



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

EMANOEL ALBUQUERQUE DOS SANTOS

**ESTABELECIMENTO DE PROCEDIMENTO PARA
INVESTIGAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS
APLICADOS NA RESTAURAÇÃO DE REVESTIMENTOS
ASFÁLTICOS**

**NATAL-RN
2022**

Emanoel Albuquerque dos Santos

Estabelecimento de procedimento para investigação da degradação de geossintéticos aplicados na restauração de revestimentos asfálticos

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos da disciplina Metodologia Científica e Tecnológica para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes
de Franca

Natal-RN
2022

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Santos, Emanuel Albuquerque dos.

Estabelecimento de procedimento para investigação da degradação de geossintéticos aplicados na restauração de revestimentos asfálticos / Emanuel Albuquerque dos Santos. - 2022.

23 f.: il.

Artigo Científico (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Natal, RN, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França.

1. Engenharia civil - Artigo Científico. 2. Degradação - Artigo Científico. 3. Geossintéticos - Artigo Científico. 4. Restauração de vias - Artigo Científico. 5. Procedimento metodológico - Artigo Científico. I. França, Fagner Alexandre Nunes de. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624

Emanoel Albuquerque dos Santos

Estabelecimento de procedimento para investigação da degradação de geossintéticos aplicados na restauração de revestimentos asfálticos

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 14 de Fevereiro de 2022

Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de Franca – Orientador

Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Junior – Examinador interno

Eng. Me. Italo Andrade Vasconcelos – Examinador externo

Natal-RN

2022

Agradecimentos

A Deus, que em toda a minha vida me guiou pelos caminhos que me levaram até onde cheguei, me dando saúde física, mental e espiritual, e me fazendo uma pessoa cada vez melhor para mim, e para os que me rodeiam.

A minha mãe, Maria Ozelita Albuquerque dos Santos, que do céu está intercedendo por mim, que em vida sempre me incentivou a estudar e que está e estará para sempre em meu coração

A meu pai, Manoel Vieira dos Santos, que tanto se sacrificou para que eu pudesse chegar neste momento.

A minha tia, Maria da Conceição Albuquerque dos Santos, que na ausência da minha mãe, se tornou de fato uma mãe para mim e tanto se esforçou para minha criação.

A meus irmãos e minha família, que seguraram a barra da minha formação, me escutando me ajudando, me orientando e principalmente rezando pelo meu sucesso.

A minha noiva, Lidérica Taveira da Silva, que me deu uma base emocional, me deu força nos momentos mais difíceis e que através do seu exemplo me fez almejar alcançar grandes coisas.

A meu orientador, o Fagner Alexandre Nunes de França, pela paciência, pelos conhecimentos e pelos ensinamentos, neste período de pesquisa e por ser um exemplo de pai, de mestre e de ser humano.

As amigas, Micheline Mello e Leticia Didier que estiveram comigo durante uma parte desta pesquisa e foram de grande ajuda na elaboração deste trabalho.

Aos amigos Paulo Wagner, Patrícia, Emanuel e Paulo Mariano, que seguiram comigo neste curso, enfrentando muitas dificuldades juntos e nutrindo uma amizade que quero levar para a vida.

Estabelecimento de procedimento para investigação da degradação de geossintéticos aplicados na restauração de revestimentos asfálticos

Emanoel Albuquerque dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de Franca

RESUMO:

O modal rodoviário é o responsável pela maior parte do transporte de cargas e passageiros no Brasil, e as estradas nacionais são pavimentadas em sua maioria com pavimento flexível, principalmente o asfalto. Entretanto, por motivos políticos e econômicos, atualmente essas estradas apresentam um elevado número de patologias, muitas delas podendo ser resolvidas através da restauração do pavimento. Com o intuito de melhorar a eficiência do processo de restauração foram pensados em meios de prolongar a vida útil dos serviços de restauração, assim os geossintéticos passaram a ser incorporados nesse tipo de serviço e se mostraram muitos eficazes para este fim. Apesar disso, se tratando de materiais poliméricos, os geossintéticos sofrem inúmeros ataques térmicos e físicos, que podem alterar suas características, como por exemplo, reduzindo a resistência mecânica e deformando sua estrutura, diminuindo assim sua eficiência, podem alterar suas características de modo a diminuir sua eficiência. Assim este trabalho tem o objetivo de propor uma metodologia de pesquisa com o intuito de dar base para que possa ser estudada, de forma experimental, a degradação térmica e física dos geossintéticos quando utilizados em obras de restauração de pavimentos flexíveis. A metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho se baseou na análise de trabalhos que se propuseram a fazer experimentos para analisar a degradação dos geossintéticos em obras de pavimentação. Analisando diferentes trabalhos puderam ser feitas análises críticas da metodologia empregada pelos pesquisadores e compilando as informações pode-se chegar a uma metodologia viável, computável e facilmente replicável para se fazer estudos de diferentes tipos de geossintéticos em diferentes tipos de ambientes.

Palavras-chave: Degradação; Geossintéticos; Restauração de vias; Procedimento metodológico.

Establishment of a procedure for investigating the degradation of geosynthetics applied in the restoration of asphalt coatings.

Emanoel Albuquerque dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de Franca

ABSTRACT:

The road modal is responsible for most of the transport of cargo and passengers in Brazil, and national roads are mostly paved with flexible pavement, mainly asphalt. However, for political and economic reasons, these roads currently have a high number of pathologies, many of which can be resolved through pavement restoration. In order to improve the efficiency of the restoration process, ways to prolong the useful life of restoration services were thought of, so geosynthetics began to be incorporated into this type of service and proved to be very effective for this purpose. Despite this, in the case of polymeric materials, geosynthetics suffer numerous thermal and physical attacks, which somehow can change their characteristics in order to reduce their efficiency, in this way this work aims to propose a research methodology with the aim of to provide a basis for studying, in a practical way, the thermal and physical degradation of geosynthetics when used in works to restore flexible pavements. The methodology used for the elaboration of this work was based on the analysis of works that proposed to carry out experiments to analyze the degradation of geosynthetics in paving works. Analyzing different works, critical analyzes of the methodology used by the researchers could be made and, by compiling the information, one can reach a viable, computable and easily replicable methodology to carry out studies of different types of geosynthetics in different types of environments.

Keywords: Degradation; Geosynthetics; Restoration Of Roads; Methodological Procedure.

SUMÁRIO

CAPÍTULO	PÁGINA
1 Introdução	9
2 Justificativa	10
3 Objetivo	10
4 Fundamentação Teórica	10
4.1 Pavimentos	10
4.2 Restauração	11
4.3 Geossintéticos	12
4.3.1 Funções dos Geossintéticos	13
4.3.2 Materiais Constituintes dos Geossintéticos	13
4.3.3 Principais Tipos	14
4.3.3.1 Geotêxteis Não Tecidos	14
4.3.3.2 Geogrelhas	14
4.4 Degradação dos Geossintéticos	15
5 Metodologia	15
6 Desenvolvimento	16
6.1 Análise das metodologias escolhidas	16
6.2 Metodologia Proposta	17
6.3 Geossintéticos	18
6.4 Concreto Asfáltico (CA)	19
6.5 Procedimento Experimental	19
6.5.1 Preparação das amostras	19
6.5.2 Preparação do local de instalação	19
6.5.3 Instalação	20

6.5.4	Exumação	20
6.5.5	Preparação das amostras para encaminhar ao laboratório	20
6.6	Determinação da taxa de resfriamento do CA	21
6.7	Simulação da degradação em laboratório	21
6.8	Análise visual das amostras	21
6.9	Ensaio de tração uniaxial	22
6.10	Compilação e análise de dados	22
7	Considerações Finais	22
	Referências	23

1- Introdução:

No Brasil existe uma dependência muito grande do modal rodoviário, entretanto conforme pesquisa realizada em 2019 pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT), 35,0% dos pavimentos em rodovias federais e estaduais pavimentadas estão em estado regular, 13,7% estão em estado ruim e 3,7% estão em estado péssimo, isto faz com que o Brasil ocupe a 93ª posição entre 141 países no ranking de competitividade global de rodovias, e quando considerado apenas a variável da qualidade de vias o país ocupa a posição 116 (CNT, 2019).

Vendo esses dados dar-se a entender que 52,4% das rodovias pavimentadas no Brasil necessitam de recuperação, sendo assim, Ante (2016) menciona que a recuperação das condições estruturais e funcionais de um pavimento é necessária para manter ou elevar os níveis de desempenho da rodovia.

Os principais problemas nas rodovias pavimentadas estaduais e federais brasileiras são o desgaste de superfície e o aparecimento de trincas em malha/remendos (CNT, 2019). Segundo Correia (2014), uma das técnicas mais bem sucedidas para a redução de falhas prematuras nos pavimentos flexíveis é a incorporação de geossintéticos na estrutura dos pavimentos.

Soluções técnicas que utilizam geossintéticos em serviços de recapeamento asfáltico se apresentam com uma abordagem inovadora para a minimização de incidência de trincas por fadiga ou reflexão. Os geossintéticos nestes casos agem minimizando, redirecionando ou interceptando as trincas que aparecem na superfície do pavimento (ANTE, 2016).

Porém durante o armazenamento, transporte, manuseio e instalação, os geossintéticos podem sofrer danos que transformem sua estrutura, comprometendo o desempenho das funções para as quais foi empregado, como por exemplo a diminuição da resistência mecânica (GALVÃO, 2012).

Ante (2016) elenca dois fatores que podem comprometer o desempenho dos geossintéticos em obras de pavimentação. O primeiro é a degradação mecânica devido ao processo de instalação, espalhamento e compactação da mistura asfáltica. Já o segundo refere-se a degradação térmica, devido a temperatura da mistura asfáltica que, para garantir a viscosidade do concreto asfáltico, geralmente está compreendida entre 100°C e 165°C.

Altas temperaturas durante o processo construtivo comprometem o comportamento mecânico devido a alterações na estrutura molecular do geossintético. Essas alterações, sejam significativas ou não, irão depender da natureza dos polímeros e dos aditivos incorporados, dentre outros fatores (SHUKLA, 2002).

Considerando os tipos de geossintéticos empregados, Correia (2014) afirma que, geogrelhas poliméricas e de fibra de vidro e compostos de geogrelha (combinando um geotêxtil não tecido e uma geogrelha de reforço) são os geossintéticos mais utilizados na reabilitação de pavimentos. Isso se dá, principalmente, devido suas características, como por exemplo, sua alta rigidez se comparado a outros geossintéticos como os geotêxteis não tecidos, por exemplo.

2- Justificativa:

Tendo em vista a necessidade brasileira de restauração de suas rodovias, e levando em conta também que a utilização de geossintéticos apresenta-se como uma solução viável para melhorar características inerentes à resistência e durabilidade destes serviços, foi identificada a necessidade de estudar os tipos de geossintéticos utilizados para este fim.

Em específico, este trabalho dedicar-se-á a propor uma metodologia de pesquisa viável e controlada com o intuito de analisar a influência de uma possível degradação em geossintéticos decorrentes da aplicação na restauração de rodovias asfaltadas, pois ao tratar-se de materiais poliméricos, a temperatura e os possíveis ataques químicos e físicos podem interferir, em certo grau, em suas características de modo a diminuir a eficiência dos geossintéticos para o uso em questão.

3- Objetivos.

Este estudo tem como principal objetivo propor uma metodologia de pesquisa para avaliação da influência dos possíveis danos em geossintéticos quando empregados na restauração de rodovias.

4- Fundamentação teórica.

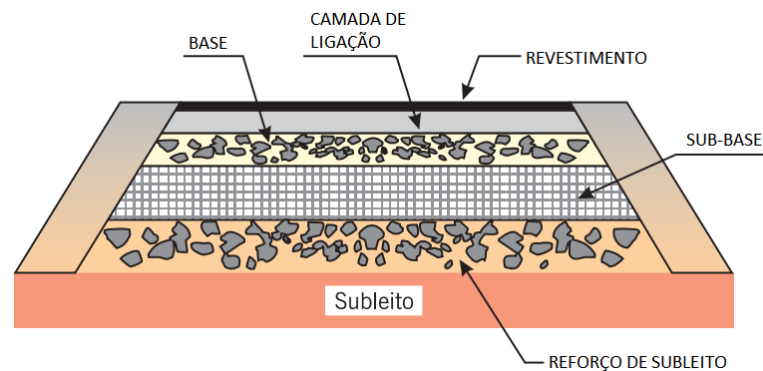
4.1. Pavimentos.

Os pavimentos são estruturas feitas com o intuito de assegurar uma superfície que permita a circulação de veículos em condições de segurança, conforto e economia, devendo estes serem capazes de resistir às ações do tráfego e a uma variedade de condições climáticas a que estarão sujeitos. (ARAÚJO, 2016).

Segundo o DNIT (2006) os pavimentos são classificados em três tipos, rígidos, semi-rígidos e flexíveis. Este último tipo, o mais utilizado nas rodovias brasileiras, apresenta um custo de instalação inferior se comparado aos pavimentos rígidos e semi-rígidos.

O pavimento, por padrão, possui cinco camadas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, podendo também, em alguns casos, suprimir ou acrescentar algumas camadas (AZEVEDO, 2019). O pavimento flexível, também chamado de pavimento asfáltico, se caracteriza pela utilização de camadas superiores betuminosas e por camadas inferiores mais deformáveis (AZEVEDO, 2019).

FIGURA 1: Camadas do pavimento flexível



Fonte: Adaptado de Bernucci [et al] (2006)

Cada camada apresenta uma função específica na estrutura do pavimento, o Subleito faz parte do terreno natural regularizado e serve de fundação para o pavimento. O Reforço do Subleito é uma camada executada sobre o subleito com a função de reduzir a espessura da sub-base, quando o subleito tem uma baixa capacidade de suporte. Já a Sub-base é uma camada complementar a base e utilizada quando, por circunstâncias técnicas ou econômicas, não é recomendável a execução da base direto sobre a regularização ou o reforço de subleito. A base é a camada que possui a finalidade de resistir às ações do tráfego de maneira a aliviar as tensões no revestimento e distribuí-las para as camadas inferiores. O revestimento por sua vez é a única camada visível do pavimento, tem a função de receber e resistir as cargas originárias do tráfego, atender as definições de conforto, segurança e condições básicas de rolamento (CNT, 2019)

4.2. Restauração

“A restauração do Pavimento se constitui no conjunto de operações que são desenvolvidas objetivando manter ou elevar, a níveis desejáveis e homogêneos, as Características Gerais de Desempenho - segurança, conforto e economia do Pavimento” (DNIT,

2006). Nas palavras de Ante (2016) “A identificação das patologias dos pavimentos flexíveis e o entendimento do mecanismo que deu origem ao mesmo, são fundamentais para a adoção de alternativas de restauração”.

Em seu manual de pavimentação o DNIT (2006) apresenta um tópico sobre definições referentes a “Tarefas Típicas da Manutenção Rodoviária”. Neste, analisando os itens “Recuperação Superficial”, “Reforço Estrutural” e “Restauração”, pode-se concluir que para estes serviços, as orientações mais indicadas são a sobreposição, substituição e/ou reconfeção das camadas do pavimento.

Considerando a necessidade de se conseguir uma maior durabilidade do pavimento, assim como um processo de restauração mais eficiente, nas últimas décadas muitas tecnologias foram apresentadas como sistemas de redução de danos prematuros no pavimento. Uma dessas vertentes indica que com a instalação de geossintéticos entre camadas de asfalto estende-se a vida útil dos pavimentos flexíveis (CORREIA, 2014).

A CNT (2019) agrupou os problemas das rodovias brasileiras em quatro categorias: desgaste, trincas em malha/remendos, afundamentos/ondulações/buracos e pavimentos totalmente destruído. Este estudo ainda aponta que 22,9% desses problemas se enquadram na categoria trincas em malha/remendos, demonstrando que essa é a segunda categoria mais presente nas rodovias nacionais. Assim, dar-se a entender que, este pode ser um dos problemas com solução possível a partir da utilização de geossintéticos. Segundo Ante (2016) a utilização de geossintéticos em camadas de recapamentos asfálticos, atuam na redução da propagação de trincas por reflexão, aumentando assim a capacidades estrutural da via em comparação com as misturas sem o reforço.

4.3. Geossintéticos

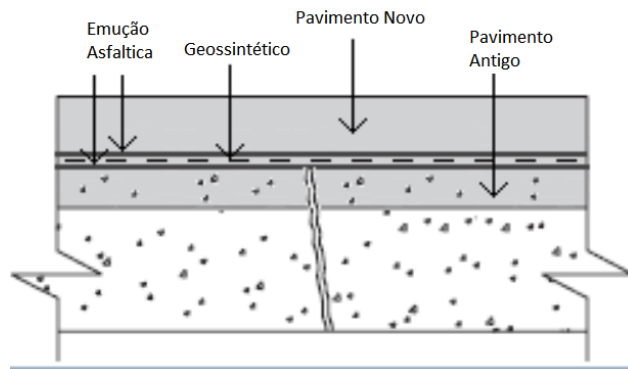
O geossintético é um produto formado por, pelo menos, um de seus componentes sendo um polímero (natural ou sintético), pode assumir a forma de manta, tiras ou estrutura tridimensional, utilizado basicamente em contato com outros materiais como, por exemplo, o solo, em aplicações de engenharia (NBR ISO 10318-1, 2018).

Os geossintéticos a nível mundial apresentaram uma rápida aceitação e uma grande utilização, uma vez que proporciona maior rapidez na execução, menor dependência de condições meteorológicas, menor utilização e movimentação de solo, tornando a construção e a manutenção mais econômicas (FERREIRA, 2010).

4.3.1. Funções dos Geossintéticos

A NBR ISO 10318-1 (2018) apresenta definições para as funções dos geossintéticos, estas são: Drenagem, coleta e/ou condução de água ou outros fluidos; Filtração, restrição de passagem de partículas sólidas permitindo a passagem do fluido; Proteção, prevenção ou controle de danos de um material devido ao seu uso; Reforço, melhorar o desempenho mecânico de outro material; Separação, prevenção da mistura de materiais diferentes; Controle de erosão superficial, evitar ou limitar o movimento das partículas superficiais; Barreira, limitação da migração de fluidos; Alívio de tensões, “(...) retardar o desenvolvimento de trincas pela absorção das tensões que surgem no pavimento danificado” (NBR ISO 10318-1, 2018).

Figura 2: Geossintético na Reflexão de Trincas



Fonte: Adaptado de Rocha (2009)

4.3.2. Materiais Constituintes dos Geossintéticos

“(…) No geral, os geossintéticos são fabricados a partir de polímeros sintéticos, derivados do petróleo, embora algumas fibras naturais, como as de juta, sisal e côco, também sejam empregadas na fabricação de alguns geotêxteis e geomantas” (Bueno e Lotti, 2015). Afonso (2009) considera que, por ter um caráter biodegradável, as fibras naturais possuem propriedades que não são adequadas a um grande número de aplicações na engenharia civil.

Dentre os materiais mais utilizados nos geossintéticos Bueno e Lotti (2015) apresentam o Polietileno (PE), Poliestireno Expandido (EPS), Polipropileno (PP), Polivinil Clorado (PVC), o Poliéster (PET), Poliestireno (PS), Poliamida (PA), Etileno-propileno Monômero Diênico (EPDM), Polivinil Álcool (PVA), Polietileno Clorado (CPE) e a Poliaramida (PPTA). Além das resinas básicas afirma que necessitam também de aditivos, como, plastificantes, antioxidantes, inibidores de ação ultravioleta, etc.

4.3.3. Principais Tipos

Existem diversos tipos de geossintéticos, dentre eles, os mais importantes são os geotêxteis, as geogrelhas, os geocompostos, as geomantas, as geocélulas, as geomembranas, entre outros (BUENO E LOTTI, 2015). Segundos estudos a utilização de geotêxteis não tecidos e geogrelhas se apresentam como opções para o melhoramento das propriedades mecânicas de um pavimento quando instalado entre as camadas (CORREIA, 2014).

4.3.3.1. Geotêxteis Não Tecidos

Produto têxtil bidimensional permeável, composto de fibras cortadas ou filamentos contínuos, distribuídos aleatoriamente, os quais são interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos (DER/SP, 2006). Fabricados principalmente de Polipropileno e de poliéster e as fibras podem ser ligadas por três métodos, a ligação mecânica, também conhecida como agulhagem que consiste na perfuração da malhas por agulhas farpadas provocando seu entrelaçamento, a ligação térmica onde o material é aquecido em determinados pontos gerando pontos de solda de modo a dar forma ao geotêxtil, e por último a ligação química, no qual as fibras são envolvidas em um material cimentício, como resinas ou colas de modo a unir as fibras (ROSÁRIO, 2008)

O DER/SP (2006) apresenta características para os Geotêxteis não tecidos poderem ser empregadas na pavimentação:

- “a) resistência a tração $> 7 \text{ kN/m}$, no sentido de menor resistência;
- b) capacidade de retenção de ligante betuminoso $> 0,9 \text{ l/m}^2$;
- c) ponto de amolecimento $> 180 \text{ }^\circ\text{C}$.”

4.3.3.2. Geogrelhas

Estrutura plana em forma de grelha polimérica constituída por elementos com função predominante de reforço, com elevada resistência à tração (DER/SP, 2006). Os diferentes tipos de geogrelhas apresentam particularidades que influenciam em sua indicação de uso em cada obra como, a orientação, porcentagem de abertura, espessura e resistência a tração (AZEVEDO, 2019). Segundo Rosário (2008) as geogrelhas podem ser fabricadas em diferentes materiais poliméricos, entretanto os mais habituais são o Polietileno e o Polipropileno, sobre sua

produção apresenta-se a possibilidade de ser produzida através dos processos de: extrusão, onde a matéria prima é aquecida e alongada formando as grelhas; tecidas, onde as fibras são tricotadas ou entrelaçadas; ligação térmica, onde as fibras são entrelaçadas e soldadas termicamente nos pontos de entrelaçamento; soldadas a laser, que se diferencia da ligação térmica pelo método de solda das fibras.

O DER/SP (2006) apresenta características para as geogrelhas poderem ser empregadas na pavimentação:

- “a) resistência a tração ≥ 50 kN/m para deformação $\leq 12\%$;
- b) resistência à fadiga $\geq 90\%$ de resistência retida após 100.000 ciclos carga/descarga;
- c) ponto de amolecimento $> 180^{\circ}\text{C}$ ”

4.4. Degradação dos geossintéticos.

Os geossintéticos empregados em obras de pavimentação precisam manter suas características durante toda a vida útil da obra, entretanto estes estão sujeitos a diferentes fatores de degradação que podem diminuir ou alterar suas características. Um dos fatores é a degradação mecânica, devido ao processo de instalação, espalhamento e compactação da mistura asfáltica, através da influência das pavimentadoras e compactadores mecânicos. Outro fator é a degradação térmica, devido a temperatura da mistura asfáltica no momento da aplicação, pois para garantir o processo de compactação é necessário que esta temperatura gire em torno de 100°C a 165°C (ANTE, 2016).

5- Metodologia

Para o desenvolvimento desta proposta de metodologia foram analisadas pesquisas com a intenção de estudar a degradação dos geossintéticos, esta pesquisa foi feita em repositórios de trabalhos acadêmicos, sendo elas o periódico CAPS (<https://www.periodicos.capes.gov.br>) e os repositórios das principais universidades pelo mundo através da plataforma de pesquisa de trabalhos científicos do google (<https://scholar.google.com.br>), a pesquisa foi direcionada aos trabalhos que se dedicavam a estudar a degradação dos geossintético em obras de pavimentação entre as pesquisas analisadas foram escolhidas as pesquisas feitas por Ante (2016), Moreira (2016) e, principalmente, por Azevedo (2019), onde pode-se encontrar pontos a serem discutidos e aprimorados.

6- Desenvolvimento

6.1. Análise das metodologias escolhidas

Analisando o estudo apresentado por Ante (2016) torna-se claro que se trata de um estudo muito completo da utilização dos geossintéticos nas obras de pavimentação, apesar do preposto, nota-se que o trabalho foi todo fundamentado em ensaios de laboratório. Apesar de muito engenhosamente tentar reproduzir situações reais de utilização dos materiais, entende-se que para confirmar a real eficiência dos experimentos propostos pelo pesquisador há a necessidade de que sejam comparados com amostras expostas a situações reais de utilização. O próprio autor, no item “5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS” no ponto onde fala da degradação térmica, cita como uma de suas sugestões a necessidade de “Validar a metodologia de degradação térmica proposta na presente pesquisa por meio da realização de ensaios com geossintéticos embutidos em CBUQ em condições reais de construção,” Ante (2016)

Já o trabalho apresentado Moreira (2016) apresenta uma problemática bem mais específica que é a degradação mecânica gerada pelas vibro acabadoras ao transitarem sobre os geossintéticos aplicados na restauração de pavimentos, este trabalho muito bem formatado apresenta uma premissa bem direta, e confirma que o trânsito do maquinário que faz o espalhamento do CA nas obras de recapeamento podem diminuir em até 11% a resistência das amostras de geossintéticos.

Estudando a dissertação aprestada por AZEVEDO (2019) pode-se concluir que esta pesquisa é a que mais se enquadra na proposta de estudar a degradação do geossintético, considerando principalmente a utilização real do geossintético nas obras de pavimentação. Entretanto existem muitas proposições de pesquisa que podem ser questionadas e repensadas para obter resultados mais conclusivos e mais direcionados, entres eles são citados:

a) As amostras poderiam ter sido expostas a níveis diferentes de influência a fim de ser possível isolar mais variáveis na obtenção dos resultados;

b) A compactação deveria ter sido analisada de forma individual, quantificando a quantidade de passadas em cada tipo de compactador a fim de servir de comparação para que outras pesquisas possam ser feitas replicando a metodologia,

c) Poderia ter sido utilizada uma proteção contra uns possíveis danos químico aos geossintéticos.

d) O autor cita como proposta para uma nova pesquisa a análise termogravimétrica do material, este sendo um estudo poderoso e interessante que pode dar bases para novas conclusões

e) Outro ponto proposto pelo autor é a análise em microscópio que pode ajudar na análise dos danos físicos dos geossintéticos e isolá-los dos danos térmicos;

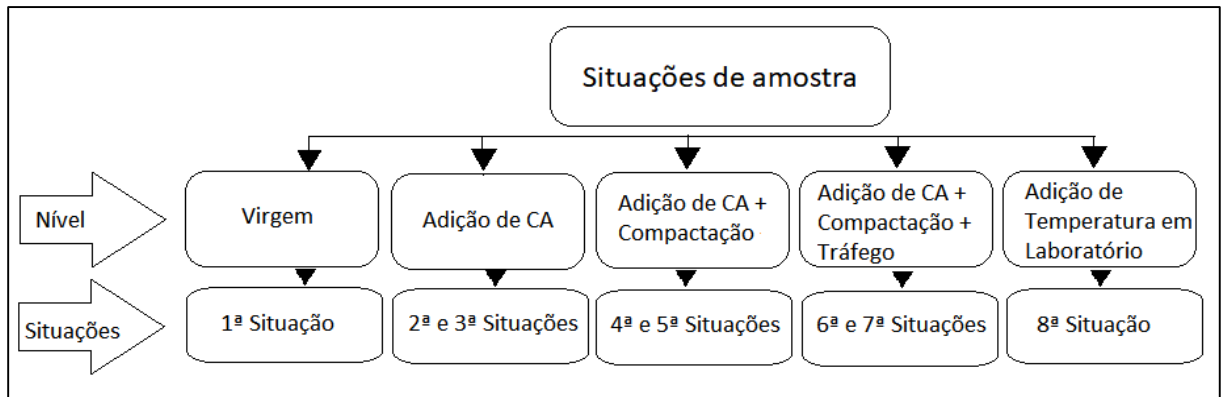
Visando estudar a degradação térmica das geogrelhas empregadas em pavimentos, faz-se necessário que sejam analisadas diferentes situações, a figura 1 apresenta um organograma que mostra as situações propostas para a execução do experimento.

6.2. Metodologia proposta

A figura 1 mostra oito situações distintas de ensaios, em cinco níveis diferentes de variáveis com a adição progressiva de influências, como descritas a seguir:

- Na primeira situação, serão estudadas as amostras virgens, não sendo submetidas a experimentos de campo, servindo assim como valores de referência;
- Na segunda situação, as amostras serão submetidas ao espalhamento do concreto asfáltico aquecido a temperatura de aplicação sobre a amostra, permanecendo em campo durante o tempo de resfriamento da mistura asfáltica;
- Na terceira situação se diferencia da segunda apenas pela utilização uma camada de folha de alumínio comercial entre o geossintético e a camada de CA colocada por cima;
- Na quarta situação, diferencia-se da segunda pela compactação da mistura asfáltica espalhada sobre as amostras;
- A quinta situação se diferencia da quarta apenas pela utilização uma camada de folha de alumínio comercial entre o geossintético e a camada de CA;
- Nas sexta e sétima situações se diferenciam da quarta e quinta, respectivamente, pela adição do tráfego, sendo instalado em um local de tráfego controlado para poder quantificar e qualificar a influência do tráfego sobre as amostras.
- Na oitava situação as amostras são submetidas ao aquecimento e resfriamento até temperatura ambiente em estufa de recirculação de ar com controle digital de temperatura.

Figura 3: Organograma das distribuições das amostras



Fonte: Autor (2022)

O escalonamento das situações de estudo, foi idealizado desta forma para possibilitar a avaliação da influência de cada uma dessas variáveis de forma cumulativa, de modo que, pode-se identificar em quais situações as amostras são mais ou menos degradadas.

A utilização de folhas de alumínio dar-se devido a necessidade de se fazer uma barreira que possa impedir ou, pelo menos, diminuir a possibilidade de o CA aderir ao geossintético. Essa aderência gera certas distorções nos resultados dos ensaios de tração, principalmente no início da aplicação da carga. O material metálico foi escolhido pois trata-se de um material acessível e de baixo custo, com uma boa condutividade de calor, apresenta uma resistência baixa a deformação e uma baixa interação química com os materiais poliméricos, de modo a não influenciar na ação das outras variáveis, mesmo que este material possa sofrer danos como pequenos rasgamentos após o espalhamento da mistura asfáltica, eles não são significativos para desqualificar seu uso, sendo escolhido assim como o material mais indicado para criar uma barreira de isolamento contra a aglutinação da mistura asfáltica .

A amostra de laboratório foi pensada desta forma, para que a amostra seja exposta a mesma temperatura da que foi tabelada nas curvas de resfriamento, estas sendo encontradas como descrito no item 6.4. Este estudo serve entre outras coisas para que possamos isolar apenas o item temperatura na análise da degradação.

6.3. Geossintéticos

Para este estudo devem ser utilizados os geossintéticos comerciais produzidos para a utilização em pavimentação, podendo ser as geogrelhas, geocompostos de geogrelhas com

geotêxteis ou só os geotêxteis não tecidos. Pois estes são os mais utilizados para o fim em questão e, teoricamente, são menos afetados a danos físicos na exumação.

Estes geossintéticos podem ser produzidos de vários materiais desde que as informações técnicas dos materiais considerem que estes suportem temperaturas superiores a 165°C sem alcançar o ponto de amolecimento.

6.4. Concreto Asfáltico (CA)

O CA será composto por cimento asfáltico, agregado graduado e material de enchimento conforme a norma do DNIT 031/2004 – ES. O concreto asfáltico utilizado deverá ser o comercialmente conhecido CAP-50/70 e a espessura da camada de capeamento será de 5 cm.

6.5. Procedimento experimental

A instalação se baseia em 5 passos, assim como segue:

6.5.1. Preparação das amostras

As amostras devem ser preparadas de modo a prevenir ao máximo a influência de fatores externos nos resultados, deste modo considerando que as amostras são entregues em rolos, deve-se descartar a camada externa dos rolos, evitando assim a interferência de eventuais danos mecânicos na camada externa.

Por conseguinte, as amostras devem ser divididas em quatro partes, distintas, uma para as amostras virgens, a segunda para o estudo de curto prazo que não receberão compactação, a terceira para o estudo de curto prazo com compactação e a quarta para o estudo de longo prazo. A divisão das amostras deve levar em consideração que após a exumação devem ser separadas em corpos de prova menores de no mínimo 12 cm de largura, garantindo que tenham 3 tramos da geogrelha em cada corpo de prova e um comprimento mínimo de 100 cm.

Por último deve ser feita a etiquetagem das amostras e feita a marcação da parte que deve receber a cobertura de folha de alumínio.

6.5.2. Preparação do local de instalação.

As amostras devem ser aplicadas sobre um pavimento de asfalto preexistente, este pavimento deve ser varrido para retirar os materiais granulares que se encontrem soltos, a fim de evitar danos mecânicos devido a esses materiais que porventura venham a estar na superfície do pavimento base desse estudo.

Sobre as amostras de longo prazo, estas preferencialmente, devem ser instaladas em local de trânsito controlado e computável, por exemplo, saída e/ou entrada de estacionamento, de balança, de pedágio, entre outros locais onde seja viável a coleta de informações do tráfego, tais como, frequência, porte/peso médio dos veículos, períodos sem tráfego entre outros que possam ser considerados.

6.5.3. Instalação.

Para a aplicação não deve ser usada a pintura de ligação pois ela inviabiliza a exumação das amostras sem que sofram com danos físicos do processo de extração.

Deste modo consideramos que as amostras devem ser cuidadosamente estendidas no pavimento base, a mistura asfáltica deve ser espalhada sobre os geossintéticos de forma manual ou mecânica, sendo que tanto no espalhamento manual, com a utilização de ancinhos ou rodos metálicos, como no espelhamento mecânico não deve haver tráfego de pessoas ou de máquinas sobre as amostras para que não haja a influência de possíveis danos decorrentes desse tráfego nos resultados.

Para as amostras que receberão a compactação, esta deve ser feita de forma mecânica obedecendo as instruções do equipamento utilizado, ficando o pesquisador responsável por quantificar a energia utilizada para a compactação na análise de seus resultados, uma vez que na replicação dos experimentos a comparação da energia de compactação se torna o passo mais difícil de se replicar devido as diferenças dos equipamentos utilizados.

6.5.4. Exumação

Para a exumação das amostras devem ser tomados cuidados necessários para evitar danos decorrentes do processo de exumação, deve ser considerado a extração com equipamentos delicados e os responsáveis pela exumação precisam estar cientes que não podem gerar nenhum dano extra as amostras no processo.

6.5.5. Preparação das amostras para encaminhar ao laboratório

Após a exumação as amostras devem ser preparadas para serem encaminhadas ao laboratório onde será feito o ensaio de tração uniaxial, para isso devem ser seguidos os seguintes passos: identificação das amostras através de etiquetagem; divisão em corpos de prova menores, podendo ser em faixa larga ou faixa estreita, os de faixa larga tendo as dimensões mínimas de 30cm de largura e 100cm de comprimento, e os de faixa estreita com dimensões mínimas de 12cm de largura e 100cm de comprimento; etiquetagem individual dos corpos de prova e análise visual; embalagem dos corpos de prova em caixas de modo a impossibilitar que as amostras sofram dobras, deformações e tensões extras, durante o processo de armazenagem e transporte é importante também que as amostras sejam armazenadas em lugares com a temperatura controlada para evitar aumento de temperatura devido aos raios solares)

6.6. Determinação da taxa de resfriamento do CA

Para determinar a taxa de resfriamento do CA, será necessário o acompanhamento da temperatura da mistura asfáltica, realizando-se medições, com termômetro a laser, temporais das temperaturas durante os processos de instalação e resfriamento da mistura, obtendo como resultado uma curva de resfriamento. Com o valor da taxa de resfriamento, é possível simular o mesmo processo em condições controladas de laboratório utilizando-se de registros em condições reais.

6.7. Simulação da degradação térmica em laboratório

De posse da curva de perda de temperatura da mistura, utilizando-se de uma estufa com circulação de ar e controle digital de temperatura é possível reproduzir em laboratório as mesmas etapas e taxas de resfriamento obtidas em campo. Para isso, durante o processo é necessário verificar a programação da temperatura no controle digital da estufa, como também a temperatura dos corpos de prova com um termômetro laser e a temperatura real da câmara com um termômetro de espeto.

6.8. Análise visual das amostras

As amostras devem passar por uma análise visual, a qual o pesquisador deve utilizar dos equipamentos disponíveis, tais como lupa, lente de aumento, microscópio, câmeras

fotográficas, entre outros, para identificar os danos físicos nas amostras gerados pelo processo de instalação e de tráfego, esses danos devem ser anotados e considerados nas análises dos resultados do experimento de tração uniaxial.

6.9. Ensaio de tração uniaxial

Para avaliar a degradação dos geossintéticos, serão preparados corpos de prova obtidos das amostras de cada situação de exposição da pesquisa, os quais serão submetidos a ensaios de resistência à tração unidirecional conforme a ASTM D4595. As análises de degradação serão feitas a partir das alterações nas propriedades de resistência à tração, deformação e módulo de rigidez.

6.10. Compilação e análise de dados

Os resultados dos ensaios de tração uniaxial são apresentados em forma de curvas de tensão versus deformação, devem ser identificados os pontos de tensão máxima, e feitas análises de média desses valores e uma análise do desvio padrão para cada uma das situações apresentadas na figura 1.

Munido dos valores médios apresentados, o pesquisador pode fazer análises quantitativas e qualitativas de cada tipo de geossintético utilizado e qual a situação que apresenta maior influência sobre estes materiais, entre outras análises pertinentes que possam ser feitas através dos dados encontrados.

7- Considerações finais

O bom estado das rodovias brasileiras elevaria o país para um nível economicamente competitivo perante o cenário internacional. Entretanto o cenário atual dessas rodovias demonstra a necessidade de manutenção, para que, a partir disso a utilização de geossintéticos na restauração do pavimento se torne uma alternativa viável, técnica e economicamente. Uma opção para o aumento da durabilidade do pavimento restaurado, sendo também, um dos mais utilizados, é a geogrelha, justificado pela característica de sempre ser um dos pavimentos mais indicados para obras que necessitam de reforço.

Considera-se também que durante a instalação dos geossintéticos, estes são submetidos a situações que podem alterar suas características, principalmente no que tange ao concreto asfáltico e o momento da sua aplicação, já que um dos fatores essenciais são as altas temperaturas, que variam entre 100°C e 165°C.

Assim este artigo tem como objetivo dar parâmetros que podem ser usados em um futuro estudo para analisar a degradação sofrida pelas geogrelhas. Utilizando como princípio de pesquisa, a análise em sete situações diferentes, para poder demonstrar em um ambiente controlado como se dá a degradação desses materiais que já estão sendo muito utilizados para os fins que nos propomos a estudar.

Por fim consideramos que estes métodos apresentados podem ser amplamente replicados e assim servir de parâmetro para estudar diferentes tipos de materiais em diferentes locais e com diferentes tipos de compactação distintos, podendo assim formar um rico banco de dados que podem ser utilizados tanto pela indústria de produção dos geossintéticos como pelas construtoras que trabalham com pavimentação para poder escolher entre os materiais disponíveis no mercado os mais viáveis para serem utilizados em suas obras.

Referências

AFONSO, M. R. F. L. **Ensaio de corte directo na caracterização da interface solo-geossintético – Efeito da variação da tensão normal**. 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Construção) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

ANTE, J. R. O. **Desempenho de misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos**. 2016. 202 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ARAÚJO, J. P. C. **Avaliação da sustentabilidade de estruturas e materiais de pavimentos rodoviários**. 2016. 275 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – **ABNT NBR ISO 10318-1: Geossintéticos — Termos e definições**. Rio de Janeiro: ABNT. 2018. 9 p.

AZEVEDO, L. M. M. **Instalação de geossintéticos em pavimentos flexíveis com CBUQ: danos de instalação**. 2019. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2019.

BANDARU, R. **Cost effective prevention of reflective cracking in composite pavements**. 2010. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Louisiana State University, Pineville, Louisiana, USA, 2010.

Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias**. Brasília. 236 p. 2019. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>. Acesso em: de 13 julho de 2021.

CORREIA, N. S. **Performance of flexible pavements enhanced using geogrid-reinforced asphalt overlays**. 2014, 205 p. Tese (Doutorado em Engenharia Geotécnica) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2014.

DER-SP – Departamento de Estradas e Rodagens de São Paulo. ET-DE-P00/043, **Tratamento anti-reflexão de trincas com geossintético**, Especificação Técnica, fev. 2006.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de transportes. IPR – 719, **Manual de Pavimentação**. 278 p, 3ª edição, 2006.

FERREIRA, F. B. **Comportamento das interfaces solo-geossintético**. 2010. 138 p. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Construção) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

GALVÃO, C. F. A. **Estudo de geossintéticos sob efeito de DDI e corte em plano inclinado**. 2012. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2012.

LOTTI, C. L.; BUENO, B. S. Capítulo 2: Matérias Primas. *In*: VERTEMATTI, J.C. (org.). **Manual brasileiro de geossintéticos**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2015. p. 31-46.

MOREIRA, L. **Avaliação do dano mecânico de geossintéticos empregados em recapamentos asfálticos durante o processo construtivo**, 2016, 34 p. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário De Brasília - UNICEUB, Brasília, DF, 2016.

ROCHA, R. R. **Estudo da Prevenção de Trincas de Reflexão em Pavimentos Semi-Rígido**, 2009, 50p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2009.

ROSÁRIO, C. S. R. **Efeito da DDI na Aplicação de Geossintéticos em Aterros de Resíduos**. 2008. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2008.

SHUKLA, S.K. **Geosynthetics and their applications**. 414 p. Thomas Telford Ltd. Londres, Reino Unido, 2002.