



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**



**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS RESTAURADOS
COM REVESTIMENTO ASFÁLTICO PARA REGIÃO DE URUCU (COARI-AM)**

CARLOS FÁBIO CORTEZÃO CARVALHO

MANAUS-AM

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**



CARLOS FÁBIO CORTEZÃO CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS RESTAURADOS
COM REVESTIMENTO ASFÁLTICO PARA REGIÃO DE URUCU (COARI-AM)**

Orientadora: Prof.^a Dra. Consuelo Alves da Frota

MANAUS-AM

2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C331a Carvalho, Carlos Fábio Cortezão
Avaliação do desempenho de pavimentos flexíveis restaurados
com revestimento asfáltico para região de Urucu (Coaril-AM) /
Carlos Fábio Cortezão Carvalho. 2019
98 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Consuelo Alves da Frota
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Pavimento. 2. Desempenho. 3. Avaliação funcional. 4.
Avaliação estrutural. I. Frota, Consuelo Alves da II. Universidade
Federal do Amazonas III. Título

CARLOS FÁBIO CORTEZÃO CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS RESTAURADOS
COM REVESTIMENTO ASFÁLTICO PARA REGIÃO DE URUCU (COARI-AM)**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Engenharia de
Materiais para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia de
Materiais.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Consuelo Alves da Frota
Universidade Federal do Amazonas

Prof.^a Dra. Daniela Menegon Trichês
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Jorge de Almeida Brito Júnior
Instituto Tecnológico Galileo da Amazônia

À Elissandra e aos nossos filhos Gabriel,
Samuel e Davi, pelas horas que lhes
foram subtraídas, com inefável amor.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe pelo apoio incondicional em todos os momentos de minha vida.

A Prof.^a Dra. Consuelo Alves da Frota, pelos ensinamentos, pela orientação, pela dedicação, pelo apoio e compreensão em todas as horas, pela gigantesca paciência e principalmente por mostrar uma visão diferente do mundo, sendo um ser humano admirável que nos inspira a continuar nessa jornada do conhecimento e de crescimento profissional.

À Elissandra Passos, minha esposa, pelo companheirismo, amor, cumplicidade, amizade e incentivo, externo o meu amor e minha gratidão.

Aos Professores e colegas do Curso Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, pelo auxílio, incentivo e apoio no decorrer dessa trajetória.

Ao Engenheiro Civil Rodrigo Pádua Pinheiro, pelo apoio incondicional nas pesquisas de campo e conselhos profissionais.

Por fim, deixo o meu agradecimento a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a conclusão dessa jornada, e tenho a certeza que toda a experiência adquirida nesse período colaborou, e continuará colaborando para o enriquecimento da minha vida acadêmica e profissional.

Meu agradecimento e reconhecimento a todos.

RESUMO

O trabalho em pauta apresenta uma metodologia de avaliação de desempenho funcional e estrutural de um trecho da Estrada Tronco Principal (ETP), buscando manter e até mesmo prolongar a vida do pavimento. O trecho da ETP, foi dividido em sete subtrechos, para melhor avaliação e controle da coleta de dados de campo. O desempenho de um pavimento é função de sua capacidade para atender ao tráfego durante um período de tempo, os desempenhos funcionais e estruturais do pavimento podem ser geralmente definidos como a mudança na sua condição ou função em relação à idade. O desempenho funcional é a disposição do pavimento de atender sua principal função, que é a de fornecer uma superfície com serventia adequada. O desempenho estrutural é a condição de um pavimento em manter sua integridade estrutural, sem apresentar falhas significativas, pois os efeitos das cargas de tráfego atuantes no pavimento, geram deformações plásticas e elásticas. A avaliação funcional baseou-se em levantamentos normatizados e bastante difundidos no país. A base fundamental do levantamento para analisar a superfície do pavimento, foi a caracterização do tipo e frequência das ocorrências de patologias, associado ao levantamento contínuo das condições do estado do revestimento asfáltico, e medição da macrotextura da superfície. Fundamentando-se nesses dados foram determinados os índices avaliativos (IGI, IGG, ICPF, IGGE, IES e Hs). Para a avaliação estrutural, existe no mercado diversos equipamentos (FWD), para o estudo em questão, foi baseado em levantamento de dados de campo, realizando ensaio não destrutivo, por meio da determinação dos valores dos deslocamentos verticais (levantamento deflectométrico) ocorridos na superfície de um pavimento quando submetido a um carregamento e medido com auxílio de uma viga Benkelman. Os dados resultantes, deflexão máxima recuperável (D0), raio de curvatura (R), bacia deflectométrica, foram analisados e relacionados entre si, buscando parâmetros que indicassem a condição estrutural dos subtrechos estudados. Ao fim desses levantamentos, os índices e valores encontrados foram compilados, buscando subsidiar a tomada de decisão para melhorar o plano de controle e manutenção, que resultarão em indicações mais precisas e conseqüentemente um direcionamento melhor dos recursos para futuras intervenções e até mesmo executar a restauração da estrada.

Palavras chave: Pavimento. Desempenho. Avaliação funcional e estrutural.

ABSTRACT

The work in question presents a methodology for evaluating the functional and structural performance of a section of the Main Trunk Road (ETP), seeking to maintain and even prolong the life of the pavement. The ETP section was divided into seven sub-groups, for better evaluation and control of field data collection. The performance of a pavement is a function of its ability to serve traffic over a period of time, the functional and structural performances of the pavement can generally be defined as the change in its condition or function with respect to age. The functional performance is the provision of the floor to meet its main function, which is to provide a surface with suitable service. Structural performance is the condition of a pavement in maintaining its structural integrity, without presenting significant failures, as the effects of the traffic loads acting on the pavement, generate plastic and elastic deformations. The functional evaluation was based on normative and widely disseminated surveys in the country. The fundamental basis of the survey to analyze the surface of the pavement was the characterization of the type and frequency of occurrences of pathologies, associated to the continuous survey of the state of the asphalt coating, and measurement of the surface macrotexture. Based on these data the evaluation indices (IGI, IGG, ICPF, IGGE, IES and Hs) were determined. For the structural evaluation, there are several equipment (FWD) in the market for the study in question, based on field data collection, performing a non destructive test, by means of determination of vertical displacement values (deflectometric survey) occurring on the surface of a floor when subjected to loading and measured with the aid of a Benkelman beam. The resulting data, maximum recoverable deflection (D0), radius of curvature (R), deflectometric basin, were analyzed and related to each other, searching parameters that indicated the structural condition of the sub-studies. At the end of these surveys, the indices and values found were compiled, seeking to subsidize decision making to improve the control and maintenance plan, which will result in more precise indications and consequently a better targeting of resources for future interventions and even to perform the restoration of the road.

Keywords: Pavement. Performance. Functional and structural evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resposta mecânica do pavimento	16
Figura 2 – Seção transversal de um pavimento tipo e suas camadas	18
Figura 3 - Fatores que influenciam o desempenho do pavimento flexível.....	20
Figura 4 - Deformações no pavimento	25
Figura 5 - Localização do Município de Coari- AM e da Província Petrolífera de Urucu (PPU).....	27
Figura 6 - Distância entre a Província Petrolífera de Urucu e a Cidade de Manaus.	28
Figura 7 – Vista área da Província Petrolífera de Urucu (PPU) e ETP.....	29
Figura 8 – Trecho da Estrada Tronco Principal (ETP) para avaliação, entre as estacas E2270 e E2615.	29
Figura 9 – Seção tipo do pavimento estudado	30
Figura 10 – Marcação das estacas no pavimento estudado	31
Figura 11 – Vista aérea da estrada (com defeitos de remendos e panela)	32
Figura 12 – Treliça para medição das flechas no pavimento.	34
Figura 13 – Esquema transversal do ensaio de mancha de areia, antes e depois do espalhamento da areia.....	37
Figura 14 – Disco espalhador acoplado ao recipiente cilíndrico.....	37
Figura 15 – Material e aparelhagem para realização do ensaio de Macrotextura (mancha de areia).	38
Figura 16 – Esquema da Viga Benkelman para medição de deflexões de pavimento.	43
Figura 17 – Esquema do posicionamento da Viga Benkelman no eixo traseiro do caminhão.....	46
Figura 18 – Medição da trilha de roda com auxílio de treliça metálica	50
Figura 19 – Defeitos por subtrechos	55
Figura 20 – IGG por Subtrecho	56
Figura 21 – Medição do diâmetro do círculo de areia espalhada (macrotextura).....	57
Figura 22 – Macrotextura (HS) ao longo do trecho	59
Figura 23 – Macrotextura (HS) ao longo do trecho (sem AAUQ)	60
Figura 24 – Viga Benkelman utilizada.	63
Figura 25 – Esquema de localização dos pontos de medição de deflexão.	64

Figura 26 – Viga Benkelman posicionada no eixo do caminhão.	64
Figura 27 – Deflectograma dos Subtrechos LD/LE e Valores de Dadm (N5, N6 e N7).	66
Figura 28 – Bacia de deflectométrica dos Subtrechos LD/LE.	66
Figura 29 – Relação D0 x R ao longo dos Subtrechos.....	69
Figura 30 – Serviços de restauração da estrada.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos defeitos – Codificação e Classificação	33
Tabela 2 - Valor do Fator de Ponderação	35
Tabela 3 - Classificação da textura dos revestimentos	39
Tabela 4 – Frequência de defeitos	41
Tabela 5 – Conceitos do ICPF	41
Tabela 6 – Determinação do Índice de Gravidade	42
Tabela 7 – Pesos para cálculo	42
Tabela 8 – IES – Índice do Estado da Superfície do pavimento.....	42
Tabela 9 – Listagem dos subtrechos.....	49
Tabela 10 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 1	51
Tabela 11 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 2	51
Tabela 12 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 3	52
Tabela 13 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 4	52
Tabela 14 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 5	53
Tabela 15 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 6	53
Tabela 16 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 7	54
Tabela 17 – Valores medidos de Hs e classificação da textura	58
Tabela 18 – Frequência dos defeitos do levantamento visual contínuo	61
Tabela 19 – Cálculo do valor do IGGE (Equação 4)	62
Tabela 20 – Resumo dos valores ICPF, IGGE e IES	62
Tabela 20 – Valores de Dadm (N5, N6 e N7) com D0 de cada subtrecho.	65
Tabela 21 – Relação D0 x R dos Subtrechos 1 e 2 LD/LE.....	67
Tabela 22 – Relação D0 x R dos Subtrechos 3 e 4 LD/LE.....	68
Tabela 23 – Relação D0 x R dos Subtrechos 5 e 6 LD/LE.....	68

Tabela 24 – Relação D0 x R do Subtrecho 7 LD/LE.	69
Tabela 25 – Resumos dos parâmetros de avaliação Funcional.	70
Tabela 26 – Resumos dos parâmetros de avaliação Estrutural.	71

LISTA DE SIGLAS

AAUQ	Areia e asfalto usinado a quente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALC	Afundamento de Consolidação Local
ALP	Afundamento Plástico Local
ATC	Afundamento de Consolidação da trilha
ATP	Afundamento Plástico da trilha
ATR	Afundamento de Trilha de Roda
D	Desgaste acentuado na superfície do revestimento
D0	Deflexão máxima recuperável
Dadm	Deflexão admissível
DER	Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
E	Escorregamento (do revestimento betuminoso)
ETP	Estrada Tronco Principal
EX	Exsudação do ligante betuminoso no revestimento
FI	Fissuras
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
Hs	Profundidade média da macrotextura da superfície do pavimento
ICPF	Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis e semi-rígidos
IES	Índice do Estado da Superfície do pavimento
IGG	Índice de gravidade global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
IGI	Índice de gravidade individual
J	Trincas Interligadas Tipo Jacaré
JE	Trincas Interligadas Tipo Jacaré com erosão nas bordas
N	Número de repetições do eixo padrão
O	Ondulações transversais da mistura betuminosa
P	Panela ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento
PPU	Província Petrolífera de Urucu
R	Raio de curvatura
R	Remendos do pavimento
TB	Trincas interligadas de bloco

TBE	Trincas interligadas de bloco com erosão nas bordas
tf	Tonelada força
TLC	Trincas Isoladas Longitudinais Curtas
TLL	Trincas Isoladas Longitudinais Longas
TRE	Trilhas de roda externa
TRI	Trilhas de roda interna
TRR	Trincas isoladas devido a retração
TTC	Trincas Isoladas Transversais Curtas
TTL	Trincas Isoladas Transversais Longas
VB	Viga Benkelman

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivos	12
1.1.1. Objetivo Geral	12
1.1.1. Objetivos Específicos	12
1.2. Justificativa	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Pavimento	14
2.2. Pavimentos Flexíveis	15
2.3. Desempenho dos Pavimentos	18
2.4. Mecanismo de Deterioração do Pavimento Flexível	19
2.5. Avaliação do Desempenho dos Pavimentos	22
2.5.1. Desempenho funcional	22
2.5.2. Desempenho estrutural	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 Localização do Pavimento a ser estudado	27
3.2 Estrutura do pavimento estudado	30
3.3 Avaliação Funcional	30
3.3.1 Índice de gravidade individual (IGI) e Índice de gravidade global (IGG) ...	31
3.3.2 Macrotextura (Mancha de Areia ou <i>Sand Patch</i>)	35
3.3.3 Levantamento visual de defeitos de superfície.	39
3.4 Avaliação Estrutural	43
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	49
4.1 Análise Funcional	49
4.1.1 Índice de gravidade individual (IGI) e Índice de gravidade global (IGG) ...	49
4.1.2 Macrotextura (Mancha de Areia ou <i>Sand Patch</i>)	56
4.1.3 Levantamento visual de defeitos de superfície.	60
4.2 Análise Estrutural	63
4.3 Contribuição para plano de manutenção de pavimentos	70
5. CONCLUSÃO	72
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS TRILHAS DE RODA INTERNA E EXTERNA	79
ANEXO B – INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO.....	86
ANEXO C – IMAGENS DE PATOLOGIAS ENCONTRADOS NO PAVIMENTO	87
ANEXO D – LEVANTAMENTOS DAS DEFLEXÕES DO PAVIMENTO	91
ANEXO E – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA VIGA BENKELMAN	98

1. INTRODUÇÃO

Os registros das primeiras pesquisas de hidrocarbonetos na Amazônia são oriundos do ano de 1917, ainda pelo Serviço Mineralógico do Brasil. Um ano após a sua fundação, em 1953, a empresa estatal de exploração e produção de petróleo, começou suas descobertas de petróleo no interior do Estado do Amazonas, particularmente em Nova Olinda e Maués. No final da década de 70 localizou-se gás natural, próximo ao rio Juruá e na foz do rio Amazonas, no denominado campo de Pirapema, situado dentro dos limites do Estado do Amapá. No início da década de 1980, assinalam-se novas descobertas, desta vez no mar, na plataforma continental do Pará. Outros poços também foram perfurados no Estado do Amazonas, mas nenhum destes rentáveis comercialmente (INFOGEO, 2005).

Em 1984 teve início a pesquisa sísmica na bacia sedimentar do Solimões, em especial nos Municípios de Tefé e Coari do Estado do Amazonas. Dois anos depois do início desse trabalho, ocorreu a descoberta de petróleo, próximo ao Rio Urucu, Município de Coari. Nos anos seguintes validava-se a descoberta da Província Petrolífera de Urucu (PPU), iniciando a implementação das etapas iniciais de infraestrutura, indispensável para a produção comercial (GARCIA, 2010). A administração ficou sob a responsabilidade da então empresa estatal de petróleo, posteriormente, após a quebra do monopólio, sob a administração da Unidade Operacional da Amazônia (UO-AM), com sede administrativa na cidade de Manaus, e da Unidade Operacional Produtiva denominada Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM), estabelecida na área rural do Município de Coari-AM, a aproximadamente 650 quilômetros de Manaus.

A citada Base de geração de gás e petróleo possui três campos de produção principais, quais sejam: Rio Urucu (RUC), Leste do Rio Urucu (LUC) e Sudoeste do Rio Urucu (SUC). A ausência de estradas de acesso aos mencionados locais, obrigou o uso inicial de dois modais de transportes, o aéreo (helicóptero) e o fluvial (balsas). Porém, os elevados custos desses modais poderia inviabilizar a exploração. Assim, ao longo dos anos a referida região de exploração de petróleo e gás na Amazônia, optou pela abertura de pequenas estradas, que logo expandiram-se, criando uma rede viária para acesso e operacionalidade desses campos de produção, inclusive com

apoio as atividades intermediárias como abastecimento (alimentação) e transporte de materiais/peças/equipamentos (PINTO; LEE; JONQUA, 2011). Esse conjunto de vias é composto de uma Estrada Tronco Principal (ETP), que interliga os dois principais portos de apoio, Porto Evandro (PEV) e Porto Urucu (PUC), bem como pequenos acessos que intercomunicam os poços produtores à ETP.

As condições severas de trabalho em plena floresta amazônica, no interior do Município de Coari, combinada com a necessidade de garantir condições de operação dos poços de produção, exigiu a preferência por estradas como solução de transporte interno entre os portos de apoio, poços, instalações industriais e alojamentos (GARCIA, 2010). Para viabilizar essa opção de deslocamento, diversas soluções foram aplicadas na construção e manutenção das estradas e acessos, que em função das características dos solos provenientes de uma bacia sedimentar, exigiu a adequação de várias técnicas comumente usadas na Geotecnia dos pavimentos (PESSOA, 2004).

Atualmente a pavimentação rodoviária na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura possui como destaque a manutenção do campo de produção de Urucu (PPU). No entanto, destaca-se que, o solo natural proveniente da bacia sedimentar do Solimões, em geral, não mostra condições técnicas adequadas para compor esses pavimentos frente a repetição de cargas dos veículos/equipamentos (PESSOA, 2004). Tal conjuntura se agrava, notadamente, pela elevada pluviosidade da região. O conjunto de tais fatores impede, via de regra, a trafegabilidade durante todo o ano.

Isto posto, a questão que se coloca é como auxiliar, por meio de um plano de manutenção/restauração, o cumprimento da vida útil dessas estruturas. Neste contexto reside a motivação do presente trabalho — conhecer as condições atuais, ou seja, como apresenta-se hoje o desempenho desses pavimentos, conforme uma avaliação funcional e estrutural. Tais análises têm a mesma relevância e estão inter-relacionadas, isto é, um pavimento com nível de serventia baixo direciona para necessidade de uma análise funcional, cuja causa pode ser estrutural indicando a substituição ou a sobreposição de camadas complementares (ANDRADE, 2017).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho funcional e estrutural do pavimento situado na Estrada Tronco Principal (ETP), pertencente ao sistema viário da Província Petrolífera de Urucu, no Município de Coari-AM.

1.1.1. Objetivos Específicos

- a) Verificar o estado funcional do pavimento asfáltico do trecho da ETP, por meio da medição das flechas das trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE).
- b) Determinar o Índice de gravidade individual (IGI) e Índice de gravidade global (IGG).
- c) Realizar o ensaio de macrotextura (Mancha de Areia ou *Sand Patch*).
- d) Realizar o levantamento visual dos defeitos de superfície.
- c) Analisar a condição estrutural de pavimentos asfálticos utilizando parâmetros da bacia deflectométrica, com uso da Viga Benkelman.
- d) Contribuir com a metodologia de avaliação técnica para o plano de manutenção dos pavimentos.

1.2. Justificativa

Desde o início do processo de construção do sistema viário da Província Petrolífera de Urucu, com vista a viabilizar a exploração do campo de produção de petróleo/gás, houve uma constante busca por soluções técnicas, práticas e definitivas. Não obstante, pouco era os dados referente a identificação das condições de uso do pavimento existente antes da implementação de tais medidas. Com a ampliação na quantidade de poços perfurados, suscitou a demanda para a construção de novos trechos. Todavia, pelo amadurecimento do campo petrolífero e o desgaste natural das estradas, iniciou-se uma nova fase que objetivou buscar alternativas para restaurar os trechos existentes.

Tendo em vista a tipologia diferenciada das cargas que trafegam pelo sistema viário de Urucu, associado as severas condições climáticas da Região Amazônica, as quais o pavimento está exposto, fica claro a necessidade de restauração dessas estruturas. Contudo, a recomposição, sem proceder uma prévia avaliação técnica, com levantamentos de dados de campo, pode influenciar na vida útil do pavimento, mesmo que os trechos recentemente restaurados melhorem os índices de desempenho funcional, visto que, com o decorrer do curto intervalo de tempo, novas medidas de restauração, manutenção ou reabilitação, usualmente, são realizadas, podendo levar a manutenções prematuras. Buscando essa otimização dos recursos, no presente bastante limitada, é que a avaliação do pavimento — objeto do presente estudo, poderá contribuir para uma definição de critérios técnicos mais eficazes nas futuras intervenções.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo reuniram-se conceitos fundamentais sobre os pavimentos e seus mecanismos de deterioração, bem como o julgamento do seu desempenho por meio da avaliação funcional e estrutural. Tal contextualização direciona-se ao pavimento flexível, representativo do tipo estudado no trabalho em apreço.

2.1. Pavimento

O pavimento é composto por diversas camadas, uma sobre a outra, constituídas por diferentes materiais, que são compactados a partir do subleito (fundação) do corpo estradal, adequada para atender, como uma estrutura, as operações de tráfego, bem como, ao longo de sua vida útil, aos serviços de manutenção preventiva, corretivas e reabilitações (Balbo, 2007).

O Manual de Pavimentação (BRASIL, 2006) define pavimento de uma rodovia como uma superestrutura formada por um agrupamento de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito - a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito. O pavimento, por exigências de ordem técnico-econômicas, é uma estrutura em camadas, tendo materiais de diferentes resistências e deformabilidades que são colocadas em contato, resultando em um elevado grau de complexidade no que diz respeito ao cálculo de tensões e deformações atuantes e resultantes das cargas impostas pelo tráfego.

Senço (2007) corrobora com os tais conceitos ao definir o pavimento como uma estrutura construída sobre a terraplanagem e destinada, técnica e economicamente, a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los, visando melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança, além de apresentar resistência aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

Pode-se descrever de forma geral, que o pavimento é projetado como uma estrutura que deverá receber e transmitir os esforços, distribuindo as tensões sobre

as camadas mais inferiores, que apresentam menor resistência. Sendo assim, todas as suas partes componentes devem funcionar com deformações que sejam compatíveis com sua natureza, composição e capacidade, para que não ocorra ruptura ou dano prematuro na estrutura.

Essas estruturas compostas por materiais heterogêneos, podem ser classificadas de maneira geral conforme seu comportamento estrutural. Atualmente o DNIT, segundo o Manual de Pavimentação, classifica os pavimentos em rígidos, semi-rígidos e flexíveis (BRASIL, 2006), apontando as seguintes características:

Rígido: o material que compõe o revestimento desse pavimento, apresenta rigidez alta e suficiente para absorver todas as tensões oriundas das cargas aplicadas.

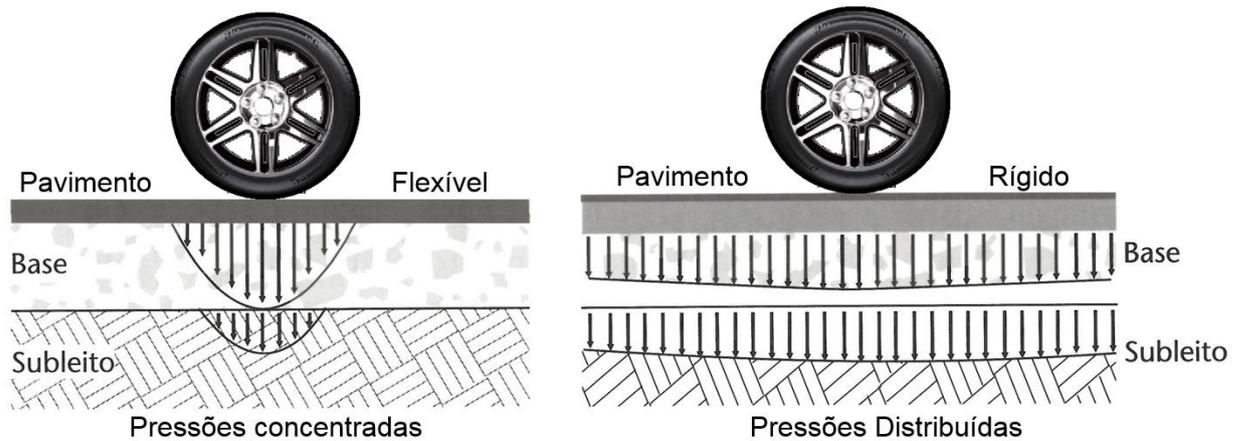
Semi-rígido: a camada de base dessa estrutura possui algum tipo de aglomerante em sua composição, sendo o mais comum o cimento portland, tornando-a menos flexível quando submetida as solicitações do tráfego.

Flexível: a predominância expressiva de deformação elástica, a equilibrada distribuição das cargas aplicadas na superfície às subcamadas, caracteriza esse tipo de pavimento. São construídos em larga escala, praticamente, em qualquer região do país.

2.2. Pavimentos Flexíveis

Em concordância com a caracterização de Balbo (2007), os pavimentos do tipo flexível dizem respeito às respostas estruturais do conjunto de camadas, ou seja, a absorção de esforços dar-se de forma compartilhada pelas várias camadas. Encontrando-se, portanto, tensões verticais em camadas inferiores, porém com maior intensidade na primeira camada, região próxima da área de aplicação da carga, como observa-se na Figura 1.

Figura 1 – Resposta mecânica do pavimento



Fonte: Adaptado de BALBO (2007).

Pode ainda o pavimento flexível ser descrito como aquele em que todas as camadas apresentam deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, isto é, a carga distribui-se em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.

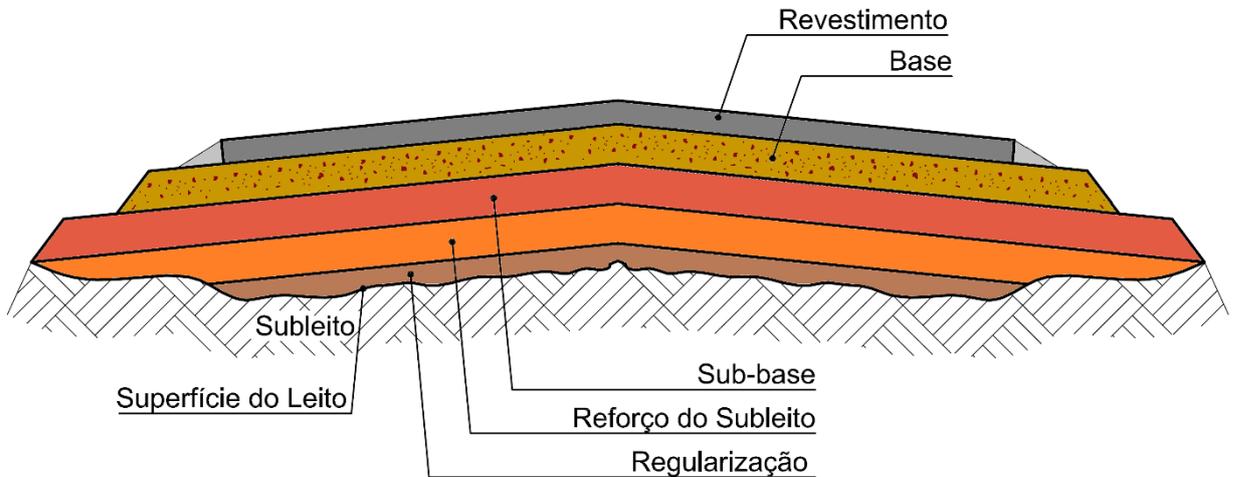
Senço (2007), também define os pavimentos flexíveis como estruturas em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento. Podem ser dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, decorrente do aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que ao longo do tempo levam o sistema a deformações permanentes, e a posterior ruptura por fadiga.

O pavimento flexível pode apresentar diversas configuração no arranjo de sua estrutura. Essa variedade de camadas (BRASIL, 2006), em geral, depende da região onde será construída e da classe da rodovia, características dispostas na metodologia de dimensionamento (Figura 2). Tais camadas podem ser definidas da seguinte forma:

- Subleito: terreno de fundação do pavimento que, também pode ser considerada a camada final de terraplenagem.
- Leito – não é uma camada e sim uma superfície obtida pelo terraplenagem ou obra-de-arte e conformada ao seu greide e perfis transversais;

- Regularização – pode ser considerado na maioria dos casos com a camada adicionada sobre o leito estradal, com a função de conformá-lo em ambas as direções, de acordo com as especificações do projeto, em alguns casos limita-se a um corte do leito implantado ou em adição a este, de camada com espessura variável, dessa forma pode não ser considerado uma camada do pavimento;
- Reforço do Subleito: possui espessura constante, sobreposta a regularização, de acordo com a necessidade do dimensionamento do pavimento e constituída de materiais provenientes de jazidas ou empréstimos. Estes materiais terão sempre características superiores às do subleito e escolhidos dentre os melhores disponíveis, ao longo do trecho, porém inferiores as camadas superiores.
- Sub-base: camada complementar a base, sendo o seu uso diretamente ligado aos critérios técnico-econômicas, uma vez que, em função destes não for recomendado construir a base diretamente sobre o reforço do subleito ou regularização;
- Base: destinada a receber, transmitir e distribuir os esforços originados do tráfego dos veículos (carga dinâmica). Considerada a camada mais importante do pavimento, sendo também a que recebe o revestimento (camada final);
- Revestimento: recebe diretamente as cargas proveniente do tráfego. Destina-se a melhorar a superfície de rolamento, quanto as condições de conforto e segurança, resistir aos esforços horizontais, e sempre que permitido, deve ser impermeável, resistente e durável.

Figura 2 – Seção transversal de um pavimento tipo e suas camadas



Fonte: Adaptado de BALBO (2007) e Senço (2007).

2.3. Desempenho dos Pavimentos

O desempenho de um pavimento é função de sua capacidade para atender ao tráfego durante um período de tempo. Originalmente, essa predisposição era determinada de forma bastante subjetiva pela inspeção visual e pela experiência. Atualmente a avaliação de um pavimento executa-se segundo a medição de parâmetros e a observação de determinados sintomas ou indicadores que permitem caracterizar o seu estado estrutural e/ou funcional. Normalmente, utiliza-se um sistema de medições para quantificar a condição e o desempenho do pavimento (LEE; WILSON; HASSAN, 2017). Empregam-se tais sistemas para auxiliar na tomada dos seguintes tipos de decisões:

- a) Estabelecer prioridades de manutenção

Dados das condições do pavimento, tais como: rugosidade, irregularidade de superfície, afundamento de trilha de roda, IGG e deflexão. De posse desse resultado se estabelecem quais os segmentos que mais necessitam de manutenção e restauração. Na sequência, são examinados mais de perto para indicar as estratégias de reparo.

b) Determinar estratégias de manutenção e restauração

Os dados provenientes do levantamento das condições de superfície visam desenvolver um plano de ação anual, e qual a solução mais apropriada para uma dada condição de pavimento, seja remendos, tratamentos superficiais, recapeamento, reciclagem, etc.

c) Prever o desempenho do pavimento

Os dados como rugosidade, resistência à derrapagem, desgaste superficial, ou uma combinação dessas patologias, são projetados no futuro para ajudar a preparar o orçamento de longo prazo ou estimar a condição de uma estrutura com um orçamento fixo.

O desempenho funcional e estrutural do pavimento podem ser geralmente definidos como a mudança na sua condição ou são funções do tempo de uso. Também pode ser indicativo da capacidade estrutural para viabilizar o tráfego pretendido e satisfazer a sua vida útil. Salienta-se que advindo do aumento das atividades de operação na Província Petrolífera de Urucu, verificou-se a ampliação substancial do tráfego no decorrer das últimas décadas, principalmente com cargas superiores aos padrões normativos, resultando na sobrecarga do sistema viário. De acordo com SREEDEVI (2014) o desenvolvimento de maiores tensões ao planejado leva à falha de desempenho dos pavimentos. Logo, se esse sistema de camadas não consegue suportar as cargas de forma satisfatória, então, a falha é do tipo estrutural. No caso do tipo funcional, caracteriza-se por não fornecer uma superfície suave, ou seja, confortável ao usuário.

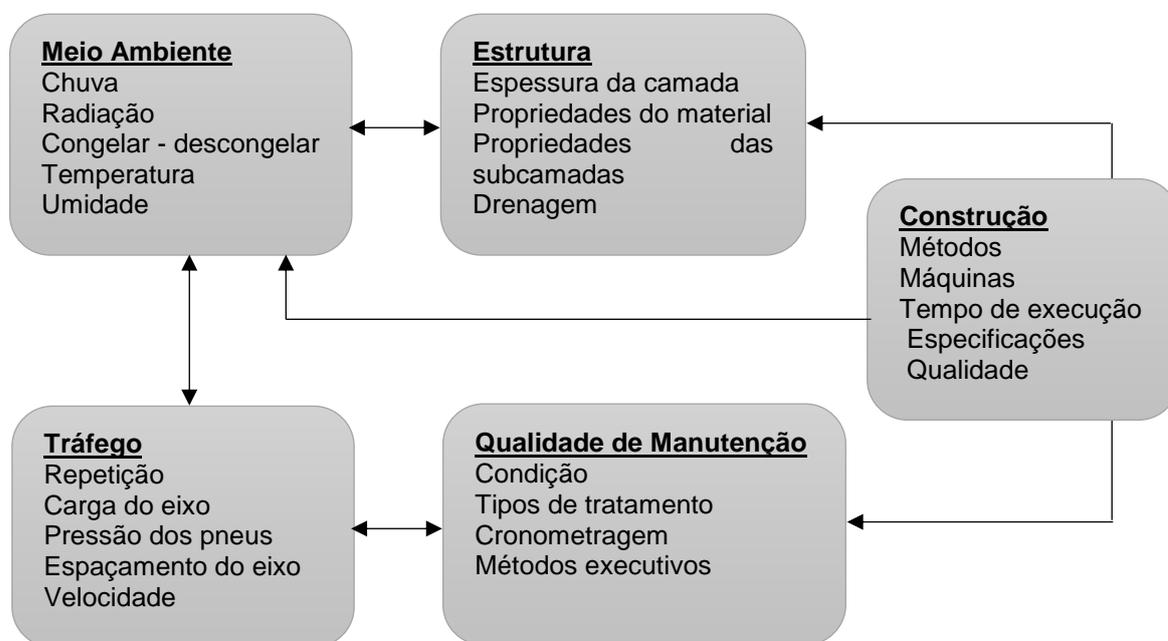
2.4. Mecanismo de Deterioração do Pavimento Flexível

As condições estruturais e funcionais dos pavimentos flexíveis mudam com o tempo devido a efeitos continuados da sua adequação estrutural, volume, composição e características do tráfego, ambiente, condições envolventes e manutenção. BALBO (2007) descreve que a falha do pavimento pode ocorrer em consequência das

variações de temperatura, uma vez que as misturas asfálticas herdam as propriedades reológicas dos asfaltos, que são materiais viscoelastoplásticos e termoplásticos. Por conseguinte, a elasticidade se altera em função da temperatura, por força da mudança da viscosidade do material com a variação das condições térmicas. Igualmente, verificam-se ainda danos internos associados ao tráfego dentro de um ambiente operacional, durante um período de tempo. Qualificam-se como um fenômeno abrupto, com deterioração funcional e estrutural acumuladas a partir da construção e sua abertura ao tráfego.

A deterioração também pode ser definida como o processo de acumulação de danos atingindo o limite do nível de manutenção. Estudos realizados em todo o mundo estabeleceram que, embora as técnicas de projeto e construção variem de país para país, o padrão de degeneração dos pavimentos mostra a mesma tendência (SREEDEVI, 2014). Os vários fatores que causam, em regra, a deterioração dos pavimentos flexíveis, são identificados na Figura 3.

Figura 3 - Fatores que influenciam o desempenho do pavimento flexível



Fonte: Adaptado de SREEDEVI (2014).

As principais deteriorações incluem, de modo geral, rachaduras/fissuras, buracos, sulcos ao longo da trilha de roda e irregularidade da superfície do

pavimento. A manifestação física do dano interno (rachaduras/fissuras, buracos, etc.) é conhecida como desgaste do pavimento, ao passo que a porcentagem de deterioração indica a condição da estrutura. Diferentes modos de degeneração ocorrem independentemente ou simultaneamente com interação mútua. Para fins de planejamento, o desgaste pode ser baseado em tipos de deterioração e os mais importantes são aqueles que desencadeiam as decisões.

Para Gonçalves (1999), diversos fatores afetam o desempenho de um determinado pavimento, dentre estes destacam-se: o número e a magnitude das cargas do tráfego, as propriedades dos materiais componentes das camadas e a sua heterogeneidade ao longo da via, a natureza do solo de subleito, a frequência e as práticas de manutenção aplicadas ao longo do tempo, bem como as condições de drenagem e os aspectos ambientais. Conforme afirma Gonçalves (1999, p. 15):

Os principais mecanismos de deterioração dos pavimentos flexíveis são:

- Formação e crescimento de trincas nas camadas asfálticas do revestimento, decorrentes da fadiga provocada pela repetição das cargas do tráfego;
- Geração de afundamentos em trilha de roda ou de ondulações na superfície em decorrência do acúmulo de deformações plásticas em todas as camadas, sob a repetição das cargas do tráfego;
- Se a camada de base é de drenagem lenta, a formação de trincas no revestimento dá acesso a águas pluviais, que se acumulam no topo da base. Com a passagem de uma carga de roda, gera-se um excesso de pressões neutras na água retida, levando ao bombeamento de finos da base para a superfície (erosão) e a solicitações dinâmicas elevadas sob a camada de revestimento, acelerando a sua deterioração. Se a água atingir e se acumular no topo do subleito, não sendo este drenante, aumenta a geração de deformações plásticas nessa camada e a sua intrusão na base granular;
- Envelhecimento do ligante betuminoso por oxidação, que fragiliza a mistura asfáltica e facilita seu trincamento e o arrancamento de agregados. A velocidade com que a oxidação do asfalto se processa depende das condições de temperatura, umidade e insolação. As oscilações térmicas, por sua vez, levam à formação de trincas superficiais, cujo potencial de geração é aumentado pela oxidação dos primeiros 25 mm do topo da camada asfáltica;
- Desgaste com exposição de agregados e perda da macrotextura da superfície do pavimento, em decorrência da abrasão provocada pelos veículos, acelerado pelo intemperismo (oxidação do asfalto), levando à queda do coeficiente de atrito. Este problema é especialmente grave nos revestimentos em Tratamento Superficial.

2.5. Avaliação do Desempenho dos Pavimentos

Para construir estradas mais duráveis para o amanhã, faz-se necessário descobrir como os pavimentos e seus materiais se comportam quando submetidos a repetição de cargas pesadas. A deterioração dessas estruturas explicita um desenvolvimento lento durante os primeiros anos após a construção, mas um rápido progresso durante anos posteriores. A análise desse sistema de camadas consiste em um conjunto de técnicas que se destina às ações a serem adotadas, que envolve um estudo completo de vários atores, tais como: suporte do subleito, composição do pavimento e sua espessura, carga de tráfego e condições ambientais (BRASIL, 2005). A avaliação de pavimentos é amplamente classificada em estrutural e funcional.

2.5.1. Desempenho funcional

Refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua função principal, que é a de fornecer uma superfície com serventia adequada em termos de qualidade de rolamento aos usuários de forma rápida, segura e confortável, resultado da interação entre a condição de superfície e a dinâmica do veículo (BRASIL, 2005). Esse tipo de avaliação relaciona-se à apreciação da superfície e como esta influencia no conforto ao rolamento. Consiste na determinação da capacidade de desempenho funcional momentânea, a serventia que o pavimento proporciona ao usuário, ou seja, o conforto em termos de qualidade de rolamento (MEDINA; MOTTA, 2015).

Atualmente, os métodos de quantificar as características funcionais consideram o levantamento de defeitos, a irregularidade da superfície nos perfis longitudinal e transversal e a ocorrência de deformações plásticas em trilha de roda. Essa análise compreende a listagem dos aspectos que afetam mais diretamente ao usuário da rodovia, na forma de conforto ao rolamento (relacionado aos custos operacionais dos veículos), tempo de viagem (que também pode ter um custo associado) e segurança (custo de acidentes). Para Balbo (2007), mais especificamente, em:

- Conforto ao rolamento: depende da irregularidade longitudinal da pista, o que é função primordial dos afundamentos plásticos gerados por acúmulo de

deformações permanentes sob cargas repetidas em todas as camadas do pavimento;

- Segurança: tem como principal elemento o atrito em pista molhada (resistência à derrapagem), o qual é função da microtextura e macrotextura superficiais, ambas afetadas pelo desgaste produzido pela passagem do tráfego. O potencial para hidroplanagem é incrementado pela irregularidade transversal (afundamentos em trilha de roda). A refletividade da superfície é outro item que pode adquirir importância quanto à segurança.

Para a avaliação das características funcionais de um determinado pavimento, ou a serventia por ele externada, torna-se indispensável definir os tipos de defeitos superficiais representativos e promover o seu levantamento, por meio de técnica de análises subjetivas, que permitem estabelecer o estado de degradação do pavimento a partir de conceitos qualitativos (alfanuméricos) e das avaliações objetivas, que expressam a degradação, segundo uma quantificação numérica e a distribuição de severidade das diversas manifestações do colapso da estrutura (BRASIL, 2005).

2.5.2. Desempenho estrutural

O desempenho estrutural alude-se à capacidade de um pavimento em manter sua integridade estrutural, sem apresentar falhas significativas. Deve ser associado com a preservação dos investimentos. Considera-se como o melhor momento para reabilitar o pavimento, aquele que conduza a um menor custo do ciclo de vida. Balbo (2007), afirma que o uso da expressão avaliação estrutural, em sentido mais amplo, abrange a caracterização completa de elementos e variáveis estruturais do sistema de camadas, que possibilite uma descrição objetiva de seu modo de comportamento mediante as cargas advindas do tráfego e do ambiente. Procura-se possibilitar a avaliação baseada na capacidade da estrutura em resistir as futuras demandas do tráfego, assim, descreve-se os materiais e as espessuras que constituem cada camada do pavimento, incluindo solos de subleitos, bem como a verificação, por meios e métodos de engenharia, das condições de integridade do sistema de

camadas, por meio de parâmetros estruturais, em particular, da medida de deformações.

Todo pavimento asfáltico passa por fases distintas durante sua vida útil. Inicialmente ocorre a densificação pelo tráfego, no qual as rodas dos automóveis consolidam a estrutura do pavimento devido à pressão de contato. Tem-se ainda a fase das deflexões recuperáveis, quando ocorrem as deformações elásticas que compõem a vida útil da estrutura asfáltica. Por final, acontece o fenômeno da fadiga, tipificado por deformações plásticas, cujas deflexões não se recuperam (SENÇO, 2007).

Consoante aos defeitos estruturais, estes resultam especialmente da repetição das cargas e relacionam-se às deformações elásticas e plásticas. Referente às elásticas, são mensuradas por equipamentos chamados deflectômetros, por medirem os deslocamentos verticais dito recuperáveis, que são chamados de “deflexões” do pavimento. Tais deformações decorrem, na maioria das vezes, das trincas que surgem durante a vida do pavimento, e que pode levar à fadiga do revestimento.

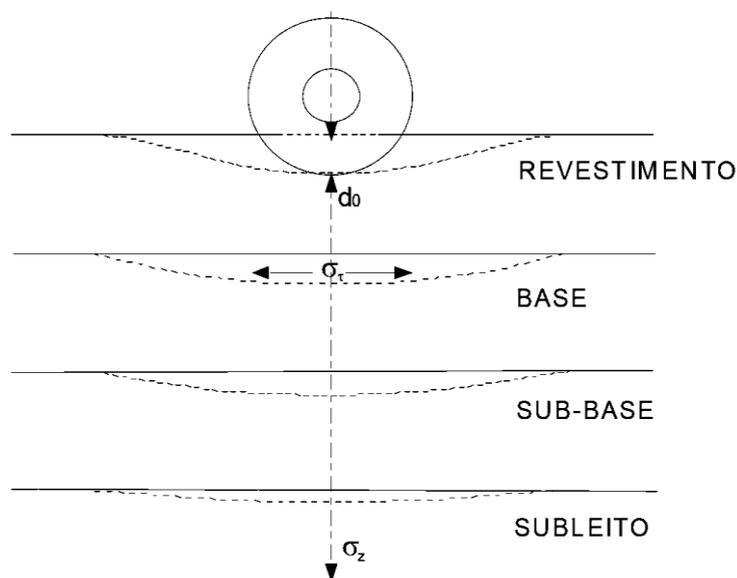
De acordo com Junior e Magalhães (2014) as deformações verticais ou afundamentos permanentes, caracterizam-se por depressão da superfície, podendo ser plástico ou por consolidação. Os seus resultados são os defeitos do tipo afundamento localizado ou das trilhas das rodas. Apenas os afundamentos plásticos promovem deformações acompanhados de sollevamentos (elevações). Originam-se da ação repetida das cargas dos pneus e pelo fluxo canalizado dos veículos, ao longo dos anos. O afundamento de consolidação, como o próprio nome diz, é causado pela densificação de uma ou mais camadas ou do subleito, sem estar acompanhado de qualquer elevação.

A avaliação estrutural possui vários objetivos, entre eles se destaca a determinação da rigidez e da vida remanescente do pavimento sob as condições de tráfego futuro. Esse tipo de análise representa a adoção de métodos para se conhecer as características de rigidez e deformabilidade das camadas que compõem o pavimento. A deflexão, por outro lado, traduz-se na resposta das camadas e do subleito ao carregamento. Quando uma carga é aplicada em um ponto (ou uma área)

da superfície do pavimento, todas as camadas fletem devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento. Na Figura 4 exemplifica-se o valor da deflexão das camadas, que geralmente diminui com a profundidade e com o distanciamento do ponto de aplicação da carga, mostrando sua dependência do módulo de elasticidade (BRASIL, 2005).

Para Pérez (2016) a deformação recuperável de um pavimento representa a reação das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. Quando os esforços são aplicados na superfície do pavimento, todas as camadas que compõem a estrutura do pavimento deslocam-se verticalmente por causa das tensões e deformações geradas pelo carregamento, e complementa descrevendo que o valor da deflexão em cada camada é função do módulo de elasticidade e diminui com a profundidade e a distância ao ponto de aplicação da carga.

Figura 4 - Deformações no pavimento



- POSIÇÃO ORIGINAL
- - - - POSIÇÃO DEPOIS DA FLEXÃO
- d_0 = DEFLEXÃO VERTICAL NO REVESTIMENTO
- σ_t = DEFLEXÃO HORIZONTAL DE TRAÇÃO NO REVESTIMENTO
- σ_z = DEFORMAÇÃO VERTICAL NO SUBLEITO

Fonte: BRASIL, 2006.

Além da determinação de tipos, espessuras e condições presentes nas camadas, que trazem diversas informações estruturais, é necessário o cálculo da capacidade estrutural do pavimento, que pode ser computada por meio de provas de carga. Nesse caso, a estrutura é submetida a uma carga conhecida e realiza-se uma medição das deformações que lhe são impostas. Segundo Medina e Motta (2005), os “melhores” pavimentos estruturalmente fletem menos relativos aos mais debilitados. Além disso, pavimentos com deflexões mais baixas, suportam maior número de solicitações de tráfego.

Para a mediação dessas deflexões, dois tipos de equipamentos são largamente empregados no Brasil e no mundo, a viga de Benkelman (referência ao engenheiro do *Bureau of Public Roads* dos EUA, que inventou o dispositivo na década de 1950) e o defletômetro de impacto *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Tais aparelhos medem os deslocamentos verticais ocorridos na superfície de um pavimento quando submetido a um carregamento. No meio rodoviário, por influência da escola americana, tais respostas foram alcunhadas como deflexões (portanto, deflexão = deformação vertical total = deslocamento vertical) (BALBO, 2007). Segundo Borges (2001), tais equipamentos medem os seguintes parâmetros:

- a) Deflexão máxima: deslocamento sob o centro da carga (FWD) ou o centro das rodas duplas de um eixo simples (viga Benkelman), sendo normalmente expressa em 10^{-2} mm (D_0).
- b) Raio de curvatura: círculo ou arco de parábola que passa por dois pontos da deformada (viga Benkelman), comumente sob a carga e a 25cm do centro da mesma (D_0 e D_{25}).
- c) Deformada, bacia de deformação ou bacia deflectométrica: medida do deslocamento elástico ou recuperável em vários pontos a partir do centro do carregamento (D_0 , D_{25} , D_{50} , D_{75} etc.).

Para Balbo (2007), a viga de Benkelman, tem um papel importante na propagação do uso das medidas de deflexões, sendo o mais difundido no Brasil. As normas vigentes no País, para projetos de restauração de rodovias, têm seus modelos de cálculo fundamentados em padrões de deflexão medida com esse equipamento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão explicitados o local de estudo e as características do pavimento, além de descrever os dispositivos empregados nos ensaios e levantamentos de campo, igualmente a metodologia aplicada para obtenção das informações necessárias com o fito de julgar o desempenho do pavimento. Tais procedimentos obedeceram às normas existentes e amplamente utilizadas em diversas avaliações.

3.1 Localização do Pavimento a ser estudado

O trecho da Estrada Tronco Principal, onde foi realizado a avaliação do desempenho funcional e estrutural do pavimento, situa-se no Campo de Produção de LUC da Província Petrolífera de Urucu. A Base de produção de gás e petróleo localiza-se a aproximadamente 650 quilômetros de distância da cidade Manaus, mais particularmente na área rural do Município de Coari-AM (Figura 5 e 6).

Figura 5 - Localização do Município de Coari- AM e da Província Petrolífera de Urucu (PPU)

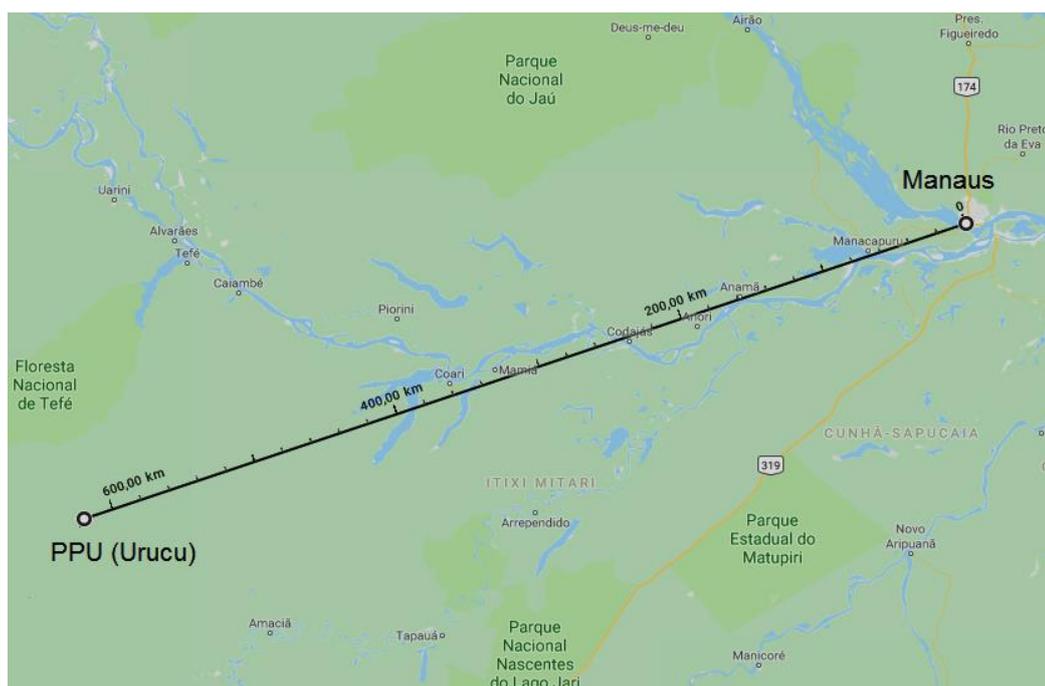


Fonte: Adaptado de GARCIA, 2010.

O local de estudo, devido à falta de acesso terrestre, limita-se aos modais de transportes fluviais para materiais, equipamentos e cargas diversas, bem como o transporte aéreo para a condução de pessoas e pequenas cargas. Ressalta-se que durante um período anual, os rios da região oferecem algumas restrições à passagem das embarcações utilizadas para o transporte fluvial de cargas. Em decorrência ao particular clima da Região Amazônica, no qual somente duas estações climáticas são bem definidas (verão e inverno), verifica-se no verão o “fenômeno” conhecido como vazante dos rios, em que as chuvas diminuem drasticamente, causando o rebaixamento do nível das águas, e conseqüentemente dificultando o transporte fluvial no período de seca, que ocorre de julho ao início de novembro (PINTO; LEE; JONQUA, 2011).

Diante de tais adversidades, executou-se a pesquisa no final do período do verão amazônico, visando evitar descontinuidade do levantamento de campo, visto que o local está encravado na floresta (Figura 7). Porém, devido a questões de disponibilidade de voos para o local de estudo, o trabalho teve que ser estendido, o que levou a realização dos ensaios dentro do período chuvoso da região, gerando, novamente, prolongamento na coleta dos dados.

Figura 6 - Distância entre a Província Petrolífera de Urucu e a Cidade de Manaus.



Fonte: Google, 2018. <<https://www.google.com.br/maps/place/Urucu,+Coari+++AM>>

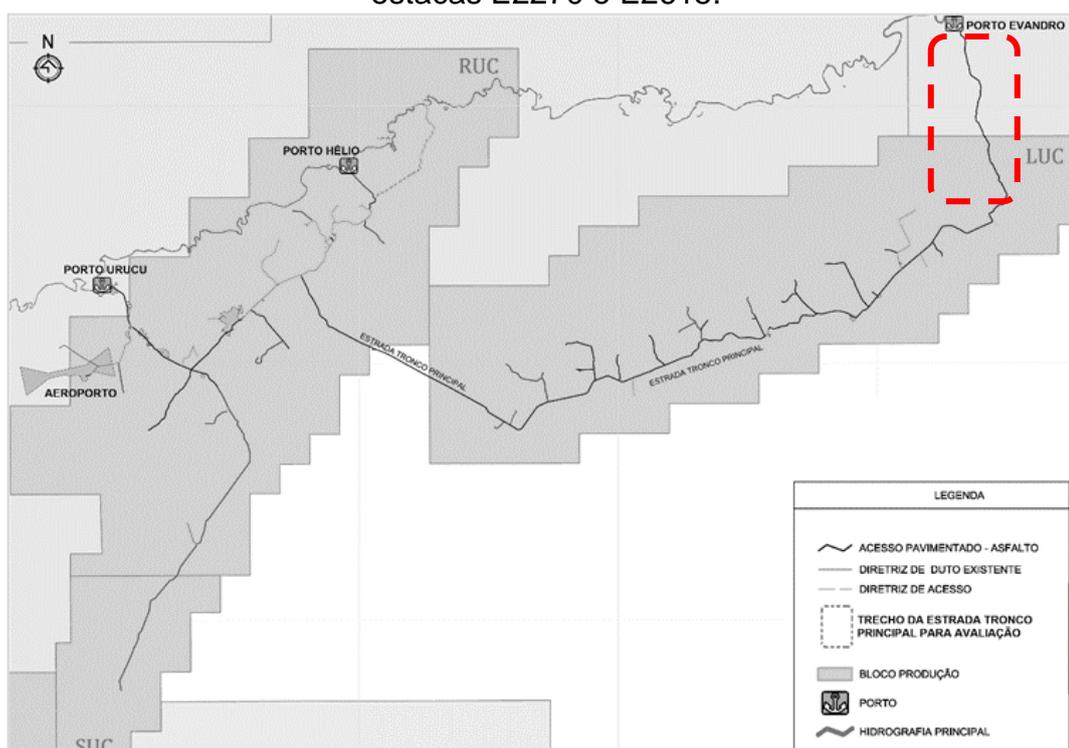
Figura 7 – Vista área da Província Petrolífera de Urucu (PPU) e ETP.



Fonte: Empresa Brasil de Comunicação, 2019. <<http://agenciabrasil.ebc.com.br>>

O trecho da ETP estudado está compreendido entre as estacas E2270 e E2615 (Figura 8), com comprimento aproximado de 6.900m. Nessa parte da estrada realizou-se uma intervenção geral no ano de 2004, e posteriormente, recebe pequenas manutenções para regularizar a condição de serventia do pavimento, com o objetivo de sempre manter as mesmas características de estrutura e superfície.

Figura 8 – Trecho da Estrada Tronco Principal (ETP) para avaliação, entre as estacas E2270 e E2615.



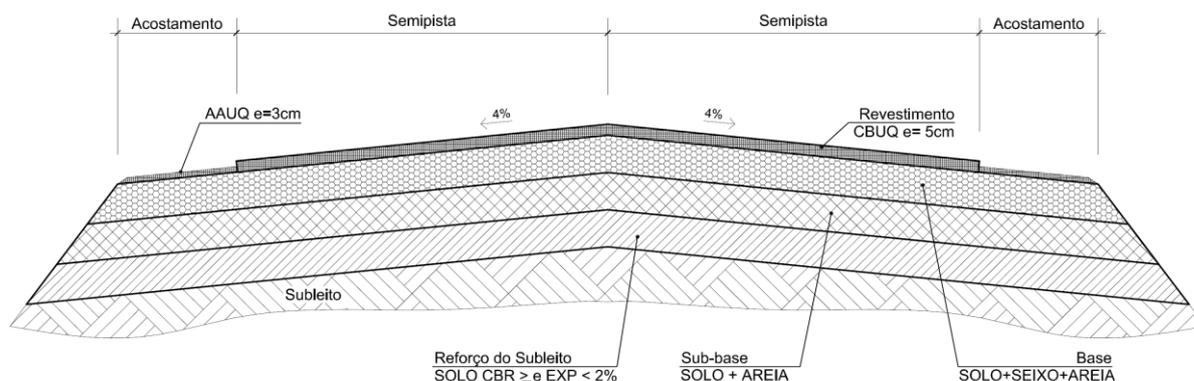
Fonte: Adaptado de Pessoa, 2004.

3.2 Estrutura do pavimento estudado

O pavimento objeto do presente estudo, possui uma estruturação de camadas sobrepostas, características de um pavimento flexível tradicional, ou seja, as de maior resistência sobrepostas aquelas de menor resistência, com a carga sendo distribuída em parcelas aproximadamente equivalentes entre as subcamadas, e sobre esse conjunto tem-se o revestimento asfáltico.

A seção transversal tipo, do trecho do pavimento examinado, está estruturada conforme exhibe a Figura 9. Na primeira camada final tem-se um revestimento asfáltico de CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente ou concreto asfáltico), seguido das subcamadas, base estabilizada granulometricamente (solo com agregados miúdos e graúdos), sub-base formada por uma mistura de agregado miúdo e solo de jazida, sobrepostas a uma camada de reforço do subleito.

Figura 9 – Seção tipo do pavimento estudado



Fonte: Autor, 2019.

3.3 Avaliação Funcional

A avaliação das características funcionais do pavimento fundamenta-se no levantamento dos defeitos de superfície e das deformações em perfil, aplicando a técnica de julgamento quanto ao estado da superfície. Para determinação dessa apreciação elaborou-se um inventário da degradação superficial e geométrica existente, por meio das medidas das flechas nas trilhas de roda interna e externa, em

que se determinou o Índice de gravidade individual (IGI) e Índice de gravidade global (IGG). Também fez parte desse estudo a realização do ensaio de macrotextura (Mancha de Areia ou *Sand Patch*), e a investigação visual de defeitos de superfície.

3.3.1 Índice de gravidade individual (IGI) e Índice de gravidade global (IGG)

A verificação das ocorrências de irregularidades na superfície do pavimento executou-se nos pontos demarcados (indicação da numeração das estacas), conforme subdivisão dos trechos (Figura 10 e 11). As flechas foram medidas em milímetros, segundo cada estação demarcada, empregando-se uma treliça metálica (Figura 12). Definiu-se que cada estação, seria na posição de cada estaca de demarcação do pavimento. As estacas estão distanciadas entre si em 20 metros. Tais mensurações realizaram-se nas trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), segundo o maior valor obtido em cada trilha, a medição ocorreu no ponto exato de cada estaca sendo que ao medir valores de deformação, foi também, em referência a essa estação, as deformações de trilha de roda em 3 metros avante e 3 metros à ré, ambos em relação a estaca principal medida.

Figura 10 – Marcação das estacas no pavimento estudado



Fonte: Autor, 2019.

Figura 11 – Vista aérea da estrada (com defeitos de remendos e panela)



Fonte: Autor, 2019.

Para o registro das ocorrências, foi adotada a codificação da Norma DNIT 005/2003-TER (Tabela 1), que define e agrupa os tipos de defeitos que devem ser identificados no levantamento de campo. Posteriormente, para grupo de patologias registradas na superfície da estrada, calculam-se as frequências absolutas (fa) e relativas (fr) das ocorrências inventariadas. Para cada registro de irregularidade no pavimento, calcular-se-á o Índice de Gravidade Individual (IGI), pela multiplicação da frequência relativa (fr) e do fator de ponderação (fp), de acordo com as especificações da Norma DNIT 006/2003-PRO.

No caso do Índice de Gravidade Global (IGG), seguiu-se o procedimento descrito na norma DNIT 006/2003 – PRO (BRASIL, 2003b). Esse parâmetro quantifica a frequência de ocorrência de cada tipo de defeito, sendo calculado por trechos homogêneos, atribuindo-se um conceito ao estado de degradação do pavimento, conforme a seguinte metodologia:

- Conceito Ótimo para $0 < IGG \leq 20$;
- Conceito Bom para $20 < IGG \leq 40$;
- Conceito Regular para $40 < IGG \leq 80$;
- Conceito Ruim para $80 < IGG \leq 160$;
- Conceito Péssimo para $IGG > 160$.

Tabela 1 - Resumo dos defeitos – Codificação e Classificação

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3
OUTROS DEFEITOS					CODIFICAÇÃO		
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito		ALP		
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito		ATP		
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito		ALC		
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito		ATC		
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base					O		
Escorregamento (do revestimento betuminoso)					E		
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento					EX		
Desgaste acentuado na superfície do revestimento					D		
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores					P		
Remendos				Remendo Superficial	RS		
				Remendo Profundo	RP		

NOTA 1: Classe das trincas isoladas

FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.

FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.

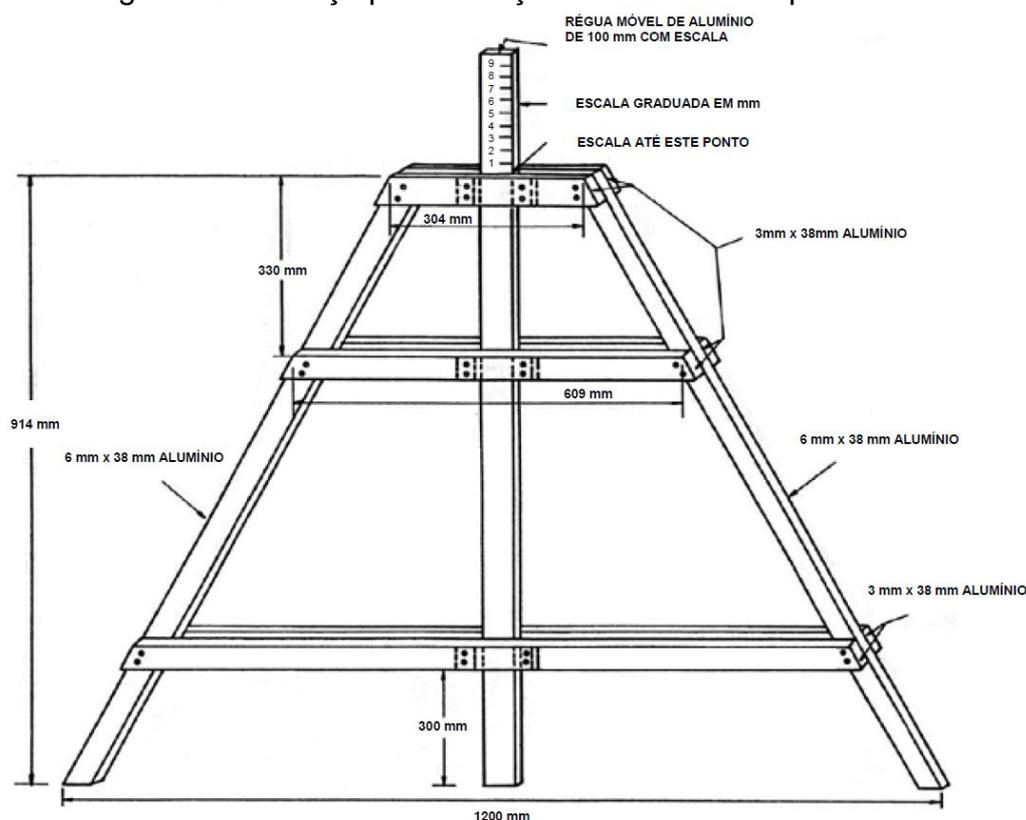
FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2003a.

Figura 12 – Trelça para medição das flechas no pavimento.



Fonte: BRASIL, 2003b.

Esse julgamento indica a necessidade ou não de intervenções do tipo manutenção, e deve ser associada à avaliação estrutural para definir de forma completa a necessidade de recuperação do trecho analisado (MEDINA; MOTTA, 2015). A determinação efetiva do Índice de Gravidade Global (IGG), cuja sistemática de cálculo é baseada na atribuição de fatores de ponderação (pesos) aplicáveis a cada tipo de defeito, calcula-se pela somatória de todos os Índice de Gravidade Individual (IGI).

Para cada uma das ocorrências inventariadas, deve ser determinado o Índice de Gravidade Individual (IGI), pela equação (BRASIL, 2003b):

$$IGI = fr \times fp \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

fr - frequência relativa;

fp - fator de ponderação, obtido de acordo com a Tabela 2.

Assim, para a determinação do Índice de Gravidade Global (IGG), deve ser calculada para cada trecho homogêneo, e foi utilizado a equação:

$$IGG = \Sigma IGI \quad (\text{Eq. 2})$$

onde:

ΣIGI - somatório dos Índices de Gravidade Individuais, calculados de acordo com a equação 1.

Tabela 2 - Valor do Fator de Ponderação

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com o Quadro 1	Fator de Ponderação (fp)
1	Fissuras e Trincas isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE)	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

NOTA: Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da frequência relativa em percentagem (fr) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2003b.

3.3.2 Macrotextura (Mancha de Areia ou *Sand Patch*)

O ensaio consiste em espalhar um volume conhecido do material granular padronizado sobre a superfície do pavimento asfáltico, realizando movimentos circulares uniformes do disco espalhador. De acordo com ABNT (2016), a área do pavimento (revestimento asfáltico) deve estar seca e homogênea, sem irregularidades visíveis e presença de qualquer tipo junta ou trincas, para isso deve utilizar uma trincha, escova ou pincel, para retirar quaisquer tipos de partículas que estejam

depositados na superfície do pavimento. Na situação de ocorrência de ventos, durante a execução do experimento, deve ser usado um anteparo, de modo a evitar que o vento remova a camada de areia.

Concluído a fase inicial de preparativo da área, prossegue-se com o espalhamento da areia, que cobrirá as pequenas depressões da superfície do pavimento, sempre com movimentos circulares. Essa área circular coberta pelo material granular é calculada pelo diâmetro médio referente a quatro medições, igualmente espaçadas no entorno de sua circunferência (LEOCÁDIO, 2014). Determina-se a profundidade média (H_s) da macrotextura da superfície do revestimento asfáltico pela relação entre o volume do material granular padrão espalhado e a área do círculo coberta pelo material, conforme Figura 13.

De acordo com ABNT (2016) o levantamento da profundidade média da macrotextura da superfície do trecho do pavimento asfáltico estudo, deve ser determinada em conformidade com a equação 3.

$$H_s = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

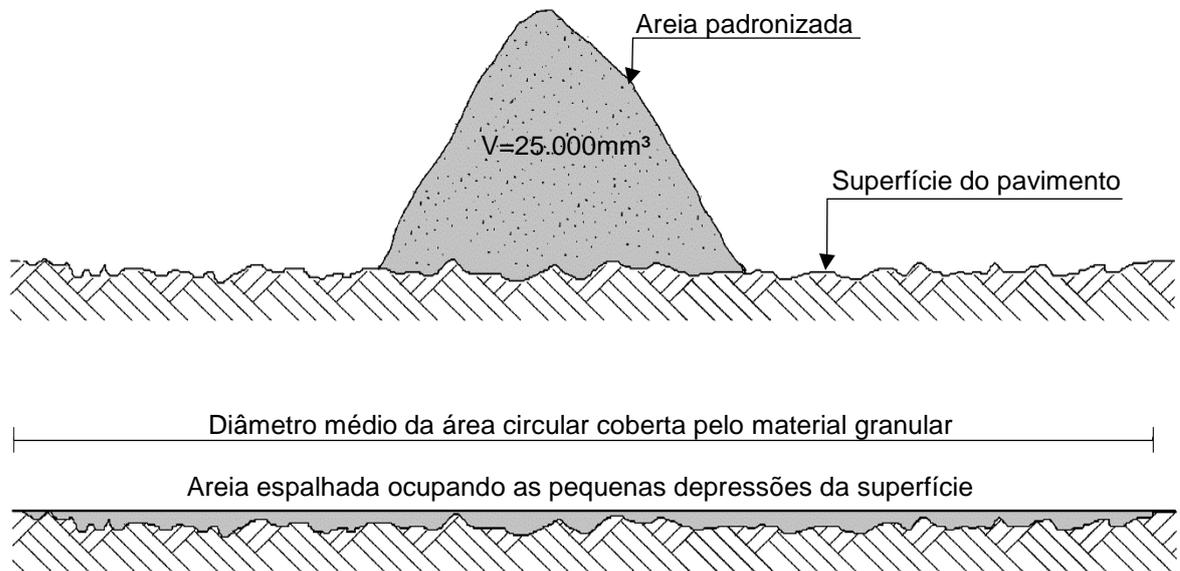
Onde,

H_s é a profundidade média da macrotextura da superfície do pavimento, expressa em milímetros (mm);

V é o volume do material granular espalhado, expresso em milímetros cúbicos (mm^3);

D é o diâmetro médio da área circular coberta pelo material granular, expresso em milímetros (mm).

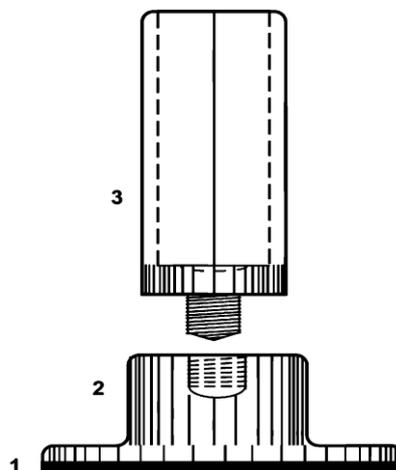
Figura 13 – Esquema transversal do ensaio de mancha de areia, antes e depois do espalhamento da areia



Fonte: Adaptado de Pereira, 1998.

Na Figura 14 mostram-se os detalhes do aparelho (disco espalhador metálico com face plana e rígida revestida em borracha, tendo 2,5 mm de espessura) usado para espalhar a areia, assim como o dispositivo que acopla no disco espalhador, com volume interno de 25.000 mm³, para mensuração do material granular (areia). A Figura 15 apresenta o conjunto necessário à realização desse experimento, com a maleta para transporte, trincha de 2", régua metálica com escala de 300mm e os frascos com material granular padrão, 500g de areia.

Figura 14 – Disco espalhador acoplado ao recipiente cilíndrico



Fonte: Adaptado de ABNT, 2016.

Consoante a ABNT (2016), os dados de cada teste devem especificar um conjunto das seguintes informações:

- a) localização e identificação da superfície do pavimento ensaiado;
- b) volume de material utilizado na medição (mm^3);
- c) diâmetro médio da área coberta pelo material (mm);
- d) profundidade média da macrotextura (mm).

Figura 15 – Material e aparelhagem para realização do ensaio de Macrotextura (mancha de areia).



Fonte: SOLOTEST, 2019.

Conforme descreve Specht (2007), para avaliação da macrotextura do pavimento, os valores médios de profundidade encontrados levam a uma verificação das suas características superficiais, ou seja, o micro relevo proveniente do agregado utilizado no revestimento da base, com comprimento de onda de 0,5 a 50mm e amplitude de 0,2 a 10mm. Esses valores estão diretamente ligados ao atrito em altas velocidades, a capacidade do pavimento drenar a água superficial evitando o

fenômeno da hidroplanagem, o aumento no consumo de combustível, excessivos níveis de ruído, dentre outros.

A classificação da textura dos revestimentos, indicado por Pereira (1998), orienta na determinação do uso do pavimento limitado a velocidade do tráfego, variando até o limite de 120km/h, e também voltado para segurança da via, incluindo condições ambientais específicas, não aplicadas na região estudada. A Tabela 3 apresenta essa classificação, em relação a profundidade média encontrada no teste de Mancha de Areia (Hs), com as recomendações indicadas.

Tabela 3 - Classificação da textura dos revestimentos

Profundidade Média (Hs) mm	Textura	Recomendações
$Hs \leq 0,2$	Muito Fina ou Muito fechada	Não apta
$0,20 < Hs \leq 0,40$	Fina ou fechada	Para locais, onde a velocidade não ultrapasse a 80km/h (zonas urbanas)
$0,40 < Hs \leq 0,80$	Média	Para locais, onde a velocidade média esteja entre 80 e 120km/h
$0,80 < Hs \leq 1,2$	Grossa ou aberta	Para locais, onde a velocidade normalmente seja superior a 120km/h
$Hs > 1,2$	Muito Grossa ou muito aberta	Para utilizar em casos especiais. Ex: zonas onde aparecem pequenas condensações (temperatura próximo de 0°C e muita umidade)

Fonte: Adaptado de Pereira, 1998.

3.3.3 Levantamento visual de defeitos de superfície.

A avaliação da superfície de pavimentos flexíveis seguiu as diretrizes estabelecidas na Norma do DNIT 008/2003 – PRO. Fundamentou-se no Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis - ICPF, ao mesmo tempo em que proporciona também as informações necessárias para o cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito - IGGE e do Índice do Estado de Superfície - IES. Este parâmetro, cujos

valores estão compreendidos entre 0 e 10, é avaliado em função do ICPF e do IGGE, constituindo, pois, uma síntese destes dois Índices. A partir desses resultados formatou-se um quadro resumo para cada quilômetro ou para cada subtrecho homogêneo examinado (BRASIL, 2003d). O trecho estudado, tendo aproximadamente de 6.900m, da Estrada tronco Principal (ETP), foi dividido em 7 subtrechos identificados por suas estacas inicial e final.

O processo avaliativo aplicado no Levantamento Visual dos Defeitos de Superfície, foi contínuo e acompanhou as designações e tipificações das Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8, em concordância com as instruções normativas (BRASIL, 2003d). A sequência para determinação desses índices, seguiu as orientações contidas na referida norma, bem como o uso das tabelas, equações e conceitos avaliativos. Ressalta-se que em decorrência do trecho pesquisado ser de pista simples, conforme orientação normativa tais parâmetros foram levantados em um único sentido, no caso o crescente das estacas (EE2270 a EE2615), levando-se em consideração simultaneamente as duas ou mais faixas de tráfego.

O cálculo do IGGE determinou-se pela média dos dados obtidos, levantados pelos avaliadores, segundo a equação 4.

$$\text{IGGE} = (\text{Pt} \times \text{Ft}) + (\text{Poap} \times \text{Foap}) + (\text{Ppr} \times \text{Fpr}) \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde,

Ft , Pt = Frequência e Peso do conjunto de trincas (T);

Foap , Poap = Frequência e Peso do conjunto de deformações;

Fpr , Ppr = Frequência (quantidade por km) e Peso do conjunto de painéis e remendos.

Tabela 4 – Frequência de defeitos

Painéis (P) e Remendos (R)		
Código	Frequência	Quant./km
A	Alta	≥ 5
M	Média	2 – 5
B	Baixa	≤ 2
Demais defeitos		
Código	Frequência	% por km
A	Alta	≥ 50
M	Média	50 – 10
B	Baixa	≤ 10

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2003d.

Tabela 5 – Conceitos do ICPF

Conceito	Descrição	ICPF
Ótimo	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA	5 - 4
Bom	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA – Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 - 3
Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO - pavimento trincado, com “painéis” e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3 - 2
Ruim	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos.	2 - 1
Péssimo	RECONSTRUÇÃO - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas - infiltração de água e descompactação da base.	1 - 0

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2003d.

Tabela 6 – Determinação do Índice de Gravidade

Painéis (P) e Remendos (R)		
FREQUÊNCIA	Fator Fpr Quantidade/Km	GRAVIDADE
A - ALTA \geq	5	3
M – MÉDIA	2 – 5	2
B – BAIXA	\leq 2	1
Demais defeitos (trincas, deformações)		
FREQUÊNCIA	Fatores Ft e Foap (%)	GRAVIDADE
A - ALTA	\geq 50	3
M – MÉDIA	50 – 10	2
B – BAIXA	\leq 10	1

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2003d.

Tabela 7 – Pesos para cálculo

GRAVIDADE	Pt	Poap	Ppr
3	0,65	1,00	1,00
2	0,45	0,70	0,80
1	0,30	0,60	0,70

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2003d.

Tabela 8 – IES – Índice do Estado da Superfície do pavimento

DESCRIÇÃO	IES	CÓDIGO	CONCEITO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	0	A	ÓTIMO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF \leq 3,5$	1	B	BOM
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2		
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	REGULAR
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4		
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	RUIM
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7		
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	PÉSSIMO
$IGGE > 90$	10		

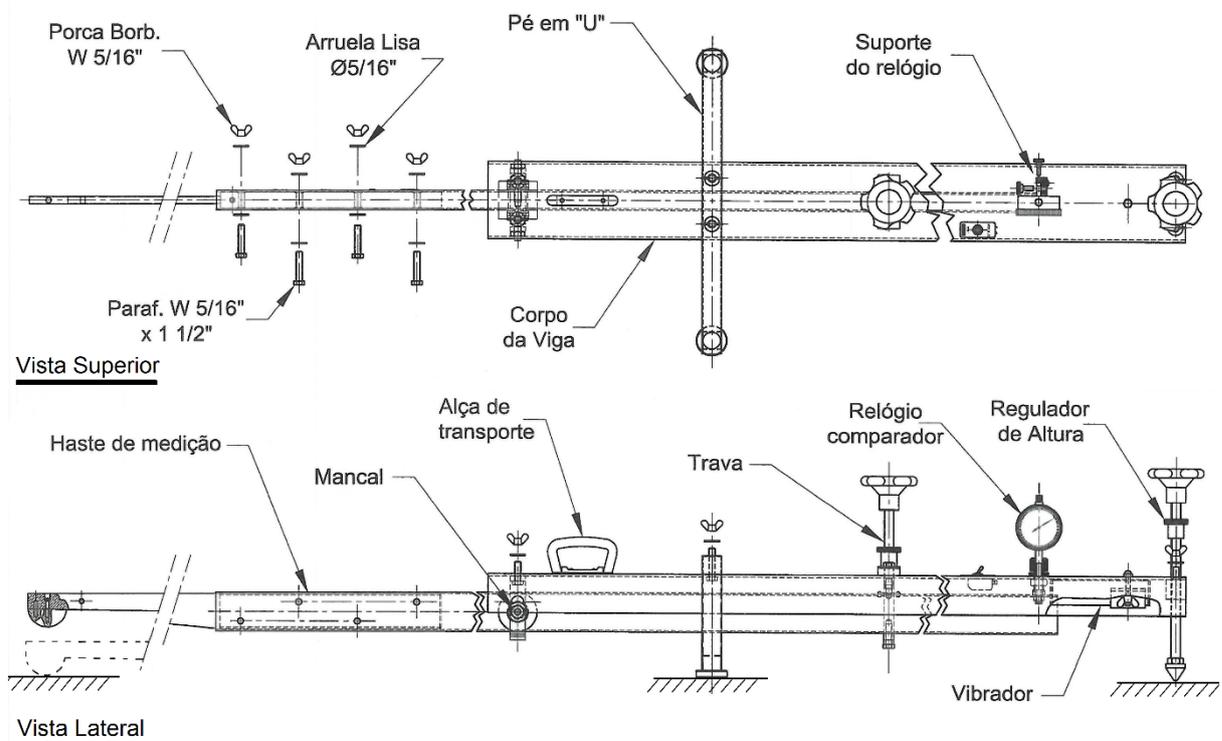
Fonte: Adaptado de BRASIL, 2003d.

3.4 Avaliação Estrutural

Esse tipo de julgamento ocorre por levantamento de dados de campo não destrutivo, por meio da determinação dos valores dos deslocamentos verticais (levantamento deflectométrico) ocorridos na superfície de um pavimento, quando submetido a um carregamento e medido com a viga Benkelman (Figura 16).

A viga consiste em um equipamento bastante simples e de fácil operação, é constituída de um perfil metálico com suportes fixos, onde é articulado uma alanca interfixa. A partir desse ponto de apoio formam duas hastes ou "braços", cujos comprimentos seguem uma relação de 2/1. A haste metálica mais externa, também chamada de haste de medição, cuja extremidade sempre ficará posicionada nos locais onde ocorrerá as deformações, desloca-se verticalmente, em função da locomoção da carga.

Figura 16 – Esquema da Viga Benkelman para medição de deflexões de pavimento.



Fonte: Adaptado de SOLOTEST, 2019.

Segundo Borges (2001), nessa mesma haste, porém na outra extremidade, em função do ponto fixo de apoio, sempre ocorrerá o movimento contrário ao da haste de medição. Essa haste é o “braço” menor do sistema. Próximo a sua extremidade é instalado um extensômetro (relógio comparador) com precisão de 0,01mm, de modo a possibilitar a medição precisa do deslocamento vertical. Na viga e na extremidade próxima ao relógio comparador, é acoplado um pequeno vibrador, com a função de impedir eventuais obstruções do extensômetro. A viga usada no presente levantamento das deflexões do pavimento em Urucu, foi calibrada pelo fabricante, conforme consta no ANEXO E.

O carregamento, para provocar o deslocamento vertical do pavimento, foi um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2 tf, onde aplicou-se uma carga considerada estática sob a qual foi medida a deformação elástica. O método de ensaio é regido pela norma DNER – ME 024/94. Existem alguns aspectos limitantes no emprego da viga Benkelman, que segundo Balbo (2007) são dependentes de fatores humanos e operacionais: a precisão de leitura no extensômetro, posicionamento da ponta de prova e a repetitividade das leituras.

Utilizando as orientações contidas na norma DNER – ME 024/94, em função da largura da faixa da ETP, o caminhão foi posicionado na margem externa da pista, distanciado do bordo em 90cm, logo em seguida acomodou-se a viga na direção do eixo traseiro do caminhão e entre as rodas. Sublinha-se que o vibrador foi ligado e registrou-se a leitura inicial (L_0) no relógio comparador (em 1/100mm), conforme descrito por Borges (2001). Salienta-se que a viga foi projetada levando em conta que a área deformada do pavimento, ou seja, a área de influência da carga, no instante da leitura inicial não atinja nenhuma das extremidades da viga (dianteira ou traseira).

Em seguida, o caminhão deslocou-se para frente, aproximadamente 10 metros, até que a influência de sua carga não interferisse na viga, com a ponta de prova entre as rodas do eixo traseiro. Na sequência o caminhão retornou ao seu ponto original de quando não estava carregado, e nesse momento fez-se a leitura final (L_f), e, por conseguinte, determinou-se a deflexão do pavimento em conformidade com a equação 5.

$$D0 = (L0-Lf) \times a/b \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde,

D0 = deflexão máxima recuperável;

L0 = leitura inicial;

Lf = leitura final;

a/b = relação entre braços = constante da viga

Borges (2001), descreve ainda que por semelhança de triângulos, é possível calcular o valor do deslocamento da ponta de prova da viga, extremidade posicionada no eixo traseiro do caminhão (considerado como igual à deflexão do pavimento no mesmo ponto) multiplicando-se a diferença entre as leituras pela relação da articulação da viga (relação a/b). Sendo "a", o comprimento da ponta de prova à articulação e "b", o comprimento da articulação ao ponto de acionamento do extensômetro. A relação a/b é geralmente 2/1. Conforme a Figura 17, fica esclarecido a relação geométrica do uso da viga, bem como a aplicação da Equação 5.

Podemos comparar o valor obtido de deflexão (D0), com o valor da deflexão admissível, que é a deflexão máxima que um pavimento pode apresentar para suportar uma carga de tráfego conhecida ou projetada antes de entrar na fase de fadiga. De acordo com a norma DNER PRO-11/79 (BRASIL, 1979b), para pavimentos flexíveis revestidos com CBUQ, executado sobre base granular, o valor da deflexão admissível é dado pela seguinte expressão:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \cdot \log N \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde,

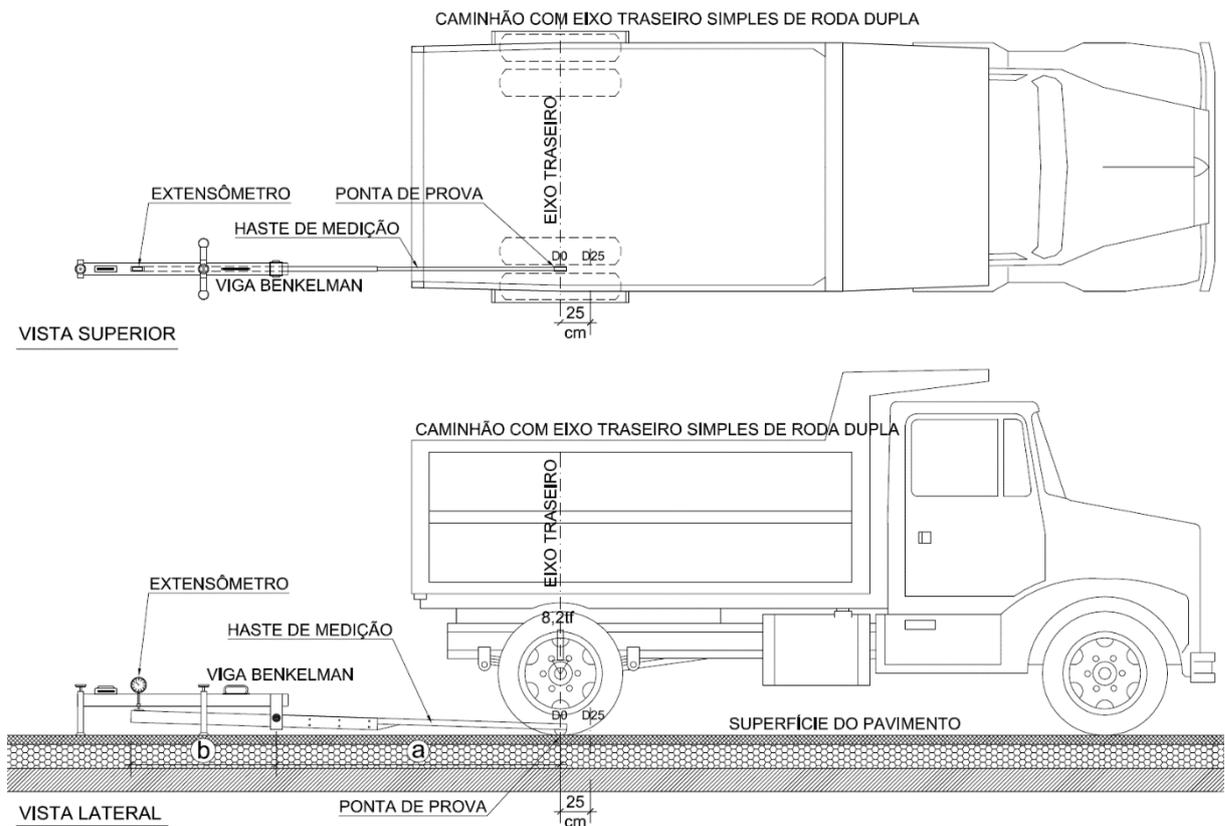
Dadm = deflexão admissível;

N = número de repetições do eixo padrão;

Essa comparação tem a importância de apontar se a estrutura do pavimento encontra-se próximo do final da vida útil, ou seja, o quanto é necessário a restauração

do pavimento, não somente a camada de revestimento asfáltico. Esse valor depende diretamente do valor do número N (número de repetições do eixo padrão de 8,2 tf), bem como dos materiais constituintes do revestimento e da base do pavimento, conforme citado no Capítulo 2. Para o estudo serão realizadas comparações utilizando três valores para N (10^5 , 10^6 e 10^7).

Figura 17 – Esquema do posicionamento da Viga Benkelman no eixo traseiro do caminhão



Fonte: Autor, 2019.

Destaca-se que é possível obter a bacia de deflexão tomando um maior número de medidas conforme o caminhão se afasta da ponta de carga. Sublinha-se também que na maioria dos casos realiza-se somente o levantamento da deflexão inicial (D0). Entretanto, em mais um ponto localizado a 25 cm do primeiro ponto de aplicação da carga (D25), pode-se determinar o raio de curvatura, o qual representa um arco de parábola que passa pelos dois pontos, consoante a equação 7.

Lopes (2012), ainda descreve que um baixo valor de raio de curvatura (R) é um indicativo de uma curvatura acentuada da bacia de deflexão, denotando uma condição estrutural crítica. A norma DNER PRO-11/79 (BRASIL, 1979b) tem como parâmetro o valor de raio de curvatura maior ou menor que 100 metros, um indicativo da condição estrutural do pavimento, ou seja, valores abaixo de 100m indicam uma condição estrutural inferior do pavimento. Para o cálculo do raio de curvatura representa um arco de parábola que passa pelos dois pontos, através da equação:

$$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde,

R= raio de curvatura em metros;

D0 = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetro;

D25 = deflexão a 25 cm do ponto de prova, em centésimo de milímetro;

Outro parâmetro importante é o produto do raio de curvatura pela deflexão máxima recuperável (RxD0), que visa complementar a análise do desempenho estrutural de um pavimento, indicador pesquisado por Lopes (2012), que verificou diversos resultados, dentre eles a especificações de um valor limite e $RxD0 = 5.500$, para R em metros e D0 em 10^{-2} mm. Assim sendo quando o valor dessa multiplicação for superior a 5.500, o conceito do pavimento é bom e se for inferior a esse limite o pavimento terá conceito ruim.

Lopes (2012), ainda destaca a grande importância do produto RxD0 é que alinha-se com a teoria da elasticidade, o parâmetro representa com bastante aproximação a relação entre o módulo de elasticidade do pavimento como um topo e o módulo de elasticidade do subleito. Ferreira (2013), descreve em sua análise da relação raio de curvatura (R) e deflexão (D0), pois preliminarmente as informações de deflexões elevadas poderiam estar simplesmente sendo produzidas pela falha na estrutura do pavimento, em especial do subleito. Aludindo ainda sobre essa relação, Ferreira (2013), ressalta alguns casos dessa relação:

- Baixas deflexões e grandes raios de curvatura - Pavimento em bom estado;
- Baixas deflexões e pequenos raios de curvatura - qualidade deficiente, mas o caso requer uma investigação mais cuidadosa;
- Altas deflexões e grandes raios de curvatura - pode significar grandes deflexões no subleito;
- Altas deflexões e pequenos raios de curvatura - Pavimento com sua estrutura danificada.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise Funcional

Os resultados da avaliação funcional estão apresentados a seguir. Lembra-se que, o trecho da Estrada tronco Principal (ETP) foi dividido em 7 subtrechos, sendo identificados por sua estaca inicial e final (Tabela 9). Igualmente, os dados respeitantes as estações de levantamento das trilhas de roda, constam no Anexo A. Consoante aos dados referentes ao inventário do estado da superfície do pavimento, fazem parte da planilha de frequência das ocorrências dos defeitos contabilizados por subtrecho no Anexo B, distinguidos conforme definições estabelecidas na Tabela 1.

Tabela 9 – Listagem dos subtrechos

Subtrechos	Estaca Inicial	Estaca final	Qdt Estacas	Extensão
				metros
1	2270	2320	50	1000
2	2320	2370	50	1000
3	2370	2420	50	1000
4	2420	2470	50	1000
5	2470	2520	50	1000
6	2520	2570	50	1000
7	2570	2615	45	900
Somatório $\Sigma =$			345	6900

Fonte: Autor, 2019

4.1.1 Índice de gravidade individual (IGI) e Índice de gravidade global (IGG)

As estações de levantamento das trilhas de roda, foram definidas de acordo com as estacas de identificação da ETP, esses dados encontram-se no Anexo A. Nos subtrechos da ETP detectaram-se diversos tipos de manifestações patológicas na superfície do pavimento, muitas com uma frequência constante em toda a extensão do levantamento e outras com características localizadas.

As Tabelas de 10 a 16 demonstram a determinação dos valores de IGI, agrupados conforme o tipo de ocorrência explicitados na Tabela 1. Acompanhando o método preconizado por BRASIL (203b) para o cálculo das médias aritméticas das flechas e das variâncias das flechas (Figura 18), o fator de ponderação utilizado dependeu desses resultados (médias aritméticas), conforme explicita o seguinte critério:

- a) quando a média aritmética das médias das flechas for ≤ 30 , o fator de ponderação é igual a $4/3$ ($IGI = F \times 4/3$ quando $F \leq 30$); quando superior a 30, o Índice de Gravidade Individual é igual a 40 ($IGI = 40$ quando $F > 30$);
- b) quando a média das variâncias das flechas for ≤ 50 , será o próprio valor da média das variâncias das flechas ($IGI = FV$ quando $FV \leq 50$); quando superior a 50, o Índice de Gravidade Individual é igual a 50 ($IGI = 50$ quando $FV > 50$).

Figura 18 – Medição da trilha de roda com auxílio de treliça metálica



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 10 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 1

Item	Natureza do Defeito	Frequência Relativa (fa)		Frequência Absoluta (fr)		Fator de Ponderação (fp)		IGI	Obs
1	FI TTC TTL TLC TLL TRR	29		58,0		0,2		11,6	
2	J TB	4		8,0		1,2		9,6	
3	JE TBE	1		2,0		2,2		4,4	
4	ALP ATP ALC ATC	28		56,0		3,2		179,2	
5	O P E	3		6,0		4,2		25,2	
6	EX	0		0,0		5,2		0,0	
7	D	2		4,0		6,2		24,8	
8	R	2		4,0		7,2		28,8	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas em mm nas TRI e TRE	TRI=	0,620	TRE=	5,873	F= (a-1)	3,557	4,742	
10	Média aritmética da variância das flechas em mm nas TRI e TRE	TRIV=	3,288	TREv=	104,834	Fv= (b-2)	55,705	50	
Nº de Estações n=		50		Σ IGI = IGG =>				338	

Fonte: Autor, 2019

Tabela 11 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 2

Item	Natureza do Defeito	Frequência Relativa (fa)		Frequência Absoluta (fr)		Fator de Ponderação (fp)		IGI	Obs
1	FI TTC TTL TLC TLL TRR	52		104,0		0,2		20,8	
2	J TB	5		10,0		1,2		12,0	
3	JE TBE	8		16,0		2,2		35,2	
4	ALP ATP ALC ATC	29		58,0		3,2		185,6	
5	O P E	22		44,0		4,2		184,8	
6	EX	0		0,0		5,2		0,0	
7	D	8		16,0		6,2		99,2	
8	R	10		20,0		7,2		144,0	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas em mm nas TRI e TRE	TRI=	1,467	TRE=	2,160	F= (a-1)	2,547	3,396	
10	Média aritmética da variância das flechas em mm nas TRI e TRE	TRIV=	23,746	TREv=	17,919	Fv= (b-1)	32,706	32,706	
Nº de Estações n=		50		Σ IGI = IGG =>				629	

Fonte: Autor, 2019

Tabela 12 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 3

Item	Natureza do Defeito	Frequência Relativa (fa)		Frequência Absoluta (fr)		Fator de Ponderação (fp)		IGI	Obs
1	FI TTC TTL TLC TLL TRR	97		194,0		0,2		38,8	
2	J TB	11		22,0		1,2		26,4	
3	JE TBE	13		26,0		2,2		57,2	
4	ALP ATP ALC ATC	34		68,0		3,2		217,6	
5	O P E	21		42,0		4,2		176,4	
6	EX	0		0,0		5,2		0,0	
7	D	3		6,0		6,2		37,2	
8	R	4		8,0		7,2		57,6	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas em mm nas TRI e TRE	TRI=	0,613	TRE=	1,947	F=(a-1)	1,587	2,116	
10	Média aritmética da variância das flechas em mm nas TRI e TRE	TRIV=	3,639	TREv=	19,249	Fv=(b-1)	13,263	13,263	
Nº de Estações n=		50		Σ IGI = IGG =>				619	

Fonte: Autor, 2019

Tabela 13 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 4

Item	Natureza do Defeito	Frequência Relativa (fa)		Frequência Absoluta (fr)		Fator de Ponderação (fp)		IGI	Obs
1	FI TTC TTL TLC TLL TRR	60,0		120,0		0,2		24,0	
2	J TB	8,0		16,0		1,2		19,2	
3	JE TBE	5,0		10,0		2,2		22,0	
4	ALP ATP ALC ATC	28,0		56,0		3,2		179,2	
5	O P E	10,0		20,0		4,2		84,0	
6	EX	0,0		0,0		5,2		0,0	
7	D	6,0		12,0		6,2		74,4	
8	R	6,0		12,0		7,2		86,4	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas em mm nas TRI e TRE	TRI=	1,767	TRE=	2,480	F=(a-1)	3,007	4,009	
10	Média aritmética da variância das flechas em mm nas TRI e TRE	TRIV=	33,602	TREv=	17,37	Fv=(b-1)	42,287	42,287	
Nº de Estações n=		50		Σ IGI = IGG =>				535	

Fonte: Autor, 2019

Tabela 14 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 5

Item	Natureza do Defeito	Frequência Relativa (fa)		Frequência Absoluta (fr)		Fator de Ponderação (fp)		IGI	Obs
1	FI TTC TTL TLC TLL TRR	55,0		110,0		0,2		22,0	
2	J TB	12,0		24,0		1,2		28,8	
3	JE TBE	6,0		12,0		2,2		26,4	
4	ALP ATP ALC ATC	32,0		64,0		3,2		204,8	
5	O P E	15,0		30,0		4,2		126,0	
6	EX	0,0		0,0		5,2		0,0	
7	D	11,0		22,0		6,2		136,4	
8	R	4,0		8,0		7,2		57,6	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas em mm nas TRI e TRE	TRI=	1,347	TRE=	1,507	F=(a-1)	2,100	2,800	
10	Média aritmética da variância das flechas em mm nas TRI e TRE	TRIV=	6,807	TREv=	11,108	Fv=(b-1)	12,361	12,361	
Nº de Estações n=		50		Σ IGI = IGG =>				562	

Fonte: Autor, 2019

Tabela 15 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 6

Item	Natureza do Defeito	Frequência Relativa (fa)		Frequência Absoluta (fr)		Fator de Ponderação (fp)		IGI	Obs
1	FI TTC TTL TLC TLL TRR	49		98,0		0,2		19,6	
2	J TB	7		14,0		1,2		16,8	
3	JE TBE	8		16,0		2,2		35,2	
4	ALP ATP ALC ATC	31		62,0		3,2		198,4	
5	O P E	3		6,0		4,2		25,2	
6	EX	0		0,0		5,2		0,0	
7	D	10		20,0		6,2		124,0	
8	R	13		26,0		7,2		187,2	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas em mm nas TRI e TRE	TRI=	1,193	TRE=	1,467	F=(a-1)	1,927	2,569	
10	Média aritmética da variância das flechas em mm nas TRI e TRE	TRIV=	6,363	TREv=	10,426	Fv=(b-1)	11,576	11,576	
Nº de Estações n=		50		Σ IGI = IGG =>				621	

Fonte: Autor, 2019

Tabela 16 – Determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e índice de Gravidade Global (IGG) – Subtrecho 7

Item	Natureza do Defeito	Frequência Relativa (fa)		Frequência Absoluta (fr)		Fator de Ponderação (fp)		IGI	Obs
1	FI TTC TTL TLC TLL TRR	36		80,0		0,2		16,0	
2	J TB	12		26,7		1,2		32,0	
3	JE TBE	7		15,6		2,2		34,2	
4	ALP ATP ALC ATC	22		48,9		3,2		156,4	
5	O P E	11		24,4		4,2		102,7	
6	EX	0		0,0		5,2		0,0	
7	D	9		20,0		6,2		124,0	
8	R	7		15,6		7,2		112,0	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas em mm nas TRI e TRE	TRI=	0,667	TRE=	1,119	F= (a-1)	1,226	1,635	
10	Média aritmética da variância das flechas em mm nas TRI e TRE	TRIV=	3,636	TREv=	10,883	Fv= (b-1)	9,078	9,078	
Nº de Estações n=		45		Σ IGI = IGG =>				588	

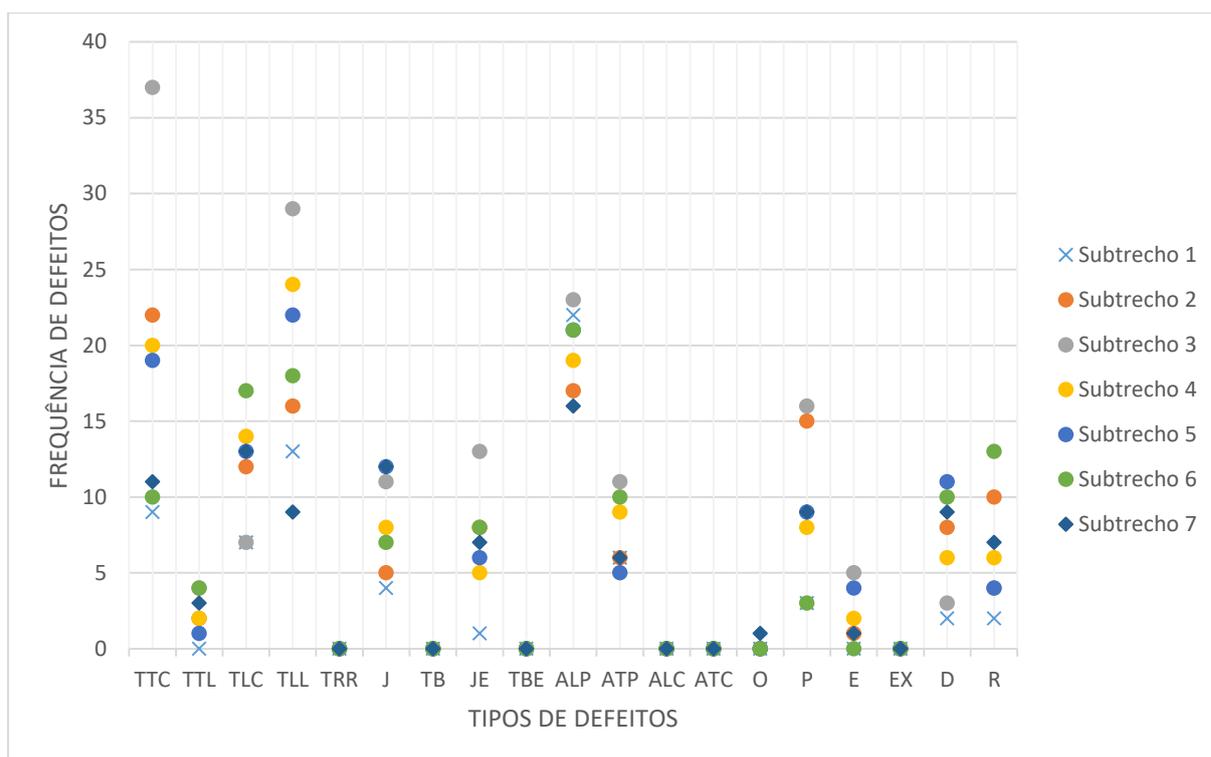
Fonte: Autor, 2019

Frisa-se que para o estudo em pauta desconsideraram-se as fissuras, que são fendas capilares no revestimento asfáltico, porquanto não causam problemas funcionais nem estruturais no pavimento, em função da idade do pavimento (aproximadamente 15 anos). Buscou-se destacar as trincas (TTC, TTL, TLC, TLL e TRR), que de certa forma, são mais relevantes para a avaliação da via pavimentada. Ainda com relação as trincas, não foram encontradas as do tipo isoladas (TRR) devido à retração térmica ou de dissecação da base ou do revestimento, e nem trincas interligadas (TB e TBE), cuja particularidade é a formação de blocos retangulares com lados bem definidos, causados principalmente pela contração do revestimento asfáltico decorrente da variação térmica.

Outro defeito não identificado nas estações inventariadas, foi o afundamento consolidado (ALC e ATC), que são patologias caracterizadas pela deformação permanente, provocando uma depressão da superfície do pavimento sem originar compensação volumétrica lateral (solevamento). Ao longo de todo o levantamento registrou-se apenas um ponto de ocorrência de ondulações, ou seja, uma falha pontual. Contudo, as trincas classificadas como TTC, TTL, TLC e TLL, assim como os

afundamentos plásticos (ALP e ATP), registraram uma frequência elevada em comparação com os demais defeitos (Figura 19). As demais patologias verificadas, apesar de menor frequência, obtiveram um valor de IGI elevado, conseqüente dos fatores de ponderação normalizados (Tabela 2).

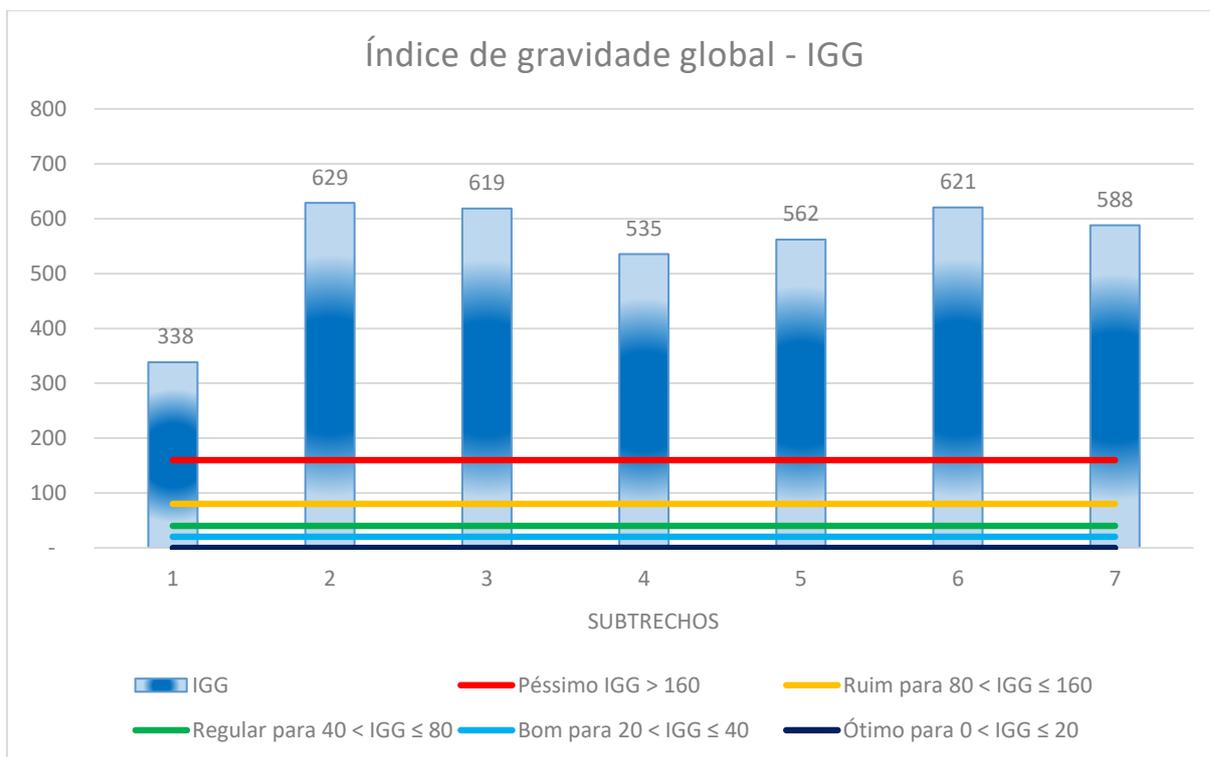
Figura 19 – Defeitos por subtrechos



Fonte: Autor, 2019.

Alusivo as profundidades das trilhas de roda, nos pontos de medição não apresentaram valores superiores a 50mm, exceto uma estação mostrou uma profundidade igual 50mm. Entretanto, como o valor do IGG é um somatório dos índices de gravidade individual, compostos de outros grupos de defeitos da superfície do pavimento, estes contribuíram significativamente para que o resultado do Índice de Gravidade Global de todos os subtrechos avaliados tenham ultrapassado o valor de 160, sendo considerado como Péssimos (Figura 20), de acordo com o conceito que retrata o grau de degradação superficial. O resultado geral dos subtrechos demonstra que o revestimento em estudo assinala uma deterioração acentuada tendo diversos pontos exigindo recuperação imediata.

Figura 20 – IGG por Subtrecho



4.1.2 Macrotextura (Mancha de Areia ou *Sand Patch*)

O levantamento da macrotextura visou determinar a condição de rugosidade da superfície do pavimento (Figura 21). A localização dos pontos de avaliação está distanciada em 200 metros (10 estacas). Tal espaçamento, entre os pontos de amostragem, é decorrente da pouca variabilidade do revestimento asfáltico, onde é predominante o CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente), revestimento este caracterizado pela presença de agregados minerais (miúdos e graúdos) em sua composição.

Observou-se ao longo do trecho pesquisado, que no decorrer das manutenções periódicas executadas, houve a execução de remendos no revestimento com uso de AAUQ (areia asfalto usinado a quente). Esse tipo de revestimento não possui agregados graúdos em sua formulação, o que levou a uma macrotextura fina em relação ao CBUQ. Os locais onde foram efetuados a substituição do tipo de

revestimento, de CBUQ para AAUQ, podem ser notados pelos pontos distintos posicionados abaixo da linha 0,40 na Figura 22.

Figura 21 – Medição do diâmetro do círculo de areia espalhada (macrotextura)



Fonte: Autor, 2019.

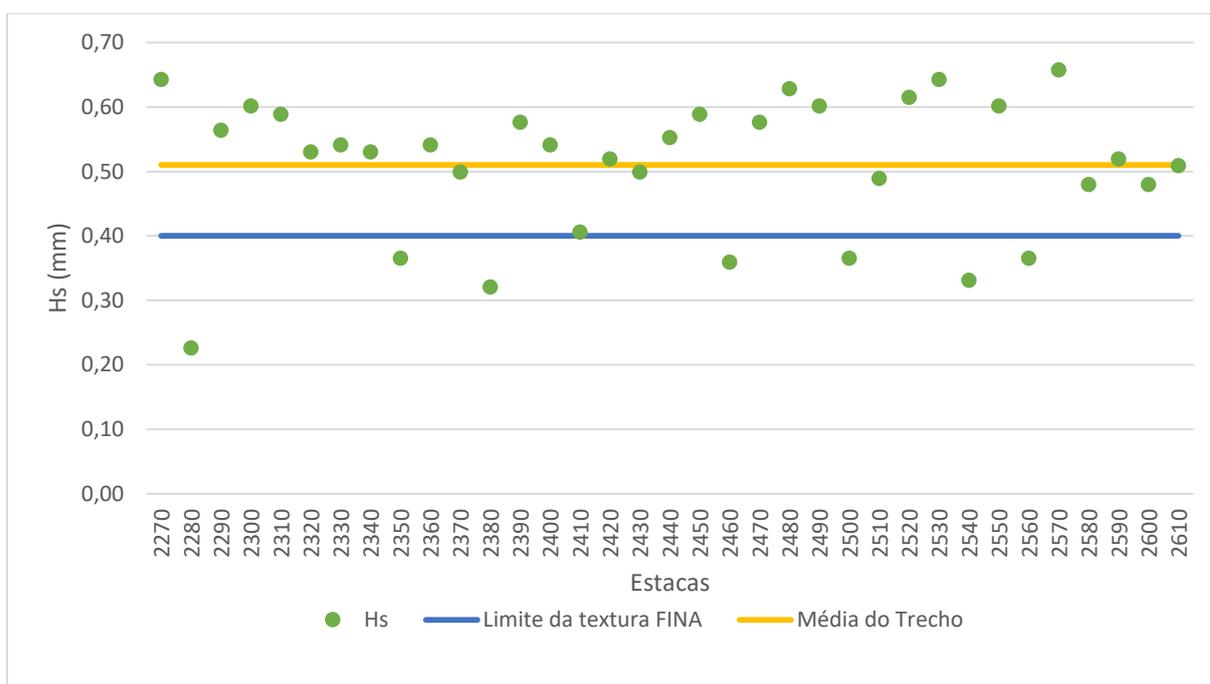
A avaliação do pavimento foi contínua, ou seja, não houve a separação por subtrecho, bem como foi realizada uma análise considerando todos os pontos levantados, mesmo aqueles pontos que sofreram manutenção e tiveram seus revestimentos substituídos por AAUQ. Para isso, em paralelo, foi contabilizado outra análise, dessa vez desconsiderando esses pontos com aplicação de AAUQ.

Tabela 17 – Valores medidos de Hs e classificação da textura

Trecho Completo			Observação	Trecho sem AAUQ		
Estaca	Hs (mm)	Textura		Estaca	Hs (mm)	Textura
2270	0,64	Média		2270	0,64	Média
2280	0,23	Fina	Local remendado com AAUQ			
2290	0,56	Média		2290	0,56	Média
2300	0,60	Média		2300	0,60	Média
2310	0,59	Média		2310	0,59	Média
2320	0,53	Média		2320	0,53	Média
2330	0,54	Média		2330	0,54	Média
2340	0,53	Média		2340	0,53	Média
2350	0,37	Fina	Local remendado com AAUQ			
2360	0,54	Média		2360	0,54	Média
2370	0,50	Média		2370	0,50	Média
2380	0,32	Fina	Local remendado com AAUQ			
2390	0,58	Média		2390	0,58	Média
2400	0,54	Média		2400	0,54	Média
2410	0,41	Média		2410	0,41	Média
2420	0,52	Média		2420	0,52	Média
2430	0,50	Média		2430	0,50	Média
2440	0,55	Média		2440	0,55	Média
2450	0,59	Média		2450	0,59	Média
2460	0,36	Fina	Local remendado com AAUQ			
2470	0,58	Média		2470	0,58	Média
2480	0,63	Média		2480	0,63	Média
2490	0,60	Média		2490	0,60	Média
2500	0,37	Fina	Local remendado com AAUQ			
2510	0,49	Média		2510	0,49	Média
2520	0,62	Média		2520	0,62	Média
2530	0,64	Média		2530	0,64	Média
2540	0,33	Fina	Local remendado com AAUQ			
2550	0,60	Média		2550	0,60	Média
2560	0,37	Fina	Local remendado com AAUQ			
2570	0,66	Média		2570	0,66	Média
2580	0,48	Média		2580	0,48	Média
2590	0,52	Média		2590	0,52	Média
2600	0,48	Média		2600	0,48	Média
2610	0,51	Média		2610	0,51	Média
Hs Médio		0,51	TEXTURA	Hs Médio		0,55
Desvio Padrão		0,11	MÉDIA	Desvio Padrão		0,06

Fonte: Autor, 2019.

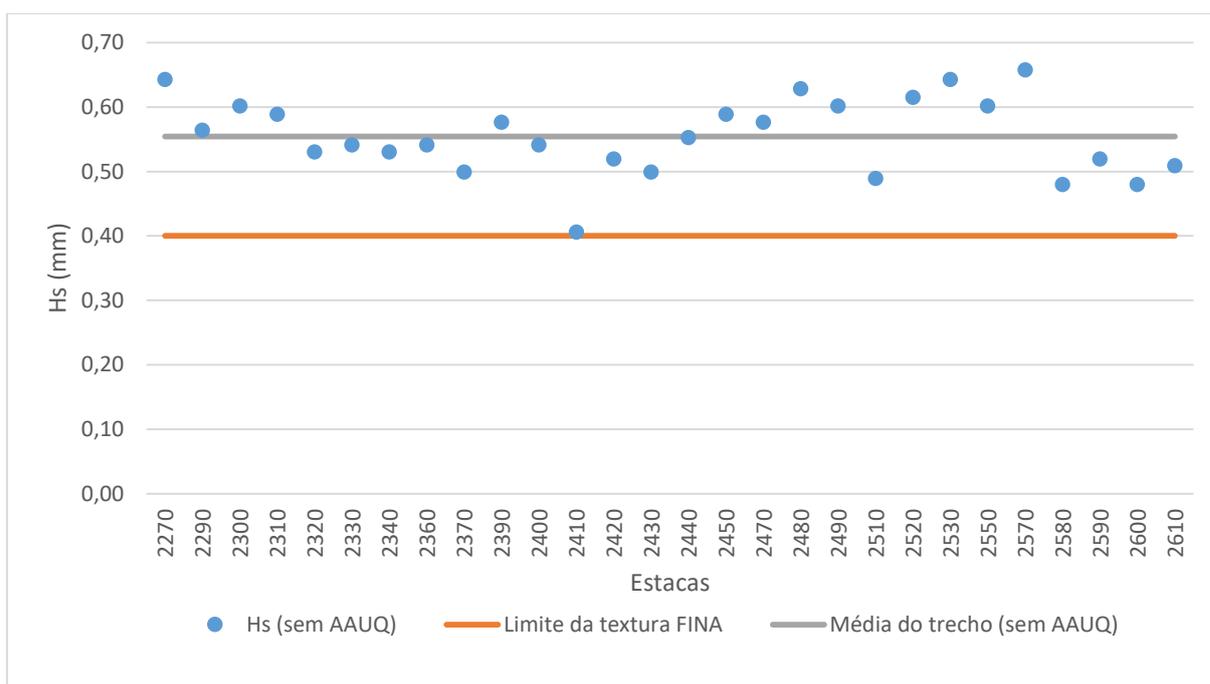
Figura 22 – Macrotextura (HS) ao longo do trecho



Fonte: Autor, 2019.

No percurso da estrada, constatou-se a existência de trincas variadas, algumas inclusive interligadas, porém, os pontos determinados para a levantamento das medidas foram posicionados em locais da superfície sem trincamento ou qualquer tipo de variação significativamente na área do ensaio. O trecho estudado apresentou valores de Hs (altura média de areia) que variaram entre 0,23 mm e 0,66 mm com desvio padrão de 0,11, estando no intervalo de valores que corresponde a uma textura variando de fina a média, podendo ser considerado como textura média em decorrência da média aritmética do trecho (0,51 mm). No caso de desconsiderarmos os locais de aplicação do AAUQ, uma vez que esses são condições pontuais, o trecho mostrou valores de Hs (altura média de areia) que variaram entre 0,41 mm e 0,66 mm com desvio padrão de 0,06, portanto, no intervalo de valores que equivale a uma textura de rugosidade média, sendo confirmada pela média da faixa (0,55 mm), consoante o exposto na Figura 23. De forma comparativa os valores de Hs medidos, entre todos os pontos levantado e com a retirada dos pontos de aplicação de AAUQ, resultaram a uma condição de rugosidade do trecho correspondente à textura Média (Tabela 17).

Figura 23 – Macrotextura (HS) ao longo do trecho (sem AAUQ)



Fonte: Autor, 2019.

4.1.3 Levantamento visual de defeitos de superfície.

A verificação do trecho da ETP realizou-se em toda a sua extensão, entre as estacas 2270 e 2615, utilizando veículo, tipo camionete (*pick-up*), a uma velocidade média de 40km/h. Visualmente identificaram-se os defeitos, conforme definição da Tabela 1, e em conjunto com a avaliação superficial, foi conceituado o ICPF, de acordo com a Tabela 5, tendo resultado as notas e conceitos evidenciados na Tabela 18. A avaliação das definições conceituais referentes aos defeitos, o Índice de Gravidade e os fatores de frequência estão estabelecidas nas Tabelas 4 e 6, respectivamente. Com base no Índice de Gravidade, constante na Tabela 7, determinaram-se os pesos usados nos cálculos. As informações sobre o revestimento para preenchimento da Tabela 18 foi a mesma especificada na Figura 9.

Específico ao item, ressalta-se que, apesar de apresentar uma pequena variação no valor da nota (2 e 3), o conceito ficou enquadrado como regular, pois defeitos como panelas (P), trincas (TR e TJ) e remendos (R), obtiveram uma frequência relativamente alta, as deformações (AF) apresentaram frequência

medianas e os desgastes (D), assim como o escorregamento (E) alcançaram uma frequência baixa. O defeito de ondulação (O) pontuou uma frequência baixa, exceto a ocorrência mostrada no subtrecho 7. Outros dois tipos de defeitos não foram registrados, quais sejam a trinca em bloco (TB) e exsudação (EX) da camada asfáltica.

Tabela 18 – Frequência dos defeitos do levantamento visual contínuo

Subtrecho	FREQUÊNCIA DE DEFEITOS (A, M, B)										ICPF		INF. COMPLEMENTARES			
	P	Trincas			R	Deform.		Outras Deformações			Notas	Conceito	REV	e= cm	IDADE	
		TR	TJ	TB		AF	O	D	EX	E					ORIG	REST
1	M	M	B		B	M		B			3	Reg	CBUQ	5	1998	2004
2	A	A	M		A	M		B		B	2	Reg	CBUQ	5	1998	2004
3	A	A	M		M	M		B		B	2	Reg	CBUQ	5	1998	2004
4	A	A	M		A	M		B		B	2	Reg	CBUQ	5	1998	2004
5	A	A	M		M	M		M		B	2	Reg	CBUQ	5	1998	2004
6	M	M	M		A	M		B			3	Reg	CBUQ	5	1998	2004
7	M	M	M		A	M	B	B		B	3	Reg	CBUQ	5	1998	2004

Fonte: Autor, 2019.

O cálculo dos Índices de Gravidade Global Exedito (IGGE), determinou-se pela frequência dos defeitos, trincas, deformações, bem como painéis e remendos, de acordo com o processo normativo e valores fixados nas Tabelas 6 e 7, referente a fatores de frequência e pesos aplicados na Equação 4, gerando o valor do IGGE por subtrecho (Tabela 19). No levantamento visual contínuo, o menor percentual relacionado ao fator de frequência de trincas (Ft) foi de 40%, para o subtrecho 1, no outro extremo, o maior valor atribuiu-se ao subtrecho 3 com percentual de 85% de sua área com trincas. Para os fatores de frequência de deformações (Foap), os valores percentuais não ultrapassaram 50%, limitados a 20% para o subtrecho 1 e o maior valor de 35% referente ao subtrecho 3, mantendo, assim, nesses subtrechos as indicações de máximos e mínimos.

Utilizando os valores calculados do ICPF e IGGE, determinaram-se o IES (Tabela 20) com valor da nota (variável de 0 a 10), indicação do código (A a E) e do conceito atribuído ao estado da superfície do pavimento, com uso da Tabela 8. O subtrecho 1, recebeu os menores valores relacionados a frequência de defeitos, atingindo para o IES o valor de 3, código C e conceito regular. Os subtrechos 2, 3, 4

e 5 obtiveram um conceito péssimo, código E, e nota igual a 8, excetuando o subtrecho 3 que alcançou valor igual a 9, sendo este o subtrecho com os maiores resultados relacionados a frequência de defeitos. Os últimos subtrechos 6 e 7, registraram o IES igual a 7, código D e conceito ruim.

Tabela 19 – Cálculo do valor do IGGE (Equação 4)

Subtrechos	Trincas			Deformações			Painéis + Remendos			IGGE
	Ft %	Pt	Ft x Pt	Foap %	Poap	Ftoap x Poap	Fpr nº	Ppr	Fpr x Ppr	
1	40	0,45	18	20	0,7	14	5	1	5	37
2	65	0,65	42,25	25	0,7	17,5	25	1	25	84,75
3	85	0,65	55,25	35	0,7	24,5	20	1	20	99,75
4	70	0,65	45,5	30	0,7	21	14	1	14	80,5
5	70	0,65	45,5	25	0,7	17,5	13	1	13	76
6	60	0,65	39	30	0,7	21	16	1	16	76
7	50	0,65	32,5	25	0,7	17,5	16	1	16	66

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 20 – Resumo dos valores ICPF, IGGE e IES

Subtrechos	RESULTADOS					
	ICPF	IGGE	IES			Obs:
			Valor	Cód.	Conceito	
1	3	37	3	C	REGULAR	-
2	2	84,75	8	E	PÉSSIMO	-
3	2	99,75	9	E	PÉSSIMO	-
4	2	80,5	8	E	PÉSSIMO	-
5	2	76	8	E	PÉSSIMO	-
6	3	76	7	D	RUIM	-
7	3	66	7	D	RUIM	-

Fonte: Autor, 2019.

4.2 Análise Estrutural

A avaliação estrutural, visa analisar a capacidade de um pavimento em manter sua integridade estrutural sem apresentar falhas significativas. Essa análise utilizou-se Viga Benkelman, na proporção 2/1 (Figura 24), para o levantamento dos parâmetros superficiais, com a utilização de medições de deflexões. Esse modelo de avaliação tem a vantagem dos ensaios não-destrutivos, que é a medição da resposta real do pavimento ao carregamento aplicado, sem submeter os materiais a alterações físicas causadas pela retirada de amostras.

Figura 24 – Viga Benkelman utilizada.

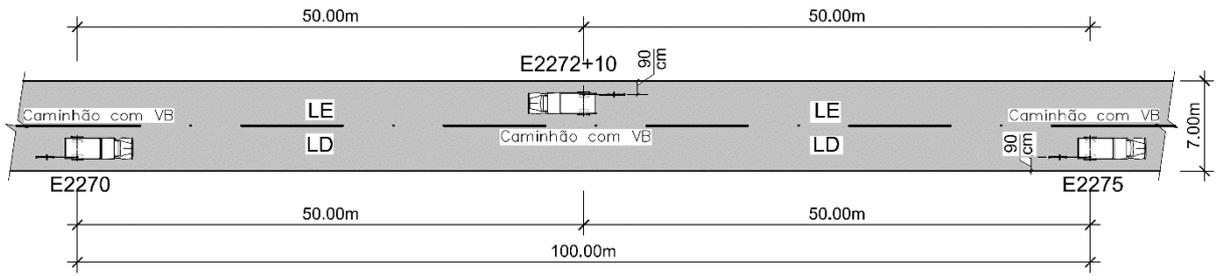


Fonte: Autor, 2019.

Para as medições em campo, foi priorizado o horário da manhã, limitado até as 10 horas, o período do levantamento foi em dezembro de 2018, época característica do inverno amazônico. Conforme orientação normativa, para o carregamento do ensaio, foi utilizado caminhão de eixo traseiro simples e roda dupla, de modo a atender ao carregamento de 8,2tf sobre o eixo traseiro, foram utilizados 182 sacos de cimento (42,5kg), distribuídos sobre estrados de madeira para melhor posicionado na carroceria do veículo.

As medidas de deflexão do pavimento, foram distribuídos de forma interposta, onde do lado direito estavam distanciados a cada 5 estacas (100m) e do lado esquerdo também estavam distanciados a cada 5 estacas (100m), porém nesse lado a posição ficou no intermédio dos pontos de medição do lado direito (Figura 25). Com essa metodologia foi possível realizar o levando das deflexões a cada 50m, alternando entre lado direito e esquerdo.

Figura 25 – Esquema de localização dos pontos de medição de deflexão.



Fonte: Autor, 2019.

A cada ponto de medição, foram realizadas 4 medidas de deflexão, uma localizada exatamente no eixo do traseiro do caminhão (Figura 26), outra distanciada a 25 cm em relação a primeira posição, as demais foram a 50 cm e 75 cm em referência a posição inicial. Os dois primeiros pontos de deflexão medidos (no eixo e a 25cm), são os mais importantes, pois com eles são determinados os valores de deflexão máximo recuperável (D0) e Raio de curvatura (R), os outros dois pontos complementares são necessários para elaboração da bacia deflectométrica (deformada).

Figura 26 – Viga Benkelman posicionada no eixo do caminhão.



Fonte: Autor, 2019.

Realizadas as medidas de deflexão de cada subtrecho estudado, foi elaborado a avaliação da deflexão máxima recuperável com a deflexão a admissível, esta conforme estabelecido na norma DNER PRO-11/79 (BRASIL, 1979b), onde foram adotados três valores para o número N (5, 6 e 7), com a função de analisar as condições das medidas deflectométricas função do volume de tráfego. Todavia, os aspectos da região, não estão referenciados com outros locais do país. A região de URUCU, historicamente possível um baixo volume de tráfego, variando com cargas acidentais maiores que a definida em qualquer modelo de dimensionamento. Assim sendo os valores de deflexão a admissível são:

- Para N = 5 → $D_{adm} = 136 \times 10^{-2} \text{mm}$;
- Para N = 6 → $D_{adm} = 91 \times 10^{-2} \text{mm}$;
- Para N = 7 → $D_{adm} = 61 \times 10^{-2} \text{mm}$;

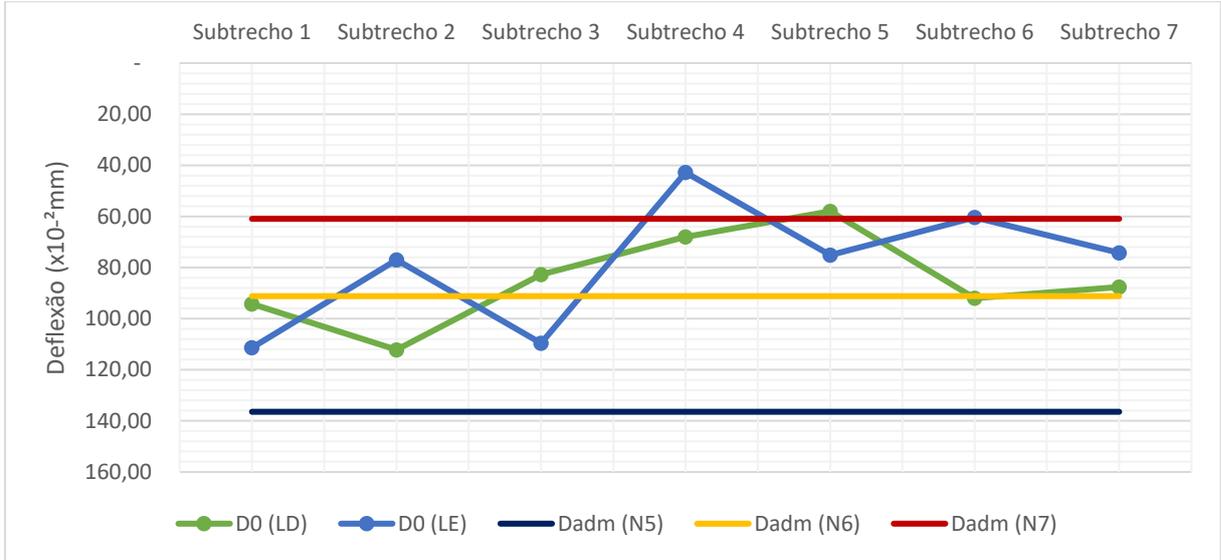
Tabela 21 – Valores de D_{adm} (N5, N6 e N7) com D0 de cada subtrecho.

	D_{adm} (N5) ($\times 10^{-2} \text{mm}$)	D_{adm} (N6) ($\times 10^{-2} \text{mm}$)	D_{adm} (N7) ($\times 10^{-2} \text{mm}$)	D0 (LD) ($\times 10^{-2} \text{mm}$)	D0 (LE) ($\times 10^{-2} \text{mm}$)
Subtrecho 1	136	91	60	94,20	111,40
Subtrecho 2				112,20	77,00
Subtrecho 3				82,80	109,60
Subtrecho 4				68,00	42,80
Subtrecho 5				58,00	75,20
Subtrecho 6				92,00	60,40
Subtrecho 7				87,60	74,22

Fonte: Autor, 2019.

Podemos visualizar a comparação desses valores limites com os valores levantados em campos na Figura 27. Objetivamente, apenas quando adotamos os valores de D_{adm} para N5 é que as deflexões médias dos subtrechos ficam enquadradas dentro do limite, tanto o lado direito quanto o lado esquerdo. A comparação com os outros limites de D_{adm} (N6 e N7), ocorre variações, onde temos lados dos subtrechos (S4 LE e S5 LD) que atendem ao limite de D_{adm} (N7), assim como temos lados dos subtrechos (S1 LD, S1 LE, S2 LD, S3 LE e S6 LD) que apresentam valores inferiores ao limite de D_{adm} (N6).

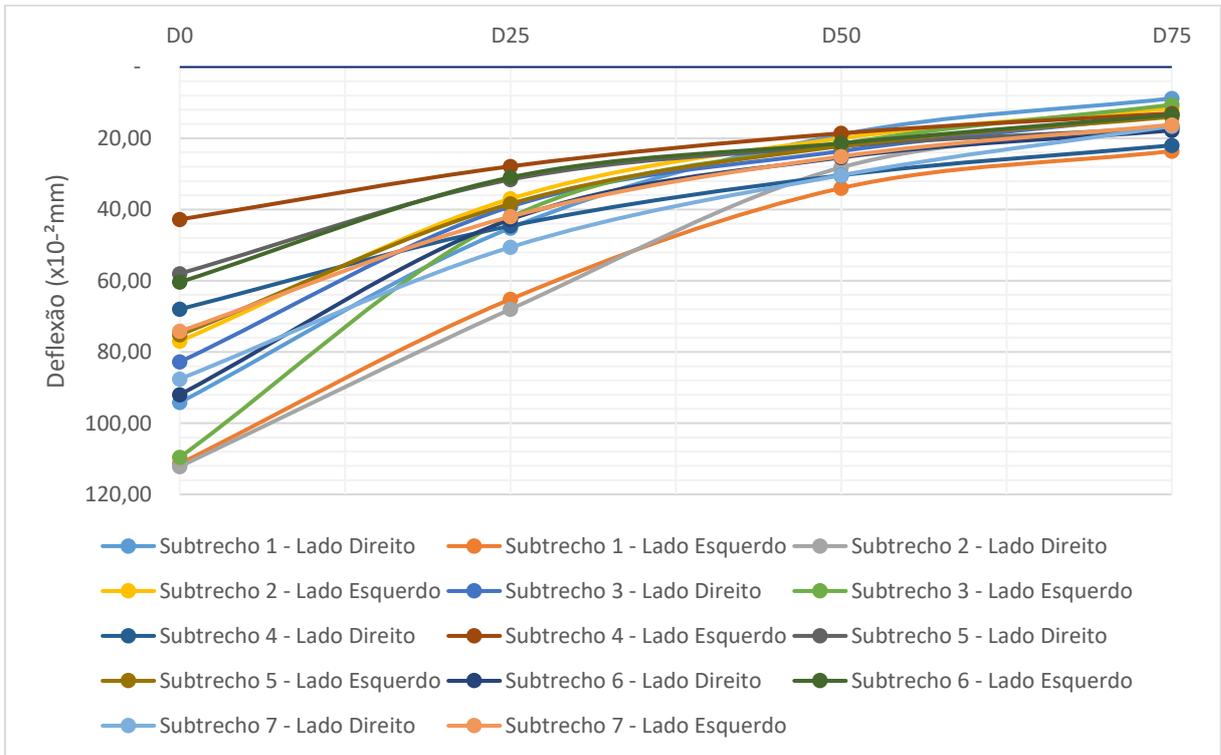
Figura 27 – Deflectograma dos Subtrechos LD/LE e Valores de Dadm (N5, N6 e N7).



Fonte: Autor, 2019.

Analisando a bacia deflectométrica dos Subtrechos LD/LE, observamos que nas deflexões de D0 e D25, ocorreram as maiores variações, contudo nos pontos D50 e D75, é visível a aproximação dos valores medidos em campo (Figura 28 e Anexo C).

Figura 28 – Bacia de deflectométrica dos Subtrechos LD/LE.



Fonte: Autor, 2019.

Os valores encontrados do resultado da relação entre deflexão máxima recuperável e raio de curvatura, também apresentaram valores variados ao longo de cada Subtrecho e de cada lado da estrada (Figura 29). Vale ressaltar que, normativamente, as medições dos raios de curvatura deveriam ocorrer a cada 200m, porém como em diversos pontos o valor ficou abaixo de 100m, optou-se para análise igual ao pontos de D0.

Conforme descreve Lopes (2012), o produto da relação RxD_0 , atendente como um dos parâmetros mais simples para analisar o desempenho estrutural de um pavimento, cuja a verificação está baseada no valor limite para $RxD_0 = 5.500$, ou seja, valores superiores a esse limite são para pavimentos estruturalmente aceitáveis.

Os resultados encontrados ao serem comparados com esse critério (Tabelas 21 a 24), foram satisfatórios, ficando apenas alguns pontos inferior ao valor de referência. O destaque é o Subtrecho 3, que em ambos os lados apresentaram valores abaixo do parâmetro estabelecido. Os demais subtrechos, obtiveram em apenas alguns pontos, valores inferiores a 5.500.

Tabela 22 – Relação $D_0 \times R$ dos Subtrechos 1 e 2 LD/LE.

Subtrecho 1 - L D		Subtrecho 1 - L E		Subtrecho 2 - L D		Subtrecho 2 - L E	
Estacas	$D_0 \times R$						
2270	5.208,33	2272 +10	6.119,79	2320	14.375,00	2322 +10	6.054,69
2275	6.835,94	2277 +10	8.620,69	2325	4.687,50	2327 +10	4.222,97
2280	6.250,00	2282 +10	10.227,27	2330	13.867,19	2332 +10	8.333,33
2285	6.406,25	2287 +10	8.467,74	2335	5.520,83	2337 +10	12.500,00
2290	5.625,00	2292 +10	7.000,00	2340	11.458,33	2342 +10	8.984,38
2295	4.356,06	2297 +10	5.974,26	2345	8.928,57	2347 +10	11.160,71
2300	10.000,00	2302 +10	7.211,54	2350	8.522,73	2352 +10	4.340,28
2305	6.046,20	2307 +10	8.522,73	2355	9.375,00	2357 +10	9.821,43
2310	13.125,00	2312 +10	6.875,00	2360	8.189,66	2362 +10	8.984,38
2315	5.598,96	2317 +10	6.985,29	2365	7.954,55	2367 +10	5.434,78

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 23 – Relação D0 x R dos Subtrechos 3 e 4 LD/LE.

Subtrecho 3 - L D		Subtrecho 3 - L E		Subtrecho 4 - L D		Subtrecho 4 - L E	
Estacas	D0 x R						
2370	10625,00	2372 +10	4.716,98	2420	11.875,00	2422 +10	6.562,50
2375	4.963,24	2377 +10	4.545,45	2425	13.020,83	2427 +10	12.053,57
2380	4.934,21	2382 +10	4.502,12	2430	10.937,50	2432 +10	13.281,25
2385	5.915,18	2387 +10	4.687,50	2435	7.812,50	2437 +10	9.821,43
2390	4.076,09	2392 +10	6.423,61	2440	8.750,00	2442 +10	9.548,61
2395	8.680,56	2397 +10	4.807,69	2445	8.437,50	2447 +10	7.167,43
2400	10.156,25	2402 +10	9.375,00	2450	8.125,00	2452 +10	14.062,50
2405	11.250,00	2407 +10	8.125,00	2455	13.194,44	2457 +10	13.281,25
2410	9.375,00	2412 +10	6.770,83	2460	6.250,00	2462 +10	7.031,25
2415	6.250,00	2417 +10	10.416,67	2465	11.363,64	2467 +10	7.421,88

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 24 – Relação D0 x R dos Subtrechos 5 e 6 LD/LE.

Subtrecho 3 - L D		Subtrecho 3 - L E		Subtrecho 4 - L D		Subtrecho 4 - L E	
Estacas	D0 x R						
2470	5.745,97	2472 +10	6.944,44	2520	11.979,17	2522 +10	3.894,93
2475	11.979,17	2477 +10	11.718,75	2525	6.250,00	2527 +10	10.156,25
2480	9.375,00	2482 +10	5.965,91	2530	6.666,67	2532 +10	7.211,54
2485	11.718,75	2487 +10	6.696,43	2535	9.375,00	2537 +10	10.937,50
2490	13.125,00	2492 +10	5.528,85	2540	4.853,72	2542 +10	7.670,45
2495	5.937,50	2497 +10	7.617,19	2545	9.375,00	2547 +10	6.250,00
2500	5.706,52	2502 +10	5.570,65	2550	8.750,00	2552 +10	11.250,00
2505	6.944,44	2507 +10	6.009,62	2555	6.031,98	2557 +10	6.907,89
2510	9.375,00	2512 +10	7.812,50	2560	6.451,61	2562 +10	11.931,82
2515	5.000,00	2517 +10	5.882,35	2565	4.040,95	2567 +10	11.979,17

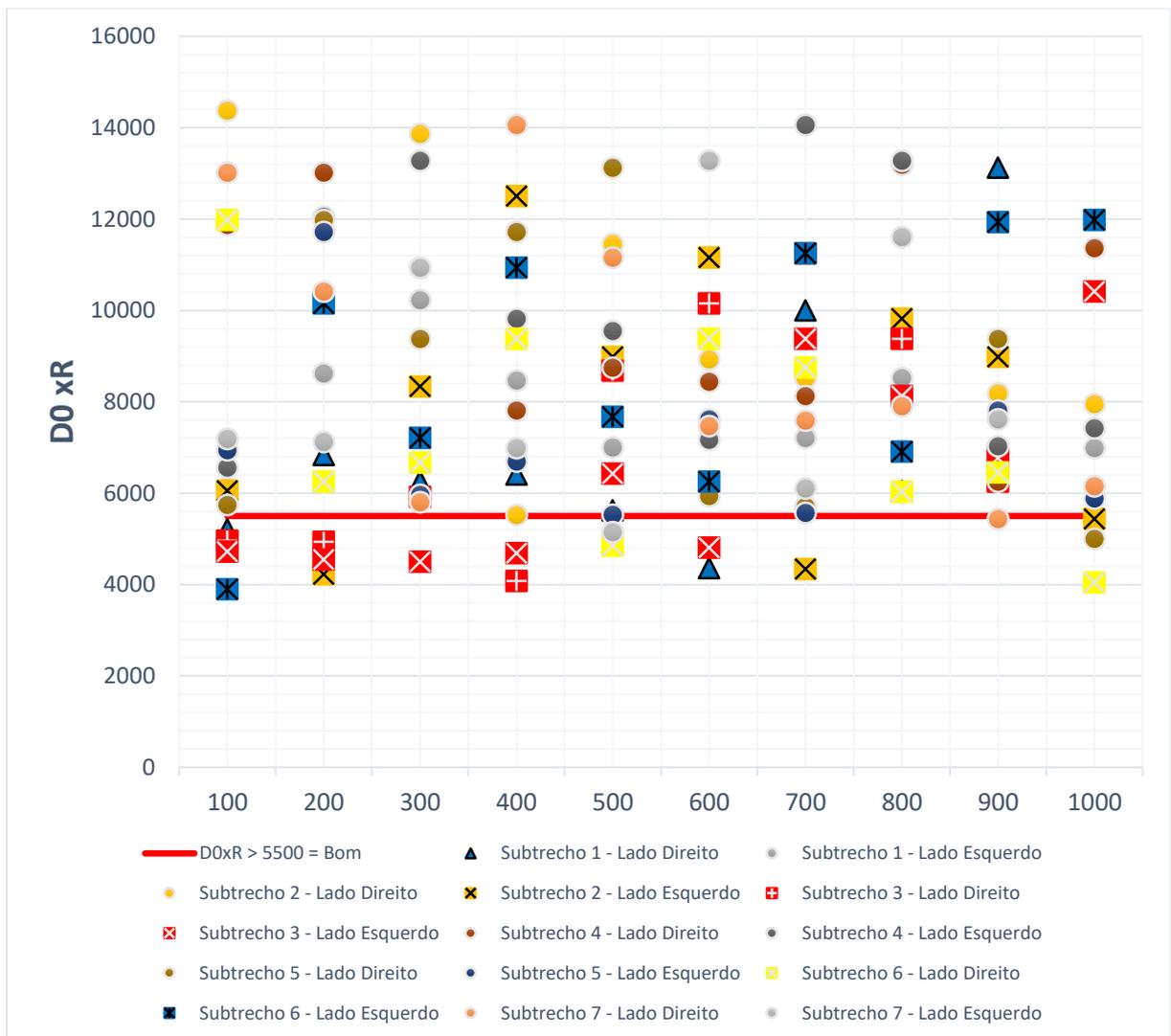
Fonte: Autor, 2019.

Tabela 25 – Relação D0 x R do Subtrecho 7 LD/LE.

Subtrecho 3 - L D		Subtrecho 3 - L E	
Estacas	D0 x R	Estacas	D0 x R
2570	13.020,83	2572 +10	7.187,50
2575	10.416,67	2577 +10	7.125,00
2580	5.803,57	2582 +10	10.937,50
2585	14.062,50	2587 +10	6.985,29
2590	11.160,71	2592 +10	5.147,06
2595	7.472,83	2597 +10	13.281,25
2600	7.589,29	2602 +10	6.107,95
2605	7.904,41	2607 +10	11.607,14
2610	5.434,78	2612 +10	7.617,19
2615	6.155,30		

Fonte: Autor, 2019.

Figura 29 – Relação D0 x R ao longo dos Subtrechos.



Fonte: Autor, 2019.

4.3 Contribuição para plano de manutenção de pavimentos

Analisando os resultados das avaliações funcional e estrutural, poderá ser criado um banco de dados com informações básicas sobre a superfície do pavimento, bem como a sua condição estrutural. O fato de ocorrer um levantamento técnico contribuirá para a tomada de decisão em relação as propostas de ações para manutenção ou restauração (Figura 30) de qualquer trecho da estrada.

Figura 30 – Serviços de restauração da estrada.



Fonte: Autor, 2019.

O conjunto de ensaios executados, são de maneira geral, simples para serem executados, e com exceção da ocorrência de chuvas, não há impedimento para a sua realização. Os dados levantados já são bastante difundidos no âmbito nacional, porém requer cautela na sua aplicação de direta em URUCU. Existem outros tipos de ensaios para determinação das condições de um pavimento, porém requer equipamentos mais sofisticados e mais complexos. As Tabelas 25 e 26, compilam as possíveis avaliações dos ensaios realizados para inclusão no plano de controle e manutenção da Estrada Tronco Principal.

Tabela 26 – Resumos dos parâmetros de avaliação Funcional.

Subtrecho	Avaliação Funcional (Superficial)		
	IGG	TEXTURA (Hs)	IES
Número do Subtrecho	Ótimo Bom Regular Ruim Péssimo	Muito Fina Fina Média Grossa Muito Grossa	Ótimo Bom Regular Ruim Péssimo

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 27 – Resumos dos parâmetros de avaliação Estrutural.

Subtrecho	Avaliação Estrutural				
	D0	R	Bacia	Dadm x D0	D0 x R
Número do Subtrecho	BOM para Valores menores	BOM para Valores maiores	Formato da Bacia	Atende Não Atende	Bom >5500 Ruim <5500
	Observações: <ul style="list-style-type: none"> • Baixas deflexões e grandes raios de curvatura: Pavimento em bom estado; • Baixas deflexões e pequenos raios de curvatura: qualidade deficiente, mas o caso requer uma investigação mais cuidadosa; • Altas deflexões e grandes raios de curvatura: pode significar grandes deflexões no subleito; • Altas deflexões e pequenos raios de curvatura: Pavimento com sua estrutura danificada. 				

Fonte: Autor, 2019.

5. CONCLUSÃO

A avaliação funcional e estrutural do trecho da Estrada Tronco Principal, foi baseado em metodologias normatizadas e consolidadas, dentre os aspectos analisados pelo trabalho, foi o levantamento das patologias superficiais do pavimento, onde foram agrupados de acordo com a sua classificação. A frequência das ocorrências dos defeitos do pavimento foi contabilizada por subtrecho, e também realizada a análise das condições do pavimento, com levantamento das trilhas de roda e da macrotextura do revestimento asfáltico.

Analisando os resultados, verificou-se que o IGG apresentou o conceito “Péssimo” em todos os subtrechos. Para o IES, apenas o subtrecho 1, foi conceituado como regular, os demais como “péssimo” (Subtrechos 2, 3, 4 e 5) e “ruim” (Subtrechos 6 e 7). Complementado a avaliação funcional, obtivemos a mediação da macrotextura, que caracterizou todo o trecho estudo com textura média, porém em alguns trechos em função de manutenções periódicas, foram encontrados locais com aplicação de AAUQ, revestimento que não possui agregados agraúdo, e possui macrotextura fina. Pode-se associar o aparecimento, em grande parte, de determinados defeitos tempo de existência do pavimento, e a deficiência das manutenções periódicas. A superfície do pavimento analisado, com base nos resultados obtidos, é possível encaminhar para que o revestimento asfáltico deve ser substituído de forma integral em todos os subtrechos verificados, com recomendações de utilizar a metodologia de fresagem para reaproveitamento do material retirado.

Quanto a condição estrutural do pavimento, os valores encontrados não foram tão incisivos quanto a avaliação funcional. Os resultados referentes as deflexões máximas recuperáveis (D_0), quando comparados com a deflexão admissível (D_{adm}) para um valor de N igual a 5, são totalmente aceitáveis, mas comprando com os valores para N igual a 6 e 7, ocorre que alguns subtrechos ultrapassam os limites de D_{adm} . Para avaliação final, podemos definir o parâmetro de N igual 6 e assim temos lados dos subtrechos (S1 LD, S1 LE, S2 LD, S3 LE e S6 LD) que apresentam valores inferiores ao limite de D_{adm} (N_6), ou seja estão indicados para a recuperação. Para corroborar e limitar o local específico para ser restaurado, podemos foi utilizado a relação entre a deflexão máxima recuperável e o raio de curvatura, onde a avaliação

com esse índice ocorreu com espaçamento de 50 metros alternando entre lados direito e esquerdo. Assim sendo não é necessário realizar a restauração (reciclagem) para toda a extensão do trecho estudo, apenas nos locais onde simultaneamente os parâmetros da avaliação estrutural indicarem.

Portanto, destacamos que o uso dessa metodologia, para avaliar funcionalmente e estruturalmente trechos da ETP, pode resultar em indicações mais precisas e conseqüentemente um direcionamento melhor dos recursos para futuras intervenções e até mesmo executar a restauração da estrada.

Para futuras pesquisas recomenda-se dar continuidade no monitoramento dos segmentos do sistema viário, com a finalidade de aumentar a base de dados técnicos para essas estradas e, dessa forma, procurar elaborar modelos de previsão de desempenho do pavimento, garantindo a sua trafegabilidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Lucas Rodrigues de. **Comparação do comportamento de pavimentos asfálticos com camadas de base granular, tratada com cimento e com estabilizantes asfálticos para tráfego muito pesado**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16504 - Misturas asfálticas - Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria - Método da mancha de areia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BORGES, Clarissa Beatriz Sandoval. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. **Manual de Restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005. 310p.

_____. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. 274p.

_____. **Norma DNIT 005/2003-TER – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirígidos**. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2003a.

_____. **Norma DNIT 006/2003-PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos: procedimento.** Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Pesquisas Rodoviária, 2003b.

_____. **NORMA DNIT 007/2003 – PRO - Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos Procedimento.** Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Pesquisas Rodoviária, 2003c.

_____. **NORMA DNIT 008/2003 – PRO - Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos Procedimento.** Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Pesquisas Rodoviária, 2003d.

_____. **NORMA DNIT 009/2003 – PRO - Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento.** Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Pesquisas Rodoviária, 2003e.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **NORMA DNER-ME 24/94: Determinação das deflexões do pavimento pela viga Benkelman.** Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1994.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **NORMA DNER-PRO 010/79. Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis: Procedimento A.** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1979a.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **NORMA DNER-PRO 011/79. Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis: Procedimento B.** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1979b.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER/SP. **NORMA IP-DE-P00/003 - Avaliação funcional e estrutural de pavimento.** São Paulo: Diretoria de Engenharia, 2006.

FERREIRA, Clóvis Madruga. **Trabalhando com viga Benkelman: Roteiro para execução de trabalhos com a utilização de viga Benkelman**. Rio Grande do Sul: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), 2013.

FERREIRA, Jaqueline Carvalho. **Estudo e avaliação de influência da macrotextura e microtexturana na aderência pneu-pavimento**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

GARCIA, Etelvina. **A Petrobras na Amazônia: a riqueza que vem do Solimões**. 1 ed. Manaus: Editora Norma, 2010. 142 p.

_____. **A Petrobras na Amazônia: a história da pesquisa de combustíveis fósseis**. 21 ed. Manaus: Editora Norma, 2008. 130 p.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. **O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis**. Passo Fundo: Universidade Passo Fundo, 1999. 149 p.

JUNIOR, Edmar Pereira Taborda; MAGALHÃES, Sérgio Luiz M. Pavimentação Em Vias Públicas: Análise do Estado do Pavimento da Avenida Coronel Escolástico em Cuiabá – MT. **Scientific Journal of FAET and ICET UFMT, E&S - Engineering and Science**, Volume 1, Edição 1, Departamento de Eng. Civil, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia Universidade Federal de Mato Grosso, Maio 2014. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/download/1606/1240>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

LEE, Kang-Won Wayne; WILSON, Kathleen; HASSAN, Syed Amir. Prediction of performance and evaluation of flexible pavement rehabilitation strategies. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, Rhodelsland, v. 4, Issue 2, p. 178-184, Abril 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756417300922>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

LEOCÁDIO, Alexandre da Silva. **Avaliação da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Manaus**. Dissertação de Mestrado. Manaus:

Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, 2014.

LOPES, Flaviane Melo. **Pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico - avaliação estrutural a partir dos parâmetros de curvatura da bacia de deformação**. Dissertação de Mestrado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2012.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos Pavimentos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 640 p.

INFOGEO – ANÁLISE GEOGRÁFICA. **A descoberta do petróleo na Amazônia**. Curitiba: Ed. Mundo Geo, n. 36 jan. 2005. Disponível em: <<https://mundogeo.com/blog/2005/01/01/a-descoberta-do-petroleo-na-amazonia/>> Acesso em: 10 out. 2018.

PÉREZ, Jahel Sarvia Ledezma. **Avaliação do Desempenho de Pavimentos Flexíveis dos Segmentos Monitorados de Urubici e Itapoá**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

PEREIRA, Maria Teresa Teixeira Quiroga. **Avaliação da resistência à derrapagem de pavimentos asfálticos urbanos**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, 1998.

PESSOA, Francisco Hélio Caitano. **Análises dos solos de urucu para fins de uso Rodoviário**. Dissertação de Mestrado. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2004.

PINTO, Luis Arthur Ferreira; LEE, JunMin; JONQUA, Julien Pierre C. B.. **A importância do transporte fluvial para a unidade operacional da Amazônia.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31, 2011, Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2011.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação: volume 1.** 2 ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

SPECHT, Luciano P. et. al. **Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia.** Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 10, p. 30-38, ISSN 1677-3047, Editora Dunas, Julho 2007. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Sumario_Numero10.htm>. Acesso em: 29 out. 2018.

SREEDEVI, B.G. **A study on the performance of flexible pavements on mature soil subgrades.** Thesis of Doctor of Philosophy in Faculty of Engineering. Kochi: Cochin University of Science and Technology, 2014. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.918.1951&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em: 4 mai. 2018.

SOLOTEST. **Catálogo Asfalto e Betume.** Rio de Janeiro. Julho, 2018. Disponível em: <http://www.solotest.com.br/novo/upload/pdfCatalogo/Catalogo_SOLOTEST_Asfalto_Betume.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2018.

_____. **Catálogo Completo.** São Paulo: Solotest, 2019. Disponível em: <https://www.solotest.com.br/novo/upload/pdfCatalogo/SOLOTEST_Catalogo_Inteiro.pdf> Acesso em: 5 mar. 2019.

ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS TRILHAS DE RODA INTERNA E EXTERNA

Trecho entre as estacas 2270 - 2319

ESTRADA TRONCO PRINCIPAL - PEV							Média aritmética por estação		TRI=	TRE=		
Estacas	Leituras (mm)			Leituras (mm)			TRI=	TRE=	(xi - X̄)	(xi - X̄)		
	3m a ré	TRI na estaca (eixo)	3m avante	3m a ré	TRE na estaca (bordo)	3m avante						
2270	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2271	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2272	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2273	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2274	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2275	-	-	-	10,00	7,00	-	-	5,67	0,38	0,04		
2276	-	-	-	12,00	12,00	-	-	8,00	0,38	4,52		
2277	-	-	-	15,00	12,00	12,00	-	13,00	0,38	50,79		
2278	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2279	-	-	-	25,00	20,00	16,00	-	20,33	0,38	209,09		
2280	-	-	-	8,00	7,00	8,00	-	7,67	0,38	3,22		
2281	-	-	-	12,00	10,00	13,00	-	11,67	0,38	33,56		
2282	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2283	9,00	8,00	9,00	35,00	36,00	46,00	8,67	39,00	64,75	1.097,38		
2284	-	-	-	5,00	6,00	3,00	-	4,67	0,38	1,46		
2285	2,00	2,00	2,00	-	2,00	2,00	2,00	1,33	1,90	20,61		
2286	-	-	-	-	3,00	4,00	-	2,33	0,38	12,53		
2287	-	-	-	2,00	3,00	2,00	-	2,33	0,38	12,53		
2288	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2289	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2290	-	-	-	15,00	31,00	31,00	-	25,67	0,38	391,78		
2291	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2292	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2293	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2294	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2295	-	-	-	-	38,00	-	-	12,67	0,38	46,15		
2296	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2297	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2298	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2299	-	-	-	-	2,00	-	-	0,67	0,38	27,11		
2300	-	-	-	-	7,00	10,00	-	5,67	0,38	0,04		
2301	6,00	5,00	6,00	-	-	-	5,67	-	25,47	34,50		
2302	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2303	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2304	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2305	-	-	-	-	11,00	8,00	-	6,33	0,38	0,21		
2306	-	-	-	14,00	10,00	30,00	-	18,00	0,38	147,06		
2307	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2308	-	-	-	-	8,00	-	-	2,67	0,38	10,28		
2309	-	-	-	8,00	17,00	16,00	-	13,67	0,38	60,74		
2310	-	-	-	-	4,00	-	-	1,33	0,38	20,61		
2311	-	3,00	6,00	-	3,00	6,00	3,00	3,00	5,66	8,26		
2312	3,00	5,00	-	3,00	3,00	-	2,67	2,00	4,19	15,00		
2313	-	-	-	3,00	2,00	-	-	1,67	0,38	17,70		
2314	8,00	8,00	5,00	50,00	50,00	50,00	7,00	50,00	40,70	1.947,16		
2315	-	-	-	-	15,00	10,00	-	8,33	0,38	6,05		
2316	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2317	-	-	-	15,00	10,00	35,00	-	20,00	0,38	199,56		
2318	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	34,50		
2319	3,00	3,00	-	8,00	5,00	5,00	2,00	6,00	1,90	0,02		
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$							Σ	0,62	5,87	Σ	161,11	5.136,86
$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$										S=	1,813	10,239
										S²=	3,288	104,834
										F=	3,557	
										Fv=	55,705	

Trecho entre as estacas 2320 - 2369

ESTRADA TRONCO PRINCIPAL - PEV							Média aritmética por estação		TRI=	TRE=		
Estacas	Leituras (mm)			Leituras (mm)			TRI=	TRE=	(Xi - X̄)	(Xi - X̄)		
	3m a ré	TRI na estaca (eixo)	3m avante	3m a ré	TRE na estaca (bordo)	3m avante						
2320	18,00	13,00	18,00	-	-	-	16,33	-	221,02	4,67		
2321	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2322	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2323	-	-	-	5,00	5,00	4,00	-	4,67	2,15	6,28		
2324	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2325	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2326	-	-	-	16,00	3,00	9,00	-	9,33	2,15	51,46		
2327	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2328	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2329	-	-	-	6,00	10,00	-	-	5,33	2,15	10,07		
2330	2,00	2,00	-	3,00	5,00	3,00	1,33	3,67	0,02	2,27		
2331	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2332	2,00	3,00	2,00	-	-	-	2,33	-	0,75	4,67		
2333	3,00	5,00	-	-	-	-	2,67	-	1,44	4,67		
2334	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2335	2,00	2,00	-	7,00	9,00	9,00	1,33	8,33	0,02	38,11		
2336	3,00	5,00	9,00	-	-	-	5,67	-	17,64	4,67		
2337	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2338	-	-	-	8,00	10,00	9,00	-	9,00	2,15	46,79		
2339	-	-	-	5,00	9,00	35,00	-	16,33	2,15	200,88		
2340	-	-	-	3,00	3,00	-	-	2,00	2,15	0,03		
2341	2,00	5,00	5,00	4,00	2,00	5,00	4,00	3,67	6,42	2,27		
2342	-	2,00	-	-	-	-	0,67	-	0,64	4,67		
2343	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2344	-	-	-	17,00	3,00	-	-	6,67	2,15	20,31		
2345	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2346	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2347	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2348	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2349	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2350	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2351	-	-	-	-	16,00	-	-	5,33	2,15	10,07		
2352	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2353	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2354	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2355	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2356	30,00	30,00	30,00	19,00	13,00	15,00	30,00	15,67	814,15	182,43		
2357	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2358	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2359	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2360	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2361	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2362	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2363	-	2,00	-	-	2,00	-	0,67	0,67	0,64	2,23		
2364	-	-	-	-	10,00	-	-	3,33	2,15	1,38		
2365	-	8,00	-	-	-	-	2,67	-	1,44	4,67		
2366	-	-	-	9,00	19,00	14,00	-	14,00	2,15	140,19		
2367	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2368	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15	4,67		
2369	-	17,00	-	-	-	-	5,67	-	17,64	4,67		
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$							Σ	1,47	2,16	Σ	1.163,56	878,05
										S=	4,873	4,233
										S²=	23,746	17,919
$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$										F=	2,547	
										Fv=	32,706	

Trecho entre as estacas 2370 - 2419

Estacas	ESTRADA TRONCO PRINCIPAL - PEV						Média aritmética por estação		TRI= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	TRE= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	
	Leituras (mm)			Leituras (mm)			TRI=	TRE=			
	3m a ré	TRI na estaca (eixo)	3m avante	3m a ré	TRE na estaca (bordo)	3m avante					
2370	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2371	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2372	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2373	-	4,00	-	-	5,00	-	1,33	1,67	0,52	0,08	
2374	-	-	-	14,00	3,00	11,00	-	9,33	0,38	54,56	
2375	-	2,00	1,00	-	-	-	1,00	-	0,15	3,79	
2376	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2377	17,00	20,00	-	-	-	-	12,33	-	137,36	3,79	
2378	3,00	2,00	-	-	-	-	1,67	-	1,11	3,79	
2379	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2380	-	-	-	1,00	4,00	2,00	-	2,33	0,38	0,15	
2381	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2382	-	-	-	2,00	3,00	-	-	1,67	0,38	0,08	
2383	-	-	-	-	2,00	-	-	0,67	0,38	1,64	
2384	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2385	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2386	3,00	2,00	4,00	-	-	-	3,00	-	5,70	3,79	
2387	4,00	5,00	3,00	-	2,00	1,00	4,00	1,00	11,47	0,90	
2388	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2389	-	-	-	-	17,00	-	-	5,67	0,38	13,84	
2390	-	-	-	-	4,00	2,00	-	2,00	0,38	0,00	
2391	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2392	-	-	-	1,00	3,00	1,00	-	1,67	0,38	0,08	
2393	-	-	-	2,00	3,00	-	-	1,67	0,38	0,08	
2394	-	-	-	25,00	25,00	-	-	16,67	0,38	216,68	
2395	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2396	3,00	3,00	2,00	-	-	-	2,67	-	4,22	3,79	
2397	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2398	-	-	-	1,00	2,00	4,00	-	2,33	0,38	0,15	
2399	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2400	-	5,00	-	-	-	-	1,67	-	1,11	3,79	
2401	-	3,00	1,00	-	-	-	1,33	-	0,52	3,79	
2402	-	-	-	6,00	9,00	4,00	-	6,33	0,38	19,24	
2403	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2404	-	-	-	4,00	8,00	8,00	-	6,67	0,38	22,28	
2405	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2406	-	-	-	20,00	19,00	25,00	-	21,33	0,38	375,84	
2407	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2408	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2409	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2410	-	-	-	-	2,00	1,00	-	1,00	0,38	0,90	
2411	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2412	1,00	4,00	-	10,00	10,00	18,00	1,67	12,67	1,11	114,92	
2413	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2414	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2415	-	-	-	1,00	2,00	5,00	-	2,67	0,38	0,52	
2416	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2417	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2418	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
2419	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	3,79	
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$						Σ	0,61	1,95	Σ	178,30	943,19
							\bar{X} - média aritmética dos valores das flexas medidas (TRI e TRE)		$S =$	1,908	4,387
							\bar{X}_i - valores individuais		$S^2 =$	3,639	19,249
$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$							S - desvio padrão dos valores das flexas medidas (TRI e TRE)		F =	1,587	
							S^2 - variância.		Fv =	13,263	

Trecho entre as estacas 2420 - 2469

Estacas	ESTRADA TRONCO PRINCIPAL - PEV						Média aritmética por estação		TRI= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	TRE= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	
	Leituras (mm)			Leituras (mm)			TRI=	TRE=			
	3m a ré	TRI na estaca (eixo)	3m avante	3m a ré	TRE na estaca (bordo)	3m avante					
2420	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2421	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2422	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2423	3,00	4,00	2,00	2,00	3,00	-	3,00	1,67	1,52	0,66	
2424	-	10,00	11,00	-	-	-	7,00	-	27,39	6,15	
2425	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2426	-	-	-	34,00	11,00	-	-	15,00	3,12	156,75	
2427	-	2,00	-	-	14,00	13,00	0,67	9,00	1,21	42,51	
2428	-	-	-	11,00	16,00	14,00	-	13,67	3,12	125,14	
2429	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2430	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2431	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2432	-	-	-	1,00	2,00	1,00	-	1,33	3,12	1,31	
2433	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2434	-	-	-	4,00	9,00	3,00	-	5,33	3,12	8,14	
2435	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2436	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2437	43,00	44,00	25,00	18,00	13,00	3,00	37,33	11,33	1.264,99	78,38	
2438	1,00	4,00	-	27,00	3,00	7,00	1,67	12,33	0,01	97,09	
2439	3,00	3,00	1,00	1,00	5,00	6,00	2,33	4,00	0,32	2,31	
2440	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2441	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2442	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2443	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2444	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2445	-	3,00	-	4,00	3,00	1,00	1,00	2,67	0,59	0,03	
2446	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2447	-	-	-	4,00	7,00	2,00	-	4,33	3,12	3,43	
2448	-	-	-	6,00	6,00	-	-	4,00	3,12	2,31	
2449	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2450	-	5,00	13,00	4,00	2,00	3,00	6,00	3,00	17,92	0,27	
2451	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2452	-	-	-	3,00	3,00	1,00	-	2,33	3,12	0,02	
2453	-	3,00	1,00	-	-	-	1,33	-	0,19	6,15	
2454	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2455	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2456	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2457	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2458	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2459	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2460	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2461	-	-	-	1,00	7,00	6,00	-	4,67	3,12	4,78	
2462	-	-	-	4,00	8,00	5,00	-	5,67	3,12	10,15	
2463	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2464	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	6,15	
2465	-	11,00	20,00	-	-	-	10,33	-	73,39	6,15	
2466	5,00	3,00	5,00	7,00	17,00	3,00	4,33	9,00	6,59	42,51	
2467	23,00	7,00	10,00	-	-	-	13,33	-	133,79	6,15	
2468	-	-	-	-	35,00	-	-	11,67	3,12	84,39	
2469	-	-	-	5,00	4,00	-	-	3,00	3,12	0,27	
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$						Σ	1,77	2,48	Σ	1.646,50	851,15
									$S =$	5,797	4,168
									$S^2 =$	33,602	17,370
$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$									$F =$	3,007	
									$Fv =$	42,287	

Trecho entre as estacas 2470 - 2519

Estacas	ESTRADA TRONCO PRINCIPAL - PEV						Média aritmética por estação		TRI= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	TRE= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	
	Leituras (mm)			Leituras (mm)			TRI=	TRE=			
	3m a ré	TRI na estaca (eixo)	3m avante	3m a ré	TRE na estaca (bordo)	3m avante					
2470	-	6,00	5,00	-	-	-	3,67	-	5,38	2,27	
2471	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2472	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2473	8,00	18,00	5,00	9,00	10,00	8,00	10,33	9,00	80,76	56,15	
2474	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2475	-	-	-	9,00	20,00	-	-	9,67	1,81	66,59	
2476	-	-	-	4,00	7,00	2,00	-	4,33	1,81	7,99	
2477	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2478	-	-	-	1,00	2,00	-	-	1,00	1,81	0,26	
2479	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2480	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2481	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2482	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2483	7,00	13,00	9,00	-	-	-	9,67	-	69,22	2,27	
2484	-	3,00	-	-	-	-	1,00	-	0,12	2,27	
2485	10,00	14,00	-	-	-	-	8,00	-	44,27	2,27	
2486	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2487	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2488	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2489	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2490	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2491	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2492	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2493	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2494	1,00	2,00	5,00	-	-	-	2,67	-	1,74	2,27	
2495	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2496	-	-	-	38,00	16,00	-	-	18,00	1,81	272,03	
2497	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2498	-	-	-	4,00	5,00	-	-	3,00	1,81	2,23	
2499	-	-	-	-	9,00	11,00	-	6,67	1,81	26,63	
2500	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2501	-	-	-	5,00	5,00	-	-	3,33	1,81	3,34	
2502	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2503	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2504	2,00	6,00	3,00	-	-	-	3,67	-	5,38	2,27	
2505	4,00	3,00	-	-	-	-	2,33	-	0,97	2,27	
2506	-	-	-	1,00	4,00	-	-	1,67	1,81	0,03	
2507	-	4,00	3,00	-	3,00	3,00	2,33	2,00	0,97	0,24	
2508	-	-	-	-	4,00	-	-	1,33	1,81	0,03	
2509	-	-	-	-	10,00	4,00	-	4,67	1,81	9,99	
2510	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81	2,27	
2511	-	3,00	1,00	-	-	-	1,33	-	0,00	2,27	
2512	-	3,00	5,00	-	-	-	2,67	-	1,74	2,27	
2513	-	17,00	-	-	-	-	5,67	-	18,66	2,27	
2514	12,00	6,00	5,00	3,00	7,00	7,00	7,67	5,67	39,94	17,31	
2515	-	3,00	4,00	-	-	-	2,33	-	0,97	2,27	
2516	-	-	-	4,00	2,00	2,00	-	2,67	1,81	1,35	
2517	-	3,00	1,00	-	-	-	1,33	-	0,00	2,27	
2518	-	-	-	3,00	3,00	1,00	-	2,33	1,81	0,68	
2519	-	4,00	4,00	-	-	-	2,67	-	1,74	2,27	
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$						Σ	1,35	1,51	Σ	333,55	544,28
									S=	2,609	3,333
									S ² =	6,807	11,108
$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$									F=	2,100	
									Fv=	12,361	

Trecho entre as estacas 2520 - 2569

Estacas	ESTRADA TRONCO PRINCIPAL - PEV						Média aritmética por estação		TRI= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	TRE= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	
	Leituras (mm)			Leituras (mm)			TRI=	TRE=			
	3m a ré	TRI na estaca (eixo)	3m avante	3m a ré	TRE na estaca (bordo)	3m avante					
2520	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2521	3,00	24,00	5,00	-	-	-	10,67	-	89,74	2,15	
2522	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2523	8,00	2,00	-	-	-	-	3,33	-	4,58	2,15	
2524	-	3,00	-	4,00	7,00	3,00	1,00	4,67	0,04	10,24	
2525	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2526	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2527	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2528	11,00	14,00	14,00	-	-	-	13,00	-	139,40	2,15	
2529	3,00	3,00	4,00	-	-	-	3,33	-	4,58	2,15	
2530	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2531	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2532	5,00	3,00	-	-	-	-	2,67	-	2,17	2,15	
2533	-	2,00	7,00	1,00	6,00	3,00	3,00	3,33	3,26	3,48	
2534	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2535	-	3,00	-	5,00	7,00	3,00	1,00	5,00	0,04	12,48	
2536	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2537	1,00	2,00	2,00	3,00	5,00	4,00	1,67	4,00	0,22	6,42	
2538	-	-	-	3,00	2,00	3,00	-	2,67	1,42	1,44	
2539	-	4,00	1,00	-	-	-	1,67	-	0,22	2,15	
2540	-	-	-	4,00	6,00	2,00	-	4,00	1,42	6,42	
2541	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2542	-	3,00	3,00	2,00	3,00	5,00	2,00	3,33	0,65	3,48	
2543	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2544	-	3,00	4,00	1,00	3,00	3,00	2,33	2,33	1,30	0,75	
2545	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2546	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2547	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2548	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2549	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2550	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2551	-	-	-	1,00	2,00	-	-	1,00	1,42	0,22	
2552	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2553	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2554	-	-	-	-	17,00	15,00	-	10,67	1,42	84,64	
2555	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2556	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2557	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2558	-	3,00	-	-	6,00	-	1,00	2,00	0,04	0,28	
2559	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2560	2,00	5,00	8,00	9,00	24,00	12,00	5,00	15,00	14,49	183,15	
2561	-	6,00	-	-	-	-	2,00	-	0,65	2,15	
2562	4,00	6,00	-	-	-	-	3,33	-	4,58	2,15	
2563	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2564	-	2,00	1,00	3,00	21,00	13,00	1,00	12,33	0,04	118,08	
2565	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2566	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2567	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42	2,15	
2568	2,00	2,00	1,00	-	-	-	1,67	-	0,22	2,15	
2569	-	-	-	5,00	3,00	1,00	-	3,00	1,42	2,35	
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$						Σ	1,19	1,47	Σ	311,80	510,89
									$S =$	2,523	3,229
									$S^2 =$	6,363	10,426
$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$									$F =$	1,927	
									$Fv =$	11,576	

Trecho entre as estacas 2570 - 2615

Estacas	ESTRADA TRONCO PRINCIPAL - PEV						Média aritmética por estação		TRI= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	TRE= ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	
	Leituras (mm)			Leituras (mm)			TRI=	TRE=			
	3m a ré	TRI na estaca (eixo)	3m avante	3m a ré	TRE na estaca (bordo)	3m avante					
2570	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2571	-	6,00	-	-	2,00	2,00	2,00	1,33	1,78	0,05	
2572	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2573	-	4,00	-	-	-	-	1,33	-	0,44	1,25	
2574	-	-	-	17,00	31,00	14,00	-	20,67	0,44	382,13	
2575	-	-	-	-	2,00	-	-	0,67	0,44	0,20	
2576	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2577	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2578	-	-	-	-	3,00	2,00	-	1,67	0,44	0,30	
2579	-	4,00	-	-	-	-	1,33	-	0,44	1,25	
2580	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2581	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2582	3,00	10,00	-	-	2,00	-	4,33	0,67	13,44	0,20	
2583	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2584	-	-	-	-	12,00	5,00	-	5,67	0,44	20,69	
2585	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2586	-	-	-	4,00	2,00	-	-	2,00	0,44	0,78	
2587	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2588	-	-	-	2,00	3,00	1,00	-	2,00	0,44	0,78	
2589	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2590	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2591	-	25,00	-	-	-	-	8,33	-	58,78	1,25	
2592	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2593	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2594	-	9,00	14,00	-	-	-	7,67	-	49,00	1,25	
2595	-	-	-	-	5,00	-	-	1,67	0,44	0,30	
2596	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2597	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2598	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2599	-	-	-	4,00	12,00	-	-	5,33	0,44	17,76	
2600	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2601	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2602	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2603	-	-	-	3,00	3,00	1,00	-	2,33	0,44	1,48	
2604	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2605	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2606	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2607	-	-	-	-	2,00	12,00	-	4,67	0,44	12,59	
2608	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2609	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2610	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2611	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2612	-	9,00	6,00	1,00	2,00	2,00	5,00	1,67	18,78	0,30	
2613	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2614	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
2615	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,25	
	-	-	-	-	-	-	-	-			
	-	-	-	-	-	-	-	-			
	-	-	-	-	-	-	-	-			
	-	-	-	-	-	-	-	-			
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$						Σ	0,67	1,12	Σ	160,00	478,84
									S=	1,907	3,299
									S ² =	3,636	10,883
$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$									F=	1,226	
									Fv=	9,078	

ANEXO B – INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

SEGMENTO		INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																																					
		FREQUÊNCIA DE DEFEITOS																																					
		TRINCAS										AFUNDAMENTOS						OUTROS DEFEITOS																					
		ISOLADAS					INTERLIGADAS					PLÁSTICO CONSOLIDADO																											
Estaca Inicial	Estaca final	Qdt Estacas	Extensão m	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	JE	TBE	ALP	ATP	ALC	ATC	O	P	E	EX	D	R																	
				1					2					3					4					5					6					7					8
1	2270	2320	50	1000	0	9	0	7	13	0	4	0	0	22	6	0	0	0	3	0	0	2	2																
2	2320	2370	50	1000	0	22	2	12	16	0	5	0	17	6	0	0	0	15	1	0	8	10																	
3	2370	2420	50	1000	0	37	4	7	29	0	11	0	23	11	0	0	0	16	5	0	3	4																	
4	2420	2470	50	1000	0	20	2	14	24	0	8	0	19	9	0	0	0	8	2	0	6	6																	
5	2470	2520	50	1000	0	19	1	13	22	0	12	0	21	5	0	0	0	9	4	0	11	4																	
6	2520	2570	50	1000	0	10	4	17	18	0	7	0	21	10	0	0	0	3	0	0	10	13																	
7	2570	2615	45	900	0	11	3	13	9	0	12	0	16	6	0	0	1	9	1	0	9	7																	

ANEXO C – IMAGENS DE PATOLOGIAS ENCONTRADOS NO PAVIMENTO

Trincas Isoladas Transversais Curtas e Trincas Isoladas Longitudinais Curtas



Trincas Isoladas Transversais Longas e Trincas interligadas tipo “Jacaré”



Trincas Isoladas Longitudinais Longas e Afundamento Plástico da trilha



Afundamento Plástico Local e Trincas Isoladas Longitudinais Longas



Trincas interligadas tipo “Jacaré” e Escorregamento do revestimento



Trincas Interligadas tipo “Jacaré” com erosão nas bordas



Trincas Interligadas tipo “Jacaré” com erosão nas bordas e Ondulações



Desgaste acentuado na superfície do revestimento



Panela ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento



Remendos do pavimento



ANEXO D – LEVANTAMENTOS DAS DEFLEXÕES DO PAVIMENTO

Subtrecho 1 LD/LE

Estacas	Subtrecho 1 - Lado Direito										R x D0
	Leituras (x10 ⁻² mm)					Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)	
	L0 No eixo da roda	L25 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo	A 75cm do eixo						
2270	65,00	26,00	9,00	5,00	130,00	52,00	18,00	10,00	40,06	5.208,33	
2275	70,00	38,00	8,00	2,00	140,00	76,00	16,00	4,00	48,83	6.835,94	
2280	62,00	31,00	10,00	1,00	124,00	62,00	20,00	2,00	50,40	6.250,00	
2285	41,00	21,00	6,00	3,00	82,00	42,00	12,00	6,00	78,13	6.406,25	
2290	18,00	8,00	6,00	3,00	36,00	16,00	12,00	6,00	156,25	5.625,00	
2295	46,00	13,00	8,00	5,00	92,00	26,00	16,00	10,00	47,35	4.356,06	
2300	16,00	11,00	9,00	3,00	32,00	22,00	18,00	6,00	312,50	10.000,00	
2305	89,00	43,00	17,00	7,00	178,00	86,00	34,00	14,00	33,97	6.046,20	
2310	21,00	16,00	10,00	7,00	42,00	32,00	20,00	14,00	312,50	13.125,00	
2315	43,00	19,00	12,00	8,00	86,00	38,00	24,00	16,00	65,10	5.598,96	
Média Aritmética das Deflexões D0											
Valor do Desvio Padrão											D =
											σ =

Estacas	Subtrecho 1 - Lado Esquerdo										R x D0
	Leituras (x10 ⁻² mm)					Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)	
	L0 No eixo da roda	L25 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo	A 75cm do eixo						
2272 +10	47,00	23,00	20,00	13,00	94,00	46,00	40,00	26,00	65,10	6.119,79	
2277 +10	80,00	51,00	26,00	18,00	160,00	102,00	52,00	36,00	53,88	8.620,69	
2282 +10	72,00	50,00	18,00	11,00	144,00	100,00	36,00	22,00	71,02	10.227,27	
2287 +10	84,00	53,00	18,00	13,00	168,00	106,00	36,00	26,00	50,40	8.467,74	
2292 +10	56,00	31,00	17,00	15,00	112,00	62,00	34,00	30,00	62,50	7.000,00	
2297 +10	65,00	31,00	17,00	14,00	130,00	62,00	34,00	28,00	45,96	5.974,26	
2302 +10	30,00	17,00	10,00	6,00	60,00	34,00	20,00	12,00	120,19	7.211,54	
2307 +10	30,00	19,00	14,00	10,00	60,00	38,00	28,00	20,00	142,05	8.522,73	
2312 +10	55,00	30,00	16,00	9,00	110,00	60,00	32,00	18,00	62,50	6.875,00	
2317 +10	38,00	21,00	14,00	9,00	76,00	42,00	28,00	18,00	91,91	6.985,29	
Média Aritmética das Deflexões D0											
Valor do Desvio Padrão											D =
											σ =

Subtrecho 2 LD/LE

Subtrecho 2 - Lado Direito											R x D0
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)				Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)		
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo							
2320	23,00	18,00	10,00	8,00	46,00	36,00	20,00	16,00	312,50	14.375,00	
2325	75,00	25,00	14,00	10,00	150,00	50,00	28,00	20,00	31,25	4.687,50	
2330	71,00	55,00	16,00	10,00	142,00	110,00	32,00	20,00	97,66	13.867,19	
2335	53,00	23,00	15,00	8,00	106,00	46,00	30,00	16,00	52,08	5.520,83	
2340	55,00	40,00	19,00	11,00	110,00	80,00	38,00	22,00	104,17	11.458,33	
2345	80,00	52,00	16,00	8,00	160,00	104,00	32,00	16,00	55,80	8.928,57	
2350	60,00	38,00	11,00	8,00	120,00	76,00	22,00	16,00	71,02	8.522,73	
2355	12,00	8,00	6,00	3,00	24,00	16,00	12,00	6,00	390,63	9.375,00	
2360	76,00	47,00	17,00	8,00	152,00	94,00	34,00	16,00	53,88	8.189,66	
2365	56,00	34,00	17,00	10,00	112,00	68,00	34,00	20,00	71,02	7.954,55	
Média Aritmética das Deflexões D0					D =	68,00	28,20	16,80			
Valor do Desvio Padrão					σ =	45,28					

Subtrecho 2 - Lado Esquerdo											R x D0
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)				Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)		
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo							
2322 +10	31,00	15,00	10,00	4,00	62,00	30,00	20,00	8,00	97,66	6.054,69	
2327 +10	100,00	26,00	10,00	5,00	200,00	52,00	20,00	10,00	21,11	4.222,97	
2332 +10	16,00	10,00	5,00	5,00	32,00	20,00	10,00	10,00	260,42	8.333,33	
2337 +10	40,00	30,00	20,00	13,00	80,00	60,00	40,00	26,00	156,25	12.500,00	
2342 +10	23,00	15,00	13,00	6,00	46,00	30,00	26,00	12,00	195,31	8.984,38	
2347 +10	25,00	18,00	11,00	8,00	50,00	36,00	22,00	16,00	223,21	11.160,71	
2352 +10	25,00	7,00	5,00	3,00	50,00	14,00	10,00	6,00	86,81	4.340,28	
2357 +10	22,00	15,00	9,00	6,00	44,00	30,00	18,00	12,00	223,21	9.821,43	
2362 +10	23,00	15,00	7,00	5,00	46,00	30,00	14,00	10,00	195,31	8.984,38	
2367 +10	80,00	34,00	10,00	3,00	160,00	68,00	20,00	6,00	33,97	5.434,78	
Média Aritmética das Deflexões D0					D =	77,00	20,00	11,60			
Valor do Desvio Padrão					σ =	56,52					

Subtrecho 3 LD/LE

Subtrecho 3 - Lado Direito										R x D0	
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)				Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)		
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo							
2370	17,00	12,00	8,00	6,00	34,00	24,00	16,00	12,00	312,50	10.625,00	
2375	81,00	30,00	20,00	8,00	162,00	60,00	40,00	16,00	30,64	4.963,24	
2380	60,00	22,00	13,00	8,00	120,00	44,00	26,00	16,00	41,12	4.934,21	
2385	53,00	25,00	12,00	10,00	106,00	50,00	24,00	20,00	55,80	5.915,18	
2390	60,00	14,00	9,00	5,00	120,00	28,00	18,00	10,00	33,97	4.076,09	
2395	75,00	48,00	28,00	8,00	150,00	96,00	56,00	16,00	57,87	8.680,56	
2400	26,00	18,00	8,00	6,00	52,00	36,00	16,00	12,00	195,31	10.156,25	
2405	18,00	13,00	11,00	9,00	36,00	26,00	22,00	18,00	312,50	11.250,00	
2410	12,00	8,00	4,00	3,00	24,00	16,00	8,00	6,00	390,63	9.375,00	
2415	12,00	6,00	5,00	4,00	24,00	12,00	10,00	8,00	260,42	6.250,00	
Média Aritmética das Deflexões D0					D =	82,80	39,20	23,60	13,40		
Valor do Desvio Padrão					σ =	54,29					

Subtrecho 3 - Lado Esquerdo										R x D0	
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)				Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)		
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo							
2372 +10	80,00	27,00	10,00	4,00	160,00	54,00	20,00	8,00	29,48	4.716,98	
2377 +10	48,00	15,00	8,00	5,00	96,00	30,00	16,00	10,00	47,35	4.545,45	
2382 +10	85,00	26,00	10,00	5,00	170,00	52,00	20,00	10,00	26,48	4.502,12	
2387 +10	105,00	35,00	12,00	5,00	210,00	70,00	24,00	10,00	22,32	4.687,50	
2392 +10	37,00	19,00	17,00	5,00	74,00	38,00	34,00	10,00	86,81	6.423,61	
2397 +10	120,00	42,00	12,00	5,00	240,00	84,00	24,00	10,00	20,03	4.807,69	
2402 +10	27,00	18,00	15,00	9,00	54,00	36,00	30,00	18,00	173,61	9.375,00	
2407 +10	13,00	8,00	8,00	5,00	26,00	16,00	16,00	10,00	312,50	8.125,00	
2412 +10	13,00	7,00	6,00	5,00	26,00	14,00	12,00	10,00	260,42	6.770,83	
2417 +10	20,00	14,00	10,00	5,00	40,00	28,00	20,00	10,00	260,42	10.416,67	
Média Aritmética das Deflexões D0					D =	109,60	42,20	21,60	10,60		
Valor do Desvio Padrão					σ =	79,33					

Subtrecho 4 LD/LE

Subtrecho 4 - Lado Direito										R x D0	
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)			Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)			
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo						L75 A 75cm do eixo		
2420	38,00	28,00	13,00	11,00	76,00	56,00	26,00	22,00	156,25	11.875,00	
2425	25,00	19,00	15,00	12,00	50,00	38,00	30,00	24,00	260,42	13.020,83	
2430	28,00	20,00	13,00	8,00	56,00	40,00	26,00	16,00	195,31	10.937,50	
2435	20,00	12,00	8,00	6,00	40,00	24,00	16,00	12,00	195,31	7.812,50	
2440	28,00	18,00	13,00	10,00	56,00	36,00	26,00	20,00	156,25	8.750,00	
2445	27,00	17,00	12,00	7,00	54,00	34,00	24,00	14,00	156,25	8.437,50	
2450	26,00	16,00	13,00	10,00	52,00	32,00	26,00	20,00	156,25	8.125,00	
2455	38,00	29,00	23,00	12,00	76,00	58,00	46,00	24,00	173,61	13.194,44	
2460	70,00	35,00	21,00	19,00	140,00	70,00	42,00	38,00	44,64	6.250,00	
2465	40,00	29,00	21,00	15,00	80,00	58,00	42,00	30,00	142,05	11.363,64	
Média Aritmética das Deflexões D0				D =	68,00	44,60	30,40	22,00			
Valor do Desvio Padrão				σ =	28,49						

Subtrecho 4 - Lado Esquerdo										R x D0	
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)			Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)			
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo						L75 A 75cm do eixo		
2422 +10	21,00	11,00	8,00	5,00	42,00	22,00	16,00	10,00	156,25	6.562,50	
2427 +10	27,00	20,00	15,00	12,00	54,00	40,00	30,00	24,00	223,21	12.053,57	
2432 +10	17,00	13,00	9,00	5,00	34,00	26,00	18,00	10,00	390,63	13.281,25	
2437 +10	22,00	15,00	10,00	6,00	44,00	30,00	20,00	12,00	223,21	9.821,43	
2442 +10	11,00	7,40	6,00	5,00	22,00	14,80	12,00	10,00	434,03	9.548,61	
2447 +10	25,00	14,10	8,00	6,00	50,00	28,20	16,00	12,00	143,35	7.167,43	
2452 +10	18,00	14,00	8,00	7,00	36,00	28,00	16,00	14,00	390,63	14.062,50	
2457 +10	17,00	13,00	6,00	5,00	34,00	26,00	12,00	10,00	390,63	13.281,25	
2462 +10	18,00	10,00	8,00	5,00	36,00	20,00	16,00	10,00	195,31	7.031,25	
2467 +10	38,00	22,00	15,00	9,00	76,00	44,00	30,00	18,00	97,66	7.421,88	
Média Aritmética das Deflexões D0				D =	42,80	27,90	18,60	13,00			
Valor do Desvio Padrão				σ =	14,76						

Subtrecho 5 LD/LE

Subtrecho 5 - Lado Direito										R x D0
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)				Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)	
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo						
2470	57,00	26,00	19,00	17,00	114,00	52,00	38,00	34,00	50,40	5.745,97
2475	23,00	17,00	13,00	10,00	46,00	34,00	26,00	20,00	260,42	11.979,17
2480	24,00	16,00	8,00	4,00	48,00	32,00	16,00	8,00	195,31	9.375,00
2485	15,00	11,00	9,00	7,00	30,00	22,00	18,00	14,00	390,63	11.718,75
2490	21,00	16,00	12,00	10,00	42,00	32,00	24,00	20,00	312,50	13.125,00
2495	38,00	18,00	11,00	7,00	76,00	36,00	22,00	14,00	78,13	5.937,50
2500	42,00	19,00	15,00	9,00	84,00	38,00	30,00	18,00	67,93	5.706,52
2505	20,00	11,00	8,00	7,00	40,00	22,00	16,00	14,00	173,61	6.944,44
2510	18,00	12,00	8,00	7,00	36,00	24,00	16,00	14,00	260,42	9.375,00
2515	32,00	12,00	8,00	7,00	64,00	24,00	16,00	14,00	78,13	5.000,00
Média Aritmética das Deflexões D0					D =	31,60	22,20	17,00		
Valor do Desvio Padrão					σ =	26,38				

Subtrecho 5 - Lado Esquerdo										R x D0
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)				Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)	
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo						
2472 +10	40,00	22,00	13,00	8,00	80,00	44,00	26,00	16,00	86,81	6.944,44
2477 +10	15,00	11,00	8,00	6,00	30,00	22,00	16,00	12,00	390,63	11.718,75
2482 +10	21,00	10,00	6,00	5,00	42,00	20,00	12,00	10,00	142,05	5.965,91
2487 +10	30,00	16,00	12,00	8,00	60,00	32,00	24,00	16,00	111,61	6.696,43
2492 +10	46,00	20,00	13,00	8,00	92,00	40,00	26,00	16,00	60,10	5.528,85
2497 +10	39,00	23,00	16,00	9,00	78,00	46,00	32,00	18,00	97,66	7.617,19
2502 +10	41,00	18,00	10,00	7,00	82,00	36,00	20,00	14,00	67,93	5.570,65
2507 +10	50,00	24,00	10,00	5,00	100,00	48,00	20,00	10,00	60,10	6.009,62
2512 +10	30,00	18,00	13,00	8,00	60,00	36,00	26,00	16,00	130,21	7.812,50
2517 +10	64,00	30,00	10,00	6,00	128,00	60,00	20,00	12,00	45,96	5.882,35
Média Aritmética das Deflexões D0					D =	38,40	22,20	14,00		
Valor do Desvio Padrão					σ =	28,62				

Subtrecho 6 LD/LE

Subtrecho 6 - Lado Direito										R x D0
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)			Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)		
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo						L75 A 75cm do eixo	
2520	23,00	17,00	13,00	46,00	34,00	26,00	14,00	260,42	11.979,17	
2525	54,00	27,00	16,00	108,00	54,00	32,00	26,00	57,87	6.250,00	
2530	32,00	17,00	11,00	64,00	34,00	22,00	16,00	104,17	6.666,67	
2535	18,00	12,00	9,00	36,00	24,00	18,00	14,00	260,42	9.375,00	
2540	73,00	26,00	16,00	146,00	52,00	32,00	16,00	33,24	4.853,72	
2545	24,00	16,00	10,00	48,00	32,00	20,00	14,00	195,31	9.375,00	
2550	14,00	9,00	6,00	28,00	18,00	12,00	10,00	312,50	8.750,00	
2555	83,00	40,00	15,00	166,00	80,00	30,00	24,00	36,34	6.031,98	
2560	64,00	33,00	17,00	128,00	66,00	34,00	28,00	50,40	6.451,61	
2565	75,00	17,00	14,00	150,00	34,00	28,00	16,00	26,94	4.040,95	
Média Aritmética das Deflexões D0				D =	42,80	25,40	17,80			
Valor do Desvio Padrão				σ =	53,10					

Subtrecho 6 - Lado Esquerdo										R x D0
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)			Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)		
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo						L75 A 75cm do eixo	
2522 +10	86,00	17,00	10,00	172,00	34,00	20,00	18,00	22,64	3.894,93	
2527 +10	13,00	9,00	7,00	26,00	18,00	14,00	8,00	390,63	10.156,25	
2532 +10	30,00	17,00	12,00	60,00	34,00	24,00	14,00	120,19	7.211,54	
2537 +10	7,00	5,00	4,00	14,00	10,00	8,00	8,00	781,25	10.937,50	
2542 +10	27,00	16,00	13,00	54,00	32,00	26,00	14,00	142,05	7.670,45	
2547 +10	14,00	7,00	5,00	28,00	14,00	10,00	8,00	223,21	6.250,00	
2552 +10	18,00	13,00	11,00	36,00	26,00	22,00	18,00	312,50	11.250,00	
2557 +10	42,00	23,00	17,00	84,00	46,00	34,00	20,00	82,24	6.907,89	
2562 +10	42,00	31,00	18,00	84,00	62,00	36,00	16,00	142,05	11.931,82	
2567 +10	23,00	17,00	10,00	46,00	34,00	20,00	10,00	260,42	11.979,17	
Média Aritmética das Deflexões D0				D =	31,00	21,40	13,40			
Valor do Desvio Padrão				σ =	45,70					

Subtrecho 7 LD/LE

Subtrecho 7 - Lado Direito											R x D0
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)				Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)		
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo							
2570	50,00	38,00	9,00	6,00	100,00	76,00	18,00	12,00	130,21	13.020,83	
2575	20,00	14,00	10,00	7,00	40,00	28,00	20,00	14,00	260,42	10.416,67	
2580	39,00	18,00	15,00	8,00	78,00	36,00	30,00	16,00	74,40	5.803,57	
2585	27,00	21,00	14,00	10,00	54,00	42,00	28,00	20,00	260,42	14.062,50	
2590	25,00	18,00	15,00	11,00	50,00	36,00	30,00	22,00	223,21	11.160,71	
2595	55,00	32,00	26,00	10,00	110,00	64,00	52,00	20,00	67,93	7.472,83	
2600	34,00	20,00	12,00	7,00	68,00	40,00	24,00	14,00	111,61	7.589,29	
2605	43,00	26,00	15,00	8,00	86,00	52,00	30,00	16,00	91,91	7.904,41	
2610	80,00	34,00	18,00	9,00	160,00	68,00	36,00	18,00	33,97	5.434,78	
2615	65,00	32,00	18,00	7,00	130,00	64,00	36,00	14,00	47,35	6.155,30	
Média Aritmética das Deflexões D0					D =	50,60	30,40	16,60			
Valor do Desvio Padrão					σ =	37,98					

Subtrecho 7 - Lado Esquerdo											R x D0
Estacas	Leituras (x10 ⁻² mm)				Deflexão (D0) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D25) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D50) (x10 ⁻² mm)	Deflexão (D75) (x10 ⁻² mm)	Raio de Curvatura (R) (metro)		
	LU No eixo da roda	LZ5 A 25cm do eixo	L50 A 50cm do eixo	L75 A 75cm do eixo							
2572 +10	23,00	13,00	12,00	9,00	46,00	26,00	24,00	18,00	156,25	7.187,50	
2577 +10	57,00	32,00	14,00	12,00	114,00	64,00	28,00	24,00	62,50	7.125,00	
2582 +10	35,00	25,00	14,00	8,00	70,00	50,00	28,00	16,00	156,25	10.937,50	
2587 +10	38,00	21,00	14,00	7,00	76,00	42,00	28,00	14,00	91,91	6.985,29	
2592 +10	56,00	22,00	14,00	6,00	112,00	44,00	28,00	12,00	45,96	5.147,06	
2597 +10	17,00	13,00	10,00	7,00	34,00	26,00	20,00	14,00	390,63	13.281,25	
2602 +10	43,00	21,00	12,00	8,00	86,00	42,00	24,00	16,00	71,02	6.107,95	
2607 +10	26,00	19,00	13,00	9,00	52,00	38,00	26,00	18,00	223,21	11.607,14	
2612 +10	39,00	23,00	10,00	7,00	78,00	46,00	20,00	14,00	97,66	7.617,19	
Média Aritmética das Deflexões D0					D =	42,00	25,11	16,22			
Valor do Desvio Padrão					σ =	27,59					

ANEXO E – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA VIGA BENKELMAN



SOLOTEST[®]

APARELHOS PARA MECÂNICA
DO SOLO LTDA

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO SOLOTEST

Certificado de Calibração Nº: 47940-18

1. Dados do Cliente:

Pág.: 1/1

Contratante:	[REDACTED]
Endereço:	LUGAREJO PORTO URUCU M.DIREITA S/N -ZONA RURAL-COARI -AM
Solicitante:	O Mesmo

2. Item do Cliente:

Equipamento:	Viga de Benkelman	Série:	21063
Fabricante:	Solotest	Tipo:	2:1

2.1 Relógio Comparador

Fabricante:	Digimess	Identificação:	N/C	Tipo:	Analógico
Faixa Nominal:	10 mm	Série:	5211213	Resolução:	0,01 mm

3. Condições gerais

Norma de Referência:	DNER 175-94	Data da Calibração:	28/03/2018
Temperatura Ambiente:	22,0°C	Executado por:	Ricardo Landim

4. Padrões

Equipamento	Identificação	Laboratório	Certificado	Data Calibração	Validade
Relógio Comparador	0142	Mitutoyo	02837/17	maio-17	maio-19

5. Resultados:

Deslocamento da Extremidade da Viga	Leitura na Viga		Cte 1ª	Cte 2ª	U ± (mm)	Resultados	
	1ª	2ª					
0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	Cte. Média	1,9908
0,10	0,05	0,05	2,000	2,000	0,001	Des. Padrão	0,0174
0,20	0,10	0,10	2,000	2,000	0,001	Des. Médio	0,0032
0,30	0,15	0,15	2,000	2,000	0,001	Est. Médio	0,0065
0,40	0,20	0,20	2,000	2,000	0,001	Int.Conf.	1,9973
0,50	0,25	0,25	2,000	2,000	0,001		1,9843
0,60	0,30	0,30	2,000	2,000	0,001		
0,70	0,35	0,35	2,000	2,000	0,001		
0,80	0,41	0,41	1,951	1,951	0,001		
1,00	0,50	0,50	2,000	2,000	0,001		
1,20	0,61	0,61	1,967	1,967	0,001		
1,40	0,71	0,71	1,972	1,972	0,001		
1,60	0,81	0,81	1,975	1,975	0,001		
1,80	0,91	0,91	1,978	1,978	0,001		
2,00	1,00	1,00	2,000	2,000	0,001		
2,20	1,09	1,09	2,018	2,018	0,001		

6. Nota:

- Relógios posicionados em meio para início da operação.
 - Intervalos de confiança dentro dos especificados: 1,90 2,10 **Aprovado**
 - Constante da viga de benkelman que deve ser usada: **1,991**
 - A incerteza expandida de medição é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator "K", o qual para uma distribuição "t" com "veff" graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%, conforme publicação EA-4/02.
- Os resultados deste certificado são válidos exclusivamente para o instrumento calibrado descrito, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer outros, mesmo que similares.


Ricardo Landim
Responsavel Tecnico


Luiz Barella
Diretor Industrial