

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO REFORÇO REALIZADO NO PAVIMENTO  
FLEXÍVEL DO ANEL VIÁRIO DO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ  
DE FORA - JF

ANA LUÍZA SILVA NASCIMENTO NOGUEIRA

JUIZ DE FORA

2023

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO REFORÇO REALIZADO NO PAVIMENTO  
FLEXÍVEL DO ANEL VIÁRIO DO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ  
DE FORA - JF

ANA LUÍZA SILVA NASCIMENTO NOGUEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Juiz de Fora, como  
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Transportes e Geotecnia

Orientador: Prof. D.Sc. Geraldo Luciano De  
Oliveira Marques

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2023

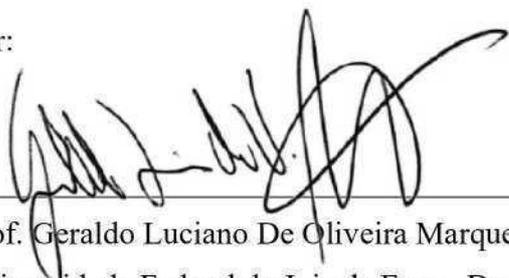
ANÁLISE DE DESEMPENHO DO REFORÇO REALIZADO NO PAVIMENTO  
FLEXÍVEL DO ANEL VIÁRIO DO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ  
DE FORA - JF

ANA LUÍZA SILVA NASCIMENTO NOGUEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com a Resolução Nº 01/2018 do Colegiado do Curso de Engenharia Civil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 14/12/2023

Por:



Prof. Geraldo Luciano De Oliveira Marques, DSc (Orientador)

Universidade Federal de Juiz de Fora - Departamento de Transportes e Geotecnia



Prof. Guilherme Soldati Ferreira, MSc (Examinador 01)

Universidade Federal de Juiz de Fora - Departamento de Transportes e Geotecnia



Eng. Cassio Alberto Teoro do Carmo, D.Sc (Examinador 02)

Huesker LTDA

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo privilégio da vida, por me conceder saúde e proteção.

Agradeço aos meus pais, Eliete e Luiz Alberto, por todo o apoio durante minha trajetória. Por se fazerem presentes constantemente, apesar de termos que conviver com a distância. Agradeço por me incentivarem a correr atrás dos meus objetivos e investir no meu estudo. Agradeço o esforço contínuo e o trabalho duro que realizam todos os dias para oferecer todo o suporte que tenho. Obrigada por sempre acreditarem em mim, e sempre me oferecerem proteção, afeto e amor. Tenho orgulho de ser filha de vocês, e alcançar essa vitória por vocês.

Agradeço aos meus irmãos, Rodrigo Henrique e Carlos Eduardo por acreditarem em mim e por fazerem parte do meu crescimento. Agradeço à minha avó Leila, que sempre me colocou em suas orações, que me incentivou a estudar desde criança, que me ensinou princípios e valores que considero mais importantes, e agradeço também por demonstrar tanto amor, carinho e cuidado.

Agradeço à minha tia Alessandra, que participou da minha criação e formação, cuidou de mim como própria filha e torce por todas as minhas conquistas. Agradeço à minha amiga Nathália, que vibra por todas as minhas vitórias e me apoia em todos os momentos que preciso, agradeço a lealdade e a amizade.

Agradeço ao meu namorado João Pedro, por ter me ajudado durante toda minha trajetória. Por ser meu companheiro, me incentivar, acreditar em mim e me dar suporte. Agradeço por sempre oferecer proteção e paz.

Agradeço ao meu orientador Geraldo, por toda a atenção e suporte durante o desenvolvimento do estudo, além de toda disponibilidade e interesse.

Por fim, agradeço a todos os familiares, amigos e profissionais que fizeram e fazem parte da minha jornada acadêmica.

*” O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo.”*

*- José de Alencar*

## RESUMO

Pavimento é uma estrutura de engenharia projetada para receber os esforços oriundos do tráfego e manter as condições estruturais e funcionais adequadas de uma via. Nesse sentido, entende-se por reforço de revestimento a restauração em que se aproveita o valor residual da estrutura que já está desgastada. Foi realizado, no ano de 2020, um reforço da camada de revestimento do anel viário do campus de Juiz de Fora da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), com a utilização de geogrelha em apenas um dos trechos. Tendo em vista as características de melhoria de desempenho mecânico e preservação da estrutura presentes na geogrelha, o presente trabalho tem como objetivo principal a determinação da área trincada presente no anel viário, e objetivo específico a caracterização de parâmetros mecânicos. Dessa forma, a norma DNIT 433/2021 apresenta os parâmetros de cálculo e a metodologia de divisão de regiões homogêneas para obtenção da área trincada. No presente estudo as análises são feitas em campo, divididas em cinco trechos homogêneos, seguidas dos métodos sugeridos pela norma supra-citada. Além disso, para obtenção dos parâmetros mecânicos são realizados ensaios de laboratório de Resistência à Tração por compressão diametral, Módulo de Resiliência por compressão diametral e Fadiga por compressão diametral através da retirada de corpos de prova do referido trecho experimental com a geogrelha.

Palavras-chave: Pavimentação. Reforço de pavimento. Geogrelha. Área trincada.

## **ABSTRACT**

Pavement is an engineering structure designed to receive efforts from traffic and maintain adequate structural and functional conditions of the road. In this sense, coating reinforcement is understood as the restoration in which takes advantage of the residual value of the structure that is already worn out. In 2020, the covering layer of the road ring at the Juiz de Fora's campus Federal University of Juiz de Fora (UFJF) was reinforced, using a geogrid in only one of the sections. Considering the characteristics of improving mechanical performance and preserving the structure present in the geogrid, the main objective of this work is to determine the cracked area present in the road ring, and the specific objective is to characterize mechanical parameters. Therefore, the DNIT 433/2021 norm presents the calculation parameters and the methodology for dividing homogeneous regions to obtain the cracked area. In the present study, the analyzes are carried out in the field, divided into five homogeneous sections, followed by the methods suggested by the norm. Furthermore, to obtain the mechanical parameters, laboratory tests are carried out on Tensile Strength by diametral compression, Resilient Modulus by diametral compression and Fatigue by diametral compression through samples from the mentioned experimental section with the geogrid.

Keywords: Paving. Pavement Reinforcement. Geogrid. Cracked area.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem de satélite do anel viário da UFJF .....	16
Figura 2 - Fissuras.....	19
Figura 3 - Trinca isolada transversal.....	20
Figura 4 - Trinca isolada longitudinal.....	20
Figura 5 - Trinca tipo “Couro de Jacaré” .....	21
Figura 6 - Trinca tipo “Bloco” .....	22
Figura 7 - Processo de Exsudação .....	22
Figura 8 - Desgaste na fase inicial .....	23
Figura 9 - Panela em revestimento.....	24
Figura 10 - Remendo executado no anel viário da UFJF.....	24
Figura 11 - Divisão da faixa de rolamento.....	26
Figura 12 - Geogrelha HaTelit C usada para restauração de pavimentos flexíveis .....	28
Figura 13 - Geogrelha HaTelit C .....	29
Figura 14 - Aplicação de emulsão asfáltica .....	29
Figura 15 - Aplicação de geogrelha .....	30
Figura 16 - Aplicação de mistura asfáltica sobre a geogrelha .....	30
Figura 17 - Compactação da mistura asfáltica .....	31
Figura 18 - Aparelhagem para definir o Módulo de Resiliência .....	32
Figura 19 - Representação esquemática do anel viário da UFJF .....	36
Figura 20 - Representação esquemática da divisão de trechos do anel viário da UFJF .....	37
Figura 21 - Corpo de prova extraído do anel viário da UFJF .....	38
Figura 22 - Extração de corpo de prova com perfuratriz Tyrolit DRU 160 .....	39
Figura 23 - Aplicação de emulsão asfáltica .....	39
Figura 24 - Compactador manual .....	40
Figura 25 - Trinca longitudinal presente na estaca 15 do anel viário .....	42
Figura 26 - Trinca tipo “Couro de Jacaré” antes da instalação da geogrelha .....	43
Figura 27 - Trinca tipo “Couro de Jacaré” antes da instalação da geogrelha .....	43
Figura 28 - Remendo na estaca 30 após aplicação da geogrelha.....	44
Figura 29 - Panela na estaca 31 após aplicação da geogrelha.....	45
Figura 30 - Trinca longitudinal longa na estaca 48.....	48
Figura 31 - Trincamento encontrado na estaca 97 .....	50

Figura 32 - Diferença de Tensões x Vida de Fadiga.....	55
Figura 33 - Deformação Específica Resiliente x Vida de Fadiga.....	56
Figura 34 - Deformação Específica Resiliente x Vida de Fadiga (Comparação).....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplo de marcação de defeitos .....	26
Quadro 2 - Resumo de defeitos.....	27
Quadro 3 - Resumo de defeitos no trecho 1 (estaca 15 à 16) .....	41
Quadro 4 - Resumo de defeitos no trecho 2 (estaca 30 à 31) .....	44
Quadro 5- Resumo de defeitos no trecho 2 (estaca 31 à 32) .....	45
Quadro 6 - Resumo de defeitos no trecho 2 (estaca 32 à 33) .....	46
Quadro 7 - Resumo de defeitos no trecho 2 (estaca 33 à 34) .....	46
Quadro 8 - Resumo de defeitos no trecho 3 (estaca 48 à 49) .....	47
Quadro 9 - Resumo de defeitos no trecho 4 (estaca 75 à 76) .....	49
Quadro 10 - Resumo de defeitos no trecho 5 (estaca 97 à 98) .....	49
Quadro 11 - Número de defeitos encontrados nos trechos .....	51
Quadro 12 - Quadro resumo de área trincada .....	52
Quadro 13 - Resistência à Tração por compressão diametral - (DNIT 136/2018-ME).....	53
Quadro 14 - Módulo de Resiliência por compressão diametral (DNIT 135/2018-ME).....	54
Quadro 15 - Fadiga por compressão diametral (DNIT 183/2018-ME) .....	55

## **LISTA DE SIGLAS**

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
LVCI	Levantamento Visual Contínuo Informatizado
LVDT	Transformador Diferencial da Variável Linear
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
FI	Fissuras
P	Panelas
R	Remendo
TT	Trincas isoladas transversais
TL	Trincas isoladas longitudinais
TB	Trincas interligadas tipo bloco
J	Trincas interligadas tipo couro de jacaré

## LISTA DE SÍMBOLOS

AT%	Área trincada no trecho analisado
n def	Número de retângulos com presença de trincas no trecho analisado
n total	Número total de retângulos do trecho analisado.
F	Carga de ruptura
D	Diâmetro do corpo de prova
H	Altura do corpo de prova
R	Resistência à Tração
MR	Módulo de resiliência
P	Carga cíclica
$\Delta H$	Deslocamento horizontal
t	Altura do corpo de prova
$\mu$	Coefficiente de Poisson
N	Número de golpes na ruptura
$K_1$ e $K_2$	Constantes de regressão
$\Delta\sigma$	Diferença de tensões (Mpa)
$\varepsilon_t$	Deformação específica resiliente de tração

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 OBJETIVO PRINCIPAL.....</b>	<b>17</b>
1.2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	17
<b>2.1 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 PRINCIPAIS DEFEITOS.....</b>	<b>18</b>
2.2.1 TRINCA TRANSVERSAL .....	19
2.2.2 TRINCAS LONGITUDINAIS .....	20
2.2.3 TRINCAS DE RETRAÇÃO.....	21
2.2.4 TRINCAS TIPO “COURO DE JACARÉ” .....	21
2.2.5 TRINCAS TIPO “BLOCO” .....	21
2.2.6 EXSUDAÇÃO.....	22
2.2.7 DESGASTE.....	23
2.2.8 PANELA OU BURACO .....	23
2.2.9 REMENDO.....	24
<b>2.3 LEVANTAMENTO DO PERCENTUAL DE ÁREA TRINCADA.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4 REFORÇO DE PAVIMENTOS COM GEOGRELHAS.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....</b>	<b>31</b>
<b>2.6 MÓDULO DE RESILIÊNCIA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL .....</b>	<b>32</b>
<b>2.7 FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL .....</b>	<b>33</b>
<b>3. MÉTODO DE PESQUISA.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 O TRECHO AVALIADO .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 CÁLCULO DE ÁREA TRINCADA .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3 EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DE CORPOS DE PROVA .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA .....</b>	<b>40</b>

<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 ÁREA TRINCADA.....</b>	<b>41</b>
4.1.1 TRECHO 1.....	41
4.1.2 TRECHO 2.....	43
4.1.3 TRECHO 3.....	47
4.1.4 TRECHO 4.....	48
4.1.5 TRECHO 5.....	49
4.1.6 ÁREA TOTAL.....	50
<b>4.2 ENSAIOS DE ANÁLISE MECÂNICA .....</b>	<b>52</b>
4.2.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.....	52
4.2.2 MÓDULO DE RESILIÊNCIA .....	54
4.2.3 FADIGA .....	54
<b>5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Pavimento é uma estrutura de engenharia utilizada para propiciar aos usuários melhoria das condições de rolamento. É uma estrutura composta por múltiplas camadas cujo objetivo principal é resistir aos esforços oriundos do tráfego. As diversas camadas que constituem um pavimento são responsáveis por diferentes funções, que, em seu conjunto, tem a finalidade de gerar maior conforto e segurança ao usuário (Bernucci *et al.*, 2008).

Uma estrutura de pavimento é projetada para que possua uma condição operacional adequada ao longo de um período de projeto determinado. A estrutura de pavimento possui função estrutural, funcional e de segurança, sendo o revestimento asfáltico responsável por resistir aos esforços horizontais e melhorar as condições de rolamento. Dessa maneira, a escolha dos materiais e a definição da espessura do revestimento devem ser precisas, para que o pavimento continue cumprindo as condições de serventia pelas quais foi projetado (Franco, 2007).

Ao determinar o desempenho de um pavimento, é necessário avaliar se a estrutura continua atendendo aos critérios pelos quais foi projetada. O levantamento de defeitos de um determinado revestimento tem como finalidade analisar o estado de conservação, determinando a resistência aos esforços horizontais e o conforto ao rolamento, de forma a conferir um diagnóstico técnico e oferecer soluções de restauração em caso de necessidade (Bernucci *et al.*, 2008).

O reforço de um revestimento pode ser dito como a restauração onde se aproveita o valor residual da estrutura, e acrescenta-se nova camada para garantir que o desempenho quanto aos esforços estruturais seja mantido.

Tendo em vista as funções que um pavimento deve realizar, assim como as condições de serventia e qualidade que o mesmo deve atender, foi realizado no ano de 2020, na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), uma obra de reforço de pavimento flexível baseado no método mecanístico-empírico nacional. O projeto, baseado na dissertação de Machado (2019), teve como objetivo analisar as características funcionais e estruturais do pavimento do anel viário, a fim de determinar uma espessura de reforço a ser executada.

O trecho do anel viário da UFJF teve sua construção na década de 1960, uma restauração no ano de 1991, com um recapeamento de aproximadamente 4,0 cm de espessura, e sua última restauração no ano de 2020, com um recapeamento de 6,0 cm de espessura. Durante o recapeamento de 2020, o anel viário foi dividido em 8 trechos, sendo um deles reforçado com geogrelha. Com isso, o presente trabalho visa a avaliação do trecho em questão, e obtenção de parâmetros de qualidade e desempenho (Machado, 2019). A Figura 1 mostra o anel viário da UFJF.

Figura 1 - Imagem de satélite do anel viário da UFJF



Fonte: Google Earth (2023)

A avaliação de pavimentos constitui-se em um conjunto de atividades que visam descrever qualitativa e quantitativamente a condição dos pavimentos. Através de ensaios e avaliações, é possível verificar se o pavimento foi bem executado e projetado, se está correspondendo com as especificações de projeto e se precisa de manutenção (Pérez, 2016).

A partir dos conceitos de pavimento e do entendimento de quais parâmetros um pavimento deve atender, o revestimento do anel viário da UFJF necessitou de uma avaliação para determinar como a estrutura tem reagido com o passar do tempo, ou seja, se tem respondido de acordo com o esperado quando foi projetada. Através da avaliação realizada no reforço, é possível

determinar se existe a necessidade de manutenção, sendo preventiva ou corretiva, ou reparação, com um novo reforço estrutural ou reconstrução (Serafim, 2021).

## **1.2 OBJETIVO PRINCIPAL**

O presente trabalho tem como objetivo principal determinar a porcentagem de área trincada presente no anel viário do campus de Juiz de Fora da UFJF, por meio do método de cálculo estabelecido pela norma DNIT 433/2021-PRO (DNIT, 2021), para avaliação de defeitos estruturais do pavimento.

### **1.2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Determinar parâmetros mecânicos do trecho do anel viário que foi reforçado com geogrelha, através da execução do ensaio de módulo de resiliência por compressão diametral de carga repetida do revestimento prescrito pela norma DNIT 135/2018-ME (DNIT, 2018 - C), do ensaio de resistência à fadiga por compressão diametral à tração constante de acordo com a norma DNIT 183/2018 (DNIT, 2018 - A) e o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, prescrito pela norma DNIT 136/2018 (DNIT, 2018 - B), para que seja possível comparar os resultados obtidos com os de Machado (2019), verificando o desempenho do pavimento.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Neste capítulo é apresentado o método de avaliação funcional de pavimentos por análise de trincas. O presente trabalho visou focar em um método de análise e quantificação de trincas no trecho estudado para obter parâmetros de qualidade, sendo assim, serão apresentados conceitos, métodos de cálculo e imagens tiradas do trecho. Além disso, serão apresentados conceitos sobre a geogrelha utilizada em um dos trechos, além das vantagens do uso desse material.

### **2.1 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS**

O usuário de rodovias preza pela qualidade da superfície do pavimento, uma vez que os defeitos e irregularidades presentes afetam diretamente seu conforto (Bernucci *et al.*, 2008).

A deterioração, ou seja, os danos e patologias apresentados pelo pavimento podem ser monitorados em inspeções periódicas da condição superficial. Tais dados acumulados ao longo da vida do pavimento geram informações importantes sobre sua condição. Dessa maneira, o estudo do trecho da UFJF visa a obtenção de dados funcionais que serão importantes para futuras manutenções (Danieleski, 2004).

A avaliação funcional está diretamente ligada ao conforto e à qualidade do rolamento. Dessa forma, consiste na verificação de como o pavimento desempenha a função de superfície de rolamento para os usuários. Sendo assim, a verificação de defeitos da análise funcional feita no trecho do anel viário visou determinar os defeitos que prejudicam o conforto de alguma forma (Danieleski, 2004).

Durante os anos de serviço de um pavimento, o mesmo sofre degradações devido às ações do tráfego e condições climáticas que geram principalmente a redução da qualidade funcional. A avaliação funcional é necessária para determinar a rapidez da progressão das degradações, além do nível das mesmas (Silva, 2017).

### **2.2 PRINCIPAIS DEFEITOS**

O entendimento dos defeitos presentes em um pavimento é possível devido ao conhecimento do motivo pelo qual os mesmos podem ter sido causados. Os danos na superfície podem ser causados por erros de execução na construção, ações do meio ambiente e ações provenientes do tráfego. Dessa forma, existem diversos defeitos que comprometem o conforto e segurança da rodovia (Segre, 2019).

O presente estudo utilizou da norma DNIT 005/2003 (DNIT, 2003) para definir os defeitos que podem surgir em um pavimento.

### 2.2.1 FISSURA

Pode-se entender como fissura uma fenda, ou seja, descontinuidade na estrutura do pavimento que conduza aberturas longitudinais, transversais ou oblíquas ao eixo da via. Dessa forma, vale destacar que as trincas são fendas com aberturas superiores às das fissuras, e podem ser encontradas de forma longitudinal ou transversal (DNIT, 2003). A Figura 2 apresenta uma fissura.

Figura 2 - Fissuras



Fonte: CNT (2018)

### 2.2.1 TRINCA TRANSVERSAL

A trinca transversal é uma fenda isolada, com direção predominantemente ortogonal ao eixo da via e que pode ser dita curta, se sua extensão for menor que 100,0 cm, ou longa, se for maior que 100,0 cm. Podem ser causadas principalmente devido à alta variação de temperatura, envelhecimento do asfalto e trincas de camadas anteriores (DNIT, 2003). A Figura 3 apresenta um exemplo de trinca transversal.

Figura 3 - Trinca isolada transversal



Fonte: DNIT (2003)

### 2.2.2 TRINCAS LONGITUDINAIS

As trincas longitudinais apresentam direção predominantemente paralela ao eixo da rodovia. Semelhante às trincas transversais, podem ser consideradas curtas ou longas, se forem inferiores ou superiores a 100,0 cm, respectivamente. Os principais fatores causadores das trincas longitudinais são a tensão gerada pelos veículos que passam na rodovia, atrelada à infiltração de água (DNIT, 2003). A Figura 4 mostra um exemplo de trinca longitudinal.

Figura 4 - Trinca isolada longitudinal



Fonte: DNIT (2003)

### 2.2.3 TRINCAS DE RETRAÇÃO

As trincas de retração são atribuídas às fissuras que não sofreram ação da fadiga, e sim retração térmica do material do revestimento ou do material da base (DNIT, 2003).

### 2.2.4 TRINCAS TIPO “COURO DE JACARÉ”

As trincas tipo “Couro de Jacaré” são fendas interligadas, e recebem esse nome justamente devido ao seu aspecto semelhante ao de um couro de jacaré. São trincas sem direção determinada que acabam se interceptando. Com isso, podem ou não apresentar erosão nas bordas (DNIT, 2003). A Figura 5 mostra um exemplo de trincas interligadas, que não tem direção determinada.

Figura 5 - Trinca tipo “Couro de Jacaré”

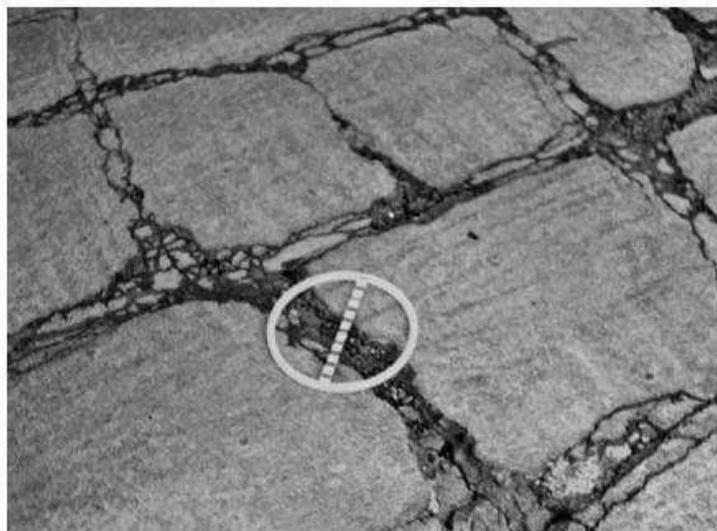


Fonte: DNIT (2003)

### 2.2.5 TRINCAS TIPO “BLOCO”

Semelhante às trincas tipo “Couro de Jacaré”, as trincas tipo “Bloco” são interligadas, sem direção específica. No entanto, acabam formando blocos bem definidos, e suas bordas podem ou não sofrer erosões (DNIT, 2003). A Figura 6 mostra um exemplo de trincas interligadas que formam blocos definidos.

Figura 6 - Trinca tipo “Bloco”



Fonte: DNIT (2003)

### 2.2.6 EXSUDAÇÃO

O processo de exsudação é resultante do excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento. Muitas vezes devido à falta de calibração de usinas de asfalto, a mistura de ligantes não fica homogênea, o que resulta em segregação e pode gerar futura exsudação. Sendo assim, o fenômeno é caracterizado pela migração de ligante através do revestimento, e pode ser acentuado devido ao tráfego na via (DNIT, 2003). A seguir, a Figura 7 apresenta um exemplo de exsudação.

Figura 7 - Processo de Exsudação



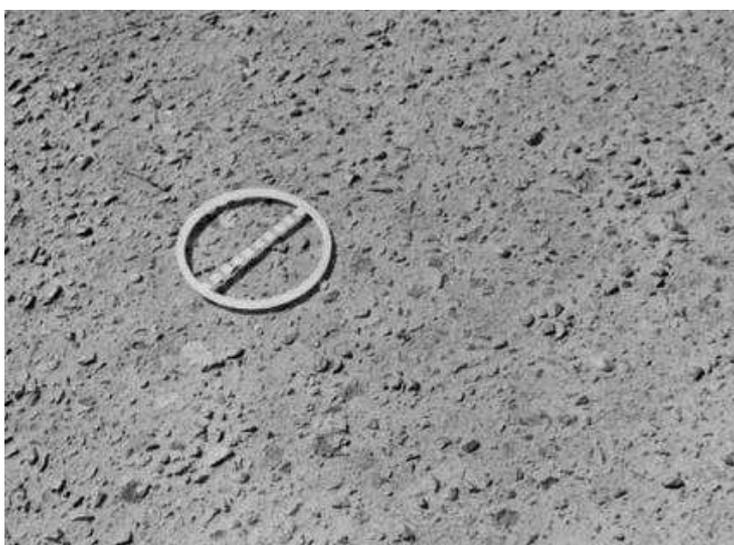
Fonte: DNIT (2003)

### 2.2.7 DESGASTE

O desgaste de pavimentos ocorre devido ao ligante perder suas características de aderência ao agregado, gerando assim o arrancamento constante e progressivo do mesmo. O principal fator causador de desgaste é o próprio tráfego da via, que quanto mais intenso, mais rápido provoca este defeito, ou seja, um aspecto de aspereza no revestimento (DNIT, 2003).

Além disso, o desgaste engloba o envelhecimento e endurecimento do ligante, podendo tornar agregados graúdos salientes em fases iniciais e até gerar desprendimentos em fases mais avançadas (Danieleski, 2004). A Figura 8 mostra um desgaste ainda em fase inicial.

Figura 8 - Desgaste na fase inicial



Fonte: DNIT (2003)

### 2.2.8 PANELA OU BURACO

A panela ou buraco como é mais popularmente conhecido, apresenta uma cavidade no revestimento, deixando as camadas inferiores expostas de acordo com o nível de profundidade. As panelas podem ser causadas por diversos motivos, sendo um deles a falta de aderência entre as camadas. Existem níveis de severidade em relação a profundidade e a menor dimensão da panela, podendo ser inicial, médio ou avançado (Danieleski, 2004). A Figura 9 apresenta uma panela em nível inicial.

Figura 9 - Panela em revestimento



Fonte: DNIT (2003)

### 2.2.9 REMENDO

O remendo pode ser feito através da substituição de revestimento e das camadas afetadas, ou apenas através da aplicação de uma camada betuminosa para correção, sendo classificado como remendo profundo ou superficial, respectivamente. Em casos de remendo por cima de trincas, pode ocorrer a reflexão de trincas no próprio remendo, por isso, é importante analisar a situação em que o defeito se encontra para determinar a melhor solução a ser aplicada (DNIT, 2003). A Figura 10 apresenta um exemplo de remendo.

Figura 10 - Remendo executado no anel viário da UFJF



Fonte: A autora (2023)

### 2.3 LEVANTAMENTO DO PERCENTUAL DE ÁREA TRINCADA

Os métodos mecanísticos-empíricos de dimensionamento de pavimentos destacam o trincamento como um dos parâmetros de critério de ruptura. Dessa forma, a quantificação do trincamento, fornecido por porcentagem de área trincada, define a vida útil estrutural e funcional do pavimento (Silva *et al.*, 2018).

A norma DNIT 433/2021 - PRO estabelece o procedimento de avaliação funcional e de cálculo seguidos neste trabalho. A norma apresenta a necessidade de realizar levantamentos em trechos experimentais, monitorados ou trechos homogêneos. Com isso, vale destacar que o objetivo principal de realizar os levantamentos é para obter parâmetros de comparação com o modelo de calibração do programa MeDiNa (DNIT, 2021).

A definição de área trincada é estabelecida pela norma DNIT 433/2021 - PRO (DNIT, 2021) como a área do pavimento com presença de fissuras, trincas, panelas, buracos ou remendos. Dessa maneira, é possível determinar em todo o trecho estudado, áreas homogêneas, ou seja, que apresentem áreas com as mesmas patologias e em mesma frequência (DNIT, 2021).

A quantificação das trincas ocorre através da divisão de áreas de análise. Dessa forma, definiu-se o estaqueamento do anel viário em estacas de 20 em 20 metros e conseqüentemente dos trechos homogêneos. Esse referencial, juntamente com a largura das faixas de rolamento tem-se a quantificação das referidas áreas. Sendo assim, pode-se estabelecer o número de áreas homogêneas para todo o trecho e verificar a porcentagem de trincas provenientes de cada um (DNIT, 2021).

Sobre o levantamento de defeitos, a locação longitudinal utiliza o próprio estaqueamento como referência, ou seja, apresenta precisão de 2,0 metros, uma vez que cada estaca possui 20,0 metros, e a norma estabelece a divisão de 10 áreas de análise por estaca. Já a locação transversal é realizada através da divisão da faixa de rolamento em três subdivisões, nomeadas como trilha interna, centro e trilha externa, no sentido do tráfego. Na Figura 11 é possível visualizar um exemplo de como as seções de uma estrada são subdivididas, o que visa simplificar o registro dos dados obtidos durante o levantamento (DNIT, 2021).

Figura 11 - Divisão da faixa de rolamento



Fonte: Adaptado de DNIT 433/2021 - PRO (DNIT, 2021)

A obtenção de resultados provenientes dos cálculos de área trincada promove instrumento de documentação de fatores estruturais e funcionais do pavimento. Logo, é recomendável que a análise realizada em um trecho seja feita com um espaçamento de tempo regular, a fim de determinar o nível de evolução de trincas e o estado em que o revestimento se encontra.

Em relação ao cálculo da área trincada, é importante definir que todos os defeitos de trincas transversais, longitudinais, assim como trincas tipo couro de jacaré, são vistas da mesma forma como trincas. Sendo assim, no presente trabalho todas as marcações de trinca abrangem os diferentes tipos.

As imperfeições identificadas no revestimento devem ser registradas conforme apresenta o Quadro 1, a cada área de avaliação retangular. A trilha interna, trilha externa e centro da faixa de rolamento são representados pelas abreviações “TI”, “TE” e “CE”, respectivamente. A obtenção das informações de quais defeitos estão presentes na estaca analisada é feita através de análise de campo.

Quadro 1 - Exemplo de marcação de defeitos

FAIXA 1	TE										
	CE						P			TL	TL
	TI	JE	JE								
FAIXA 2	TI				TT						
	CE				TT						
	TE										

Fonte: Adaptado da norma DNIT 433/2021 (2021)

Como apresentado no item 2.2, existem diversos defeitos que podem atingir a superfície de um revestimento. Dessa forma, o Quadro 2 apresenta a codificação de cada defeito para que seja possível o entendimento das marcações realizadas no Quadro 1.

Quadro 2 - Resumo de defeitos

<b>DEFEITOS</b>	<b>CODIFICAÇÃO</b>
Fissuras	FI
Panelas	P
Remendo	R
Trincas isoladas transversais	TT
Trincas isoladas longitudinais	TL
Trincas interligadas tipo bloco	TB
Trincas interligadas tipo couro de jacaré	J

Fonte: Adaptado de DNIT 005/2003 - PRO (DNIT, 2003)

Cada defeito encontrado em parte de um retângulo avaliado configura o comprometimento de toda a área do retângulo. O resultado referente à porcentagem da área trincada pode ser obtido por meio da equação (1).

$$AT\% = \frac{n_{def}}{n_{total}} \quad (1)$$

Sendo:

*AT%*: Porcentagem de área trincada no trecho analisado.

*n def*: Número de retângulos com presença de trincas no trecho analisado.

*n total*: Número total de retângulos do trecho analisado.

O resultado da porcentagem da área trincada portanto, é obtido através da divisão do número de retângulos de dimensões de 2,0 metros de largura por  $\frac{1}{3}$  do comprimento da faixa de rolamento com presença de trincas no trecho analisado, pelo número total de retângulos presentes no trecho avaliado.

## 2.4 REFORÇO DE PAVIMENTOS COM GEOGRELHAS

A geogrelha, um geossintético notável por sua elevada resistência à tração, desempenha um papel significativo na aprimoração da qualidade dos pavimentos. Suas funções primordiais englobam o controle da erosão do solo ao impedir sua movimentação, além de atuar na proteção e no reforço, contribuindo para melhorar o desempenho mecânico do solo. Assim, a geogrelha

pode ser descrita como uma estrutura polimérica com múltiplas atribuições, oferecendo benefícios substanciais na estabilização e na preservação de estruturas de pavimentação (Vertematti, 2015).

A configuração de uma geogrelha é um fator crítico que pode ser altamente influenciado pelo processo de fabricação específico. A geometria da grelha, bem como o tipo de polímero utilizado em sua estrutura, desempenha um papel determinante na relação que a geogrelha estabelece com o solo ou o revestimento ao qual é aplicada. A escolha do arranjo geométrico, como a abertura dos orifícios e o espaçamento entre os elementos da geogrelha, pode afetar significativamente sua eficácia na distribuição de cargas e na estabilização de solos. Além disso, o tipo de polímero empregado influenciará as propriedades mecânicas, a durabilidade e a interação química da geogrelha com o ambiente circundante (Teixeira, 2006).

Entre as principais propriedades da geogrelha, destacam-se a aderência com camadas asfálticas, elevada resistência ao cisalhamento, elevado módulo de elasticidade e estabilidade térmica (Huesker, 2006). A Figura 12 apresenta o uso da geogrelha HaTelic C na ação de parar a reflexão de trincas, ou seja, evitar que trincas de uma camada anterior sejam passadas para a camada de revestimento, já a Figura 13 apresenta a malha aplicada no pavimento.

Figura 12 - Geogrelha HaTelic C usada para restauração de pavimentos flexíveis



Fonte: HUESKER (2006)

Figura 13 - Geogrelha HaTelit C



Fonte: HUESKER (2006)

Outro fator que contribui para o aumento da adoção de geogrelhas é a sua característica de fácil instalação, dispensando a contratação de mão de obra altamente especializada. Dessa forma, reduzem-se consideravelmente os riscos de falhas no desempenho e permite que o material opere de maneira eficaz para assegurar a maior vida útil do pavimento (Huesker, 2006).

A geogrelha HaTelit apresenta uma cobertura betuminosa, o que proporciona uma boa capacidade de aderência ao revestimento asfáltico sobre o qual é aplicada. Previamente à aplicação da geogrelha, uma fina camada de emulsão asfáltica é aplicada com o propósito de garantir maior aderência. A partir disso, torna-se viável a abertura da malha devido às suas propriedades de boa fixação, o que gera rápida estabilidade posicional. A Figura 14 apresenta o processo de aplicação de emulsão asfáltica e a Figura 15 apresenta a instalação da malha de geogrelha.

Figura 14 - Aplicação de emulsão asfáltica



Fonte: A autora (2023)

Figura 15 - Aplicação de geogrelha



Fonte: A autora (2023)

A geogrelha fora aplicada nas duas faixas, sendo estendida até a faixa de estacionamento, assim como parte da ciclovia, para que toda a malha fosse utilizada. Dessa forma, da estaca 30, até a estaca 33+15, foi realizada a instalação de 75,0 metros de comprimento e 10,0 metros de largura, incluindo as duas faixas. Logo, foi possível também a aplicação de revestimento asfáltico e compactação. A Figura 16 apresenta a aplicação da mistura asfáltica e a Figura 17 mostra o processo de compactação realizado.

Figura 16 - Aplicação de mistura asfáltica sobre a geogrelha



Fonte: A autora (2023)

Figura 17 - Compactação da mistura asfáltica



Fonte: A autora (2023)

## 2.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral de um corpo cilíndrico é determinado segundo a norma DNIT 136/2018, através da crescente aplicação de carga até atingir a ruptura. Para definição da resistência é necessária prensa mecânica de até 20 N, com êmbolo de movimento a velocidade específica. Além disso, deve contar com célula de carga, medidores de deslocamento, sistema de controle de temperatura, paquímetro e centralizadores de carga (DNIT, 2018 - B).

A execução do ensaio consiste na medição da altura e do diâmetro do corpo de prova em quatro posições equidistantes, sendo usada a média dos resultados. Logo após, o corpo de prova deve ser colocado no compartimento com temperatura controlada, sobre o friso de carga. Com isso, é possível realizar a aplicação de carga, de forma a anotar os valores da carga de ruptura (DNIT, 2018 - B).

Dessa forma, após obtenção dos resultados de carga de ruptura, a resistência à tração pode ser calculada através da equação (2), sendo o resultado final a média aritmética de três dos valores encontrados, segundo a norma (DNIT, 2018 - B).

$$\sigma_R = \frac{2F}{\pi DH} \quad (2)$$

Sendo:

F: Carga de Ruptura;

D: Diâmetro do corpo de prova;

H: Altura do corpo de prova;

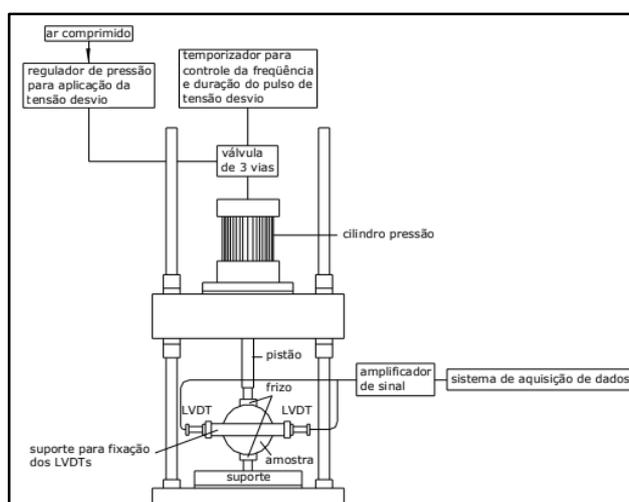
$\sigma_R$ : Resistência à Tração.

## 2.6 MÓDULO DE RESILIÊNCIA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de módulo de resiliência realizado no presente trabalho segue os procedimentos estabelecidos pela norma DNIT 135/2018-ME (DNIT, 2018 - C), com o uso de equipamento de compressão diametral de carga repetida.

Quanto à aparelhagem, o método é composto por uma prensa, com capacidade de realizar carregamentos verticais. Além disso, a prensa deve ser constituída de pórtico, base e cabeçote, como é mostrado na Figura 18 (DNIT, 2018 - C).

Figura 18 - Aparelhagem para definir o Módulo de Resiliência



Fonte: (DNIT, 2018)

O sistema total de carregamento deve ser constituído de um regulador de pressão, válvula de três vias de transmissão de carga, cilindro de pressão, pistão de carga e friso, responsáveis por distribuir a carga aplicada para o corpo de prova, além de temporizador eletrônico. Ademais, deve dispor de um dispositivo para adquirir os dados em tempo real, de forma a garantir a verificação dos deslocamentos, através de sensores do tipo LVDT (DNIT, 2018).

Antes de realizar o ensaio é necessária a preparação dos corpos de prova obtidos por extração em campo, com a verificação do diâmetro e altura, além da regularização de faces (DNIT, 2018).

Através dos resultados encontrados no ensaio de resistência à tração apresentado no item 2.5, estabelecidos pela norma DNIT 136/2018, pode-se definir a carga do ensaio de módulo de resiliência como de 5,0% a 25,0% do valor. Sendo assim, deve-se condicionar o corpo de prova em temperatura controlada, e posicioná-lo alinhado aos frisos de carga, de forma a receber 50 ciclos de carga (DNIT, 2018 - C).

Após a etapa de condicionamento, deve-se aplicar mais 15 ciclos de carga e aumentar a carga aplicada em 5,0%, repetindo o processo por mais duas vezes. Dessa maneira, torna-se possível determinar, através dos últimos 5 ciclos de cada conjunto, o módulo de resiliência. (DNIT, 2018 - C).

A fim de obter o resultado final, tem-se como módulo de resiliência a relação entre tensão de tração e deformação de tração. Com isso, pode-se definir o módulo de resiliência para corpos de prova de 101,6 mm de diâmetro, através da equação (3).

$$MR = \frac{P}{|\Delta H|t} (0,2692 + 0,9976\mu) \quad (3)$$

Sendo:

MR: Módulo de resiliência;

P: Carga cíclica;

$\Delta H$ : Deslocamento horizontal;

t: Altura do corpo de prova;

$\mu$ : Coeficiente de Poisson.

## 2.7 FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O presente trabalho utiliza da norma DNIT 183/2018 para realizar o ensaio de fadiga por compressão diametral, com carregamento repetido e tensão controlada. Dessa forma, ao definir fadiga como a redução da resistência de um material sobre um carregamento repetido, pode-se observar o número de carregamentos que o corpo de prova consegue suportar antes de sofrer danos em quantidades acima do esperado (DNIT, 2018 - A).

Outro ponto a se observar, é que no ensaio de fadiga o corpo de prova recebe o carregamento cíclico até atingir a ruptura. Com isso, o corpo de prova sofre deslocamentos horizontais até atingir seu limite máximo (DNIT, 2018 - A).

Sobre a aparelhagem utilizada, é necessária a presença de uma prensa, constituída de pórtico, base e cabeçote. Além disso, deve possuir calhas de apoio e frisos de aplicação de carga. O mesmo aparelho é utilizado no ensaio de módulo de resiliência por compressão diametral descrito pela norma DNIT 135/2018-ME, e citado anteriormente no item 2.6 (DNIT, 2018 - A).

A aparelhagem também deve conter sistema de carregamento com regulador de pressão, válvula de três vias, temporizador, e deve ser capaz de manter a temperatura adequada, além de transmitir as informações obtidas. Ademais, para a preparação dos corpos de prova, devem ser realizadas medidas de altura e diâmetro dos mesmos antes de realizar o ensaio, para se obter parâmetros de comparação (DNIT, 2018 - A).

O ensaio consiste em utilizar a carga de ruptura encontrada do ensaio de resistência à tração, especificada pela norma DNIT 136/2018-ME, e aplicar quatro níveis de tensão, a variar de 5,0% a 40,0%. Com isso, o processo deve ser realizado em três corpos de prova, com frequência de 60 ciclos por minuto. Para obtenção dos resultados, deve-se anotar o número de golpes necessários para levar o corpo de prova à ruptura (DNIT, 2018 - A).

A determinação da vida de fadiga está diretamente relacionada à tensão de tração e deformação de tração iniciais, e à diferença de tensões no centro da amostra. Desta forma, o resultado do ensaio é apresentado na forma de equações de desempenho correlacionando o número de golpes necessário à ruptura e os parâmetros "deformação de tração" e "diferença de tensões", conforme as expressões 4 e 5.

$$N = K_1 \times \Delta\sigma^{K_2} \quad (4)$$

$$N = K_1 \times \varepsilon_t^{K_2} \quad (5)$$

Sendo:

$N$ : Número de golpes na ruptura.

$K_1$  e  $K_2$ : Constantes de regressão.

$\Delta\sigma$ : Diferença de tensões (Mpa).

$\varepsilon_t$ : Deformação específica resiliente de tração.

### **3. MÉTODO DE PESQUISA**

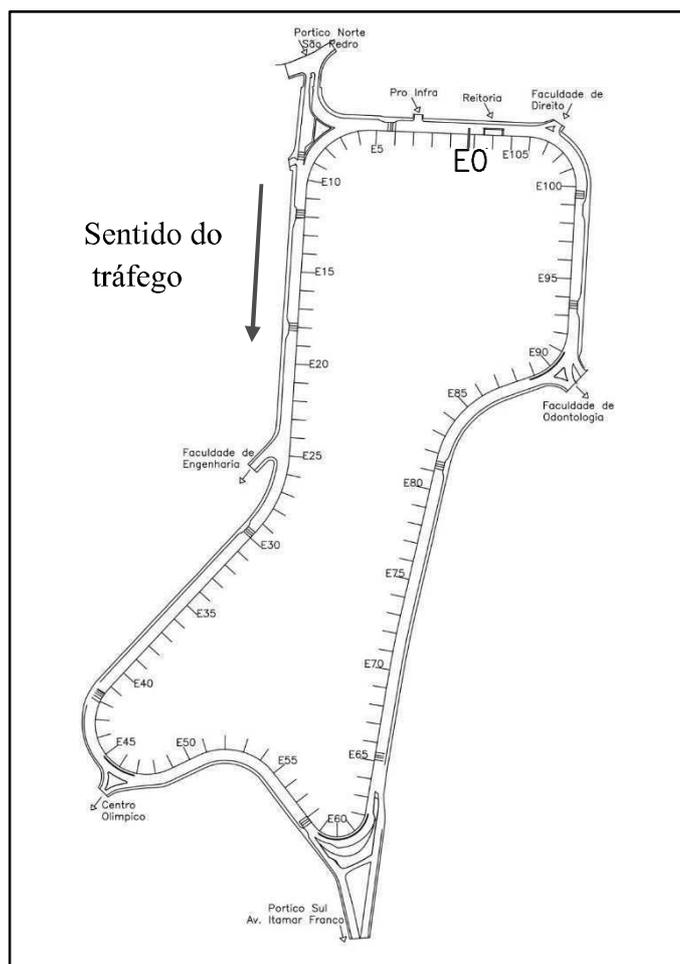
O presente estudo constitui uma análise de caso referente ao anel viário da UFJF, com um enfoque específico na avaliação do revestimento. Neste capítulo, são conduzidas duas avaliações distintas. A primeira delas baseia-se na norma DNIT 433/2021 - PRO (DNIT, 2021), conforme citado no item 2.3, com o propósito de calcular a porcentagem de área trincada em um trecho específico. A segunda avaliação concentra-se na análise do trecho executado com geogrelha HaTelic C, conforme descrito no item 2.4, visando a obtenção de parâmetros relativos ao seu desempenho mecânico.

#### **3.1 O TRECHO AVALIADO**

O trecho avaliado é o anel viário do campus de Juiz de Fora da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Com 2140,0 metros de extensão, foram subdivididos em 107 estacas, com espaçamento de 20,0 metros entre elas, para servir como referência. (Machado, 2019).

O anel viário teve sua construção na década de 1960, e sua primeira restauração no ano de 1991, onde foi realizado um recapeamento com a construção de uma nova camada de 4,0 cm de espessura de revestimento asfáltico. No ano de 2020 foi realizado o segundo recapeamento do anel viário, ou seja, aplicação de nova camada de revestimento asfáltico com espessura de 6,0 cm, e aplicação de geogrelha no trecho em que foram identificadas deflexões muito grandes (Machado, 2019). A Figura 19 mostra uma representação esquemática com a presença de todas as estacas do anel viário da UFJF.

Figura 19 - Representação esquemática do anel viário da UFJF



Fonte: Adaptado de Machado (2019)

### 3.2 CÁLCULO DE ÁREA TRINCADA

Neste item serão apresentados os cálculos para determinação de área trincada dos trechos homogêneos divididos no percurso do anel viário da UFJF. Como visto no item 2.3, é necessária uma subdivisão do segmento analisado, através de retângulos que abrangem  $1/3$  da largura da faixa de rolamento e uma faixa de 2,0 m da via. Dessa forma, para facilitar a análise, o anel viário foi dividido em cinco trechos homogêneos, ou seja, com defeitos similares quanto ao trincamento, ou seja, mesmo tipo de defeito e com a mesma intensidade.

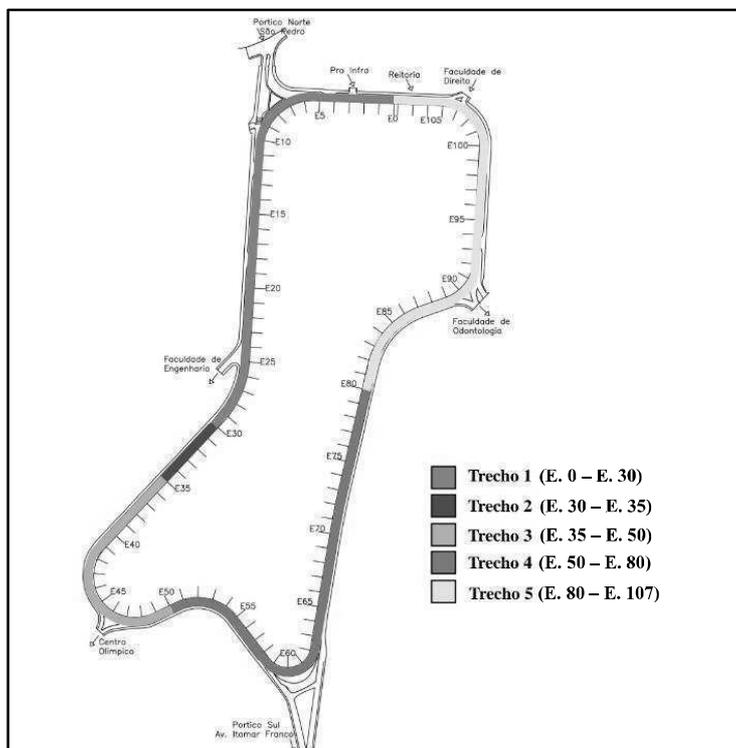
Após uma análise realizada no local, pôde-se determinar que:

- No trecho 1, compreendido entre as estacas 0 e 30, foram identificados alguns casos de exsudação no centro das faixas de rolamento, bem como trincas de pequena extensão, ainda em estágio inicial.

- O trecho 2, que vai das estacas 30 a 35, contém a instalação da geogrelha entre as estacas 30 e 34. Este trecho é considerado crítico, apresentando diversas trincas, uma panela e um remendo.
- No trecho 3, que se estende da estaca 35 até à estaca 50, também foram observadas trincas, embora não tão avançadas, e áreas onde houveram remendos.
- No trecho 4, situado entre as estacas 50 e 80, foram identificados poucos casos de exsudação, e não foram identificadas trincas como nos trechos anteriores, o que diferencia este trecho.
- Por fim, o trecho 5, que abrange a extensão entre as estacas 80 e 107, apresenta trincas e alguns casos de exsudação.

A divisão esquemática desses trechos no anel viário da UFJF pode ser observada na Figura 20.

Figura 20 - Representação esquemática da divisão de trechos do anel viário da UFJF



Fonte: Adaptado de Machado (2019)

O anel viário da UFJF é composto de duas faixas seguindo o mesmo sentido de tráfego, dessa forma, as trilhas externas e trilhas internas da via foram adotados de forma distintas às da norma DNIT 433/2021 - PRO (DNIT, 2021), de forma que representasse a locação de defeitos como a mesma ocorre em campo. Tal adoção pode ser apresentada no Quadro 1.

### 3.3 EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DE CORPOS DE PROVA

Nos métodos de avaliação destrutivos, parte da camada de pavimento a ser estudada e analisada é retirada, para que seja realizada a obtenção de parâmetros de resistência da mesma. Devido à natureza do ensaio, o mesmo só deve ser aplicado em alguns pontos do trecho a ser avaliado (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Realizou-se no trecho do anel viário reforçado com geogrelha, a retirada de corpos de prova com o objetivo de verificar a espessura do revestimento, analisar as trincas encontradas, além de realizar ensaios de laboratório, como o de módulo de resiliência, resistência à tração e fadiga. A Figura 21 mostra um dos corpos de prova extraídos no anel viário da UFJF.

Figura 21 - Corpo de prova extraído do anel viário da UFJF



Fonte: A autora (2023)

O processo de retirada dos corpos de prova foi realizado com o uso de sonda rotativa, perfuratriz do modelo Tyrolit DRU160, que conta com um tubo de extração em sua extremidade com coroa diamantada refrigerada por água (Tyrolit, 2009). Este processo pode ser visto na Figura 22.

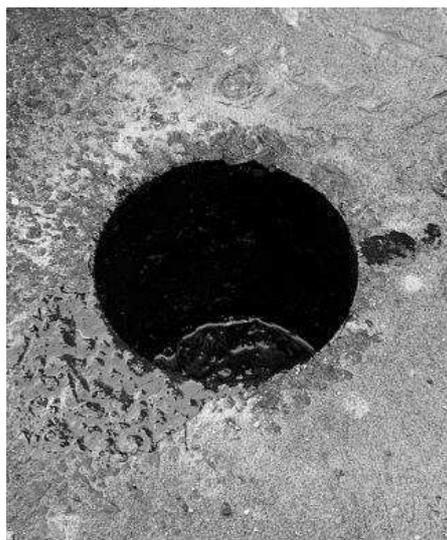
Figura 22 - Extração de corpo de prova com perfuratriz Tyrolit DRU 160



Fonte: A autora (2023)

Após a retirada dos corpos de prova, aplicou-se emulsão asfáltica na parte interna do vazio deixado pelos corpos de prova para permitir o recobrimento com camada asfáltica, uma vez que a superfície estava muito lisa. Dessa forma, após o preenchimento do furo, resultante da extração, com uma nova camada asfáltica, foi realizada a compactação com o uso de compactador manual. A Figura 23 mostra o furo resultante da retirada de corpos de prova após aplicação da emulsão asfáltica. A Figura 24 mostra o compactador manual usado no processo da compactação, no fechamento do furo.

Figura 23 - Aplicação de emulsão asfáltica



Fonte: A autora (2023)

Figura 24 - Compactador manual



Fonte: A autora (2023)

Dessa forma, após finalizada a etapa de compactação, todos os corpos de prova foram levados ao laboratório de pavimentação da UFJF para a determinação das grandezas volumétricas (diâmetro e comprimento) e preparação para a execução dos ensaios.

### **3.4 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA**

Os ensaios de caracterização mecânica a serem realizados para analisar as características da geogrelha são os de Resistência à Tração por compressão diametral, Módulo de Resiliência por compressão diametral e Fadiga por compressão diametral. Todos seguiram as prescrições normativas estabelecidas para cada ensaio, como descrito nos itens 2.5, 2.6, e 2.7.

A geogrelha utilizada para reforçar a camada de revestimento do anel viário da UFJF foi a HaTelit C. Esse material é uma geogrelha flexível para reforço de concreto asfáltico, produzida através de filamentos sintéticos resistentes à fadiga.

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados encontrados nos cálculos de área trincada em todos os trechos homogêneos analisados. Dessa forma, é possível determinar o nível de trincamento em que se encontra o revestimento do anel viário da UFJF. Além disso, também serão apresentados os resultados referentes aos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, fadiga e módulo de resiliência por compressão diametral.

### 4.1 ÁREA TRINCADA

Como visto no item 3.2, a locação de defeitos ocorre em retângulos de 2,0 metros por  $\frac{1}{3}$  da largura da faixa de rolamento. As faixas de rolamento da UFJF apresentam 3,0 metros de largura, portanto, são analisados retângulos de 2,0 metros por 1,0 metro. A seguir, são apresentados, por trecho, a locação de defeitos e o cálculo da área trincada, assim como imagens para exemplificar os defeitos registrados. Vale destacar que foram adotados subtrechos característicos para realizar a análise devido à complexidade de realizar em todas as estacas do trecho.

#### 4.1.1 TRECHO 1

O trecho 1 compreende a seção da estaca 0 até à estaca 30. Durante a análise dessa parte do anel viário, pôde-se perceber que o trecho da estaca 15 à estaca 16 representava os defeitos encontrados ao longo desse segmento, dessa forma, optou-se por selecionar essa seção para realizar a locação de defeitos e posteriores cálculos de área trincada. O Quadro 3 representa os defeitos encontrados.

Quadro 3 - Resumo de defeitos no trecho 1 (estaca 15 à 16)

											2,0 m	
FAIXA 1	TE											1,0 m
	CE											1,0 m
	TI				TT				TT			1,0 m
FAIXA 2	TI				TT	TL	TL		TT			
	CE											
	TE			TL	TL		TL	TL	TL	TL	TL	
Est. 15											Est. 16	

Fonte: A autora (2023)

Sabe-se que a distância entre as estacas equivale a 20,0 metros, resultando em um total de 10 retângulos neste segmento. Além disso, sabe-se que cada faixa de rolamento possui uma largura de 3,0 metros, logo, é possível realizar a divisão de três retângulos de lado igual a 1,0 metro. Portanto, o número total de retângulos pode ser determinado mediante a aplicação da equação (4).

$$n_{total} = (10 \times 6) n_{estacas} \quad (6)$$

$$n_{total} = (10 \times 6) 1 = 60$$

A forma de cálculo é efetuada nas duas faixas, logo, a faixa de rolamento tem largura total de 6,0 metros. Portanto, o número total de retângulos analisados é 60. Consequentemente, de acordo com o Quadro 3, constata-se que 13,0 retângulos apresentaram defeitos registrados. Assim, procedemos à substituição dos valores na equação (1):

$$AT\% = \frac{n_{def}}{n_{total}} \quad (1)$$

$$AT\% = \frac{13}{60} = 22\%$$

Dessa forma, no trecho 1, observa-se aproximadamente 22,0% de área trincada. A seguir, na Figura 25, é exibida a trinca longitudinal identificada nesse segmento.

Figura 25 - Trinca longitudinal presente na estaca 15 do anel viário



Fonte: A autora (2023).

#### 4.1.2 TRECHO 2

Neste trecho foram realizadas análises da estaca 30 até à estaca 34, seção em que está localizada a geogrelha para evitar a reflexão de trincas. Para entender a motivação pela escolha do trecho, a seguir serão apresentadas a Figura 26 e Figura 27, que mostram defeitos presentes nesse mesmo segmento antes da implantação da geogrelha e do reforço realizado.

Figura 26 - Trinca tipo “Couro de Jacaré” antes da instalação da geogrelha



Fonte: A autora (2023)

Figura 27 - Trinca tipo “Couro de Jacaré” antes da instalação da geogrelha



Fonte: A autora (2023)

Após análises para quantificação de defeitos, pôde-se concluir que a presença da geogrelha nesse trecho pode ter ajudado a retardar a reflexão de trincas que, como mostra a Figura 27, eram intensas e em todo o segmento. Logo, é importante manter análises sobre o trecho em questão para verificar a eficácia da geogrelha.

A seção entre as estacas 30 e 31 apresentou trincas longitudinais na trilha de roda, assim como exsudação no início do trecho, na parte central da faixa 2, no entanto, a norma DNIT 433/2021 - PRO (DNIT, 2021) não considera exsudação como parte de área trincada. Além disso, foi possível identificar a presença de remendo na parte final do segmento, o que indica um trincamento mais avançado na região. O Quadro 4 mostra os defeitos encontrados entre a estaca 30 e 31, sendo o número de retângulos afetados com defeitos igual a 21. A Figura 28 mostra o remendo presente nessa seção.

Quadro 4 - Resumo de defeitos no trecho 2 (estaca 30 à 31)

		2,0 m										
FAIXA 1	TE										TL	1,0 m
	CE											1,0 m
	TI	TL		TL	TL	TL	TL				TL	1,0 m
FAIXA 2	TI			TL	TL	J	TL	RE	RE	RE	TL	
	CE											
	TE		TL	TL				TL	TL	TL	TL	
		Est. 30										Est. 31

Fonte: A autora (2023)

Figura 28 - Remendo na estaca 30 após aplicação da geogrelha



Fonte: A autora (2023)

Como visto anteriormente, o trecho da geogrelha compreende da estaca 30 até à estaca 34. Dessa forma, serão apresentados os defeitos encontrados em todos esses segmentos para que seja possível calcular a área trincada total da seção. Dessa forma, entre a estaca 31 e estaca 32 foram observadas trincas longitudinais na trilha de roda, assim como no trecho anterior, além de uma panela, que pode ser resultado da evolução de trincas tipo couro de jacaré. O Quadro 5 apresenta o resumo de defeitos encontrados nesse segmento, com número de retângulos afetados igual a 17. A Figura 29 apresenta a panela presente no trecho.

Quadro 5- Resumo de defeitos no trecho 2 (estaca 31 à 32) 2,0 m

FAIXA 1	TE					TL			TL	TL	TL	1,0 m
	CE											1,0 m
	TI											1,0 m
FAIXA 2	TI	TL	TL	TL	P	J	J		TL	TL	J	
	CE											
	TE	TL	TL	TL			TL					

Est. 31 Est. 32

Fonte: A autora (2023)

Figura 29 - Panela na estaca 31 após aplicação da geogrelha



Fonte: A autora (2023)

O segmento da estaca 32 à estaca 33 manteve o padrão dos trechos anteriores, com trincamento nas trilhas de roda, principalmente na faixa 2. O Quadro 6 apresenta a localização dos 12 defeitos encontrados nesse trecho.

Quadro 6 - Resumo de defeitos no trecho 2 (estaca 32 à 33) 2,0 m

FAIXA 1	TE		TL				TL	TL				1,0 m
	CE											1,0 m
	TI											1,0 m
FAIXA 2	TI	J	J	TL		TL		TL	TL		J	
	CE											
	TE	TL								TL		

Est. 32 Est. 33

Fonte: A autora (2023)

O último trecho que contém a geogrelha é o da estaca 33 à estaca 34. Durante a análise foi possível observar que a faixa 1 não apresentou defeitos como nos trechos anteriores, sendo o número de retângulos afetados total, apenas 6. Tal fato determinou o início de um segmento mais uniforme. Além disso, pôde-se perceber que a faixa 2 ainda teve a presença de trincas na trilha de roda, o que qualifica a faixa 2 como uma faixa mais crítica. O Quadro 7 mostra a localização dos defeitos encontrados entre as estacas 33 e 34.

Quadro 7 - Resumo de defeitos no trecho 2 (estaca 33 à 34) 2,0 m

FAIXA 1	TE											1,0 m
	CE											1,0 m
	TI											1,0 m
FAIXA 2	TI	TL	TL	TL					TL			
	CE											
	TE								TL	TL		

Est. 33 Est. 34

Fonte: A autora (2023)

A partir da obtenção de todos os defeitos encontrados no trecho da geogrelha, torna-se possível realizar o cálculo de área trincada. Dessa forma, sabe-se que foram analisadas 4 estacas, logo, substituindo esses valores na equação (6), pode-se encontrar o número total de retângulos analisados.

$$n_{total} = (10 \times 6) n_{estacas} \quad (6)$$

$$n_{total} = (10 \times 6) 4 = 240$$

Dessa forma, tendo em vista o número total de retângulos analisados, e o número total de retângulos com presença de defeitos, basta substituir os valores na equação (1) para obtenção da área trincada aproximada no trecho da geogrelha.

$$AT\% = \frac{56}{240} = 23\%$$

Portanto, é possível constatar que o segmento da geogrelha revelou uma taxa de aproximadamente 23,0% de sua área com trincas.

#### 4.1.3 TRECHO 3

O trecho 3 compreende o segmento da estaca 35 até a estaca 50. Durante análise, constatou-se presença de algumas trincas longitudinais ao longo do trecho, além de remendo e casos de exsudação, porém, de forma geral, o trecho apresentou poucos defeitos. A seção escolhida para representar essa seção foi da estaca 48 à estaca 49. O Quadro 8 apresenta os defeitos encontrados nesse segmento, enquanto a Figura 30 apresenta trinca longitudinal longa presente no trecho.

Quadro 8 - Resumo de defeitos no trecho 3 (estaca 48 à 49) 2,0 m

FAIXA 1	TE											1,0 m
	CE											1,0 m
	TI	TL										1,0 m
FAIXA 2	TI	TL										
	CE											
	TE				TL							

Est. 48

Est. 49

Fonte: A autora (2023)

Figura 30 - Trinca longitudinal longa na estaca 48



Fonte: A autora (2023)

Partindo do mesmo processo realizado no trecho 1, sabe-se que foram analisados 60 retângulos. Dessa forma, a partir da análise do quadro 8, percebe-se um total de 10 retângulos com presença de defeitos. Logo, substituindo os valores encontrados na equação (1):

$$AT\% = \frac{10}{60} = 17,0\%$$

Portanto o valor de área trincada aproximado no trecho 3 é de 17,0%, sendo o menor valor encontrado até agora, o que mostra um trecho com menos trincas e defeitos, tendo um revestimento mais conservado.

#### 4.1.4 TRECHO 4

O trecho 4 compreende o segmento da estaca 50 até a estaca 80. A análise desse trecho não mostrou a presença de trincas durante todo o segmento, no entanto, pôde-se observar alguns casos de exsudação. O trecho escolhido para representar a seção analisada foi entre as estacas 75 e 76. O Quadro 9 representa a locação dos defeitos encontrados.

Quadro 9 - Resumo de defeitos no trecho 4 (estaca 75 à 76) 2,0 m

FAIXA 1	TE											1,0 m
	CE											1,0 m
	TI											1,0 m
FAIXA 2	TI											
	CE											
	TE											

Est. 75 Est. 76

Fonte: A autora (2023).

Substituindo os valores encontrados na equação (1), podemos encontrar o valor aproximado da área trincada do trecho 4.

$$AT\% = \frac{0}{60} = 0,0\%$$

A área trincada em todo o trecho de 0,0% representa uma seção homogênea sem a presença de defeitos. Alguns casos de exsudação notados não são quantificados como trincas.

#### 4.1.5 TRECHO 5

O último trecho analisado, e o mais longo, representa a extensão da estaca 80 até a estaca 107. Dessa forma, o trecho escolhido para ser analisado foi da estaca 97 até a estaca 98, que apresentou trincas avançadas. O Quadro 10 representa a locação dos defeitos e a Figura 31 mostra o trincamento encontrado na seção.

Quadro 10 - Resumo de defeitos no trecho 5 (estaca 97 à 98) 2,0 m

FAIXA 1	TE											1,0 m
	CE											1,0 m
	TI									TL		1,0 m
FAIXA 2	TI	TL	TL	TL			TL		TL			
	CE											
	TE	TL	TL				TL		TL	TL	TL	

Est. 97 Est. 98

Fonte: A autora (2023).

Figura 31 - Trincamento encontrado na estaca 97



Fonte: A autora (2023)

A partir dos valores registrados, basta aplicar os mesmos na equação (1) a fim de determinar o valor aproximado da área trincada do trecho 5.

$$AT\% = \frac{12}{60} = 20,0\%$$

Portanto, é possível perceber que a faixa 2 apresentou mais defeitos que a faixa 1, o que acarretou no aumento do percentual de área trincada.

#### 4.1.6 ÁREA TOTAL

A partir dos valores obtidos de cada trecho avaliado, é possível determinar um valor de área trincada aproximada para todo o anel viário da UFJF. No trecho 2, onde foram realizadas análises em 4 estacas, foi encontrado um valor médio de 14 defeitos. Dessa forma, basta aplicar todos os retângulos analisados com base na equação (4), e os defeitos encontrados na equação (1).

$$n_{total} = (10 \times 6) \times 5 = 300$$

O número total de defeitos analisado no anel viário é apresentado pelo quadro 11. A equação (5) representa o cálculo do número total de defeitos do trecho.

Quadro 11 - Número de defeitos encontrados nos trechos

Trecho 1	13
Trecho 2	14
Trecho 3	10
Trecho 4	0
Trecho 5	12
Total	49

Fonte: A autora (2023)

$$N = n1 + n2 + n3 + n4 + n5 \quad (5)$$

Sendo:

$N$ : Número total de defeitos

$n1$ : Número de defeitos no trecho 1

$n2$ : Número de defeitos no trecho 2

$n3$ : Número de defeitos no trecho 3

$n4$ : Número de defeitos no trecho 4

$n5$ : Número de defeitos no trecho 5

$$N = 13 + 14 + 10 + 0 + 12 = 49$$

A partir do resultado do número total de defeitos presente no anel viário, basta substituir o valor encontrado na equação (1) para encontrar a porcentagem de área trincada em todo o trecho.

$$AT\% = \frac{49}{300} = 16,0\%$$

Sendo assim, é possível perceber que o trecho 1 e o trecho 2, em que existe a presença da geogrelha, apresentam as maiores taxas de trincamento, enquanto o trecho 4 se destacou por não apresentar defeitos. O Quadro 12 mostra um resumo das áreas trincadas obtidas.

Quadro 12 - Quadro resumo de área trincada

Trecho	Área trincada
1	22,0%
2	23,0%
3	17,0%
4	0,0%
5	20,0%
Total Aproximada	16,0%

Fonte: A autora (2023)

O valor total da média encontrada foi de 16,0% de área trincada em todo o trecho do anel viário. Machado (2019) realizou o cálculo da previsão de área trincada do mesmo trecho, o anel viário da UFJF, através do levantamento por LVCI (Levantamento Visual Contínuo Informatizado) e com uso do programa MeDiNa, e apresentou uma projeção em meses de área trincada. De acordo com Machado (2019), em 48 meses, o trecho deveria apresentar 5,0% de área trincada. Como visto, de acordo com a avaliação da norma executada neste trabalho, em 44 meses o trecho apresenta 16,0% de área trincada, valor acima do esperado.

## 4.2 ENSAIOS DE ANÁLISE MECÂNICA

Como visto nos itens 2.5, 2.6 e 2.7 da revisão de literatura, os ensaios de caracterização mecânica são realizados de acordo com as normas apresentadas. Neste capítulo, são apresentados os resultados dos ensaios, assim como a avaliação dos mesmos. Os ensaios foram realizados em 8 corpos de prova que foram extraídos de acordo com o descrito no item 3.3.

### 4.2.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

No procedimento de ensaio para determinação de resistência à tração, são empregados os corpos de prova número 8, 2 e 1, dos quais se obtiveram as dimensões de diâmetro e altura. O Quadro 13 destaca os valores encontrados para realização do ensaio.

Quadro 13 - Resistência à Tração por compressão diametral - (DNIT 136/2018-ME)

CP N°	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga de ruptura (N)
8	6,89	10,03	1573,367
2	6,36	10,05	1480,816
1	6,24	10,03	1249,439

Fonte: A autora (2023)

Posteriormente, com base na carga aplicada durante o ensaio, foi viável calcular o valor correspondente à resistência à tração utilizando os dados da equação (2).

- CP 8:

$$\sigma_R = \frac{2F}{\pi DH} = \frac{2 \times 1573,367}{\pi \times 10,03 \times 6,89}$$

$$\sigma_R = 1,45 \text{ MPa}$$

- CP 2:

$$\sigma_R = \frac{2F}{\pi DH} = \frac{2 \times 1480,816}{\pi \times 10,05 \times 6,36}$$

$$\sigma_R = 1,47 \text{ MPa}$$

- CP 1:

$$\sigma_R = \frac{2F}{\pi DH} = \frac{2 \times 1249,439}{\pi \times 10,03 \times 6,24}$$

$$\sigma_R = 1,27 \text{ MPa}$$

$$M\sigma_R = \frac{1,45+1,47+1,27}{3} = 1,40 \text{ MPa}$$

O valor da resistência à tração por compressão diametral do concreto asfáltico usado no projeto de dimensionamento do reforço feito por Machado (2019) foi de 1,58 MPa. Portanto o valor encontrado para este parâmetro na avaliação atual foi 11% menor.

#### 4.2.2 MÓDULO DE RESILIÊNCIA

Para a realização do ensaio de módulo de resiliência utilizou-se os corpos de prova de número 3, 4, 5 e 6. Assim, como no ensaio anterior, obteve-se as medidas de diâmetro e altura dos corpos de prova. O Quadro 14 apresenta as informações analisadas, assim como o resultado do módulo de resiliência obtido no ensaio.

Quadro 14 - Módulo de Resiliência por compressão diametral (DNIT 135/2018-ME)

CP N°	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Módulo de Resiliência (MPa)
3	5,59	10,04	8356,0
4	5,85	10,04	7036,0
5	5,29	10,05	8737,0
6	5,55	10,06	6415,0
Valor médio			7636,0

Fonte: A autora (2023)

O valor médio do Módulo de Resiliência equivale a 7636,0 Mpa.

O valor Módulo de Resiliência do concreto asfáltico usado no projeto de dimensionamento do reforço feito por Machado (2019) foi de 5963 MPa. Portanto o valor encontrado para este parâmetro na avaliação atual foi 28% maior, indicando uma mistura mais rígida.

#### 4.2.3 FADIGA

O ensaio de fadiga foi realizado com os corpos de prova número 3, 4, 5 e 6. Obteve-se medidas de altura e diâmetro, e o nível de tensão usado no ensaio é equivalente à uma porcentagem da tensão utilizada no ensaio de resistência à tração. Dessa forma, o Quadro 15 apresenta as informações citadas, assim como a deformação específica resiliente, diferenças de tensões e o número final de aplicação de golpes.

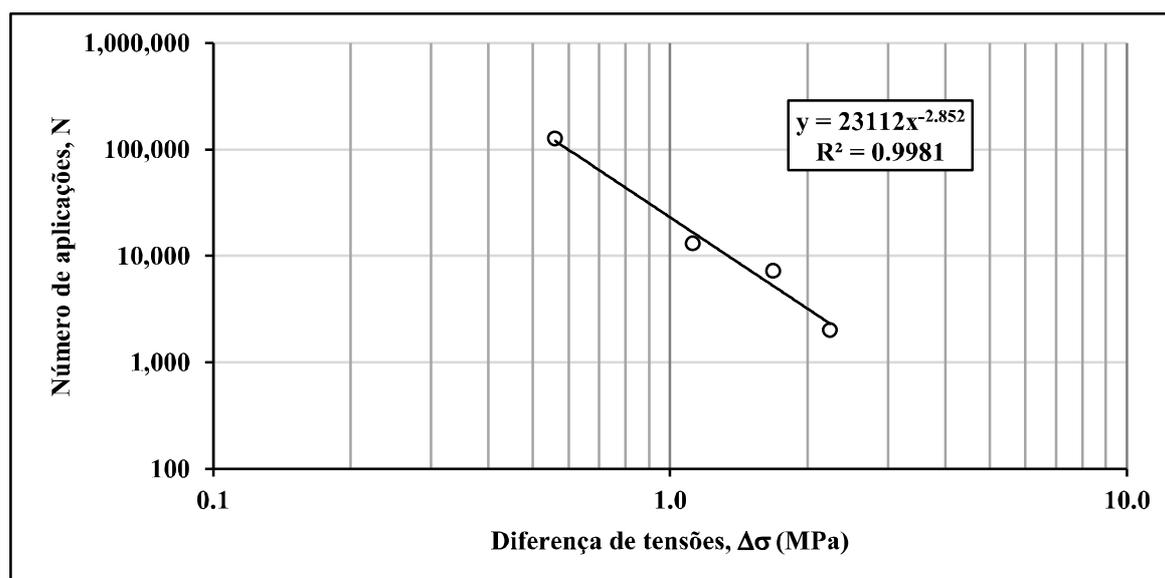
Quadro 15 - Fadiga por compressão diametral (DNIT 183/2018-ME)

CP N°	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga (Kgf)	Deformação específica resiliente	Diferenças de tensões	Números de aplicações
3	5,59	10,04	40	503,42	0,0000733	2,24	2025
4	5,85	10,04	30	395,12	0,000055	1,68	7256
5	5,29	10,05	20	238,44	0,0000367	1,12	13152
6	5,55	10,06	10	125,2	0,0000183	0,56	127463

Fonte: A autora (2023)

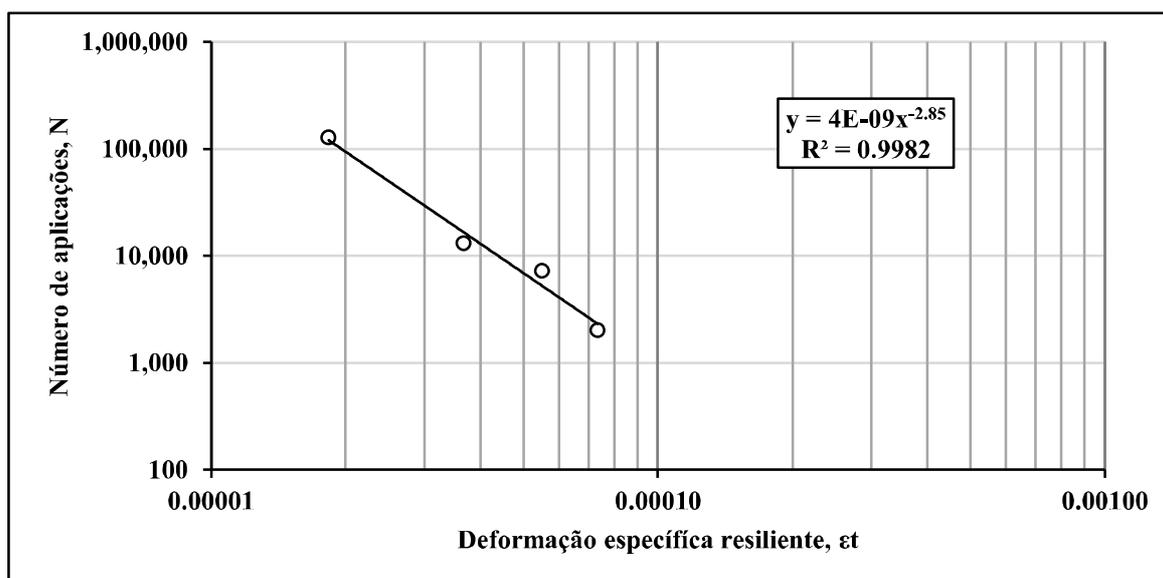
Através dos valores contidos no Quadro 15, é possível obter os gráficos expressos nas figuras 31 e 32, Diferença de Tensões x Vida de Fadiga e Deformação Específica Resiliente x Vida de Fadiga, respectivamente.

Figura 32 - Diferença de Tensões x Vida de Fadiga



Fonte: A autora (2023)

Figura 33 - Deformação Específica Resiliente x Vida de Fadiga



Fonte: A autora (2023)

Portanto, a Vida de fadiga do concreto asfáltico do revestimento atual apresentou os seguintes parâmetros:

$$N = 23112 \times \Delta\sigma^{-2,852}$$

$$N = 4,0E-9 \times \epsilon t^{-2,852}$$

Segundo o Método MeDiNa, o fator de fadiga para o concreto asfáltico do revestimento atual é de 0,98 e classificado como classe 03.

Os parâmetros da vida de fadiga utilizados por Machado (2019) no dimensionamento do reforço foram os seguintes:

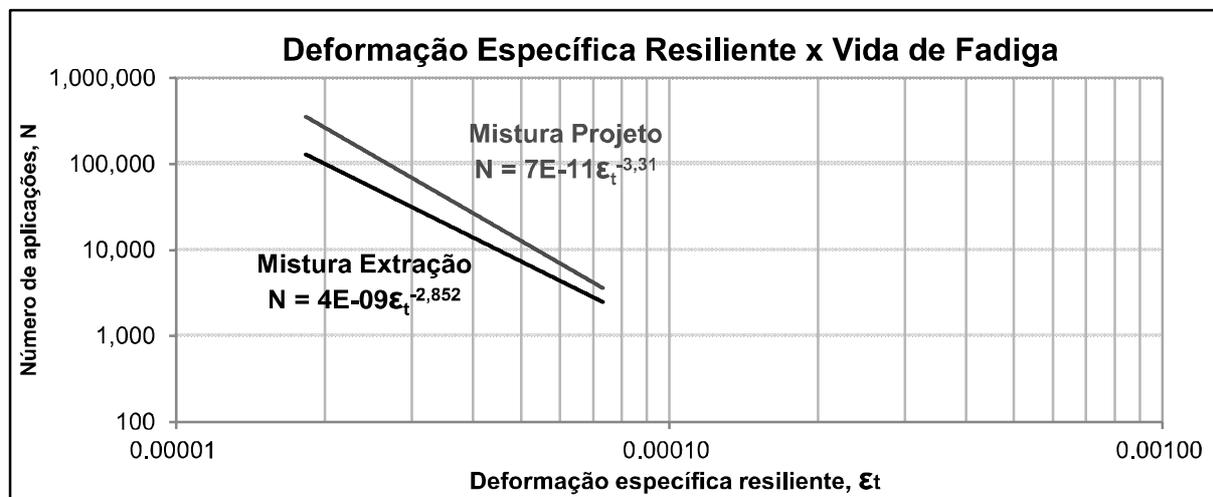
$$N = 23014 \times \Delta\sigma^{-3,31}$$

$$N = 7,4E-11 \times \epsilon t^{-3,31}$$

Segundo o Método MeDiNa, o fator de fadiga para o concreto asfáltico adotado no dimensionamento do reforço foi de 0,51 e classificado como classe 0.

Pelo gráfico da figura 33 pode-se ver a diferença entre a curva de fadiga do concreto asfáltico projetado e do concreto asfáltico atual. Percebe-se uma pequena perda na resistência à fadiga da mistura atual.

Figura 34 - Deformação Específica Resiliente x Vida de Fadiga (Comparação)



Fonte: A autora (2023)

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Como visto, pode-se definir pavimento como uma estrutura composta por diversas camadas, cujo objetivo é resistir aos esforços provenientes do tráfego. Dessa forma, deve possuir condição operacional adequada, oferecer conforto e segurança ao usuário e atender os critérios estruturais e funcionais.

Nesse sentido, quando um pavimento deixa de atender às especificações pelo qual foi projetado, é necessária a realização de um reforço, caracterizado pela restauração em que se aproveita o valor residual da estrutura.

O valor médio da porcentagem de área trincada foi de 16,0 para todo o trecho do anel viário. De acordo com Machado (2019), em 48 meses, o trecho deveria apresentar 5,0% de área trincada. Como visto, de acordo com a avaliação da norma executada neste trabalho, em 44 meses o trecho apresenta um valor acima do esperado.

A discrepância entre os valores pode ser caracterizada pelo uso de diferentes métodos de avaliação, ou de terem sido feitas análises em segmentos representativos de cada área homogênea. Sendo assim, para trabalhos futuros, o presente estudo sugere a realização da análise em um número maior de estacas para uma melhor comparação com o método adotado por Machado (2019).

Quanto aos ensaios mecânicos, a resistência à tração por compressão diametral (1,4Mpa) indicou um valor menor que à da mistura de projeto, o módulo de resiliência (7636 Mpa) indicou uma rigidez maior que a de projeto e a vida de fadiga indicou uma redução em relação à mistura de projeto. Tais valores mostram o envelhecimento do asfalto presente, causado um enrijecimento natural.

Portanto, tendo em vista os resultados obtidos sobre o desempenho do pavimento do anel viário, o presente trabalho sugere que sejam realizadas manutenções a fim de evitar que as trincas existentes aumentem e atinjam um nível ainda mais avançado, visto o estado em que se encontra com apenas 3 anos de uso. Logo, com a execução de serviços de manutenção (calafetação de trincas), será possível prolongar a vida útil do pavimento e assegurar o conforto do usuário.

## 6. REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 9 p, 414 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. CNT: **Transporte rodoviário - desempenho do setor, infraestrutura e investimentos**. Brasília, 2018.

DANIELESKI, M. L. **Proposta de Metodologia para Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos: Aplicação à Rede Viária de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 13 p.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT **183/2018 - ME**: Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018. A

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT **136/2018 - ME**: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018. B

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT **135/2018 - ME**: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018. C

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT **433/2021 - PRO**: Pavimentação – Levantamento do percentual de área trincada e de afundamento de trilha de roda de pavimento asfáltico em trechos experimentais, monitorados ou trechos homogêneos de curta extensão – Procedimento. Brasília, 2021.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT **005/2003 - TER**: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

FRANCO, F. A. C. P. **Método De Dimensionamento Mecânico-Empírico De Pavimentos Asfálticos - SISPAV**. Tese de Pós-Graduação. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 9 p.

HUESKER. Engenharia com Geossintéticos. **Catálogo**. São José dos Campos, SP, 2006.

MACHADO, T. F. O. **Projeto de reforço para o pavimento flexível do anel viário da UFJF baseado no novo método de dimensionamento mecânico empírico nacional**. Dissertação de Mestrado. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2019. 49 p.

PÉREZ, J. S. L. **Avaliação do Desempenho de Pavimentos dos Segmentos Monitorados de Urubici e Itapoá**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016, 43 p.

SEGRE, T.S.P. Pavimentos flexíveis: **Análise dos defeitos em função da sua origem e suas consequências na vida útil**. Geocentro, Brasília, 2019.

SILVA, M. L. **Avaliação Funcional Objetiva de Pavimento Flexível: Um estudo de caso da Avenida Getúlio Vargas em São Luís - MA.** Trabalho de Conclusão de Curso. São Luís: Universidade Federal do Maranhão, 2017, 66 p.

SILVA, R.C.; MOTTA, L.M.G.; VIANNA, K.K.L; JÚNIOR, J. G. S.; COSTA, D.G. Levantamento visual contínuo informatizado (LVCI) pelo método da varredura – Comparação com outros métodos, Revista Estradas N° 23, Porto Alegre, 2018, p. 64.

SERAFIM, E. Z. C. **Simulação de Projeto de Reforço para Pavimento Rodoviário Utilizando o Novo Método De Dimensionamento Nacional – Medina.** Trabalho de Conclusão de Curso. Ouro Branco: Universidade Federal de São João del-Rei, 2021, 23 p.

TEIXEIRA, C. F. **Análise Numérica de Ensaio em Solo Reforçado com Geogrelha.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica - Rio, 2006, 29 p.

VERTEMATTI, J.C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos.** 2 ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2015, 24 p. 153 p.