

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MATEUS HENRIQUE FUCHS ADUATI

**ANÁLISE DOS EFEITOS DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NA ADESIVIDADE E
VIDA DE FADIGA EM MISTURAS ASFÁLTICAS**

**Alegrete
2016**

MATEUS HENRIQUE FUCHS ADUATI

**ANÁLISE DOS EFEITOS DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NA ADESIVIDADE E
VIDA DE FADIGA EM MISTURAS ASFÁLTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Jaelson Budny

**Alegrete
2016**

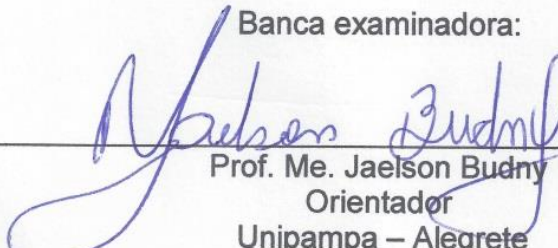
MATEUS HENRIQUE FUCHS ADUATI

**ANÁLISE DOS EFEITOS DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NA ADESIVIDADE E
VIDA DE FADIGA EM MISTURAS ASFÁLTICAS**

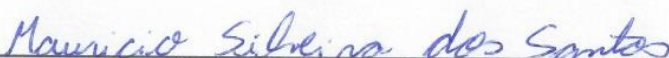
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 20 de junho de 2016


Banca examinadora:



Prof. Me. Jaelson Budny
Orientador
Unipampa – Alegrete



Prof. Me. Mauricio Silveira dos Santos
Unipampa - Alegrete



Prof. Me. Rodrigo André Klamt
URI – Frederico Westphalen

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal do Pampa – Unipampa, pela oportunidade de graduação. Aos professores que tive ao longo do curso, em especial ao professor e orientador Jaelson Budny, pela orientação, dedicação e ensinamentos prestados na realização deste trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios da Unipampa de Materiais de Construção Civil, de Solos e Pavimentação, e de Química, Metalografia e Tratamentos Térmicos, pela colaboração na realização dos ensaios.

A todo Laboratório de Geotecnia e Pavimentos da COPPE/UFRJ pela realização do ensaio de fadiga.

Aos meus pais, Inácio e Helena, minha irmã Gabriela e meu irmão Marcos, pelo apoio, incentivo e confiança.

À minha namorada Priscila e todos meus amigos que sempre me apoiaram e incentivaram durante a graduação.

RESUMO

Com a falta de manutenção, aumento da frota de veículos e pelos excessos sobre a carga máxima permitida por eixos, muitas das rodovias brasileiras não estão mais possuindo as condições mínimas para trafegabilidade. Diante desta situação, é de grande importância que se aumentem os estudos na busca de novos métodos e materiais para melhorar a resistência dos pavimentos. Seguindo os estudos de Heck (2015), este trabalho teve como objetivo principal analisar a influência da adição de fibras de polipropileno em misturas asfálticas para os ensaios de adesividade e vida de fadiga. Para realização deste estudo, foram moldados corpos de prova com misturas convencionais e com misturas reforçadas pela adição de 0,5% de fibras de polipropileno, após isso, foram realizados dois ensaios para avaliação: Ensaio de Adesividade – Lottman Modificado e Ensaio de Fadiga por Compressão Diametral. Após os ensaios foi possível verificar que a mistura reforçada com fibras é considerada adequada para adesividade. Com os resultados do ensaio de fadiga foram realizadas simulações no software SisPav e verificou-se um melhoramento expressivo das misturas reforçadas com fibras. Assim, foi possível concluir que a adição de fibras em misturas asfálticas contribui positivamente, principalmente em relação à vida de fadiga do pavimento.

Palavras-Chave: misturas asfálticas, fibras de polipropileno, adesividade, vida de fadiga.

ABSTRACT

With the lack of maintenance, increase of the vehicle fleet, and the excesses of the maximum load allowed per axle, many of the Brazilians highways do not have the minimum trafficability conditions. Under these conditions, it is of great importance to increase the studies searching for new methods and materials to improve the resistance of the pavements. Following the studies of Heck (2015), this study aimed to analyze the influence of polypropylene fibers in asphalt mixtures to the adhesiveness tests and fatigue life. For this study, samples were molded with conventional mixtures and mixtures reinforced by the addition of 0.5% polypropylene fibers, after that, two experiments have been conducted for avaluation: Modified Lottman test and Fatigue test for diametral compression. After the experiment it was found that the mixture reinforced with fibers is considered adequate for adhesion. The results of the fatigue test simulations were performed in SisPav software and found a significant improvement in mixtures reinforced with fibers. Thus, it was concluded that the addition of fibers in asphalt mixtures contributes positively, especially in relation to the life of the pavement fatigue.

Keywords: Asphalt mixtures, polypropylene fibers, adhesiveness, fatigue life.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do pavimento rígido.....	17
Figura 2 - Composição do pavimento flexível	17
Figura 3 - Pavimento antes e depois da aplicação do microrrevestimento	21
Figura 4 – Trinca isolada transversal	23
Figura 5 – Trinca isolada longitudinal	24
Figura 6 – Trinca interligada do tipo couro de jacaré	24
Figura 7 – Trinca interligada do tipo bloco	24
Figura 8 - Afundamento plástico de trilha de roda	25
Figura 9 – Afundamento por consolidação localizado.....	26
Figura 10 - Corrugação	27
Figura 11 - Escorregamento do revestimento asfáltico	28
Figura 12 - Exsudação	28
Figura 13 - Desgaste	29
Figura 14 - Panela ou buraco	30
Figura 15 - Agregados	36
Figura 16 – Limpeza e secagem dos agregados	37
Figura 17 – Peneiramento e separação granulométrica do material	40
Figura 18 – Composição da mistura.....	41
Figura 19 – Ligante Asfáltico.....	42
Figura 20 – Fibra de polipropileno.....	43
Figura 21 – Moldagem dos corpos de prova.....	45
Figura 22 – Etapas do condicionamento das amostras do segundo grupo	47
Figura 23 – Corpos de prova após ruptura.	49
Figura 24 – Curva de fadiga.....	49
Figura 25 – Tela SisPav: Coeficientes de regressão	51
Figura 26 – Tela SisPav: Clima.....	52
Figura 27 – Trecho analisado da RS-377.....	52
Figura 28 – Tela SisPav: Carregamento	54
Figura 29 – Tela SisPav: Estrutura do pavimento	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição dos agregados na mistura.....	40
Tabela 2 – Ensaio de viscosidade CAP 50/70	42
Tabela 3 – RT das amostras do Grupo 1	56
Tabela 4 – RT das amostras do Grupo 2	56
Tabela 5 – Valores médios de RT1, RT2 e RRT.....	57
Tabela 6 – Parâmetros obtidos das curvas de fadiga	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva Granulométrica de Trabalho / Faixa “B” do DNIT	39
Gráfico 2 – Curva Granulométrica de Trabalho / Faixa “C” do DNIT	39
Gráfico 3 – Resistência Retida à Tração	57
Gráfico 4 – MC: Vida de fadiga x diferença de tensões	58
Gráfico 5 – MC: Vida de fadiga X deformação específica resiliente	58
Gráfico 6 – MRF: Vida de fadiga X diferença de tensões.....	59
Gráfico 7 – MRF: Vida de fadiga X deformação específica resiliente	59
Gráfico 8 – Espessura mínima da camada de revestimento	60
Gráfico 9 – Vida de projeto estimada	60
Gráfico 10 – Vida de projeto estimada utilizando base BGS	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Faixas Granulométricas.....	38
Quadro 2 - Características do CAP 50/70.....	41
Quadro 3 – Volume de tráfego do trecho da RS-377.....	53
Quadro 4 – Camadas do pavimento utilizadas na simulação.....	54
Quadro 5 – Espessuras das camadas do pavimento com base BGS.....	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
1.2 Justificativa.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Estruturas dos pavimentos	16
2.2 Tipos de revestimentos asfálticos.....	18
2.2.1 Misturas usinadas	19
2.2.2 Misturas in situ em usinas móveis	19
2.2.3 Tratamentos superficiais	21
2.3 Defeitos que ocorrem em pavimentos flexíveis	21
2.3.1 Fenda.....	22
2.3.1.1 Fissuras.....	22
2.3.1.2 Trincas.....	23
2.3.2 Afundamento	25
2.3.2.1 Afundamento plástico.....	25
2.3.2.2 Afundamento por consolidação.....	26
2.3.3 Ondulação ou Corrugação	26
2.3.4 Escorregamento	27
2.3.5 Exsudação	28
2.3.6 Desgaste	29
2.3.7 Panela ou buraco	29
2.3.8 Remendos	30
2.4 Cimento Asfáltico de Petróleo	30
2.5 Utilização de fibras como material de reforço	31
2.6 Fibras de polipropileno.....	32
2.7 Fadiga.....	33
2.8 Adesividade	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 Caracterização dos materiais.....	36
3.1.1 Agregados.....	36

3.1.2 Ensaio de Granulometria dos agregados.....	37
3.1.3 Ligante.....	41
3.1.4 Ensaio de Viscosidade.....	42
3.1.5 Fibra de Polipropileno.....	42
3.2 Dosagem Marshall.....	43
3.3 Ensaio de Adesividade- Lottman Modificado	45
3.4 Ensaio de Vida de Fadiga	48
3.4.1 Simulações utilizando o SisPav	50
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	56
4.1 Ensaio de adesividade	56
4.2 Ensaio de fadiga	57
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	63
5.1 Sugestão para trabalhos futuros	64
REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

A história do transporte rodoviário brasileiro, utilizando rodovias pavimentadas, começou no ano de 1861 com a inauguração da Estrada União Indústria, ligando o estado do Rio de Janeiro ao de Minas Gerais. Na década de 1940, as rodovias brasileiras pavimentadas contavam com apenas 423 km entre rodovias federais e estaduais. Com o Decreto-Lei nº 8.463/1945, conferiu-se autonomia técnica e financeira para o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER, como consequência, impulsionou-se o crescimento da malha rodoviária brasileira (CNT, 2014).

Durante a década de 1950, foi feito um programa com o objetivo de melhorar as estradas vicinais, incluindo a abertura e melhoramento de estradas no Nordeste como forma de desenvolver essa região que era castigada por secas periódicas. Em 1955 foi inaugurada a fábrica de asfalto da Refinaria Presidente Bernardes da Petrobras, com capacidade de 116.000 t/ano, assim, dando grande destaque para a Petrobras na história da pavimentação das rodovias brasileiras. Então o governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961) impulsionou o crescimento das rodovias aumentando muito a área pavimentada do país (BERNUCCI et al., 2008).

No Brasil, a matriz de transporte rodoviária é predominante, correspondendo a aproximadamente 96,2% do transporte de passageiros e a 61,8% da matriz de transporte de cargas. Assim, a rede rodoviária é um elemento fundamental nas cadeias produtivas, responsável por unir mercados e promover a integração de regiões e estados (CNT, 2006).

Outro dado que cabe ressaltar, é que de 2004 a 2014 ocorreu um aumento de 122,0% da frota total de veículos, enquanto que nesse mesmo tempo a extensão da malha rodoviária brasileira aumentou apenas 13,8%. Assim, demonstra-se uma crescente pressão sobre as rodovias, tanto em volume de tráfego quanto em risco de acidentes para seus usuários (CNT, 2014).

Os pavimentos, quando dimensionados, não são para durar eternamente, mas sim, durante um período em que suas condições passam de ótimas para ruins. As estruturas dos pavimentos apresentam-se cada mais suscetíveis aos defeitos dos materiais utilizados, ao modo de execução, efeitos climáticos e até mesmo ao método de dimensionamento, pois estes não conseguem analisar rigorosamente a

nova demanda que a rodovia vai atender e também pela dificuldade de controle dos órgãos fiscalizadores dos excessos de carga (HECK, 2015).

Albano (2005) comprovou cientificamente que um dos principais agentes da destruição de pavimentos é o excesso de carga por eixo. Em que excessos de 20% sobre o valor da carga máxima por eixo, permitida pelo Código de Trânsito Brasileiro – CTB, indicam reduções em até 80% da vida útil prevista para um pavimento delgado.

Com o amplo aumento da frota de veículos no Brasil, dos excessos sobre a carga máxima por eixo, e combinando esses fatores com a falta de manutenção necessária nas rodovias brasileiras, muitas delas não estão mais possuindo as condições mínimas para trafegabilidade. Diante desta situação, é de grande importância que se aumentem os estudos na busca de soluções e novos materiais para melhorar a resistência dos pavimentos.

Atualmente, a utilização de fibras para reforço ou reparos na construção civil tem-se mostrado viável, apresentando bons resultados na sua aplicação, e assim, levando os demais ramos da engenharia civil estudar casos em que as fibras possam ser vantajosas (HECK, 2015).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar os efeitos da adição de fibras sintéticas de polipropileno na camada de revestimento de pavimentos flexíveis, verificando o desempenho à fadiga e aos requisitos de adesividade.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar o comportamento quanto à adesividade ligante-agregado das misturas asfálticas confeccionadas com ligantes asfálticos convencionais e com adição de fibras.
- Confrontar o desempenho relacionado à vida de fadiga das misturas asfálticas confeccionadas com ligantes asfálticos convencionais e com adição de fibras.

- Analisar a estrutura do pavimento flexível convencional e com fibras relacionando com os resultados do ensaio de fadiga.

1.2 Justificativa

Dentro desta busca por materiais novos e ambientalmente corretos para a construção civil, a utilização de fibras como material de reforço vem ganhando destaque, em que a incorporação destas em materiais cimentados ou cerâmicos têm comprovado a eficiência na melhoria das propriedades mecânicas do material, principalmente no que se refere ao controle da fissuração, aumento da capacidade de carga pós-ruptura e ao aumento da durabilidade (CORÓ, 2002).

Fibras de aço e de outros materiais estão sendo, usualmente, utilizadas em estruturas de concreto com o objetivo de aumentar a ductilidade, auxiliar na resistência à tração e no controle de fissurações (OLIVEIRA, 2007).

Em relação à utilização de fibras, as de polipropileno apresentam-se com grande potencial, em que a sua utilização apresentou resultados satisfatórios, além de que sua aplicação não necessita ser restrita a apenas alguns tipos de obras, podendo ser utilizada na construção de terraplenos dentre outras obras de engenharia (TRINDADE et al., 2005).

Heck (2015) analisou a utilização de fibras de polipropileno como material de reforço em pavimentos asfálticos, e a mesma apresentou-se viável, em que as amostras suportaram maiores deformações num período de tempo com tensões mais baixas que às de pico, além de manter a mistura asfáltica dentro dos padrões relacionados ao módulo de resiliência.

Diante destes dados, pode-se dizer que o uso de fibras pode sim trazer benefícios para as misturas asfálticas, porém há a necessidade de aprofundar muito essas pesquisas e analisar as fibras em relação a outras propriedades do pavimento. Assim, a pesquisa justifica-se na necessidade de analisar os efeitos da fibra de polipropileno em relação à vida de fadiga e adesividade da mistura asfáltica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estruturas dos pavimentos

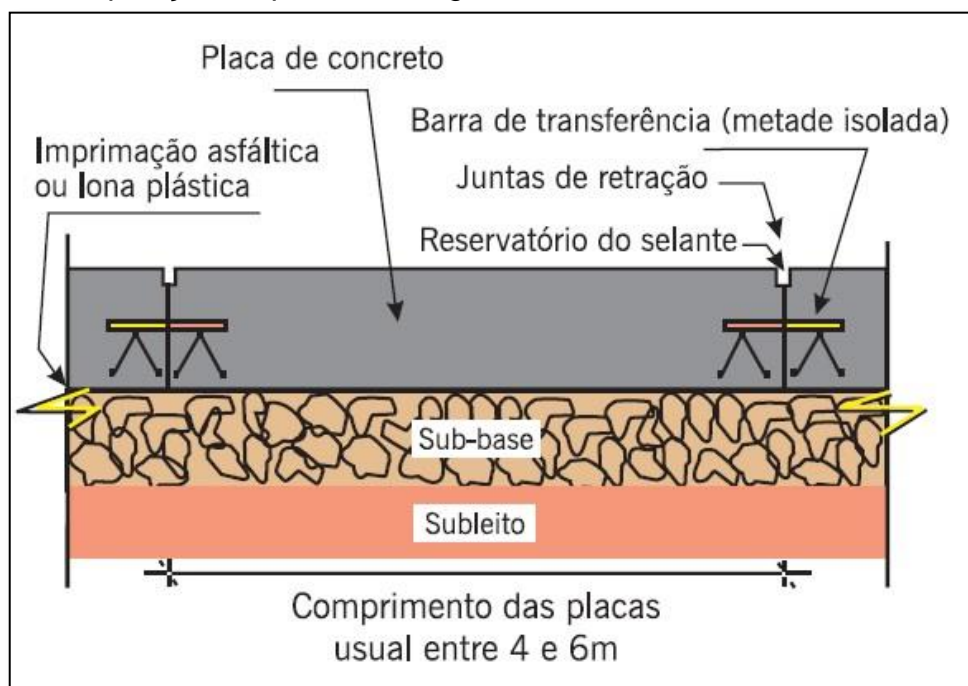
Pavimento de uma rodovia é uma estrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas que são assentes sobre uma fundação, o subleito, com a função de resistir aos esforços oriundos do tráfego. Assim, este subleito, deve ser estudado e considerado até a profundidade onde as cargas de tráfego atuam de forma significativa (DNIT, 2006a).

Balbo (2007) define pavimento como sendo uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito, possuindo a finalidade de atender de maneira estrutural e operacional ao tráfego, com o mínimo custo possível e de forma durável considerando serviços de manutenção.

Tradicionalmente classificam-se os pavimentos rodoviários em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. Outra nomenclatura que é utilizada mais recentemente é indicar o tipo de revestimento do pavimento, dividindo assim em pavimentos de concreto cimento Portland (ou simplesmente concreto-cimento) e pavimentos asfálticos (BERNUCCI et al., 2008).

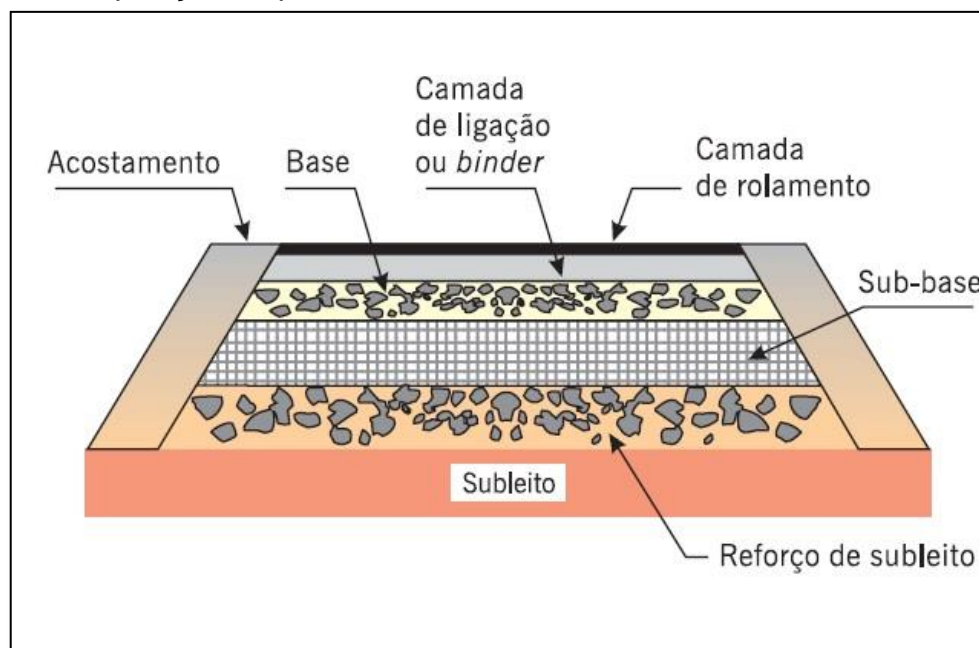
As Figuras 1 e 2 apresentam de forma ilustrativa a composição dos pavimentos rígidos e flexíveis.

Figura 1 - Composição do pavimento rígido



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.10)

Figura 2 - Composição do pavimento flexível



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.10)

Nos pavimentos rígidos o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland, em que sua espessura é determinada em função da resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes. As placas de

concreto ainda podem ser armadas ou não com barras de aço. Usualmente designa-se a subcamada desse pavimento como sub-base, pois a qualidade do material dessa camada é equivalente à sub-base de pavimentos asfálticos (BERNUCCI et al., 2008).

O pavimento flexível é aquele em que a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas, assim, todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado. Exemplo típico deste tipo de pavimento é quando constituído por uma base de brita ou solo pedregulhoso e revestido por uma camada asfáltica (DNIT, 2006a).

De acordo com Bernucci et al. (2008), os pavimentos asfálticos são formados por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito, em que seu revestimento é constituído por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos.

É denominado subleito o terreno que serve de fundação nos pavimentos asfálticos. Este é constituído normalmente pela compactação do material natural já disposto no local, ou então por material transportado e compactado nos casos de aterros. As camadas sobrepostas ao subleito são responsáveis por suavizar os esforços transmitidos ao subleito (BALBO, 2007).

Quando necessário, usualmente acima do subleito, é colocada uma camada de espessura constante com características geotécnicas inferiores ao material usado na camada que lhe for superior, porém melhores que o material do subleito, esta camada é denominada reforço do subleito e é utilizada tanto por questões técnicas quanto econômicas (DNIT, 2006a).

2.2 Tipos de revestimentos asfálticos

Nos pavimentos brasileiros, geralmente utiliza-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de tamanhos e origens variadas, com ligantes asfálticos que, de forma adequada, garanta ao serviço os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e tráfego previstos para o local (BERNUCCI et al., 2008).

Na escolha do tipo de revestimento utilizado, realiza-se um estudo técnico-econômico. Para os serviços de alto padrão, como o caso das rodovias principais, utiliza-se concreto asfáltico como revestimento, no caso de rodovias secundárias, tem sido utilizado pré-misturado a frio, ou tratamento superficial duplo, ou triplo, e alguns casos, também concreto asfáltico. Geralmente em serviços de estradas vicinais, vêm sendo usados tratamentos superficiais (SOUZA, 2004).

2.2.1 Misturas usinadas

É realizada uma mistura de agregados e ligantes em uma usina estacionária que posteriormente será transportada para a pista. Logo após, essa mistura é lançada no local pela vibroacabadora. Na sequência, é realizada a compactação do material até que se atinja um nível de compressão que resulte num arranjo estrutural estável e resistente, tanto às deformações elásticas causadas pelo tráfego quanto às deformações permanentes. O concreto asfáltico (CA), também conhecido como concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é um dos tipos mais utilizados no Brasil (NETTO, 2013).

O CA é considerado o produto da mistura convenientemente proporcionada de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função das características de temperatura e viscosidade do ligante (BERNUCCI et al., 2008).

Bernucci et al. (2008) ainda apresentam outro grupo de misturas feitas em usinas estacionárias próprias, que são os pré-misturados a frio, estes que utilizam as emulsões asfálticas como ligante para envolver os agregados. Proporcionadas de forma conveniente para atender os requisitos de arranjo do esqueleto mineral, características volumétricas e de resistência mecânica especificadas, nesse caso são realizadas sem o aquecimento dos agregados. Em geral, o ligante também é usado na temperatura ambiente, porém eventualmente pode sofrer um pequeno aquecimento.

2.2.2 Misturas in situ em usinas móveis

As misturas *in situ* são confeccionadas em usinas móveis especiais que realizam a mistura entre o ligante e os agregados imediatamente antes da sua

colocação no pavimento. Ocorrem principalmente em casos de selagem de fissuras e restauração de algumas características funcionais. Entre os exemplos deste tipo de mistura, estão a lama asfáltica e o microrrevestimento. A lama asfáltica tem sua espessura em torno de 3 a 5 mm e caracteriza-se por ser uma mistura bem fluida de agregados miúdos. Já os microrrevestimentos asfálticos têm suas espessuras variando de 8 a 20 mm, podem ser considerados como argamassas pré-misturadas, sendo elaborados geralmente com emulsões de asfalto modificados com polímeros. Tanto a lama asfáltica como o microrrevestimento, podem ser usados como camada final de pavimentos revestidos com tratamentos superficiais, pois possuem funções impermeabilizante e aderente (BALBO 2007, BERNUCCI et al., 2008).

O espalhamento da lama asfáltica é feito a frio e sua fabricação é realizada em caminhão-betoneira ou outro tipo de caminhão provido de equipamentos próprios para esta finalidade. Esses caminhões permitem a fabricação e o espalhamento contínuo da mistura. São equipamentos providos de silos para os agregados, misturador contínuo, tanques para estocagem de água e emulsão, e sistema de dosadores. Esse processo é indicado para revestimentos superficiais, superfícies desgastadas e selagens superficiais e de trincas, além destes aspectos, ainda possibilita a regularização do pavimento, possui textura antiderrapante e boa aderência em qualquer substrato (PETROBRAS, 2015).

O microrrevestimento protege as camadas inferiores e de reperfilagem, além de aumentar o atrito. É indicado para rodovias e vias públicas que possuem tráfego médio ou pesado (FIGUEIREDO, 2010).

A Figura 3 apresenta uma comparação do pavimento antes e depois da aplicação do microrrevestimento.

Figura 3 - Pavimento antes e depois da aplicação do microrrevestimento



Fonte: Petrobras (2015, não paginado)

2.2.3 Tratamentos superficiais

Entende-se por tratamento superficial um revestimento flexível de espessura delgada, executado pelo sucessivo espalhamento de ligante asfáltico, em operação simples ou múltipla. São classificados de acordo com o número de camadas sucessivas de ligantes e agregados, sendo assim, tratamento superficial simples, duplo ou triplo (NETTO, 2012).

No caso dos tratamentos múltiplos, a primeira camada é de agregados de tamanhos maiores que vão diminuindo à medida que constituem nova camada. O tratamento superficial vem sendo utilizado há décadas no país, para revestimentos de pavimentos novos, sobre base granular, de solo ou estabilizada, e que tem apresentado alto índice de sucesso (BERNUCCI et al., 2008).

2.3 Defeitos que ocorrem em pavimentos flexíveis

De acordo com a NBR 005 (DNIT, 2003), os principais tipos de defeitos que surgem em pavimentos flexíveis são:

- Fenda;
- Afundamento;
- Ondulação ou corrugação;
- Escorregamento;
- Exsudação;
- Desgaste;
- Panela ou buraco;
- Remendo.

2.3.1 Fenda

Segundo o DNIT (2003), pode ser considerada fenda, qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte. Para classificação, são divididas em fissuras e trincas.

De acordo com DNIT (2006b), as fendas são causadas de forma genérica pelos seguintes eventos que atuam em conjunto:

- Tráfego atuante que pelo ciclo do carregamento e alívio promove tensões de tração na fibra interior do revestimento;
- Alternância da mudança diária de temperatura que acusam contrações de revestimento existente;
- Reflexão no revestimento de trincas existentes em bases cimentadas (base de solo cimento);

2.3.1.1 Fissuras

É uma fenda de largura capilar existente no revestimento, disposta longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptíveis a olho nu em uma distância inferior a 1,50 m (DNIT, 2003).

2.3.1.2 Trincas

Fenda existente no revestimento, ao contrário da fissura, é facilmente visível a olho nu, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada (DNIT, 2003).

De acordo com Bernucci et al. (2008), em relação à tipologia, as trincas isoladas podem ser: transversais curtas (TTC) ou transversais longas (TTL), longitudinais curtas (TLC) ou longitudinais longas (TLL), ou ainda de retração (TRR). As trincas interligadas são subdivididas em: trincas de bloco (TB) quando tendem a uma regularidade geométrica, ou ainda (TBE) quando as trincas de bloco apresentam erosão junto às suas bordas além da regularidade geométrica; ou trincas do tipo couro de jacaré (J) quando não seguem um padrão de reflexão geométrico de trincas como as de bloco e são frequentemente derivadas da fadiga do revestimento asfáltico, ou ainda (JE) quando as trincas tipo couro de jacaré apresentam complementarmente erosão junto às suas bordas.

Além da classificação relacionada à tipologia, a NBR 005 (DNIT, 2003) ainda subdivide as trincas em classes:

- Classe I – Trincas com aberturas menores que 1 mm;
- Classe II – Trincas com aberturas maiores que 1 mm;
- Classe III – Trincas com aberturas maiores que 1 mm e com erosão na borda.

As Figuras 4 a 7 apresentam alguns tipos de trincas:

Figura 4 – Trinca isolada transversal



Fonte: NBR 005 – TER (DNIT, 2003, p.6)

Figura 5 – Trinca isolada longitudinal



Fonte: NBR 005 – TER (DNIT, 2003, p.6)

Figura 6 – Trinca interligada do tipo couro de jacaré



Fonte: NBR 005 – TER (DNIT, 2003, p.7)

Figura 7 – Trinca interligada do tipo bloco



Fonte: NBR 005 – TER (DNIT, 2003, p.7)

2.3.2 Afundamento

É uma deformação permanente que ocorre no pavimento, caracterizada pelo desnível da sua superfície, essa deformação, combinada, ou não, de solevamento, pode-se apresentar, respectivamente, sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação (DNIT, 2003).

Outra conceituação de afundamento, é dada por Bernucci et al. (2008), definindo como um defeito causado por deformações permanentes seja do revestimento asfáltico ou de suas camadas subjacente, podendo incluir até o subleito.

2.3.2.1 Afundamento plástico

Ocasionado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. Quando possui comprimento de até 6 metros é chamado de afundamento plástico local (ALP); quando sua extensão ultrapassar 6 metros de comprimento e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico de trilha de roda (ATP) (DNIT, 2003).

Bernucci et al. (2008) cita que algumas causas prováveis para esse defeito podem ser falha na dosagem de mistura asfáltica (excesso de ligante asfáltico) ou erro na escolha do tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante.

A Figura 8 expõe um caso de afundamento plástico de trilha de roda:

Figura 8 - Afundamento plástico de trilha de roda



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.419)

2.3.2.2 Afundamento por consolidação

Oriundo da consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de levantamento. Também é subdividido de acordo com a extensão do afundamento, sendo assim, afundamento de consolidação local (ALC) para comprimento inferior a 6 metros e afundamento de consolidação da trilha de roda (ATC) quando localizado ao longo da trilha de roda e extensão maior que 6 metros (DNIT, 2003).

No caso de ALC, podem ser causados por problemas construtivos, falhas na compactação das camadas do pavimento, presença de solo “borrachudo”, problemas de drenagem e rupturas por cisalhamento localizadas, em geral, apresentam trincas nas depressões. Já na ocorrência de ATC, também são citados como causas, densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes e descolamento de película de asfalto junto ao agregado (BERNUCCI et al., 2008).

A seguir, a Figura 9 exibe um caso de afundamento por consolidação:

Figura 9 – Afundamento por consolidação localizado



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.419)

2.3.3 Ondulação ou Corrugação

Defeito caracterizado por ondulações ou corrugações no sentido transversal da superfície do pavimento (DNIT, 2003).

Podem ocorrer devido à fluência da massa asfáltica, geralmente em áreas de aceleração ou desaceleração, rampas sujeitas ao tráfego de veículos pesados e

lentos, curvas, entre outros locais (BERNUCCI et al., 2008). A seguir, a Figura 10 apresenta um caso desse defeito:

Figura 10 - Corrugação



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.420)

Danieleski (2004) classificou as corrugações nos pavimentos em três níveis de severidade: Inicial, quando era possível notar pequenas vibrações nos veículos, mas sem caracterizar desconforto; Médio, para vibrações significativas no veículo e certo nível de desconforto; Avançado, quando causam vibrações excessivas, caracterizando grande desconforto e até risco em relação à segurança dos veículos e pedestres.

2.3.4 Escorregamento

Deslizamento de uma parte do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, surgindo o aparecimento de fendas em forma de meia-lua (DNIT, 2003).

Bernucci et al. (2008) divide em dois tipos de escorregamento: escorregamento de massa asfáltica por fluência, devido ao excesso de ligante; e escorregamento do revestimento asfáltico por falhas construtivas e de pintura de ligação (Figura 11).

Figura 11 - Escorregamento do revestimento asfáltico



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.420)

2.3.5 Exsudação

É identificada por uma quantidade abundante de ligante na superfície do pavimento causando manchas escurecidas, em geral, são causadas pelo excesso de ligante na massa asfáltica (Figura 12) (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 12 - Exsudação



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.420)

De acordo com o DNIT (2006b) a exsudação pode ocorrer por dois motivos:

- Falha na dosagem da mistura asfáltica, ocasionando uma quantidade excessiva de ligante e/ou baixo índice de vazios;
- Usar temperatura do ligante acima da especificada, causando dilatação do asfalto e ocupação irreversível dos vazios entre as partículas.

2.3.6 Desgaste

A NBR 005 (DNIT, 2003) conceitua o desgaste (D) como sendo um efeito causado pelo arrancamento progressivo do agregado do pavimento, resultado dos esforços tangenciais causados pelo tráfego e podendo ser identificados por áreas de maior aspereza na superfície (Figura 13).

Figura 13 - Desgaste



Fonte: NBR 005 – TER (DNIT, 2003, p.11)

Para Bernucci et al. (2008) o desgaste pode ocorrer por falhas na adesividade ligante-agregado; presença de água aprisionada e sobrepressão em vazios da camada de revestimento, causando o descolamento do ligante; segregação de massa asfáltica; teor de ligante inadequado e problemas executivos ou de projeto de misturas.

2.3.7 Panela ou buraco

São cavidades formadas primeiramente no revestimento do pavimento e podem possuir dimensões e profundidades variadas (Figura 14). Considerado um defeito grave por afetar a estrutura do pavimento, permitindo o acesso das águas superficiais ao interior da estrutura, e também, no ponto de vista funcional do pavimento, pois essas irregularidades na superfície afetam a segurança do tráfego e o custo do transporte. Entre as principais causas desse defeito, estão: trincamento

por fadiga (estágio terminal) e desintegração localizada na superfície do pavimento (desgastes de severidade alta) (DNIT, 2006b).

Figura 14 - Panela ou buraco



Fonte: NBR 005 – TER (DNIT, 2003, p.11)

2.3.8 Remendos

Caracteriza-se pelo preenchimento de uma panela usando uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”. Podem ser remendos profundos, onde ocorre a substituição do revestimento e outras camadas do pavimento, ou então, remendo superficial, que é quando ocorre correção da superfície do revestimento pela aplicação de uma camada betuminosa (DNIT, 2003).

Os remendos são considerados defeitos quando causam desconforto devido solicitação intensa de tráfego, emprego de material de má qualidade, agressividade das condições ambientais e problemas construtivos (DNIT, 2006b).

2.4 Cimento Asfáltico de Petróleo

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) caracteriza-se por ser um produto semissólido em temperaturas baixas, líquido em altas temperaturas e viscoelástico à temperatura ambiente, e que se enquadra em limites de consistência para determinadas temperaturas que são pré-estabelecidas mediante ensaios em especificações. Quanto a consistência, os CAPs convencionais dividem-se em 4

grupos: CAP 30-45; CAP 50-70; CAP 85-100 e CAP 150-200, sendo esses números associados à faixa de penetração obtida em ensaio (BERNUCCI et al., 2008).

De acordo com Balbo (2007), o CAP apresenta propriedades como: flexibilidade, insolúvel à água, relativa durabilidade e resistência contra a maior parte dos ácidos. Podem ser obtidos através de processos de refinamento do petróleo cru, para as finalidades específicas de pavimentação ou ainda para outras aplicações.

2.5 Utilização de fibras como material de reforço

Segundo Dobbin e Rocha (2011) a fibra é um material fino, fibrilado e alongado. Dependendo de sua origem e composição, podem ser aproveitadas para diversas finalidades. Podem ser divididas em três classes: naturais, quando encontradas prontas na natureza; artificiais, quando produzidas pelo homem a partir de materiais da natureza; e sintéticas quando também produzidas pelo homem, porém, originadas a partir de produtos químicos.

A utilização de fibras como reforço de materiais é uma opção que vem sendo utilizada há muito tempo, em que há relatos do seu uso no antigo Egito, onde eram utilizadas palhas na fabricação de tijolos (TANESI; FIGUEIREDO, 1999). Porém, o início do estudo científico sobre o comportamento destes compósitos deu-se apenas na década de 50 com a entrada das fibras de aço e vidro no mercado (BENTUR; MINDESS, 1990).

Para Figueiredo (2000), quando se adicionam fibras ao concreto, este deixa de ter o caráter conhecidamente frágil. Isto ocorre porque a fibra serve como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, minimizando a concentração de tensões nas extremidades das mesmas. Assim, ocorre uma grande redução na velocidade de propagação das fissuras no concreto que passa a ter um comportamento pseudo-dúctil, ou seja, apresenta certa capacidade portante após fissurado.

Em estudo, a utilização de fibras de polipropileno como material de reforço em concreto mostra-se satisfatória, pois geram um considerável fator de segurança e ainda auxiliam na prevenção de patologias como a fissuração do concreto. Atualmente, a utilização de fibras de polipropileno vem sendo muito utilizada em vários setores da construção civil com o objetivo de trazer propriedades benéficas em termos de segurança aos compósitos. Podendo ser utilizada na fabricação de

telhas, uso em pavimentações, painéis de vedação vertical, dentre outros (DOBBIN; ROCHA, 2011).

Muitos estudos têm sido elaborados sobre a incorporação de fibras ao solo na forma de alternativa para material de reforço. Quando adicionados ao solo, houve um aumento na capacidade de suporte a esforço de tração, fazendo com que o método apresenta-se satisfatório, tornando assim interessante o estudo do uso de fibras nas mais diversas obras de engenharia que necessitam ganho de resistência (TRINDADE et al., 2005).

Em relação ao uso de fibras como material de reforço em pavimentos flexíveis, pode-se dizer que não existem muitos estudos explorados, em que o que existe é em relação a misturas asfálticas tipo SMA (Stone Matrix Asphalt), essa mistura possui uma graduação descontínua com cerca de 70-80% de agregados na sua constituição, de 6-7% de ligante e aproximadamente 4% de índices de vazios. Essa mistura leva a inclusão de fibras na sua composição, mas nesse caso elas não servem como material de reforço, e sim, com a função de “segurar” o ligante dentro da estrutura (BABADOPULOS et al., 2008).

2.6 Fibras de polipropileno

De acordo com Félix (2002), o polipropileno é um plástico incolor, inodoro, atóxico e com densidade aproximada de 900 kg/m^3 , caracterizando-se por ser um plástico leve. Por possuir uma estrutura apolar, é praticamente inerte quimicamente e sua dissolução é apenas suscetível por solventes apolares. Quando comparados com outros polímeros similares possuem propriedades mecânicas excelentes, pois apresentam boa resistência à tração e módulo.

Em função de sua constituição, essas fibras possuem uma grande flexibilidade e tenacidade. Sua resistência à tração é de aproximadamente 400 MPa e seu módulo de elasticidade gira em torno de 8 GPa, além disso, possuem elevada resistência ao ataque de várias substâncias químicas e aos álcalis (TAYLOR, 1994). Estas características aumentam de forma substancial a resistência ao impacto nos materiais em que estas fibras são incorporadas (CASAGRANDE, 2001).

2.7 Fadiga

A vida de fadiga de uma mistura asfáltica pode ser definida em vida de fratura ou vida de serviço. A primeira se refere ao número total de aplicações de uma determinada carga necessária para levar a amostra à fratura completa. Já a vida de serviço, refere-se ao número de total de repetições dessa mesma carga que faz com que a amostra reduza seu desempenho ou rigidez a um nível preestabelecido (BERNUCCI et al., 2008).

A deterioração de um pavimento por fadiga é caracterizada pelo rompimento da camada de concreto asfáltico quando esta é solicitada continuamente por cargas que causam tensões menores do que a resistência à tração do revestimento. Inicialmente, as trincas surgem na parte inferior da camada de concreto asfáltico e propagam-se para a superfície, num estágio final evolução, o pavimento fica com aspecto semelhante ao couro de crocodilo (ALBANO, 2005).

Nas estruturas rodoviárias, as misturas asfálticas são constantemente submetidas a solicitações de curta duração em cada passagem de eixo de carregamento. Em pesquisas realizadas em laboratórios, a determinação da fadiga consiste em submeter os corpos-de-prova a repetidas solicitações em sequência e registra-se o número de ciclos que o levou a ruptura (OTTO, 2009).

O ensaio de fadiga tem como objetivo determinar o número de solicitações que uma determinada carga necessita para levar uma mistura asfáltica a uma condição de ruptura (BUDNY, 2012).

Entre os ensaios que buscam simular as condições de tráfego, estão aqueles que são executados em placas ou vigas apoiadas em suporte que visam representar as camadas adjacentes do revestimento. Já entre os ensaios laboratoriais, estão os que são executados em corpos de prova cilíndricos ou prismáticos, que são submetidos a níveis de tensões ou deformações de uma maneira que possam simular a condição de simulação no campo (SANTOS, 2005).

O ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada, devido à facilidade de execução e na moldagem dos corpos de prova, do sistema de carregamento e operação mais simples do equipamento de carga repetida, é o ensaio mais usual no Brasil (MORILHA JÚNIOR, 2004).

2.8 Adesividade

Em misturas asfálticas, a perda de adesão entre agregado e ligante geralmente está relacionada a três fatores: a incompatibilidade entre a constituição mineralógica do agregado e a constituição física e química do material betuminoso, a ocorrência de umidade e presença de sujeira e finos na superfície do agregado. Muitos tipos de defeitos em pavimentos, como o caso de trincamento por fadiga, deformação permanente e danos por umidade são originados da perda de adesão do ligante asfáltico com a superfície do agregado (LYTTON, 2004 apud OLIVEIRA FILHO e SOARES, 2006).

De acordo com Furlan (2006), a ruptura das misturas asfálticas está ligada a ruptura da película adesiva, que se caracteriza pela formação de um plano de ruptura interfacial, completo ou parcial, na ligação entre asfalto e agregado. Basicamente são cinco os modos de ruptura da ligação adesiva entre ligante e agregado:

- Deslocamento: a água desloca a película do asfalto da superfície do agregado;
- Desprendimento: a umidade do agregado antes da mistura separa-o do asfalto;
- Emulsificação espontânea: a água é incorporada pelo asfalto e emulsifica-o.
- Pressão nos poros: a água aprisionada nos vazios da mistura saturada, aliada as cargas do tráfego percola sob pressão, descolando a película do asfalto;
- Lavagem hidráulica: em condições úmidas as repetições do tráfego pesado proporcionam ciclos de compressão, que expõem o ar dos vazios da mistura, e relaxação, que absorve água pela criação de vácuo parcial.

Existem vários tipos de métodos aplicáveis para verificação das características de adesividade de misturas asfálticas, dentre estes, estão os métodos empíricos onde o contato entre ligante asfáltico e agregado é avaliado visualmente e procura-se correlacionar os resultados com o possível desempenho em campo. O outro grupo de ensaios é baseado no comportamento mecânico das

misturas onde as amostras são submetidas a um condicionamento e/ou esforço mecânico para provocar de forma acelerada ou similar o que ocorre no campo, neste grupo estão, dentre outras, a Metodologia Lottman Modificada (AASHTO T 283-89) e o método Cântabro (CEC 325/86) (BUDNY, 2009).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os métodos e materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho. Foram utilizados ensaios laboratoriais para a realização das análises e avaliações das características das misturas asfálticas convencionais e das misturas asfálticas com adição de fibras de polipropileno.

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Agregados

Os agregados utilizados na realização deste trabalho são provenientes de doação feita pela pedreira Pedra Rosada, que fica situada no município de Alegrete-RS.

A Figura 15 apresenta o material doado para a realização do estudo já no depósito próximo ao Laboratório de Solos e Pavimentação, dentro do Campus da Unipampa Alegrete.

Figura 15 - Agregados



Fonte: Elaboração própria

O material necessário para a realização dos ensaios foi coletado do depósito. Após a coleta, foi realizada uma limpeza do material para remoção de raízes, folhas ou outras impurezas. As Britas 0 e 1, ainda foram lavadas utilizando água corrente e uma peneira com abertura de 4,75mm. Após a limpeza dos materiais, os mesmos foram colocados em estufa com temperatura de 105 °C durante 24 horas para secar. Depois de secos, os materiais foram armazenados em sacos plásticos fechados para não absorver umidade.

A Figura 16 apresenta os processos de limpeza e secagem dos materiais.

Figura 16 – Limpeza e secagem dos agregados



Fonte: Elaboração própria

3.1.2 Ensaio de Granulometria dos agregados

O ensaio de granulometria do material propõe identificar a faixa de enquadramento da amostra ensaiada, de acordo com as especificações normatizadas pelo DNIT.

O ensaio deve ser executado conforme a norma DNER-ME 083/98 de Análises Granulométricas, em que se utilizam peneiras de malha quadrada e de aberturas regulamentadas conforme especificações normativas. O Quadro 1 apresenta a faixa granulométrica aceitável pelo DNIT para projeto.

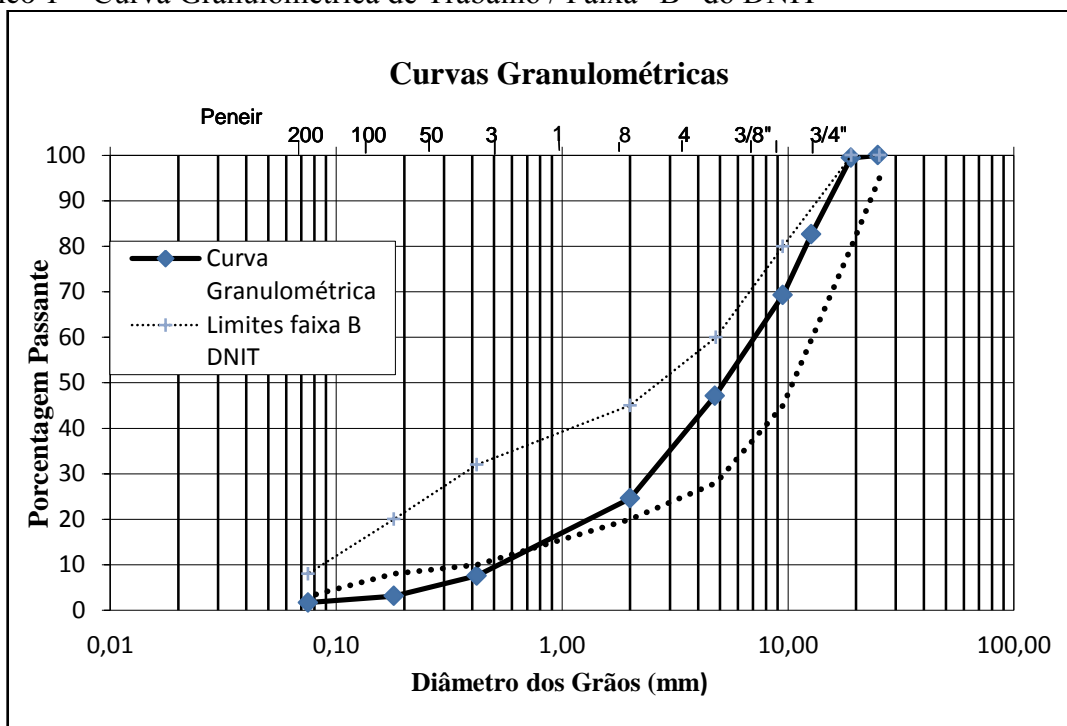
Quadro 1 - Faixas Granulométricas

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
¾"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
½"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
N° 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
N° 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
N° 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
N° 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
N° 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

Fonte: Norma DNIT 031/2006 p.5

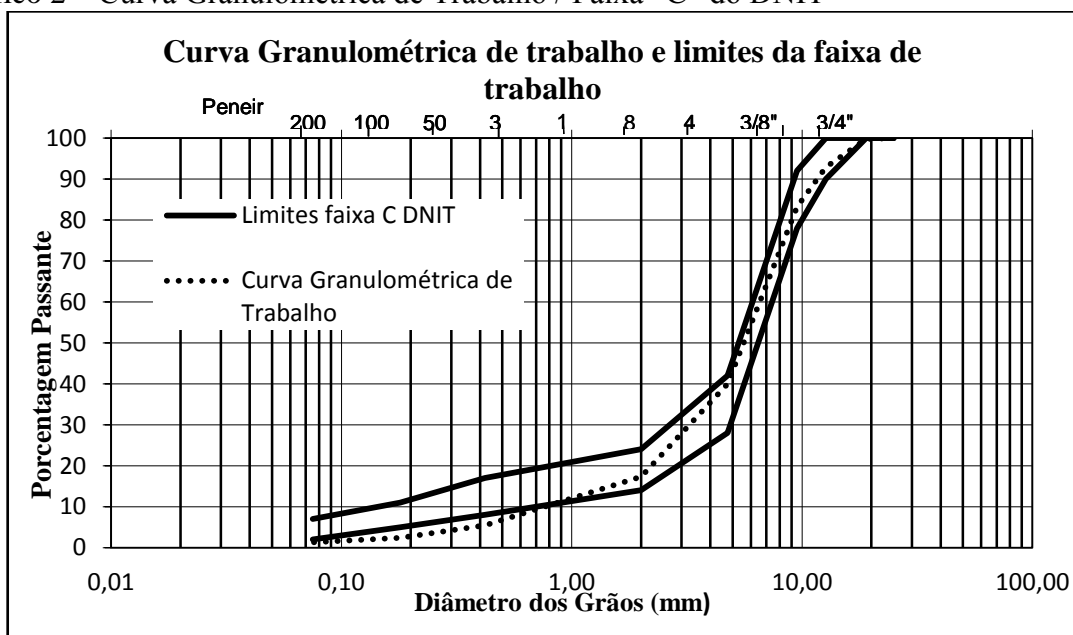
Heck (2015) realizou os ensaios granulométricos para duas amostras desse mesmo material doado e tentou enquadrar as curvas granulométricas dentro da faixa "B" ou "C" do DNIT. Os Gráficos 1 e 2 apresentam os resultados.

Gráfico 1 – Curva Granulométrica de Trabalho / Faixa “B” do DNIT



Fonte: Heck (2015, p.43)

Gráfico 2 – Curva Granulométrica de Trabalho / Faixa “C” do DNIT



Fonte: Heck (2015, p.43)

Como pode ser visto pelos Gráficos 1 e 2, existia uma deficiência na quantidade de finos nos materiais da amostra, assim, não possibilitando o enquadramento da mesma em nenhuma das duas faixas. Então, para a realização dos ensaios, foi necessário separar os agregados em peneiras para que o excesso

de algumas frações fosse desprezado, e após isso, criar uma nova curva granulométrica que obedeça aos limites das curvas propostos pelo DNIT.

A Figura 17 apresenta o peneiramento do material coletado e sua separação em sacos plásticos.

Figura 17 – Peneiramento e separação granulométrica do material



Fonte: Elaboração própria

Devido à deficiência em finos do agregado utilizado na mistura, adicionou-se 1,5% de cal hidratada CH-II de origem dolomítica para facilitar o enquadramento do material na “Faixa C” do DNIT. A Tabela 1 apresenta quantidade de agregados de cada peneira utilizados na criação da nova curva granulométrica e a Figura 18 a composição da mistura.

Tabela 1 – Composição dos agregados na mistura.

PENEIRAS		MATERIAIS		
Aberturas (mm)	Nº	Cada Dosagem (g)	Total Dosagem (g)	Percentual na Mistura (%)
19	3/4"	-	-	-
12,5	1/2"	250	2500	5,0
9,5	3/8"	500	5000	10,0
4,75	4	2500	25000	50,0
2	10	800	8000	16,0
0,42	40	325	3250	6,5
0,18	80	225	2250	4,5
0,075	200	175	1750	3,5
Fundo	-	150	1500	3,0
Cal Hidratada	-	75	750	1,5

Fonte: Elaboração própria

Figura 18 – Composição da mistura.



Fonte: Elaboração própria

3.1.3 Ligante

O ligante asfáltico utilizado na mistura é o CAP 50/70 da Petrobrás. Para fins de estudo, algumas características do produto são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Características do CAP 50/70

Ponto de amolecimento	48 °C
Ponto de ebulição	>450 °C
Ponto de fulgor	235 °C (vaso fechado)
Densidade	1,00 – 1,18 (água a 4°C = 1)

Fonte: Heck (2015, p.46)

A Figura 19 apresenta o ligante asfáltico utilizado na realização dos ensaios da pesquisa.

Figura 19 – Ligante Asfáltico



Fonte: Elaboração própria

3.1.4 Ensaio de Viscosidade

A determinação da viscosidade do ligante é importante para conhecer a consistência ideal do CAP, e assim, possibilitando um bom cobrimento dos agregados da mistura (Bernucci et al., 2008).

A viscosidade também pode ser determinada através do método rotacional, que utiliza o viscosímetro Brookfield. Neste método, a viscosidade medida é a razão entre a tensão de cisalhamento aplicada e a taxa de cisalhamento de um líquido.

Para fins de estudo, foram utilizados os resultados obtidos por Heck (2015) que realizou o ensaio para o CAP 50/70 através do viscosímetro de Brookfield. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Ensaio de viscosidade CAP 50/70

	Viscosidade (cP)			Mistura	Compactação
	375	190	77,5		
Temperatura	135°C	150°C	177°C	153-154°C	142-143°C

Fonte: Heck (2015, p.47)

3.1.5 Fibra de Polipropileno

Nos corpos de prova das misturas asfálticas com reforço de fibras, foram utilizadas fibras de polipropileno comercializadas pela empresa Macaferri do Brasil Ltda. As propriedades dessa fibra já estão apresentadas na fundamentação teórica.

Na realização do trabalho, para utilizar os resultados já obtidos dos ensaios realizados por Heck (2015), utilizou-se na mistura um teor de 0,5% de fibras com comprimento de 24 mm e 18 μm de diâmetro. A Figura 20 apresenta as fibras utilizadas no trabalho.

Figura 20 – Fibra de polipropileno



Fonte: Elaboração própria

3.2 Dosagem Marshall

A dosagem Marshall é regulamentada pela norma DNER-ME 043/95 no Brasil, este método foi criado durante a Segunda Guerra Mundial e continua sendo utilizado até os dias atuais (BERNUCCI et al., 2008).

Na realização do trabalho, o procedimento do método Marshall consistiu na compactação a quente de corpos de prova convencionais e reforçados, em que foram misturados agregado e ligante asfáltico para os convencionais e ligante asfáltico, agregado e fibra de polipropileno para os reforçados.

O teor de ligante asfáltico pode ser relacionado com vários parâmetros, porém, para escolher o teor ótimo que será utilizado em camadas de rolamento de um pavimento, deve-se relacionar com o volume de vazios (V_v), o qual deve corresponder a 4%.

Após os estudos de Heck (2015), verificou-se que o volume de vazios da mistura convencional corresponde a 4% quando o teor de ligante asfáltico é de aproximadamente 6%, já para a mistura com adição de fibras, o teor ótimo de ligante fica entre 6% e 6,5%. Assim, para a moldagem dos corpos de prova deste estudo,

por se tratar dos mesmos materiais e das mesmas misturas, foram utilizados os mesmos teores ótimos de ligante asfáltico.

Como a temperatura ideal de mistura para o trabalho era de 153-154°C, os agregados (já separados na quantidade certa para a dosagem e sem a adição das fibras) foram aquecidos em estufa até alcançar a temperatura de 164°C e o ligante em outra estufa até 154°C. Após, retirava-se os agregados da estufa e nessa hora eram acrescentadas as fibras para o caso da mistura reforçada. Em seguida era retirado da estufa o ligante asfáltico e adicionado na mistura, então, homogeneizava-se a mistura até que todos agregados estivessem cobertos pelo ligante.

Para cada dosagem eram moldados quatro corpos de prova, assim, após a realização da mistura, separavam-se quatro porções de 1100 gramas que eram colocadas em recipientes de alumínio e deixadas na estufa por duas horas na temperatura de compactação para simular o envelhecimento da mistura. Após esse período, cada porção era colocada em moldes cilíndricos metálicos e compactada no Compactador Marshall aplicando 75 golpes em cada superfície do corpo de prova. Por último, eram desmoldados, medidos e armazenados.

A Figura 21 apresenta a sequência das atividades na realização da mistura asfáltica e a moldagem dos corpos de prova.

Figura 21 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Elaboração própria

3.3 Ensaio de Adesividade- Lottman Modificado

O ensaio de adesividade - Lottman Modificado (AASHTO T283-89 ou ASTM D4867) tem o objetivo de avaliar as propriedades de adesividade em misturas

asfálticas considerando o efeito da água em amostras cilíndricas preparadas através do método Marshall.

O ensaio consistiu na elaboração de oito corpos de prova (seguindo o método Marshall) com volume de vazios entre 6% e 8% para cada tipo de mistura, convencional e reforçada.

Separaram-se essas amostras em dois grupos, com metade das amostras em cada. Para melhorar os resultados, os corpos de prova com dimensões mais próximas foram colocados em grupos diferentes para conseguir assim uma comparação mais precisa entre os resultados.

O primeiro grupo (Grupo 1) ficou armazenado dentro de estufa com temperatura constante de 25°C durante 24 horas. Após esse período, foram levados para uma câmara com temperatura de 25°C e então foram submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral. A média entre os valores encontrados para cada tipo de mistura foi denominada como RT1.

No segundo grupo (Grupo 2) as amostras foram parcialmente saturadas, entre 70 a 80%, por pressão de vácuo. Após isso, os corpos de prova foram colocados em sacos plásticos com 10 ml de água dentro e refrigerados durante 24 horas em temperatura de -18°C. Após o término das 24h, as amostras foram removidas e imersas em água à temperatura de 60°C por mais 24h, depois foram transferidas para outra imersão a uma temperatura de 25°C por mais 2h. Por fim, romperam-se os corpos de prova em câmara com temperatura controlada em 25°C e determinou-se o valor de RT2 como sendo a média entre os resultados.

Para determinar a resistência à tração de cada amostra, os corpos de prova foram submetidos a uma carga com velocidade de 1 mm por minuto. Após a ruptura do corpo de prova, foi obtida a força máxima resistida pela amostra e calculou-se a resistência pela seguinte equação:

$$RT = \frac{2P}{(\pi \cdot \phi \cdot h)} \quad \dots(1)$$

Onde:

- P= Força aplicada;
- ϕ = Diâmetro do corpo de prova;
- h = altura do corpo de prova;

A Figura 22 apresenta algumas etapas do processo que as amostras do segundo grupo foram submetidas.

Figura 22 – Etapas do condicionamento das amostras do segundo grupo



Fonte: Elaboração própria

Calculou-se através do quociente entre RT1 e RT2 (em %) o valor da Resistência Retida à Tração (RRT).

$$RRT = \frac{RT2}{RT1} \times 100\% \quad \dots(2)$$

Onde:

- RRT= Resistência retida à tração (%);
- RT1= Resistência à tração das amostras do Grupo 1;
- RT2= Resistência à tração das amostras do Grupo 2;

A Metodologia Superpave recomenda utilizar o valor mínimo de 80% para o valor de RRT para classificar a adesividade entre ligante e agregado como adequada (SPECHT, 2004).

Nesse ensaio, os corpos de prova foram confeccionados no Laboratório de Solos e Pavimentação, refrigerados no Laboratório de Química, Metalografia e Tratamentos Térmicos e o restante das etapas foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção Civil, todos dentro da Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete.

3.4 Ensaio de Vida de Fadiga

Para avaliar as misturas asfálticas deste trabalho foi utilizado o ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada.

Em síntese, o ensaio de compressão diametral para fadiga de misturas asfálticas é um ensaio de tração indireta conduzido com cargas repetidas em vários corpos de prova cilíndricos da mesma mistura, moldados nas mesmas condições. Foram aplicadas cargas de compressão diametralmente ao corpo de prova, então o corpo de prova foi submetido a um estado biaxial de tensões, sendo que as seções verticais do corpo de prova ficaram sujeitas a esforços de compressão e as seções horizontais a esforços de tração.

Neste ensaio, levaram-se 12 corpos de prova à ruptura para cada tipo de mistura, sendo os mesmos ensaiados com cargas no intervalo entre 10% a 50% da resistência a tração da mistura. A Figura 23 mostra a diferença entre os corpos de prova após a ruptura, já a Figura 24 apresenta um exemplo de curva de fadiga.

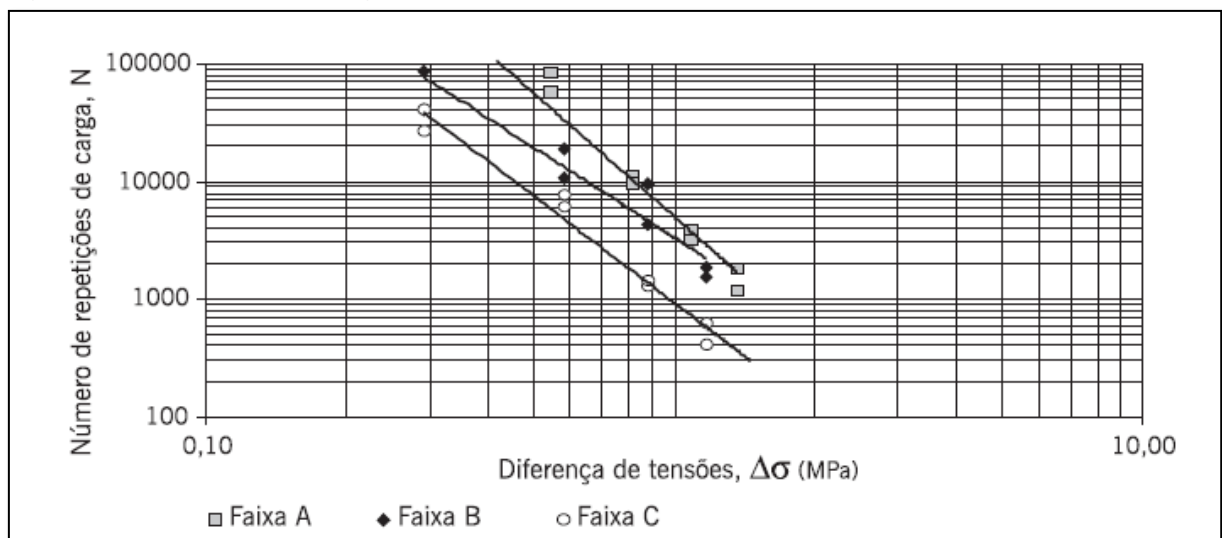
Figura 23 – Corpos de prova após ruptura.



Fonte: Elaboração própria

Como pode ser visto na Figura 23, os corpos de prova da mistura convencional apresentaram separação total após a ruptura, diferentemente dos corpos de prova da mistura reforçada, onde as fibras ficaram resistindo mesmo após a ruptura da amostra.

Figura 24 – Curva de fadiga



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.314)

Para cada mistura ensaiada foram determinadas as relações entre o número de repetições à ruptura e o nível de tensões atuantes utilizando os gráficos da curva de fadiga e as equações a seguir:

$$N = k_1 \times \left(\frac{1}{\sigma_t}\right)^{n_1} \quad \text{ou} \quad N = k_2 \times \left(\frac{1}{\Delta\sigma}\right)^{n_2} \quad \dots(3)$$

Onde:

- N = número de repetições do carregamento necessário à ruptura completa da amostra (vida de fadiga);
- σ_t = tensão de tração repetida solicitante;
- $\Delta\sigma$ = diferença algébrica entre as tensões horizontal (de tração) e vertical (de compressão) no centro da amostra;
- k_i, n_i = constantes obtidas na regressão linear dos pares N e σ_t (ou $\Delta\sigma$) determinados em ensaios, em escalas logarítmicas.

Neste ensaio foram moldados 12 corpos de prova para misturas convencionais e 12 corpos de prova para misturas reforçadas com fibras. Os corpos de prova foram moldados no Laboratório de Solos e Pavimentação da Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete e foram ensaiados no Laboratório de Geotecnia e Pavimentos da COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

3.4.1 Simulações utilizando o SisPav

Para um melhor entendimento da vida de fadiga, a curva de fadiga foi avaliada por meio de uma análise utilizando o software Sispav desenvolvido por Franco (2007), em que foram simuladas estruturas de pavimentos e as mesmas solicitadas por um tráfego de veículos.

Para conseguir a simulação foram necessários dados sobre o módulo de resiliência (MR), coeficientes de regressão (K1, K2 e K3), clima e dados de tráfego.

Por se tratar das mesmas misturas ensaiadas por Heck (2015) os valores para os módulos de resiliência da mistura convencional e da reforçada serão os

mesmos, tendo assim, 3084 MPa para mistura convencional e 2420 MPa para a mistura reforçada com fibra.

Os valores para os coeficientes de regressão são os obtidos nas curvas de fadiga da pesquisa, com exceção do coeficiente K3, em que se adotou o valor de zero. A Figura 25 apresenta a aba do SisPav onde são adicionados os coeficientes de regressão.

Figura 25 – Tela SisPav: Coeficientes de regressão

The screenshot shows the SisPav software interface. The 'MODELAGEM' tab is active, and the '1 - CONCRETO ASFÁLTICO' option is selected in the left-hand menu. The main window displays the following data:

1 - CONCRETO ASFÁLTICO	
Fadiga de Misturas Asfálticas	
Considerar no projeto:	SIM
Modelo:	COPPE, 2014 (TODAS AS MISTURAS)
Fator Campo-Laboratório (fcl):	10000,00
Coefficiente de Regressão (k1):	2e-7
Coefficiente de Regressão (k2):	-2.398
Coefficiente de Regressão (k3):	0
Erro padrão (%):	40,0
Deformação Permanente	
Considerar no projeto:	NÃO

Below the table, the software provides the following information:

Coefficiente de Regressão (k3):
 Conforme a expressão do modelo abaixo.

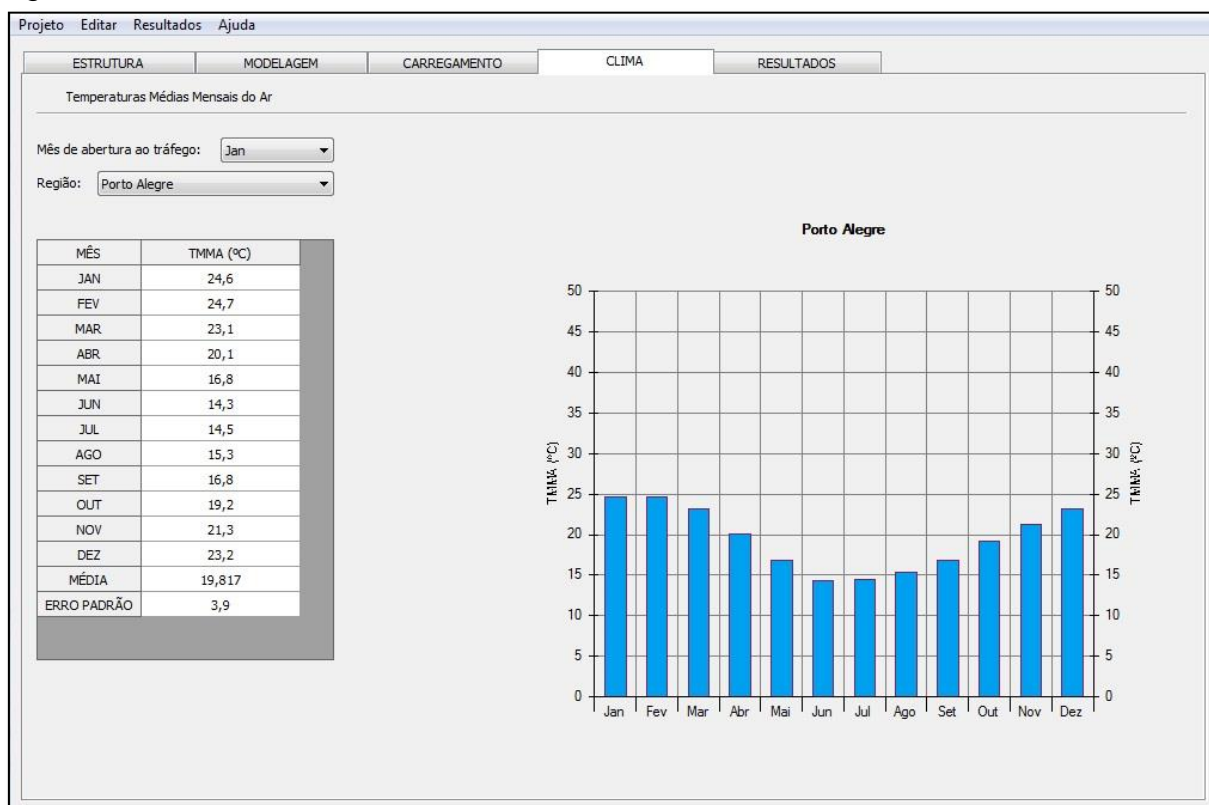
Expressão matemática do modelo:

$$N = fcl \cdot k_1 \cdot (\epsilon_t)^{k_2} \cdot (Mr)^{k_3}$$

Fonte: Elaboração própria

Em relação ao clima, adotou-se janeiro como mês de abertura ao tráfego e as temperaturas para a região de Porto Alegre – RS, pois esta era a opção disponível mais próxima do local do trecho analisado. Estes dados são apresentados na Figura 26.

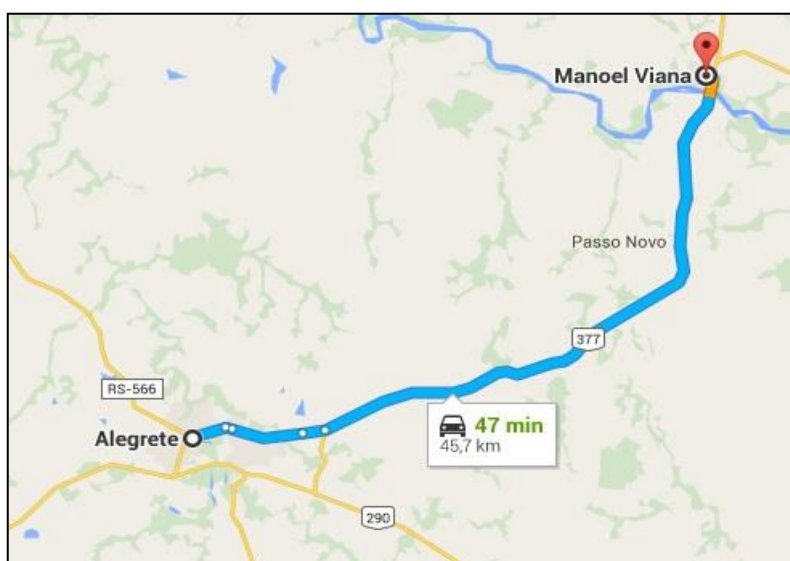
Figura 26 – Tela SisPav: Clima



Fonte: Elaboração própria

Para os dados referentes ao tráfego, foram utilizados os valores para um trecho de 45,7 km na RS-377, sentido Alegrete – Manoel Viana, apresentado na Figura 27.



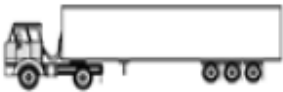
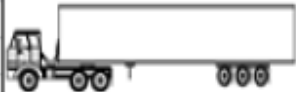
Figura 27 – Trecho analisado da RS-377



Fonte: Google Maps

Segundo dados da Polícia Rodoviária Estadual, este trecho apresentou uma frota comercial de 397.120 veículos no ano de 2013 (MORAIS, 2014 apud PRE, 2014). O Quadro 3 apresenta o Volume Diário Médio (VDM) e Volume Anual de tráfego, separando por tipos de veículos e eixos, da rodovia RS-377.

Quadro 3 – Volume de tráfego do trecho da RS-377

Tipos de Veículos	Categoria	VDMa corrigido	Volume Anual
	2U	106	38690
	3U	62	22630
	2S3	78	28470
	2S3	32	11680,00

Fonte: PRE (2014), apud MORAIS (2014) p.47

Os dados apresentados no Quadro 3 foram adicionados no SisPav e geraram um Número Equivalente de Eixos N (DNIT) igual a $9,158 \times 10^6$. A Figura 28 apresenta os dados referentes ao carregamento no SisPav.

Figura 28 – Tela SisPav: Carregamento

EIXO	CONFIGURAÇÃO	RODAS	VOLUME (1º Ano)	TAXA (%aa)	CARGA (ton)	PRESSÃO (MPa)	Sx (cm)	Sy (cm)	ÁREA (cm ²)	RAIO (cm)
1	Eixo Simples	2	101470	0,00	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000	10,925
2	Eixo simples de roda dupla	4	67160	0,00	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000	9,973
3	Dois eixos duplos em tandem	8	34310	0,00	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250	9,195
4	Três eixos duplos em tandem	12	40150	0,00	25,50	0,80	32,40	120,00	265,6250	9,195

Fonte: Elaboração própria

Para possibilitar uma comparação mais direta entre as duas misturas, durante as simulações, foram utilizados os mesmos valores para espessura, material e módulo de resiliência para as camadas de base, sub-base e subleito do pavimento. Na escolha dos materiais, espessuras e módulos de resiliência para as camadas, adotaram-se valores que possibilitaram a simulação de um pavimento com vida de projeto estimada em 10 anos. Os dados de cada camada podem ser vistos no Quadro 4 e na Figura 29.

Quadro 4 – Camadas do pavimento utilizadas na simulação

CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MR (MPa)
Base	Brita Graduada com Cimento (BGTC)	40	5000
Sub-base	Solo fino, siltoso ou argiloso	30	200
Subleito	Solo siltoso	-	50

Fonte: Elaboração própria

Figura 29 – Tela SisPav: Estrutura do pavimento

Projeto: NÍVEL DE PROJETO << A >>

Alterar Estrutura >>

CAMADA	MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Projeto	10,3	2420	0,33
2	BRITA GRADUADA COM CIMENTO (BGTC)	Projeto	40	5000	0,25
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	30,0	200	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	50	0,35

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos no SisPavBR.
 Dano Crítico no Pavimento: 100,30% com confiabilidade de 85%
 Fadiga na base do revestimento
 Vida de projeto estimada em 10,0 ano(s)

Fonte: Elaboração própria

Como pode ser visto no Quadro 4 e Figura 29, o material utilizado na camada da base do pavimento foi Brita Graduada com Cimento (BGTC). Mesmo não sendo um material utilizado na região do trecho analisado, a escolha deste material se deu pela necessidade de aumentar a rigidez do pavimento, pois tanto a mistura convencional quanto a mistura reforçada com fibras apresentavam valores de módulo de resiliência baixos para serem usadas em uma camada de revestimento.

Com os dados descritos anteriormente, foram realizados dois tipos de simulações no SisPav para comparar as duas misturas asfálticas da pesquisa. Na primeira simulação verificou-se a espessura mínima da camada de revestimento necessária para um projeto de vida estimada em dez anos e confiabilidade de 85%. Na segunda simulação, adotou-se a espessura da camada de revestimento igual a 14,5 centímetros para as duas misturas, e assim, verificou-se a vida de projeto estimada para os dois pavimentos.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esse capítulo irá apresentar os resultados e as análises provenientes dos ensaios de Adesividade Lottman Modificado e Fadiga por Compressão Diametral.

4.1 Ensaio de adesividade

Como já dito anteriormente na metodologia, os corpos de prova foram separados em dois grupos, um para que passasse pelo ciclo de condicionamento de gelo e degelo e outro em condições naturais.

Nas Tabelas 3 e 4, podem ser vistos os valores da resistência à tração por compressão diametral (RT), obtidos após o ensaio das amostras.

Tabela 3 – RT das amostras do Grupo 1

CP	RT (MPa)
1	0,67
2	0,64
3	0,92
4	1,86
Fibra 1	0,45
Fibra 2	0,54
Fibra 3	0,94
Fibra 4	1,10

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4 – RT das amostras do Grupo 2

CP	RT (MPa)
5	0,91
6	1,12
7	0,95
8	0,96
Fibra 5	0,54
Fibra 6	0,71
Fibra 7	0,72
Fibra 8	0,71

Fonte: Elaboração própria

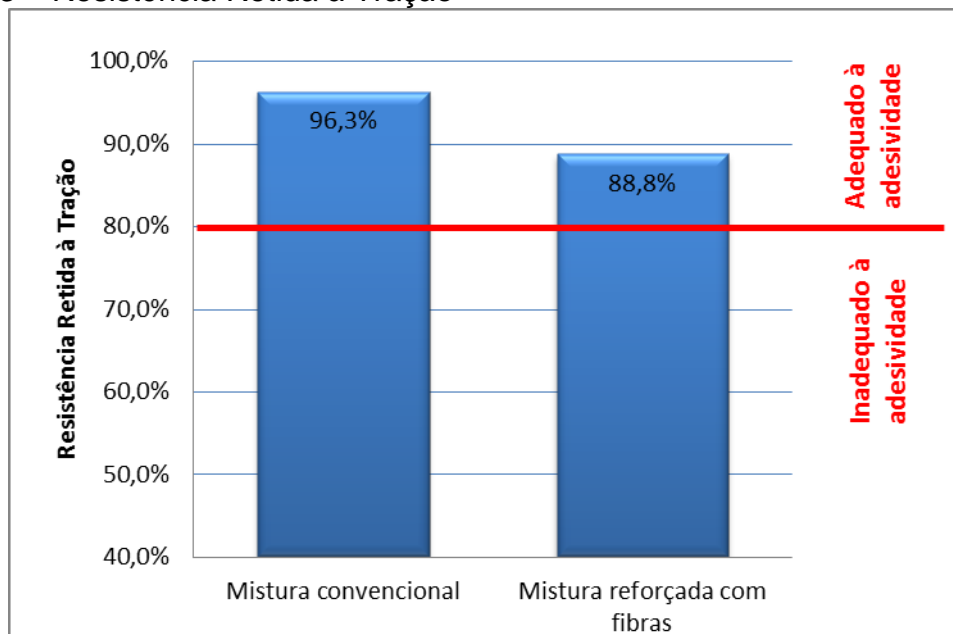
Com os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4, foi possível calcular os valores de RT1, RT2 e RRT para os corpos de prova convencionais e reforçados com fibras utilizando a Equação 2. Os resultados estão apresentados na Tabela 5 e Gráfico 3.

Tabela 5 – Valores médios de RT1, RT2 e RRT

AMOSTRA	RT1 (MPa)	RT2 (MPa)	RRT (%)
Convencional	1,02	0,99	96,31
0,5% de fibras	0,76	0,67	88,78

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 3 – Resistência Retida à Tração



Fonte: Elaboração própria

Como pode ser visto no Gráfico 3, tanto na mistura convencional quanto na mistura reforçada, os valores de RRT foram maiores que 80%, que segundo a Metodologia Superpave é o valor que define se o pavimento é adequado em relação à adesividade.

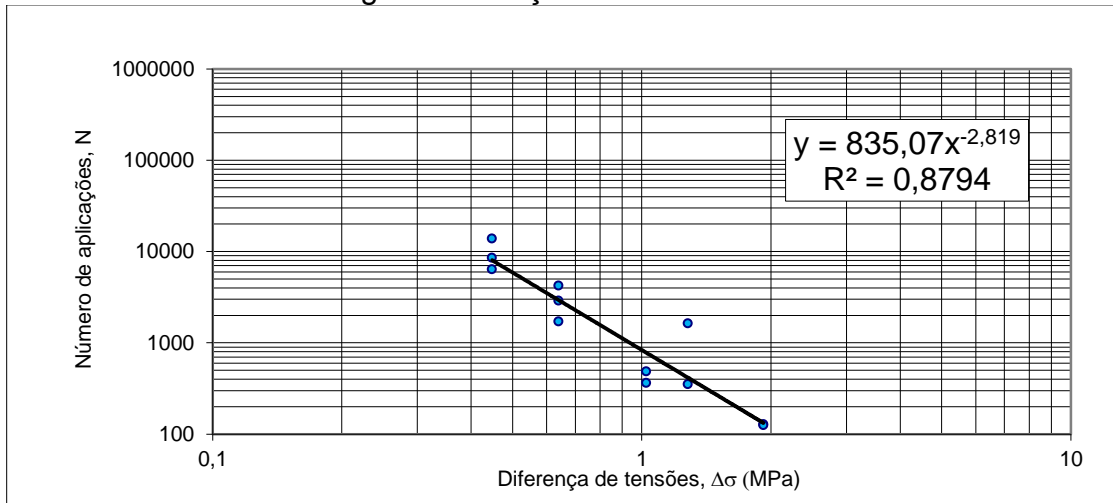
4.2 Ensaio de fadiga

Nesse ensaio foram levados à ruptura 12 corpos de prova da mistura convencional e 12 da mistura reforçada com 0,5% de fibras de polipropileno. Para

possibilitar uma comparação mais direta, as duas misturas foram ensaiadas com os mesmos níveis de tensão.

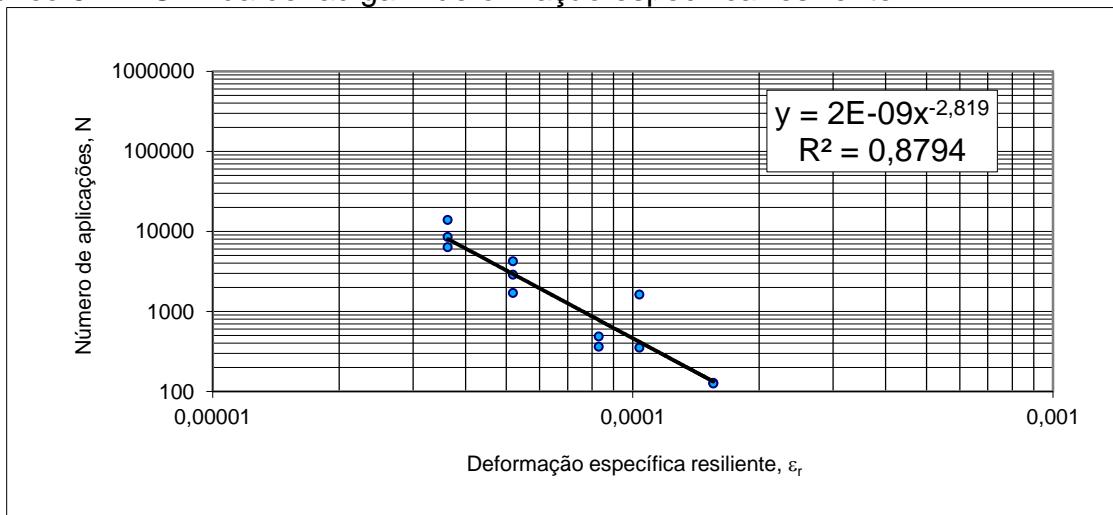
Os Gráficos 4 e 5 apresentam, respectivamente, as curvas obtidas para a vida de fadiga da mistura convencional (MC) em termos de diferença de tensões e de deformação específica.

Gráfico 4 – MC: Vida de fadiga x diferença de tensões



Fonte: Elaboração própria

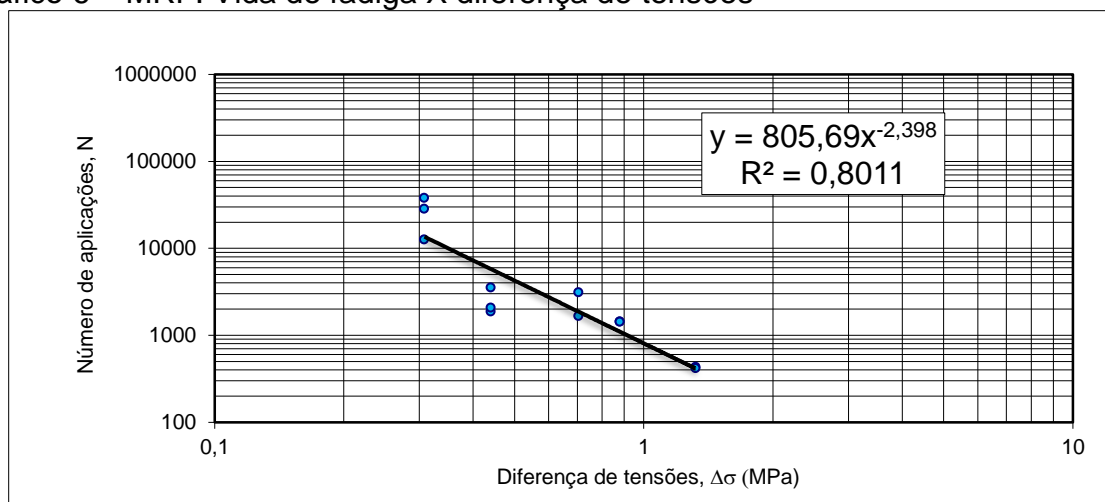
Gráfico 5 – MC: Vida de fadiga X deformação específica resiliente



Fonte: Elaboração própria

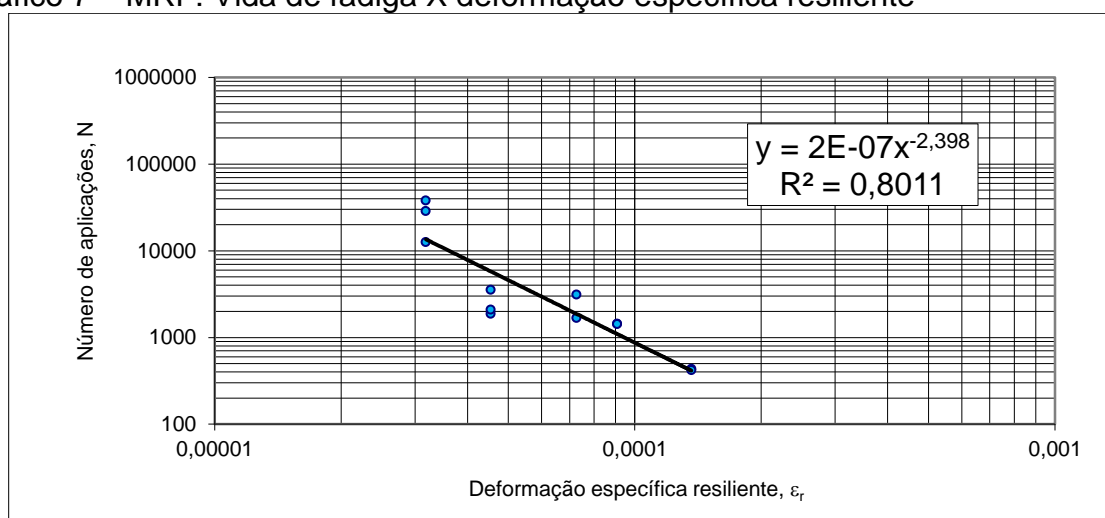
Já nos Gráficos 6 e 7, podem ser vistos os mesmos tipos de curvas, mas neste caso, para a mistura reforçada com fibras (MRF).

Gráfico 6 – MRF: Vida de fadiga X diferença de tensões



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 7 – MRF: Vida de fadiga X deformação específica resiliente



Fonte: Elaboração própria

Com os gráficos das curvas de fadiga foi possível encontrar os valores dos parâmetros da equação da vida de fadiga em função da diferença de tensões e em função da deformação específica resiliente para as duas misturas ensaiadas neste trabalho. Esses valores são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros obtidos das curvas de fadiga

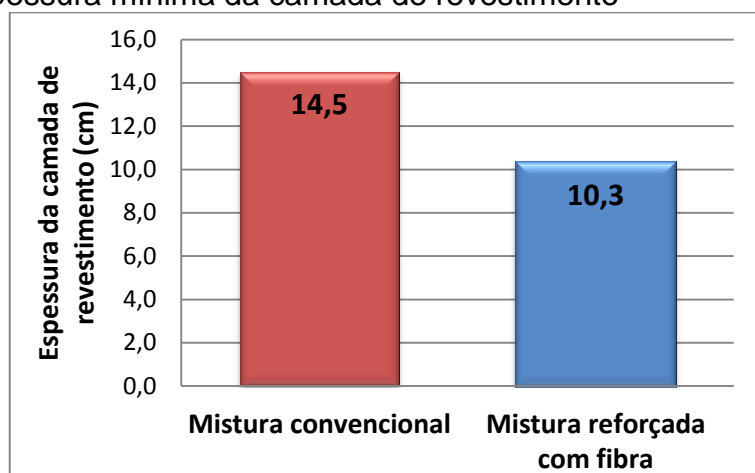
MISTURA	K1	K2	R ²
Convencional	2E-09	-2,819	0,88
0,5% de fibras	2E-07	-2,398	0,80

Fonte: Elaboração própria

Pela dificuldade de se fazer uma análise mais precisa apenas utilizando os gráficos de fadiga e os valores apresentados na Tabela 6, os resultados obtidos nesse ensaio foram utilizados para realizar simulações no software SisPav desenvolvido por Franco (2007) de acordo com o item 3.4.1 da metodologia.

No Gráfico 8 é apresentado o resultado da primeira simulação, onde foram calculadas as espessuras mínimas para as camadas de revestimento de cada mistura para um projeto de pavimento com vida útil estimada em 10 anos.

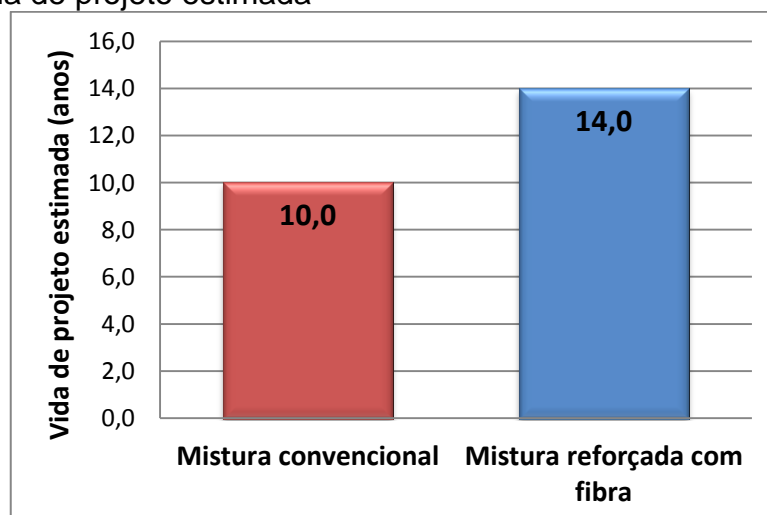
Gráfico 8 – Espessura mínima da camada de revestimento



Fonte: Elaboração própria

Na segunda simulação, as duas misturas foram simuladas utilizando 14,5 centímetros de espessura na camada de revestimento e verificou-se a vida de projeto estimada. O resultado é apresentado no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Vida de projeto estimada



Fonte: Elaboração própria

Analisando os Gráficos 8 e 9, verifica-se que a mistura reforçada com fibras apresentou um melhor desempenho comparado com a mistura convencional para danos causados por fadiga.

Na mistura com fibras precisou-se de aproximadamente 70% do valor da espessura de revestimento da mistura convencional para alcançar uma vida de projeto estimada de 10 anos, e quando, comparadas com a mesma espessura, apresentou um ganho de 40% em relação à vida de projeto estimada.

Como o material utilizado na base do pavimento nas simulações (BGTC) possui um módulo de resiliência muito maior que os materiais realmente utilizados na região do trecho analisado, também foram realizadas simulações utilizando Brita Graduada Simples (BGS) na camada de base, esta com módulo de resiliência igual a 320 MPa, sendo assim, um valor mais condizente com a realidade dos materiais geralmente utilizados na região.

Mesmo sabendo que a vida estimada de projeto ficará abaixo de 10 anos, valor este, não muito usual no dimensionamento de projetos de pavimento, esta simulação tem o objetivo de apenas melhorar a comparação entre as duas misturas.

Os materiais, espessuras e módulos de resiliência utilizados nesta simulação são apresentados no Quadro 5.

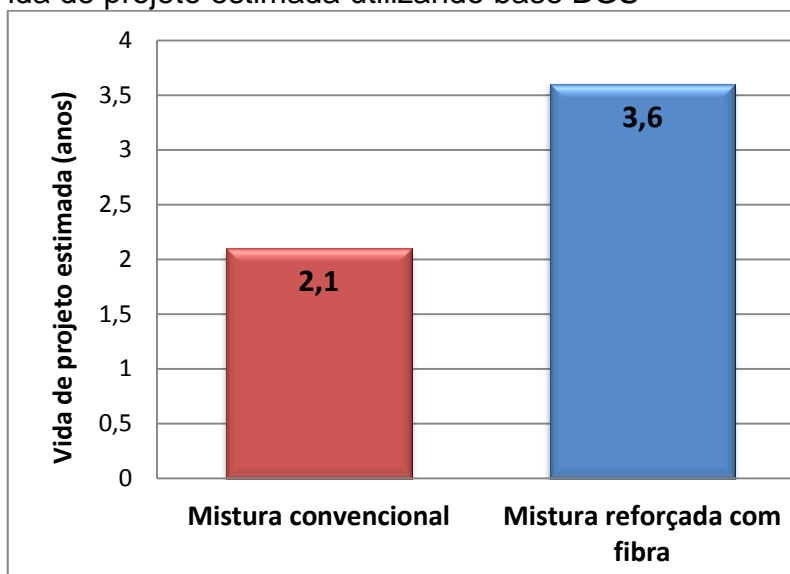
Quadro 5 – Espessuras das camadas do pavimento com base BGS

CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)	
			Convencional	Reforçada
Revestimento	Concreto Asfáltico	20	3084	2420
			320	
Base	Brita Graduada Simples (BGS)	40	320	
Sub-base	Solo fino, siltoso ou argiloso	40	200	
Subleito	Solo siltoso	-	50	

Fonte: Elaboração própria

Utilizando os valores do Quadro 5 e os outros dados semelhantes aos utilizados no item 3.4.1 da metodologia (carregamento, clima e coeficientes de regressão), foram realizadas simulações e verificados os resultados da vida de projeto estimada para cada uma das misturas. O Gráfico 10 apresenta os resultados das simulações.

Gráfico 10 – Vida de projeto estimada utilizando base BGS



Fonte: Elaboração própria

Analisando o Gráfico 10, percebe-se que os resultados seguem na mesma linha dos Gráficos 8 e 9, mostrando que mesmo utilizando uma base menos rígida, a mistura reforçada com fibras continuou apresentando um desempenho muito melhor ao da mistura convencional.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Na pesquisa realizada, o principal objetivo era analisar os efeitos da adição de fibras de polipropileno na camada de revestimento de pavimentos flexíveis, verificando se ocorreria melhora do desempenho relacionado à vida de fadiga e adesividade.

Para realização do estudo, foram moldados cerca de 40 corpos de prova para realização dos ensaios de fadiga e adesividade, metade com dosagem convencional e outra metade com adição de 0,5% de fibras de polipropileno.

Após a realização do ensaio de adesividade, verificou-se que as misturas reforçadas com fibras apresentaram bom desempenho, mesmo tendo um valor de Resistência Retida à Tração um pouco menor comparada com a mistura convencional. Ambas as misturas ficaram com valores acima de 80%, e que ratificada pela Metodologia Superpave, são consideradas adequadas em relação à adesividade.

No outro ensaio realizado, para verificação das características relacionadas à vida de fadiga, mais uma vez a mistura com adição de fibras apresentou resultados satisfatórios. Porém, diferentemente dos resultados de adesividade, desta vez a mistura com fibras apresentou uma melhora expressiva em relação à mistura convencional, em que, quando simuladas com as mesmas espessuras e camadas, apresentou um ganho de 40% na vida de projeto estimada.

De certa forma, essa melhora já era esperada após os estudos de Heck (2015), onde se verificou que a mistura reforçada com fibras suportava maiores deformações num período de tempo com tensões mais baixas que às de pico. Outro ponto importante de ressaltar foi que os corpos de prova da mistura com fibras, mesmo após ruptura nos ensaios, não apresentavam separação total, diferentemente dos corpos de prova convencionais.

Diante dos dados apresentados, pode-se concluir que a adição de fibras em misturas asfálticas contribui positivamente, principalmente para diminuir os defeitos oriundos de fadiga nos pavimentos. Porém, devem-se realizar outras pesquisas para conseguir uma conclusão mais precisa sobre o uso de fibras nas misturas asfálticas.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

Como o estudo com adição de fibras em misturas asfálticas ainda pode ser considerado pioneiro, é de grande importância que se realizem diferentes pesquisas para que se possam verificar outros fatores relacionados ao uso de fibras nos pavimentos. Dentre essas pesquisas, estão:

- Avaliar a utilização de diferentes tipos de ligante;
- Analisar os resultados de fadiga para diferentes níveis de tráfego e outras rodovias;
- Realizar ensaios de deformação permanente: *Flow Number* ou *Creep*;
- Utilizar outros tipos de fibras;
- Verificar outros métodos de incorporação de fibras nas misturas asfálticas;
- Realizar pequenos trechos experimentais com misturas reforçadas com fibras para verificar o seu desempenho quando solicitado ao tráfego real.

REFERÊNCIAS

ALBANO, J. F. **Efeitos dos excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BABADOPULOS L.F.A.L; VALE A.C; SOARES J.B; LOPES M.M; CASAGRANDE M.D.T. In: 19° ENCONTRO DE ASFALTO, 2008, Rio de Janeiro. **Análise do escorrimento em misturas asfálticas do tipo SMA com fibras de polipropileno,** Ceará, 2008

BALBO, J.T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração.** 1ed. , São Paulo, 2007.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementious Composites.** Elsevier Applied Science, London and New York, 1990.

BERNUCCI, L.D. et al. **Pavimentação Asfáltica- Formação Básica para Engenheiros.** 1ed. , Rio de Janeiro, RJ, 2008.

BUDNY, J. **Avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BUDNY, J. **Avaliação dos efeitos de diferentes tipos de cal em misturas de concreto asfáltico.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

CASAGRANDE E. G. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de polipropileno e com adição de cinza volante: estudo do desempenho em pavimentos de concreto.** Trabalho de conclusão de curso- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CASAGRANDE M.D.T. **Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CNT- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2014.** Disponível em:<http://www.cnt.org.br/Paginas/Pesquisas_Detalhes.aspx?p=3>. Acesso em 22 out 2015.

CNT. **Atlas do Transporte,** 2006. Disponível em:<<http://www.cnt.org.br/Paginas/Atlas-do-Transporte.aspx>> . Acesso em 26 out. 2015.

CORÓ, A. G. **Investigação das propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibras PET.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2002.

DANIELESKI, M. L. **Proposta de metodologia de avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - ME 083/98. **Agregados-Análise Granulométrica,** 1998.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. NBR 005/2003 – TER. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos-Terminologia,** 2003.

DNIT. **Manual de Pavimentação,** 2006a.

DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis**, 2006b.

DOBBIN E. S. J; ROCHA L.F.S. **Estudo de concreto com adição de fibra de polipropileno para controle de fissuração**. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade da Amazônia, 2011.

FÉLIX, A.H. **Compósitos de polipropileno com fibras de vidro utilizando viniltriétoxisilano como agente de adesão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FIGUEIREDO A.D. **Concreto com Fibras de Aço**. Boletim Técnico- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FRANCO, Filipe. **Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação, Rio de Janeiro, 2007.

HECK, A. F. **Análise da viabilidade do uso de fibras de polipropileno como material de reforço em pavimentos asfálticos**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

MORAIS, V. A. **Análise comparativa dos métodos de dimensionamento empírico e empírico-mecanístico de pavimentos flexíveis**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

MORILHA JUNIOR, A. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

NETTO, M. R. **Estudo de caso do pavimento flexível em determinados pontos da zona urbana de Alegrete-RS.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.

OLIVEIRA FILHO, C.; SOARES, J. B. **Melhoradores de Adesividade, Ligantes Modificados e Intertravamento.** In: XX ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Brasília, 2006.

OLIVEIRA, L.A.J. **A influência das fibras de aço e das adições minerais no enrijecimento à tração do concreto armado: análise experimental.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

OTTO, G. G. **Misturas Asfálticas Mornas – Verificação da Fadiga e do Módulo Complexo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PETROBRAS. **Lamas asfálticas,** 2015. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/servicos/asfalticos/lamasasfalticas>> . Acesso em 05 nov. 2015.

PETROBRAS. **Microrrevestimento Asfáltico a Frio,** 2015. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/servicos/asfalticos/microrrevestimentoasfalticoafrio>>. Acesso em 05 nov. 2015.

TANESI, J.; FIGUEIREDO, A. D. **Fissuração por retração em concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFP).** Boletim Técnico- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

SANTOS, C. R. G. **Avaliação das influências do tipo de ligante e do volume de vazios na vida de fadiga de algumas misturas asfálticas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SOUZA, M. J. **Patologias em pavimentos flexíveis**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

SPECHT, L. P. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**. 2004. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TAYLOR, G. D. **Materials in Construction**. London: Longman Scientific & Technical, 2ed, 1994.

TRINDADE, T.P.; IASBIK, I.; LIMA, D.C.; BUENO, B.S; MINETTE,E. **Latossolo vermelho-amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: estudo realizado com amostras de grandes dimensões**. REM: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 2005.