões de toneladas brutas de tráfego anualmente. A Amtrak resolveu restaurar aproximadamente 720 m da faixa 2 em setembro de 2015. Foram instaladas geocélulas em 240 m da zona central, tendo sido a faixa 2 reconstruída 45 cm abaixo e 45 cm mais distante da faixa 3 que a via original, como pode ser observado na FIGURA 4.13.

Na FIGURA 4.13 pode-se observar a seção executada: 15 pol (40 cm) de lastro AREMA n°3, acima das geocélulas. Abaixo do lastro e diretamente acima das geocélulas há 3 pol (75 mm) de sublastro AASHTO n° 57, seguido das geocélulas com 6 pol (150 mm) preenchidas com o mesmo material, e abaixo destas uma camada adicional de 5 pol (125 mm) de base granular (Penn DOT 2A) sobre uma geogrelha biaxial, utilizada para permitir a operação dos equipamentos pesados. Foram inseridas células de medição abaixo da camada de geocélulas, sendo os dados obtidos até 10 meses após a reconstrução do trecho.

A FIGURA 4.14 e a FIGURA 4.15 mostram a localização das células de aquisição de dados. As células 2 e 4 encontram-se na região na qual foram instaladas as geocélulas, e as células 1 e 3 na região de controle.

A FIGURA 4.16 mostra as pressões medidas imediatamente após a construção da faixa 2, para a passagem de um trem. Nela pode-se observar que as pressões que chegam ao subleito no trecho reforçado são aproximadamente metade das que chegam no trecho não-reforçado.

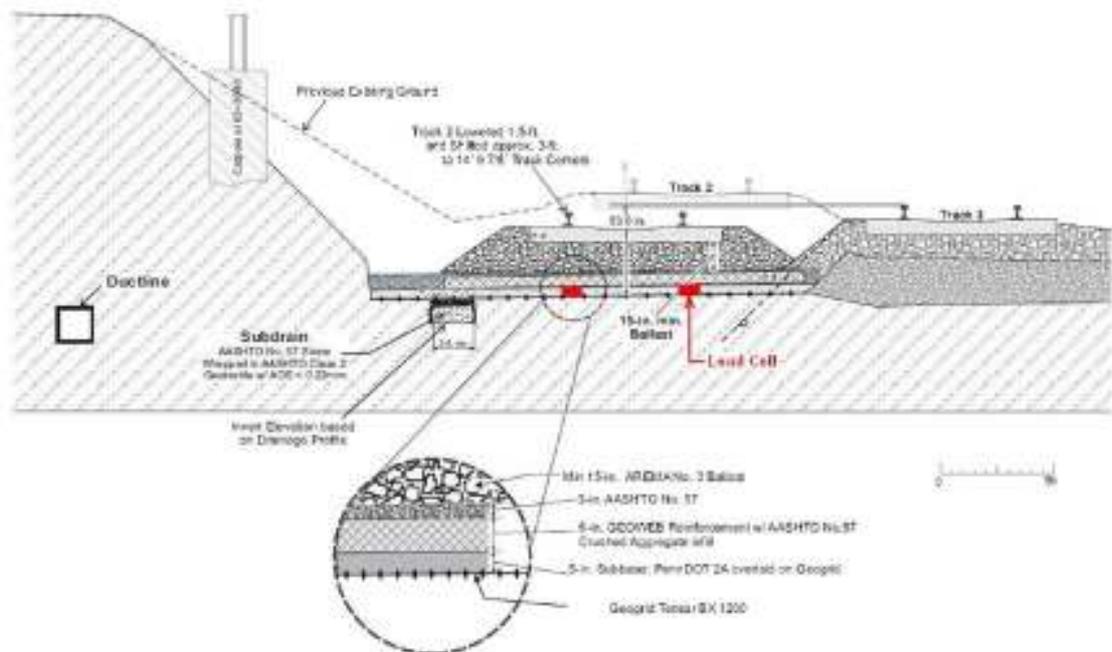


FIGURA 4.13 - Reconstrução da Faixa 2 do Amtrak's Northeast Corridor (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).

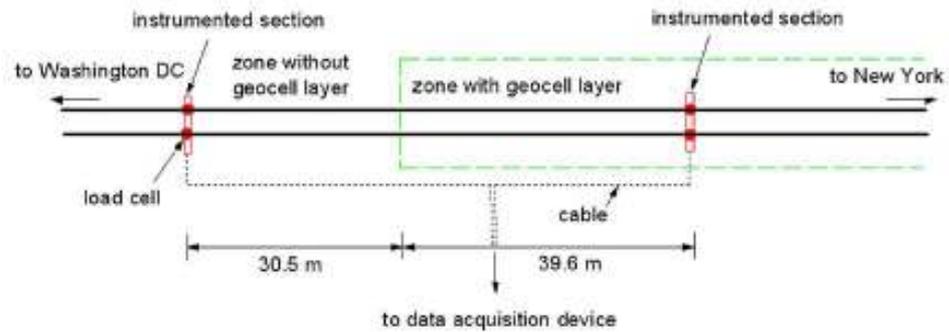


FIGURA 4.14 - Zona de Aquisição de Dados (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).

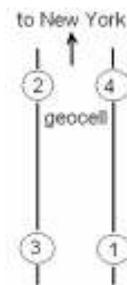


FIGURA 4.15 - Células de Aquisição de Dados (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).

A FIGURA 4.17 mostra as medidas feitas diariamente, semanalmente e mensalmente para trens do tipo Acela e Regionais durante um período de 7 meses após a instalação das geocélulas. As medições para cada trem são levemente diferentes devido à variação do peso e velocidade dos vagões. Nota-se que essas medições foram coerentes com os valores obtidos na análise anterior, na FIGURA 4.16.

Nesse estudo foi também monitorada, mensalmente, a degradação da geometria dos trilhos, por meio do índice TQI (Track Quality Index), e constatou-se que a inclusão das geocélulas diminuiu a taxa de degradação por um fator de 6,7 vezes, ratificando o efeito benéfico do geossintético para a linha ferroviária.

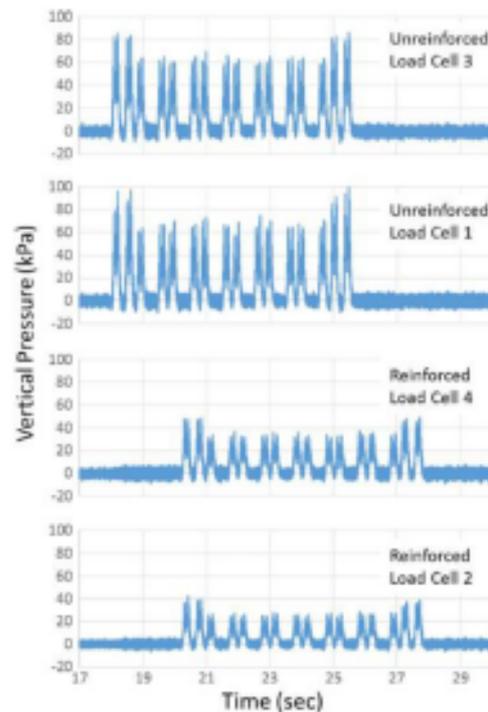


FIGURA 4.16 - Pressão no Subleito após Passagem de um Trem (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).

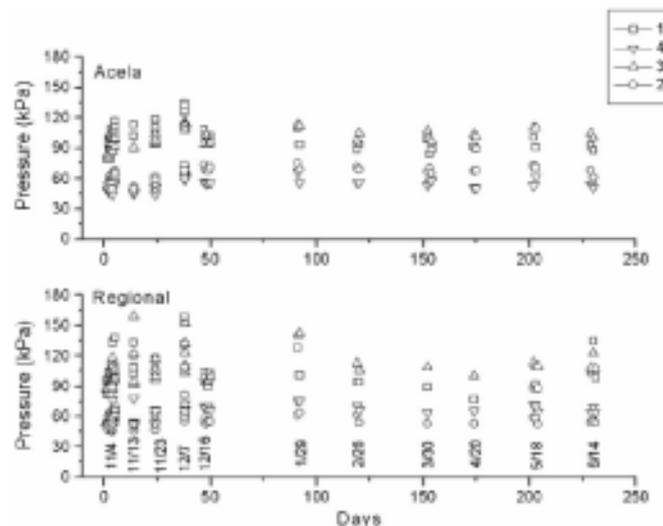


FIGURA 4.17 - Pressões Medidas no Subleito Durante 7 Meses (ZAREMBSKI, PALESE, et al., 2017).

4.2.6 Redução dos Custos de Manutenção em Lastro na Rússia

Granski (2016) relata que uma empresa nova de geossintéticos, a Infratech, foi contratada para renovar as seções problemáticas em mais de 1200 km de vias ferroviárias na Rússia ao longo de 6 anos, de 2010 a 2015. Na maioria dos casos, a camada antiga tinha de ser removida e era aplicada uma solução com geotêxtil e uma camada de geocélulas diretamente sobre ele, preenchidas com o material do lastro.

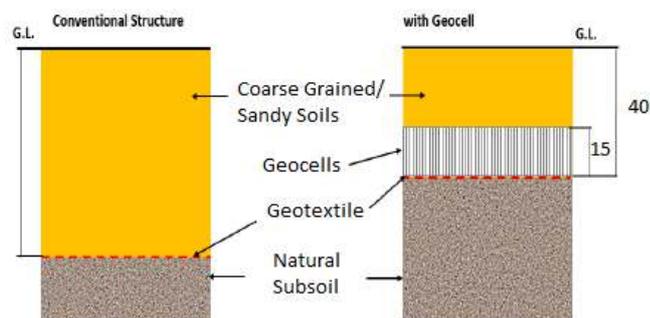
Diversos benefícios puderam ser observados nesses projetos. Nos projetos da Moscow Railway e North Caucasus Railway, por exemplo, a economia de material granular e de recursos financeiros foi notável, como pode ser observado na FIGURA 4.18. Os custos com manutenção até dois anos após a reconstrução, em 2013, também foram reduzidos, em até 4,6 vezes, comparados aos custos de trechos sem reforço e em regiões próximas (mesmas características do solo e do clima), como pode ser constatado a partir dos dados da TABELA 4.4. O tempo de manutenção foi reduzido em até cinco vezes, diminuindo o tempo em que a linha precisava ser fechada.

Reduction of Construction Cost

Example: Moscow Railway

Cost per Km of Sub-ballast layer

Item	Conventional	Reinforced	
Earth work	3,588,000 P	2,208,000 P	22%
Sub-ballast Material	2,418,000 P	1,488,000 P	15%
Transportation	7,090,200 P	4,363,200 P	44%
Geosynthetics		1,959,420 P	20%
Total	13,096,200 P	10,018,620 P	
Total in USD	\$209,539	\$160,298	
Cost Reduction			23%



Example: North Caucasus Railway

Cost per Km of Sub-ballast layer

Item	Conventional	Reinforced	
Earth work	2,208,000 P	1,104,000 P	21%
Sub-ballast Material	1,488,000 P	744,000 P	14%
Transportation	2,889,600 P	1,444,800 P	28%
Geosynthetics		1,959,420 P	37%
Total	6,585,600 P	5,252,220 P	
Total in USD	\$105,370	\$84,036	
Cost Reduction			20%

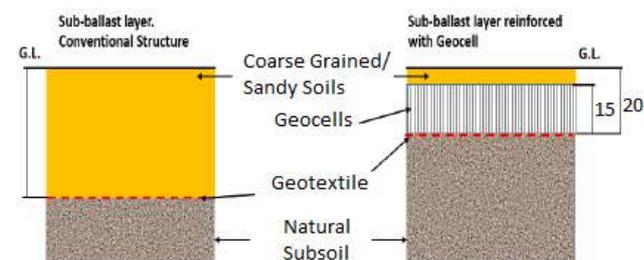


FIGURA 4.18 - Redução de Custos com a Inclusão dos Geossintéticos (GRANSKI, 2016).

TABELA 4.4 - Comparativo de Custos e Tempo de Manutenção das Seções Reforçadas (GRANSKI, 2016)

Seção		Ano de Reconstrução	Horas de Manutenção	Gastos (RUR/km)
North-Caucasian Railway				
Reforçada	Kian-Kursavka	2012	41	21,576
Sem Reforço	Bogoslovckaya-Nevinnomyskaya	2012	206	98,890
Moscow Railway				
Reforçada	Orel-Zmievka	2012	49	8,996
Sem Reforço	Orel-Zmievka	2011	193	35,792

South Ural Railway		2012		
Reforçada	Kumatskaya-Novooorsk	2012	36	10,100
Sem Reforço	Kumatskaya-б.п. 337 км	2012	153	39,851

Outro benefício trazido foi o aumento da velocidade na via: Trens de carga aumentaram de 80 km/h para 100 km/h e trens de passageiros de 100km/h para 160 km/h. A quantidade de carga suportada por eixo foi aumentada de 23 t para 27 t, aumento de 17%, e o deslocamento horizontal e vertical dos trilhos devido ao tráfego (fault) foram reduzidos à metade, como pode ser observado na FIGURA 4.19.

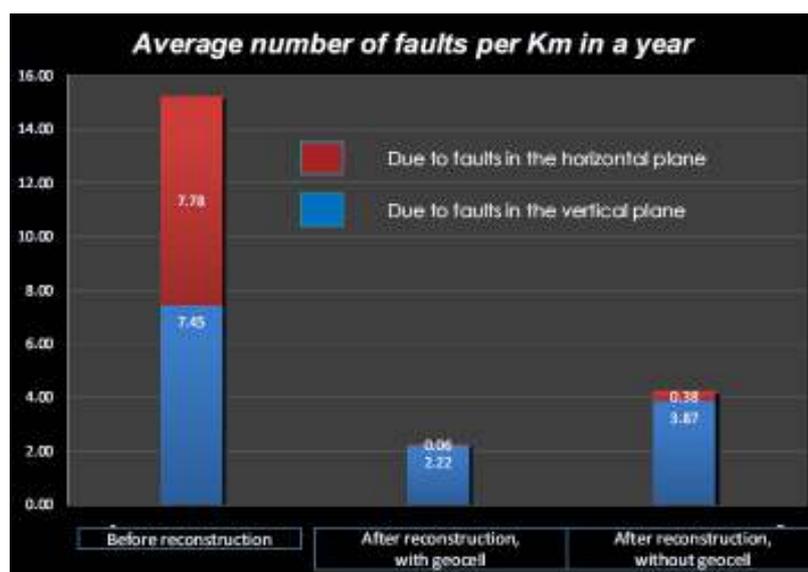


FIGURA 4.19 - Número de Deslocamentos por km em um Ano (GRANSKI, 2016).

4.3 Análise

Diante da revisão bibliográfica e dos casos de obras apresentados, percebe-se grandes benefícios advindos da inclusão de geossintéticos como reforço em obras ferroviárias. O ganho é maior quando há uma combinação das funções separação e reforço, o que além de poupar vários centímetros de material granular na construção da ferrovia, diminui a necessidade de manutenção, poupando os gastos com a manutenção em si e evitando que a ferrovia precise ser fechada muitas vezes, o que representa também um ganho econômico.

A drenagem é um aspecto muito importante, não apenas em ferrovias, mas em qualquer obra de pavimentação, e pode comprometer a vida útil do pavimento se não for feita adequadamente, como no exemplo de (KUO, LIN, et al., 2006) em 4.1.1, no qual mesmo com

a presença de duas camadas de geogrelha a seção apresentou resultados piores que os das seções com apenas uma camada.

A localização do geossintético influencia na resposta do pavimento, sendo a posição que melhor distribui as tensões antes que cheguem ao subleito quando o reforço é colocado diretamente sobre o subleito.

As geocélulas ainda são pouco exploradas na área de reforço de lastro, mas experiências no exterior apontam seu excelente resultado como reforço, especialmente quando usadas em conjunto com um geotêxtil. Sua vantagem sobre as geogrelhas é que, além dos mecanismos de efeito membrana e confinamento lateral mais expressivo, observa-se nas células preenchidas por solo o efeito laje.

O uso de geossintéticos na construção de ferrovias, ao contrário dos outros dois segmentos estudados neste trabalho, ainda é pouco explorado no Brasil, apesar de seu uso frequente no exterior e diversos benefícios alcançados. Parte disso pode ser explicado pela existência de um número bem menor de obras envolvendo ferrovias em comparação à quantidade de obras em pavimentos rodoviários, uma vez que obras ferroviárias geralmente possuem maior porte.

5. Conclusão

Diante de todos os ensaios e casos de obras apresentados neste trabalho, conclui-se que os geossintéticos são alternativas que, a longo prazo, se mostram bastante eficientes na redução dos custos de manutenção, são de fácil instalação e podem reduzir também o tempo de execução da obra.

No caso dos pavimentos reabilitados o principal ganho trazido pela inclusão do geossintético é a redução da necessidade de manutenção. No caso dos pavimentos novos rodoviários e pavimentos ferroviários, o geossintético, além de reduzir a necessidade constante de manutenção, por sua facilidade construtiva permite que a obra seja terminada dentro do prazo e, ao poupar vários centímetros ou até mesmo camadas de material de reforço, reduz os gastos com transporte, chegando a viabilizar projetos que de outro modo seriam inviáveis. Em casos onde há a limitação da cota final da estrada, também é uma alternativa bastante vantajosa, e possibilita que sejam atendidas as exigências de projeto.

É necessário porém atentar-se ao dimensionamento e aos outros aspectos do pavimento, como drenagem e capacidade de suporte adequada no subleito, pois do contrário os materiais aqui estudados não conseguirão desempenhar sua função adequadamente e apresentarão resultados semelhantes aos dos métodos convencionais.

Os geossintéticos podem desempenhar várias funções, mas observa-se que quando essas funções são combinadas, utilizando-se uma geogrelha ou geocélula juntamente com um geotêxtil ou quando se usa um geocomposto, o resultado obtido é superior. Em pavimentos, geralmente, utilizam-se as funções separação combinada com reforço e sistema anti-reflexão de trincas combinada com impermeabilização. É essencial também, no caso da função reforço, que a granulometria do agregado utilizado seja compatível com a abertura de malha da geogrelha ou das geocélulas.

Existe alguma experiência no Brasil com geossintéticos, apesar de ser pequena comparada a outros países, em especial da Europa, e essa aplicação tende a crescer, devido aos muitos benefícios apresentados. Sobretudo na parte de pavimentos ferroviários, foram encontrados poucos casos de obras brasileiras que empregassem esse tipo de material.

Referências

ANTUNES, L. G. D. S. E. **Reforço de Pavimentos Rodoviários com Geossintéticos**. Brasília: Universidade de Brasília, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10318: Geossintéticos - Termos e definições**. Rio de Janeiro. 2013.

AVESANI NETO, J. O. Desenvolvimento de uma Metodologia de Cálculo e Simulações Numéricas Aplicadas na Melhoria da Capacidade de Carga de Solos Reforçados com Geocélula, São Carlos, 2013.

BASTOS, G. A. Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Reforçadas com Geogrelhas para Pavimentos Flexíveis. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2010.

BÜHLER, A. **Estudo do Efeito de Grelhas de Reforço na Restauração de Pavimentos**. São José dos Campos - SP - Brasil: ITA, 2007.

CENTURIÓN, A.; VILELA, A. A.; MARQUINA, M. R. Uso de geogrelhas para a redução da espessura de pavimento e melhoramento de subleito em solos de baixa capacidade de suporte na rodovia Iquitos - Nauta, 2012.

CHRISTOPHER, B. R.; SCHWARZ, L. G. Performance of Geogrids Overlying Geotextiles in Roadway Stabilization. **9th International Conference on Geosynthetics**, Guarujá/Brazil, 3, 2010.

COMITÊ Brasileiro de Geossintéticos. **Construção de Vias de Acesso aos Poços de Petróleo e Gás – Petrobrás**. Disponível em: <<http://www.geossinteticos.org.br/obra22.html>>. Acesso em: 2017 setembro 06.

CORREIA, N. S. et al. Geosynthetics on Asphalt Wearing Surfaces for Timber Bridge Decks. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, 2013.

DAS, B. M. Use of Geogrid in Subgrade-Ballast System of Railroads Subjected to Cyclic Loading for Reducing Maintenance, Sacramento/USA.

EUROPEAN Association of Geosynthetic product Manufacturers. Disponível em: <<https://www.eagm.eu/reinforcing-the-shipping-industry-of-mersin/>>. Acesso em: 01 setembro 2017.

FERNANDES, G. **Comportamento de Estruturas de Pavimentos Ferroviários com Utilização de Solos Finos e/ou Resíduos de Mineração de Ferro Associados a Geossintéticos**. Brasília: Universidade de Brasília, 2005.

FERREIRA, C. J. **Avaliação Estrutural de Pavimento Experimental Reforçado com Geogrelha**. São José dos Campos - SP - Brasil: ITA, 2008.

FERRETI, P. C. B.; LIMA, L. L. D.; SANTOS JÚNIOR, P. J. D. **Geocomposto para Reforço Utilizado em Aterro de Conquista**, 2012.

FILGUEIRA, A. R.. **Análise Técnica e Econômica da Aplicação de Geocélulas para Reforço de Fundações Diretas: Estudo de Caso, Natal/RN**, 2016.

FRITZEN, M. A. **Avaliação de Soluções de Reforço de Pavimento Asfáltico com Simulador de Tráfego na Rodovia Rio Teresópolis**. Rio de Janeiro - RJ - Brasil: COPPE/UFRJ M. Sc., 2005.

GARCEZ, G. L. **Aplicação de Geossintéticos como Reforço de Base em Obras Viárias**. São José dos Campos/SP: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1999.

GEMBUS, F. L.; THOMSON, G.; CARMO, C. A. T. D. **Concrete Pavement Rehabilitation by Using a High Modulus Polyester Grid as Asphalt Reinforcement**. **8th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements**, julho 2016. 152.

GRANSKI, M. **Geosynthetics/Geocell for Rail Network – Case Studie**. **2nd Global Geosynthetics Summit**, New Delhi, 2016.

HUESKER LTDA. Huesker Report. **Reforço de Plataforma de Trabalho - Eixo viário do novo acesso de Rio das Ostras**, 2008. Disponível em: <https://www.huesker.com.br/fileadmin/Media/Reports/PT/JR_HaTe-Rio-d-Ostras_BR.pdf>. Acesso em: 11 outubro 2017.

HUESKER LTDA. Huesker Report. **Reforço de Base de Pavimento - Rodoanel Mário Covas – São Paulo/SP**, 2009. Disponível em: <https://www.huesker.com.br/fileadmin/Media/Reports/PT/JR_Fornit-Sao-Paulo_BR.pdf>. Acesso em: 10 outubro 2017.

HUESKER LTDA. Huesker Report. **Reforço de Base de Pavimento - Via Sudoeste - Viana/ES**, 2012. Disponível em: <https://www.huesker.com.br/fileadmin/Media/Reports/PT/JR_Fornit-Viana_BR.pdf>. Acesso em: 10 outubro 2017.

HUESKER LTDA. Huesker Report. **Reforço de Base de Piso Industrial - Centro de Distribuição Translovato - São José dos Pinhais /PR**, 2013. Disponível em:

<https://www.huesker.com.br/fileadmin/Media/Reports/PT/JR_Fornit-S-Jose-d-Pinhais_BR.pdf>. Acesso em: 11 outubro 2017.

HUESKER LTDA. **Basetrac**: Refuerzo de Base - simplificado por Huesker, 2017. Disponível em: <https://www.huesker.com.br/fileadmin/Media/Brochures/ES/SB-PB_Basetrac_ES.pdf>. Acesso em: 15 outubro 2017.

HUESKER SYNTHETIC GMBH. **International Airport, Tunis-Carthage**, 2013. Disponível em: <https://www.huesker.com.br/fileadmin/Media/Reports/EN/JR_R_P_Asphalt_Reinforcement_Rehabilitaion_of_Concrete_Pavements-HaTelit-Tunis.pdf>. Acesso em: 16 junho 2017.

HUESKER SYNTHETIC GMBH. **Road Rehabilitation of the "Corso Giovanni Agnelli" in Torino, Italy**, 2014. Disponível em: <https://www.huesker.com.br/fileadmin/Media/Reports/EN/JR_R_P_Asphalt_Reinforcement_Rehabilitation_of_Concrete_Pavements_HaTelit-Turin_IT.pdf>. Acesso em: 15 junho 2017.

HUESKER SYNTHETIC GMBH. **Product Overview**: Obras de Terra e Fundações, Estradas e Pavimentos, Engenharia Ambiental, Engenharia Hidráulica, Mineração, 2017. Disponível em: <https://www.huesker.com.br/fileadmin/Media/Brochures/PT/Product_Overview_Geosynthetics_GB.pdf>. Acesso em: 17 out. 17.

HUFENUS, R. et al. **Proceedings of the Third European Geosynthetics Conference**. Reinforcing Foundation Layers on Soft Subgrade. Munich/Germany: IGS. 2004.

INDRARATNA, B.; SALIM, W.; RUJIKIATKAMJORN, C. **Advanced Rail Geotechnology - Ballasted Track**. London, UK: CRC Press, 2011.

JENNER, C. G. J.; UIJTING, B. G. J. Asphalt Reinforcement for the Prevention of Cracking in Various Types of Pavements: Long Term Performance and Overlay Design Procedure. In: PETIT, C.; AL-QADI, I. L.; MILLIEN, A. **Proceedings of the Fifth International RILEM Conference**. Limoges, France: RILEM Publications, 2004. p. 459-466.

KUO, C. et al. Geosynthetics Applications for Heavy Load Railway Mitigation. **8th International Conference on Geosynthetics**, Yokohama/Japan, 3, 2006.

LAGES, G. **Aplicação de Métodos Convencionais no Dimensionamento de Pavimentos com Base Reforçada Utilizando Geossintéticos**. São José dos Campos/SP: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2004.

MONTESTRUQUE, E. **Contribuição para a Elaboração de Método de Projeto de Restauração de Pavimentos Asfálticos Utilizando Geossintéticos em Sistemas Anti-**

Reflexão de Trincas. São José dos Campos/SP - Brasil: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2002.

MONTESTRUQUE, E. G.; RABAÇA, S. R.; MONDOLFO, M. **34ª Reunião Anual de Pavimentação.** Aplicação de Geogrelha como Sistema Antirreflexão de Trincas na Implantação de Trecho do Anel Viário de Campinas. [S.l.]: [s.n.]. 2003.

MONTESTRUQUE, G.; RUIZ, E. F.; CARMO, A. T. D. **43ª Reunião Anual de Pavimentação e 17º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária.** Restauração de Pavimentos Aeroportuários Sul-americanos com Geogrelha de Poliéster. Maceió: [s.n.]. 2014.

NABAIS, R. J. D. S. **Manual Básico de Engenharia Rodoviária.** São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2014.

RODRIGUES, M. **Estudo do Trincamento de Pavimentos.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1991.

RODRIGUES, R. M. **Engenharia de Pavimentos.** São José dos Campos - SP - Brasil: ITA - Divisão de Engenharia Civil-Aeronáutica, 2015.

RUIZ, E. F. et al. **44ª Reunião Anual de Pavimentação e 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária.** Utilização de Geogrelha de Poliéster na Restauração da Pista Auxiliar de Pouso e Decolagem do Aeroporto de Congonhas. Foz do Iguaçu/ PR: [s.n.]. 2015.

SILVA, F. H. P. D. et al. Aplicação de Geogrelha no Controle da Contaminação do Lastro Ferroviário. **44ª Reunião Anual de Pavimentação e 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária,** Foz do Iguaçu/PR, 2015.

TENSAR Internacional. **Railways: Mechanical Stabilisation of Track Ballast and Sub-ballast,** Março 2013. Disponível em: <<http://pdf.archiexpo.com/pdf/tensar-international/tensar-railways/63203-51394.html>>. Acesso em: 17 setembro 2017.

TENSAR International. **Railway Line Reconstruction Bratislava, Slovakia.,** 2012. Disponível em: <<http://www.tensarinternational.com/Projects/Railway-Line-Reconstruction-T>>. Acesso em: 17 setembro 13.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Use of geogrids in pavement construction.** Washington D. C.: [s.n.], 2003.

VERTEMATTI, J. C.; AGUIAR, P. R. D. Introdução. In: VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos.** São Paulo - SP - Brasil: Edgard Blücher Ltda., 2015. p. 17-30.

WATTS, G. R. A.; BLACKMAN, D. I.; JENNER, C. G. **Proceedings of the Third European Geosynthetics Conference.** The Performance of Reinforced Unpaved Sub-bases Subjected to Traffincking. Munich/Germany: IGS. 2004.

ZAREMBSKI, A. M. et al. Application of Geocell Track Substructure Support System to Correct Surface Degradation Problems Under High-Speed Passenger Railroad Operations, 2017.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">20 de novembro de 2017</p>	3. REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/TC-075/2017</p>	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">79</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: <p>Aplicações de geossintéticos em pavimentação.</p>			
6. AUTOR(ES): <p>Anna Sarah Vasconcelos Fava</p>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): <p>Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA</p>			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: <p>1. Geossintéticos 2. Pavimentação 3. Sistema Antirreflexão de Trincas 4. Reforço de Base 5. Reforço de Lastro.</p>			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: <p>Pavimentação; Propagação de trincas; Geossintéticos; Infraestrutura (transporte); Engenharia civil.</p>			
10. APRESENTAÇÃO: <p style="text-align: right;">X Nacional Internacional</p> <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Dr. Régis Martins Rodrigues. Publicado em 2017.</p>			
11. RESUMO: <p>O pavimento é o componente de maior custo dentro da infraestrutura de transportes de uma rede rodoviária ou urbana. É necessário, portanto, que tais obras sejam o mais econômicas e sustentáveis possível, exigência que pode ser alcançada pela inclusão de geossintéticos no projeto. Este trabalho visa estudar o uso de geossintéticos em pavimentação, reunindo casos de obras no país e indicando os usos mais eficazes desses materiais, abordando três aspectos principais: Pavimentos Reabilitados, Reforço de Lastro Ferroviário e Reforço de Base de Pavimentos Novos. São apresentados os mecanismos teóricos de acordo com os quais cada material trabalha, seguidos de alguns ensaios em laboratório e ensaios em escala real, e por fim casos de obras contemplando os conceitos discutidos, quando possível, com análise dos resultados, problemas e benefícios gerados pela inclusão do geossintético. Diante de todos os ensaios e casos de obras apresentados neste trabalho, verifica-se que os geossintéticos são alternativas que, a longo prazo, se mostram bastante eficientes na redução dos custos de manutenção, são de fácil instalação e podem reduzir também o tempo de execução da obra. Existe experiência no Brasil com geossintéticos, apesar de ser pequena comparada a outros países, em especial da Europa, e essas aplicações tendem a crescer, devido aos muitos benefícios apresentados.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;">(X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO</p>			