

Ricardo Valentini

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES E DO COMPORTAMENTO DO
PAVIMENTO DA RODOVIA BR-174/AM E DA QUALIDADE DOS
DADOS DISPONÍVEIS**

Brasília-DF

2017



RICARDO VALENTINI

Análise das Condições e do Comportamento do Pavimento da Rodovia BR-174/AM e da Qualidade dos Dados Disponíveis

Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Operações Rodoviárias, do Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico, da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Especialista em Operações Rodoviárias. Orientador: Prof. Dr. Antônio Fortunato Marcon

Brasília

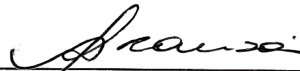
2017

Ricardo Valentini

Análise das Condições e do Comportamento do Pavimento da Rodovia BR-174/AM e da Qualidade dos Dados Disponíveis

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Especialista em Operações Rodoviárias” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Especialização em Operações Rodoviárias

Brasília, 29 de Junho de 2017.




Prof.ª. Dr.ª Ana Maria Benciveni Franzoni
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Antônio Fortunato Marcon
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Me. Silvio dos Santos
Membro da banca
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado o dom da vida e sabedoria para aproveitá-la de forma digna.

À minha esposa Suziane Vedovati Daniel Valentini, por suportar os momentos de angústia e apreensão compartilhados nesta etapa de minha vida. Pelo amor e confiança depositados em mim para seguir em frente e vencer mais este desafio.

À toda minha família, por acreditarem no meu trabalho e pelas palavras de incentivo e confiança ao longo de toda minha vida.

Ao meu Orientador, Professor Doutor Antônio Fortunato Marcon, por compartilhar de sua sabedoria e conhecimento para a conclusão deste Trabalho.

Aos colegas do Curso de Especialização em Operações Rodoviárias, professores e Coordenadores do Curso.

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por proporcionar este Curso de Especialização, buscando o aprimoramento técnico e científico de seus servidores.

RESUMO

Este Trabalho trata da avaliação das condições do pavimento da rodovia BR-174/AM e da qualidade dos dados disponíveis para análise. Qual o comportamento do pavimento da rodovia BR-174/AM após a execução dos serviços de restauração e a qualidade dos dados levantados? A hipótese é que as condições do pavimento da rodovia BR-174/AM, após os serviços de restauração, finalizados em 2014, não atingiram os critérios de aceitação exigidos devido a utilização de dados não eficazes. O objetivo foi avaliar o desempenho do pavimento da rodovia BR-174/AM, com base em um banco de dados existente, assim como realizar um estudo comparativo, utilizando um modelo de previsão de desempenho, entre a evolução prevista e valores encontrados das condições funcional e estrutural do pavimento. O método empregado foi o levantamento de dados existentes e coleta de novos dados para comparação entre eles, e ainda um estudo bibliográfico para utilização de fórmulas para a avaliação das condições do pavimento e cálculo da evolução prevista. Os resultados encontrados indicam que o pavimento restaurado da rodovia BR-174/AM teve uma boa evolução após a intervenção, porém, não atingiu os critérios de aceitação e indicam também que os dados constantes do banco de dados apresentam inconsistências. Concluiu-se, principalmente, que a avaliação das condições do pavimento das rodovias é atividade essencial e deve se tornar periódica para um bom Sistema de Gerenciamento de Pavimentos, com intuito de verificar a eficácia de serviços executados e o planejamento de intervenções futuras.

Palavras-chave: BR-174/AM, Condições do pavimento, Modelo de previsão de desempenho, Gerenciamento de Pavimentos.

ABSTRACT

This paper deals with the evaluation of BR-174/AM Highway pavement conditions and the quality of data available for analysis. What is the behavior of the BR-174/AM Highway pavement after the execution of the restoration services and the quality of the collected data? The hypothesis is that the conditions of the BR-174/AM Highway pavement, after restoration services, completed in 2014, did not reach the acceptance criteria required due to the use of non-effective data. The objective was to evaluate the performance of the BR-174/AM Highway pavement, based on an existing database, as well to make a comparative study, using a performance prediction model between the intended evaluation and the values encountered of the functional and structural pavement condition. The applied method was based on the collection of the existing data and new data for comparison between them, and still a bibliography study for the use of equations for evaluation of the pavement conditions and the calculation of the expected evolution. The results indicate that the restoration pavement of BR-174/AM Highway had a good evolution after the intervention, however it did not reach the minimum acceptance criteria and indicate also that the data presents inconsistency. It was mainly concluded that the evaluation of the highway pavement conditions is a key activity and must become periodic for a good Pavement Managing System, with the intention of verifying the efficiency of the executed services and planning future interventions.

Keywords: BR-174/AM, Pavement conditions, Performance prediction model, Pavement Managing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 CONCEITOS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	7
2.2 SISTEMA DE REFERÊNCIA	8
2.3 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS	9
2.3.1 CONDIÇÕES FUNCIONAIS	9
2.3.1.1 Levantamento Visual Contínuo (LVC)	9
2.3.1.2 Índice de Irregularidade Internacional (IRI).....	10
2.3.2 CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	13
2.3.2.1 Deflexão	16
2.3.2.2 Deflexão admissível (D_{adm})	17
2.3.3 CONDIÇÕES OPERACIONAIS	19
2.3.3.1 Volume Médio Diário do tráfego (VMD)	19
2.3.3.2 Carregamento da frota	19
2.3.3.3 Número N.....	20
2.4 DETERMINAÇÃO DAS PRIORIDADES.....	21
2.5 ELABORAÇÃO DE PROGRAMA PLURIANUAL DE INVESTIMENTOS	21
2.6 DADOS NECESSÁRIOS PARA A AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS	21
2.6.1 BANCO DE DADOS	23
2.7 MODELO DE PREVISÃO DE DESEMPENHO	23
2.7.1 NÚMERO ESTRUTURAL CORRIGIDO.....	26
2.8 CATÁLOGO DE SOLUÇÕES	29
3. DESENVOLVIMENTO	31
3.1 ASPECTOS AMBIENTAIS DO LOCAL	31
3.2 HISTÓRICO DA RODOVIA.....	32
3.3 DEFINIÇÃO DOS TRECHOS PARA ANÁLISE	33
3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES	35
3.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA RODOVIA	36

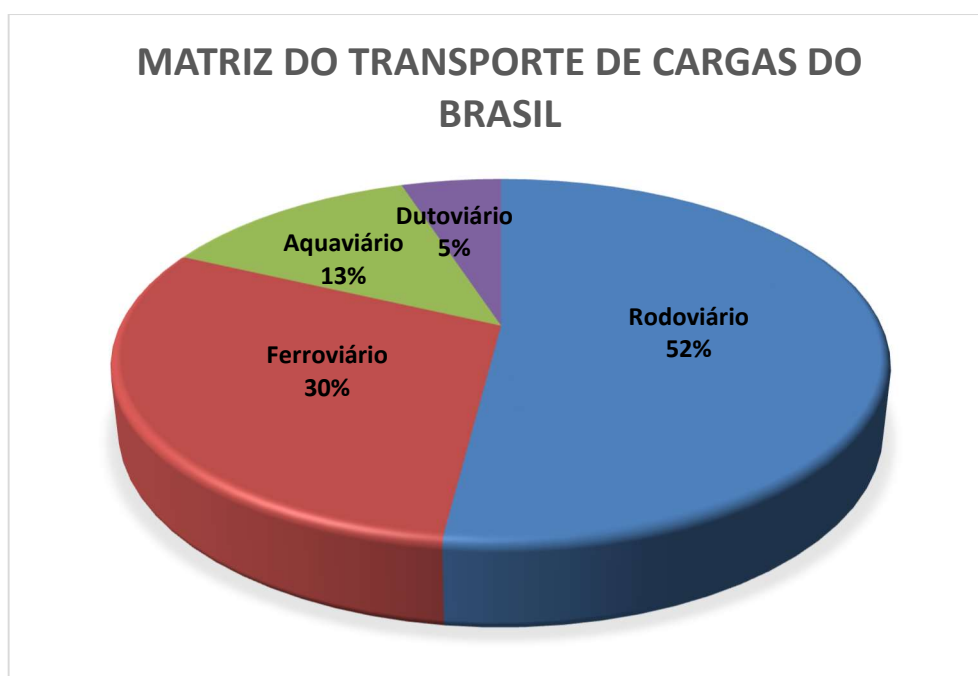
3.4.2	CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DA RODOVIA	36
3.4.2.1	VMD	37
3.4.3	CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO.....	38
3.4.4	DADOS AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DO PAVIMENTO.....	40
3.4.4.1	Irregularidade Longitudinal - IRI	40
3.4.4.2	Deflexão	42
3.5	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXISTENTES.....	44
3.5.1	CÁLCULO DO VDM E FATOR DE VEÍCULO	44
3.5.2	CÁLCULO DO NÚMERO N	45
3.5.3	CÁLCULO DO NÚMERO ESTRUTURAL CORRIGIDO	47
3.6	ANÁLISE DOS DADOS.....	48
3.6.1	VMD E NÚMERO N.....	48
3.6.2	COMPORTAMENTO DO PAVIMENTO ANTES E DEPOIS DA RESTAURAÇÃO	49
3.6.3	EVOLUÇÃO PREVISTA PARA O PAVIMENTO ATÉ 2017	59
4.	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	65

1. INTRODUÇÃO

O setor rodoviário brasileiro é o mais expressivo modal de transporte de cargas do país, atingindo praticamente todos os pontos do território nacional e possuindo uma grande relevância na atividade econômica nacional (BRASIL, 2013).

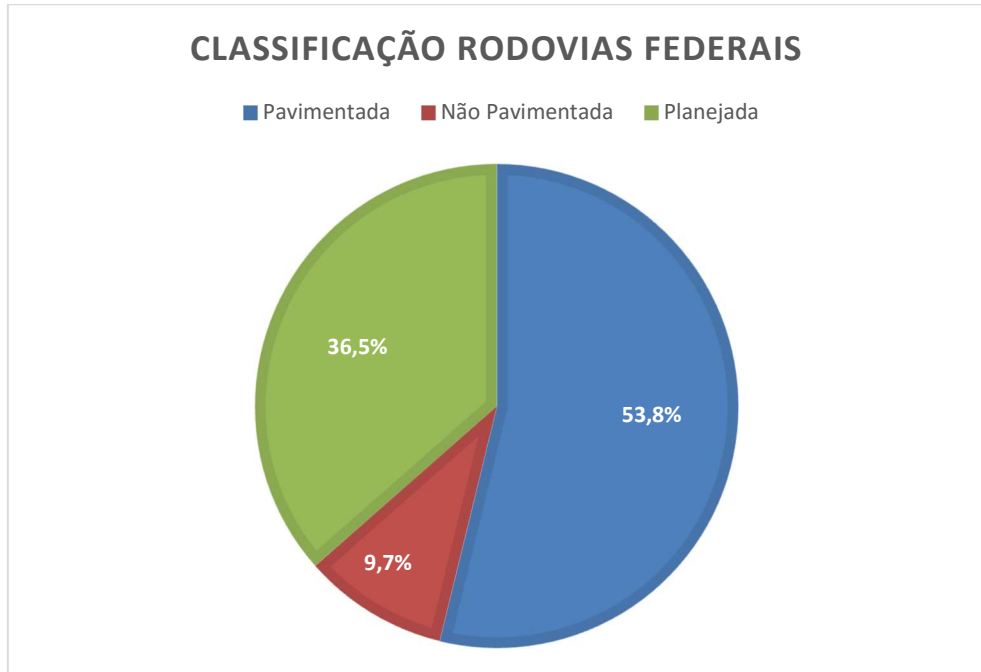
Segundo o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) de 2012, a matriz do transporte de cargas do Brasil está representada conforme a distribuição apontada na Figura 1, onde se pode notar a importância do modal rodoviário para o escoamento da produção e desenvolvimento do país.

Figura 1: Matriz do Transporte de Cargas do Brasil (Fonte: PNL, 2012)



Conforme dados do Sistema Nacional de Viação (SNV) de 2016, a extensão total da malha rodoviária federal é de 120.582,70 km, sendo 64.825,4 km de rodovias pavimentadas, 11.644,7 km de rodovias não pavimentadas e 44.112,6 km de rodovias planejadas. A Figura 2 apresenta esta distribuição da malha rodoviária federal:

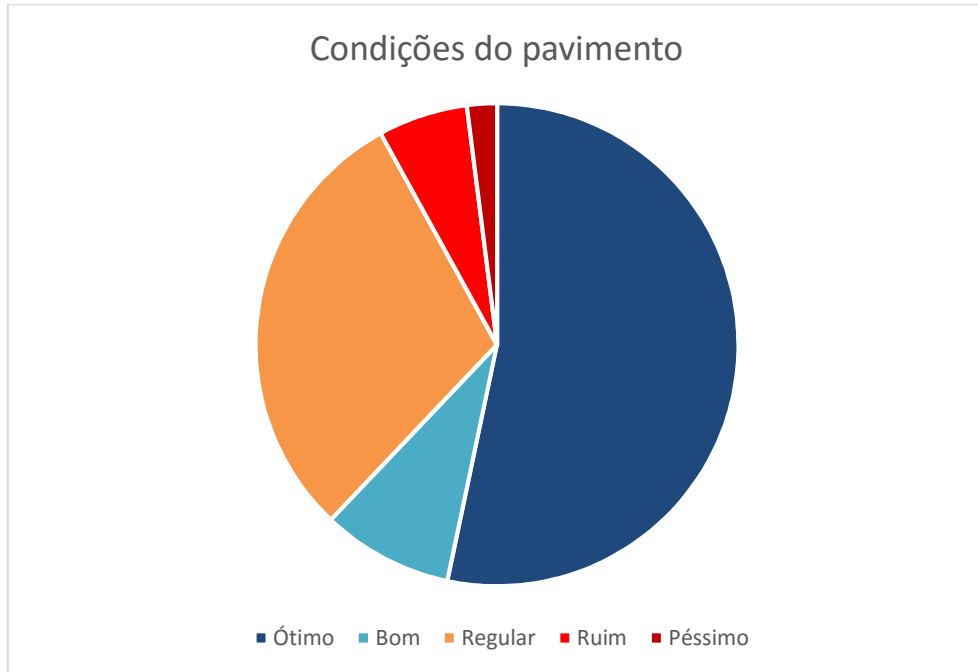
Figura 2: Classificação Rodovias Federais (Fonte: SNV, 2016)



O monitoramento constante das condições da malha rodoviária torna-se essencial para um planejamento estratégico e efetivo, possibilitando o acompanhamento das soluções técnicas adotadas em cada segmento rodoviário ao longo do tempo (BRASIL, 2013).

A Pesquisa CNT de Rodovias de 2016 percorreu toda a malha rodoviária federal pavimentada e avaliou as condições do pavimento, conforme apresentada na Figura 3.

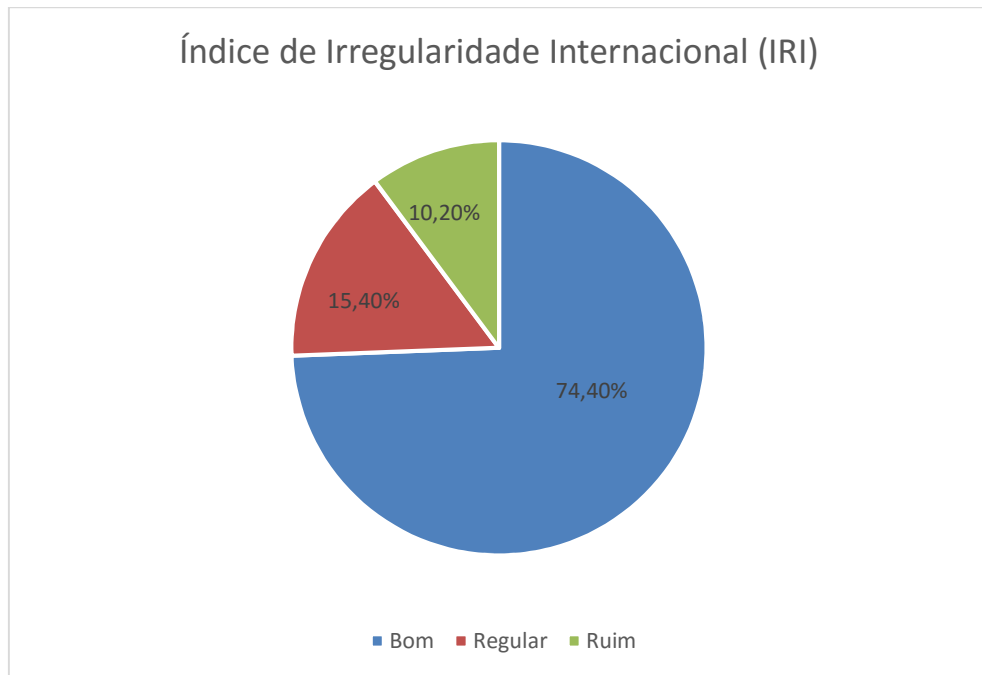
Figura 3: Condições do Pavimento Rodovias Federais (Fonte: CNT, 2016)



O estado de conservação da superfície do pavimento é um dos elementos de mais fácil percepção ao usuário da rodovia, pois os defeitos e irregularidades nessa superfície afetam o seu conforto e a segurança ao rolamento do tráfego, bem como diminuem a durabilidade dos componentes veiculares. Um dos métodos de se avaliar a superfície do pavimento é medindo a Irregularidade Longitudinal (IRI).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) realizou levantamento do IRI na malha rodoviária federal entre os anos de 2012 e 2013, e apresentou os resultados no Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais, em 2013, conforme Figura 4.

Figura 4: Índice de Irregularidade Internacional (IRI) (Fonte: DNIT, 2013)



A qualidade das rodovias tem um papel importante na economia brasileira, uma vez que os custos de transporte se tornam elevados quando a malha rodoviária está degradada, aumentando assim o preço final dos produtos transportados.

Os principais fatores que influem nos custos de transportes são referentes às condições estruturais e funcionais do pavimento, dando ênfase às condições superficiais. A qualidade da superfície de rolamento interfere nos custos operacionais dos transportadores, tendo em vista que em condições ruins os gastos com combustíveis e com manutenção aumentam.

Conhecer a malha rodoviária, suas condições estruturais e funcionais são de extrema importância para planejar e projetar pavimentos e programar a utilização dos recursos disponíveis. Para isso, os dados que são coletados em levantamentos precisam ser confiáveis e precisos, uma vez que a seleção do tipo de solução e o dimensionamento do pavimento serão embasados nesses números.

1.1 JUSTIFICATIVA

A justificativa deste trabalho se faz diante da necessidade de se conhecer as condições do pavimento da BR-174/AM, assim como verificar a qualidade e eficácia

dos serviços de recuperação executados na rodovia, e, com base em um banco de dados disponível, fazer uma previsão da evolução dos principais defeitos funcionais e estruturais do pavimento.

Outro fato que motivou este trabalho é referente à qualidade dos dados disponíveis para análise e elaboração de projetos, uma vez que tais dados norteiam o dimensionamento a ser feito para as obras de recuperação/restauração rodoviária.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de pavimentos ao longo de um período com disponibilidade de dados provenientes de projetos existentes, levantamentos periódicos do Sistema de Gerência de Pavimentos e outras fontes de estudos ou projetos especiais.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento do pavimento da rodovia BR-174/AM, ao longo de um horizonte temporal de 8 anos, com base no banco de dados disponível no DNIT, assim como realizar um estudo comparativo, utilizando um modelo de previsão de desempenho, entre a evolução prevista e valores encontrados das condições funcional e estrutural do pavimento.

Para atingir o objetivo acima estabelecido, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar coleta de dados disponíveis sobre a rodovia BR-174/AM adequada aos levantamentos realizados;
- Seleção e análise de subtrechos homogêneos, com estrutura e ou tráfego diferentes;

- Aplicação de Modelo de previsão empírico-mecanístico, utilizando parâmetros básicos de respostas relacionados com a deterioração funcional e estrutural, através de equações de regressão.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos.

O capítulo 01 apresenta uma breve introdução, no qual expõe o assunto abordado, as justificativas da escolha do tema e destaca os objetivos do trabalho.

O capítulo 02 contém uma revisão bibliográfica sobre o assunto, apresentando conceitos de Gerência de Pavimentos, suas atividades básicas, avaliação de pavimentos, modelo de previsão de desempenho e catálogo de soluções.

No capítulo 03 está o desenvolvimento, onde retrata o local do estudo, seus aspectos ambientais e dados coletados dos trechos analisados. Apresenta a avaliação das condições existentes do pavimento e uma análise dos dados coletados, com previsão de desempenho do pavimento e comentários sobre a acurácia e confiabilidade dos dados disponíveis para estudo.

Por último, o capítulo 4 apresenta as conclusões do trabalho, as dificuldades encontradas para a realização das análises devido à confiabilidade dos dados e as considerações finais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construído sobre a superfície final de terraplenagem, denominada subleito. O pavimento é destinado, técnica e economicamente, a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos, suportar os efeitos do clima e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento com conforto, economia e segurança (BRASIL, 2006).

Para o cidadão-usuário, o mais importante é o estado da superfície de rolamento da via, pois os defeitos e irregularidades na superfície são facilmente percebidos, uma vez que afetam o seu conforto e segurança ao trafegarem na via. Existe correlação entre as condições do estado da superfície do pavimento e os custos de transporte (BERNUCCI et al., 2010, p. 403).

2.1 CONCEITOS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Segundo Marcon (1996), “Sistema de gerência de pavimentos engloba um conjunto de atividades destinadas a ajudar a seleção de medidas mais adequadas para planejar, projetar, construir e manter pavimentos visando a melhor utilização de recursos disponíveis. ”

Um sistema de gerência de pavimentos é um conjunto de ferramentas ou métodos que ajudam os tomadores de decisão a encontrar estratégias ótimas para prover, avaliar e manter pavimentos em uma condição aceitável durante um determinado período de tempo (AASHTO, 1993).

A Gerência de Pavimentos constitui-se em uma importante ferramenta de administração, objetivando determinar a forma mais eficaz da aplicação dos recursos públicos disponíveis, em diversos níveis de intervenção, de sorte a responder às necessidades dos usuários dentro de um plano estratégico que garante a melhor relação Custo x Benefício (BRASIL, 2011).

Um Sistema de Gerência de Pavimentos tem como componentes, que devem interagir mutuamente, o planejamento, o projeto, a construção e a manutenção dos pavimentos. Como principais fatores externos podem ser citados os recursos

orçamentários, os dados necessários ao sistema e as diretrizes políticas e administrativas (BRASIL, 2011).

As atividades básicas de um Sistema de Gerência de Pavimentos estão normalmente afetas à área de planejamento e podem ser agrupadas em quatro grandes atividades básicas, para implantação e frequente avaliação de um Banco de Dados, quais sejam: Sistema de referência; Avaliação de Pavimentos; Determinação das prioridades e; elaboração de programa plurianual de investimentos (BRASIL, 2011).

Neste trabalho, faremos uma breve introdução a essas atividades básicas, porém, dar-se-á ênfase à atividade de avaliação de pavimentos, foco do estudo em questão.

2.2 SISTEMA DE REFERÊNCIA

Os dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos devem ser fisicamente localizados em relação à rede rodoviária. Assim, como primeira providência para planejar a coleta de informações do SGP/DNIT, procura-se estabelecer um eficiente sistema de referência para as informações (BRASIL, 2011).

Desta forma, o DNIT utiliza o Sistema Nacional de Viação - SNV, que divide e codifica cada rodovia da rede federal em trechos, onde tem como critérios a nomenclatura da rodovia, o estado em que se situa, a situação física da rodovia, entre outros.

Após 2001, com a reestruturação do SGP, foi inserido uma nova codificação com subdivisão em subtrechos homogêneos. A identificação de subtrechos homogêneos é baseada em levantamentos realizados em toda a malha federal, e estes dados são utilizados para a divulgação dos índices da condição da malha rodoviária federal e para a alimentação do banco de dados do SGP.

2.3 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

A avaliação de pavimentos é uma das etapas mais importantes, por ser o ponto de partida para as futuras decisões neste sistema. Esta atividade possibilita que sejam definidas as condições funcionais, estruturais e operacionais dos pavimentos (BRASIL, 2011).

2.3.1 CONDIÇÕES FUNCIONAIS

A avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação do estado de sua superfície e de como este estado influencia no conforto ao rolamento. Para este fim, dois parâmetros da avaliação são bastante consistentes: o Valor da Serventia Atual (VSA) e o Índice de Irregularidade Internacional (IRI) (BRASIL, 2011).

Atualmente, o VSA tem sido substituído pelo Levantamento Visual Contínuo (LVC). Desta forma, a seguir, será abordado tanto o LVC quanto o IRI.

2.3.1.1 Levantamento Visual Contínuo (LVC)

O LVC tem a finalidade de avaliar e quantificar o nível de defeitos numa pista. A avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi rígidos é feita através da observação de vídeos e fotos dos defeitos existentes no pavimento da rodovia em análise (BRASIL, 2013). Segundo Cunha (2008):

“O objetivo do LVC é a coleta de informações para verificar o grau de deterioração do pavimento, de maneira a: servir de base para indicar a intervenção apropriada, ser um dos fatores para análise da priorização para investimentos, fornecer subsídio para elaboração de equações de comportamento dos defeitos, indicar níveis de esforços para a conservação rodoviária, entre outros.”

Outro ponto crucial citado por BRASIL (2011), é que o LVC proporciona elementos necessários para avaliação do IGG – Índice de Gravidade Global, com informações necessárias para o uso do Modelo de Padrão de Desempenho HDM-4.

2.3.1.2 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

A irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, que afeta a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via (BRASIL, 2011).

Podemos definir assim que a irregularidade da superfície do pavimento está relacionada com a qualidade de rodagem e com a segurança da via, sendo o principal parâmetro de definição da qualidade funcional de uma rodovia.

A Irregularidade pode ser medida em diversas escalas padronizadas e de conformidade com o equipamento de medição usado. De acordo com Sayers et al (1996) apud Basílio (2002), “Através de uma pesquisa realizada no Brasil pelo Banco Mundial foi definido o IRI (*International Roughness Index*), que é um índice resumo estatístico definido a partir do perfil longitudinal da trilha de roda de um revestimento percorrido. ”

De acordo com Paterson (1987), os valores da escala de IRI estabelecem os seguintes padrões gerais:

IRI = 0 – Superfície perfeitamente plana;

IRI = 6 – rodovias pavimentadas com irregularidade média;

IRI = 12 – rodovias pavimentadas extremamente irregulares com remendos e panelas;

IRI = 20 – rodovias não pavimentadas extremamente irregulares.

Para qualificar o estado do pavimento, o DNIT estabeleceu níveis de conceitos atribuíveis e relativos às condições de superfície do pavimento, mais especificamente ao IRI, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Condição de Pavimentos em função de IRI

Conceito	IRI (m/km)
Excelente	1 – 1,9
Bom	1,9 – 2,7
Regular	2,7 – 3,5
Ruim	3,5 – 4,6
Péssimo	> 4,6

O DNIT, em sua Instrução de Serviço nº 13/2013, apresenta o padrão de desempenho para aceitação de obras de restauração com revestimento asfáltico conforme Tabela 2.

Tabela 2: Padrões de Desempenho IRI para Aceitação de obras de Restauração e Pav. Novos

PADRÕES EXIGIDOS	CONDIÇÕES DO PAVIMENTO
IRI ≤ 2,3 m/km	Pavimentos novos com CBUQ
IRI ≤ 2,5 m/km	Pavimentos novos com Tratamentos Superficial
IRI ≤ 2,7 m/km	Pavimentos restaurados com CBUQ
IRI ≤ 3,0 m/km	Pavimentos restaurados com Tratamento Superficial

Haas et al (1994) agrupa os equipamentos destinados à medida da irregularidade da seguinte forma:

- Medidores de perfil;
- Medidores tipo resposta.

Medidores de perfil

Medidores de perfil são equipamentos que medem o perfil da superfície do pavimento, retratando as distorções que afetam a dinâmica do veículo (BASILIO, 2002). Como exemplo, pode-se citar:

- Régua: Produzidas de madeira e metal, permitem visualizar e medir as distorções de perfil, tanto transversal quanto longitudinalmente. São equipamentos de baixo custo, porém, os custos com levantamentos de grande porte são elevados, sendo assim mais utilizados em avaliações de pequenas áreas.

- Perfilógrafos: Segundo Basílio (2002), “este equipamento consiste de uma viga com sistema de rodas que serve de referência para avaliar desvios de superfície. As medidas do perfil da superfície do pavimento são obtidas através de vários grupos de três rodas. ”

As vantagens do perfilógrafo são a boa repetibilidade, operação simples e baixo custo inicial. Como principal desvantagem apresenta baixa velocidade de avaliação de 4,8 km/h (HAAS et al., 1994).

- Perfilômetros: Medem o perfil de forma contínua ou a pequenos intervalos, captando a influência das distorções na qualidade de rolamento. Podem ser classificados em 2 grupos: inerciais e não inerciais.

Perfilômetros inerciais necessitam de um sensor de altura (acelerômetro) para medir a distância entre a carroceria do veículo e a superfície e assim compensar o movimento vertical do corpo do veículo, um aparelho de GPS para medição da posição e um computador de bordo para armazenamento e processamento dos dados coletados (HAAS et al., 1994).

Destacam-se nesse grupo os equipamentos com barra laser, no qual é instalada uma barra com sensores a laser em um veículo, seja na parte dianteira ou na parte traseira. Dessa forma, o veículo transita em velocidade normal do tráfego e realiza medições do perfil transversal espaçadas conforme a necessidade e assim é possível traçar o perfil longitudinal do pavimento.

Os perfilômetros não inerciais são mais simples e com baixa produtividade. Podemos citar o aparelho Dipstick, utilizado para avaliação de bases de calibração para aparelhos tipo resposta, e o perfilômetro TRRL, utilizado para operar a velocidades variáveis (HAAS et al., 1994).

Medidores tipo resposta

São equipamentos que medem a irregularidade de forma indireta. Um veículo é equipado com um equipamento que mede acumulativamente o deslocamento entre a carroceria e seus eixos traseiro e dianteiro do veículo (CUNHA, 2008).

Os medidores de irregularidade tipo resposta são muito utilizados por apresentarem baixo custo, produtividade elevada e fácil operação. Por outro lado, Woodstrom (1990) aponta como limitações as frequentes calibrações necessárias, as distorções das medidas causadas pelos veículos utilizados e pela velocidade de operação e a dificuldade de comparação dos dados obtidos com outros equipamentos.

2.3.2 CONDIÇÕES ESTRUTURAIS

A análise estrutural possibilita a estimativa da capacidade de carga de uma estrutura de pavimento e a sua vida de serviço sob determinadas condições de tráfego. O principal parâmetro da avaliação estrutural é o conhecimento da deflexão do pavimento sob carregamento (BASÍLIO, 2002).

A avaliação estrutural de um pavimento está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Os defeitos estruturais resultam principalmente da repetição das cargas e estão associados às deformações elásticas e plásticas (BRASIL, 2011).

As deformações elásticas ou recuperáveis causam o trincamento dos pavimentos ao longo do tempo de serviço, levando os mesmos à fadiga. As deformações plásticas ou permanentes dos pavimentos são responsáveis pela formação dos afundamentos de trilha de roda.

Quanto aos métodos para a avaliação estrutural, estes são classificados em métodos destrutivos e não destrutivos. Os métodos destrutivos, como o próprio nome diz, resultam na remoção de parte das camadas do pavimento para avaliação. Os métodos não destrutivos permitem inferir as condições estruturais sem danificar o pavimento, mediante ensaios executados na superfície do revestimento, em que se avalia a resposta do pavimento a uma carga (HAAS et al., 1994).

Métodos destrutivos

Os métodos destrutivos são feitos através da abertura de trincheiras, onde é possível verificar, por exemplo, as espessuras das camadas, umidade dos materiais, tipos de materiais empregados e obtenção de amostras para ensaios em laboratório.

Por serem testes demorados, caros e de alcance limitado, são pouco utilizados para a avaliação de estruturas de pavimento, restringindo apenas a problemas localizados (HAAS et al., 1994).

Métodos não destrutivos

Segundo Borges (2001), “O método não-destrutivo para avaliação estrutural do pavimento é realizado através do levantamento deflectométrico da estrutura com o

emprego de equipamentos que reproduzem, com boa aproximação, a carga no pavimento devido a ação do tráfego atuante. ”

A deflexão, por ser um parâmetro relativamente fácil e rápido de ser medido, tornou-se de uso geral, o que tem levado à tendência de considerá-la como indicador universal do desempenho sem a adequada qualificação, particularmente com relação ao tipo de pavimento e ao mecanismo de degradação estrutural (LISTER, 1979).

O uso de aparelhos não destrutivos para medida de deflexões tem sido uma ferramenta importante em estudos de avaliação da capacidade de carga e de restauração de pavimentos (WITCZAK, 1989).

Brasil (2011) cita que os equipamentos utilizados em avaliações não destrutivas podem ser divididos em três categorias:

- Carregamento quase-estático – ensaio de placa e viga Benkelman;
- Carregamento vibratório – *dynalect*;
- Carregamento por impacto – *falling weight deflectometer* (FWD).

Há bastante diferença entre os valores numéricos de avaliação estrutural realizados, utilizando-se cada um desses tipos de equipamentos, e todos devem ser regularmente calibrados por processos específicos e seguem rotinas de aplicação determinadas pelo tipo de carregamento (BRASIL, 2011).

Os equipamentos de medição de deflexão mais utilizados no Brasil são a viga Benkelman e o FWD. A viga Benkelman é utilizada intensamente em todo mundo. De grande simplicidade e robustez, este equipamento manteve larga utilização no meio rodoviário internacional e nacional, até que outras gerações de equipamentos, mais sofisticados e adequados, passaram gradualmente a ganhar espaço (CUNHA, 2008).

Trata-se de um equipamento muito simples que necessita de um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla com carga de 8,2 t, para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica.

O equipamento de FWD consiste de uma massa que cai sobre uma placa dotada de amortecedores. A intensidade da carga é controlada pela altura de queda e pelo peso da massa. São medidas as deflexões máximas no centro da placa e a

distâncias variáveis através de geofones ou sismômetros fixados a uma barra, permitindo a medida da bacia de deflexão (HAAS et al., 1994).

Em comparação dos métodos apresentados acima, Bernucci et al. (2010) citam algumas vantagens do FWD sobre a viga Benkelman, vejamos:

- acurácia nas medições;
- possibilidade de aplicação de vários níveis de carga;
- maior produtividade;
- ensaio não influenciado pelo operador;
- registro automático de temperatura e de distâncias dos pontos de ensaio.

A determinação das deflexões do pavimento deve ser executada com a Viga Benkelman, pelo método já normalizado pelo DNER, podendo ser usadas outras aparelhagens já normalizadas por aquele órgão, desde que seja estabelecida a devida correlação com as deflexões recuperáveis medidas com a Viga Benkelman (BRASIL, 1979).

Tendo em vista a utilização de diferentes equipamentos para avaliação da deflexão, a comparação dos resultados é importante para manter a validade dos dados. Para isso, é importante conhecer a relação entre as medidas feitas por dois equipamentos distintos.

Medina et al. (1994) comenta que não existe, de uma maneira geral, uma relação única entre as deflexões medidas por diferentes equipamentos não destrutivos. As correlações, obtidas, por isso, devem ser utilizadas com o devido conhecimento das condições nas quais foram obtidas e consciência dos erros envolvidos.

O DNIT utiliza a correlação entre as deflexões recuperáveis medidas com a viga Benkelman e o FWD, feita por Fabrício et al (1996), tendo como objetivo propiciar o emprego das deflexões obtidas com o FWD no modelo HDM. Assim, abaixo segue as equações obtidas:

Para deflexões $D_{FWD} < 85 \times 10^{-2}$ mm

$$D_B = 20,645(D_{FWD} - 19)^{0,351} \quad (1)$$

Para deflexões $D_{FWD} > 85 \times 10^{-2}$ mm

$$D_B = 8,964(D_{FWD} - 60)^{0,715} \quad (2)$$

Onde:

D_B = Deflexão obtida por Viga Benkelman;

D_{FWD} = Deflexão obtida por FWD.

2.3.2.1 Deflexão

Para o cálculo da deflexão recuperável do pavimento, faz-se necessário a medição da deformação do pavimento sob carregamento na trilha de roda externa, com aparelho viga Benkelman. A determinação das deflexões pode ser obtida por outro equipamento, desde que seja estabelecida a correlação com as deflexões recuperáveis medidas com a viga Benkelman (BRASIL, 1979).

Assim, para cada segmento homogêneo definido, calcula-se a média aritmética dos valores individuais. Após, determina-se o valor do desvio padrão da amostra, através da Equação 3:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(D_i - D)^2}{n-1}} \quad (3)$$

Onde:

σ - Desvio padrão;

D_i – Deflexão individual;

D – Média aritmética da amostra;

n – Número de valores da amostra.

Definido o desvio padrão da amostra, o cálculo da deflexão característica é feito somando a média da deflexão e o desvio padrão, conforme a equação 4:

$$D_c = D + \sigma \quad (4)$$

2.3.2.2 Deflexão admissível (D_{adm})

A avaliação estrutural do pavimento pode ser feita com base na deflexão admissível. Segundo BRASIL (1979), “para que não surjam trincas no revestimento, é necessário manter a deflexão do pavimento abaixo de um determinado valor (D_{adm}), denominado deflexão admissível.”

Os valores da deflexão admissível dependem dos materiais do revestimento e da base do pavimento, bem como do número N . Ainda de acordo com BRASIL (1979), em pavimentos flexíveis com revestimento em concreto betuminoso e base granular, o cálculo da deflexão admissível é feito de acordo com a Equação 5:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (5)$$

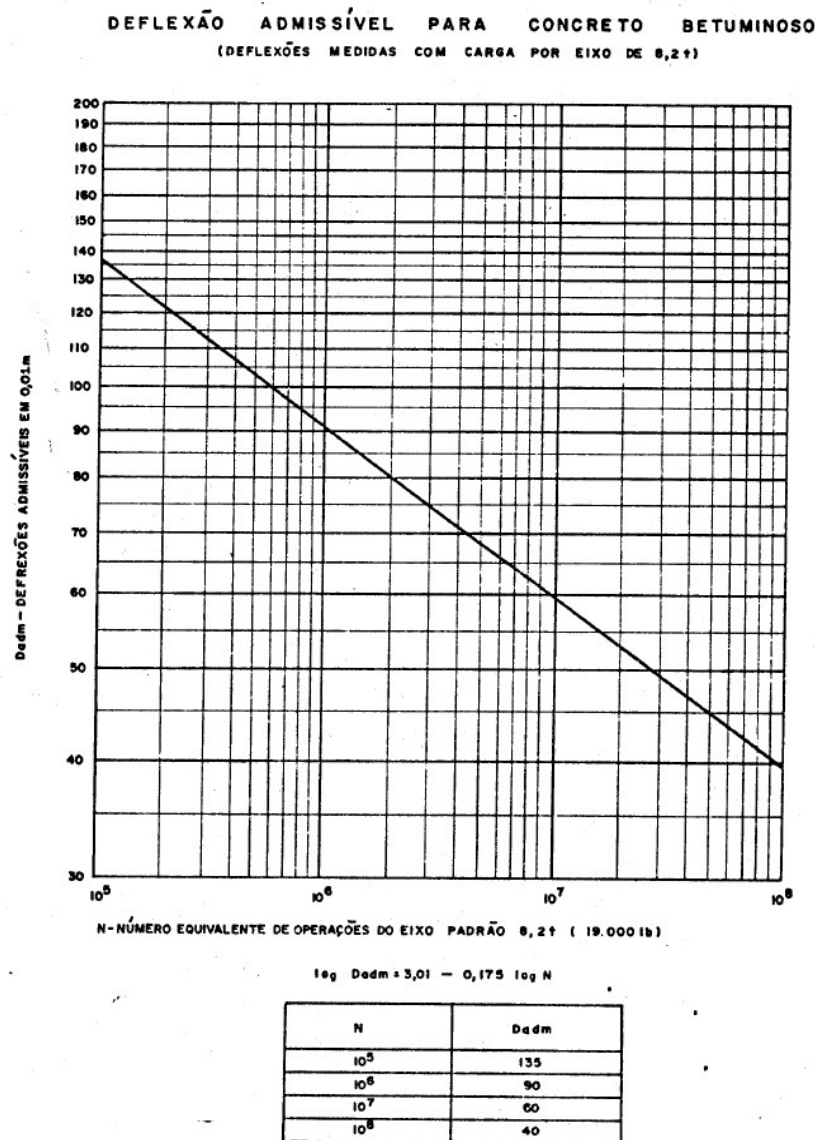
Onde:

D_{adm} – Deflexão admissível;

N – Número N de solicitações de eixo equivalentes ao eixo padrão de 8,2 t.

Esta equação pode ser representada graficamente pelo ábaco da Figura 5:

Figura 5: Ábaco Deflexão admissível para concreto betuminoso



Para pavimentos semi-rígidos, com base de solo-cimento ou base de brita tratada com cimento, deve ser adotada como deflexão admissível a metade do valor obtido pela equação 5.

O DNIT, em sua Instrução de Serviço nº 13/2013, apresenta o padrão de desempenho para aceitação de obras de restauração com revestimento asfáltico conforme a seguir:

$$D = 1,1 \times D_{adm} \quad (6)$$

2.3.3 CONDIÇÕES OPERACIONAIS

O conhecimento adequado do tráfego incidente em cada segmento de análise e de sua taxa de crescimento é um dos fatores que determinam a efetividade de um SGP. O estabelecimento de critérios de contagem e de pesagem de veículos é fundamental na formação de um banco de dados confiável, de forma a possibilitar a demanda e o crescimento do tráfego (BRASIL, 2011).

Para o dimensionamento do reforço ou a definição de outras intervenções é necessária a determinação do tráfego futuro. Em qualquer caso, o desejável é que sejam definidos os seguintes elementos relativos ao tráfego: Projeção do VMDA (Volume Médio Diário Anual), carregamento da frota e número N (BRASIL, 2006).

2.3.3.1 Volume Médio Diário do tráfego (VMD)

A avaliação dos volumes de tráfego deve ser baseada em séries históricas existentes e em contagens volumétricas classificatórias levadas a efeito no trecho em análise. Desvios de tráfego significativos devem ser levados em conta, para a definição de subtrechos homogêneos em termos de tráfego (BRASIL, 2006).

A definição de tráfego futuro terá como ponto de partida a avaliação do tráfego atual. Como forma de projeção do tráfego futuro, pode-se avaliar séries históricas existentes ou associação a dados sócio-econômicos regionais.

Deve-se levar em consideração também a grande diversidade de tipos de veículos, sendo necessário uma classificação da frota naquela rodovia, em particular no que se refere aos veículos de carga.

2.3.3.2 Carregamento da frota

Para a avaliação do efeito do tráfego sobre o pavimento é preciso conhecer as cargas de eixo com as quais os veículos de carga solicitam a estrutura. A distribuição das cargas por eixo pode ser estimada por meio de dados obtidos em posto de pesagem.

A conversão do tráfego misto em um número equivalente de operações de um eixo considerado padrão é efetuada aplicando-se os chamados Fatores de Equivalência de Cargas (FC). Estes fatores permitem converter uma aplicação de um eixo solicitado por uma determinada carga em um número de aplicações do eixo-padrão que deverá produzir um efeito equivalente (BRASIL, 2006).

Para o cálculo do Fator de Equivalência Carga (FE) ou do Fator de Veículo (FV), o DNIT utiliza o método desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Norte-americano (USACE), apresentado na Tabela 3. Os valores de “P” são determinados por pesagens de eixos em balanças fixas ou móveis.

Tabela 3: Fator de Equivalência (USACE)

TIPO DE EIXO	FAIXAS DE CARGA (t)	EQUAÇÕES (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

Outro método muito utilizado é o desenvolvido pela AASHTO, apresentado na Tabela 4:

Tabela 4: Fator de Equivalência (AASHTO)

TIPO DE EIXO	EQUAÇÕES (P em tf)
Simplex de rodagem simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simplex de rodagem dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (Rodagem dupla)	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (Rodagem dupla)	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$

2.3.3.3 Número N

O número N corresponde ao número de repetições de um eixo padrão de 8,2 t considerado equivalente ao total dos eixos veículos comerciais da frota circulante, calculado por ano.

O cálculo do número N é efetuado de acordo com a seguinte expressão:

$$N = 365 \times VMDc \times FV \times FD \quad (7)$$

Onde:

VMDc = Volume médio diário de veículos comerciais;

FV = Fator de veículo;

FD = Fator direcional. Em pista simples, FD=0,5.

2.4 DETERMINAÇÃO DAS PRIORIDADES

A determinação das prioridades de intervenção é, em última análise, o objetivo fundamental do desenvolvimento e implementação do Sistema de Gerência de Pavimentos. Por meio dela, busca-se atingir a otimização da aplicação dos recursos disponíveis (BRASIL, 2011).

A otimização fundamenta-se na intenção de maximizar os benefícios ou minimizar custos sob restrições. Considerando as necessidades da rede como um todo, são comparados os benefícios e os custos para as várias alternativas de manutenção possíveis de serem executadas, tornando possível a identificação da alternativa que terá menor custo ou maior benefício, em um determinado período de análise (HUDSON et al, 1979; SHAHIN, 1994 apud BASÍLIO, 2002).

2.5 ELABORAÇÃO DE PROGRAMA PLURIANUAL DE INVESTIMENTOS

O Programa Plurianual de Investimentos deve ter como principal subsídio o resultado da avaliação econômica empreendida e constitui o produto final mais importante de um Sistema Gerencial de Pavimentos.

2.6 DADOS NECESSÁRIOS PARA A AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

Os dados necessários à consecução de um SGP eficaz são aqueles destinados a caracterizar os pavimentos quanto aos aspectos de desempenho funcional, estrutural e operacional e à caracterização física da rodovia.

Tendo em vista o elencado nas definições acima, descrevemos a seguir as principais informações necessárias para um SGP, retiradas de BRASIL (2011):

a) Características físicas

- Tipo de pavimento;
- Dimensões da plataforma da rodovia;
- Número de faixas de tráfego;

b) Características operacionais

- Volume de tráfego (VMD);
- Velocidade limite;
- Número N;

c) Características da estrutura dos pavimentos

- Tipo e espessura do revestimento existente;
- Tipo e espessura do revestimento anterior;
- Data da construção;
- Data da última reabilitação;
- Data do último tratamento preventivo;
- Número estrutural;
- Tipo, espessura e coeficiente estrutural de cada camada do pavimento;

d) Dados de avaliações dos pavimentos

- Índice de Irregularidade Internacional (IRI);
- Deflexão (Viga Benkelman ou FWD).

2.6.1 BANCO DE DADOS

Banco de dados é a reunião dos dados coletados de forma organizada e de fácil acesso aos usuários. Uma base de dados de rodovias possibilita o conhecimento das rodovias, a capacidade de estabelecer índices gerais que caracterizam as condições médias, os elementos para análise das condições e a ajuda na decisão sobre intervenções a executar (SETRA, 1995).

Com um banco de dados alimentado, é possível, com a utilização de programas para processamento dos dados, a análise dos dados e a emissão de relatórios e/ou gráficos, como saída do sistema, auxiliando os envolvidos nas tomadas de decisões.

A qualidade dos dados levantados é de extrema importância, pois um banco de dados não confiável distorce a interpretação do comportamento e a determinação das necessidades de manutenção dos pavimentos.

Atualmente, o DNIT utiliza o programa HDM-4, um modelo computacional para análise técnico-econômica de estratégias de construção, de reforço e manutenção de estradas.

Outro sistema bastante utilizado é o VISAGE, onde oferece como saídas, a edição de mapas rodoviários, edição de esquemas itinerários e produção de valores e gráficos estatísticos. Podemos citar como exemplo o DEINFRA/SC como órgão que utiliza este sistema.

2.7 MODELO DE PREVISÃO DE DESEMPENHO

Os modelos de previsão de desempenho estimam a evolução da condição do pavimento ao longo do tempo, considerando geralmente fatores como idade, tráfego, clima e número estrutural. Os mesmos são utilizados pelos Sistemas de Gerência de Pavimentos como ferramenta de auxílio na tomada de decisões (NASCIMENTO, 2005).

Haas et al (1994) cita quatro tipos básicos de modelos de previsão para fins operacionais:

- Puramente mecânicos – são baseados em parâmetros de respostas estruturais como tensão, deformação ou deflexão.

- Empírico-Mecânicos – que utilizam respostas estruturais, mas que são relacionadas com a deterioração funcional ou estrutural através de equações de regressão.

- Empíricos ou de regressão – Modelos desenvolvidos através de análises estatísticas de séries históricas. As variáveis são relacionadas a uma ou mais variável independente, como suporte do subleito e deflexão.

- Subjetivos – Modelos em que a experiência de engenheiros é formalizada através de processos de transição.

Citamos a seguir alguns exemplos de equações de previsão elaboradas por Queiroz (1981) e Paterson (1987) para a estimativa da irregularidade longitudinal.

a) Queiroz (1981)

Queiroz (1981), baseado em dados da Pesquisa ICR (PICR), desenvolveu um modelo matemático com 5 equações para estimar a irregularidade dos pavimentos em função da idade, número N e das variáveis estruturais, deflexão com viga Benkelman ou com *Dynaflect*, conforme mostrado a seguir:

$$\text{Log}QI = 1,478 - 0,1383RH + 0,000795IDADE + 0,0224\left(\frac{\text{log}NA}{SNC}\right)^2 \quad (8)$$

$$r^2 = 0,26 \text{ e } EP = 0,13$$

$$QI = 21,8 - 7,52RH + 5,16ST + 0,515IDADE + 7,22 \times 10^{-5} (D_{VB} \times \text{log}NA)^2 \quad (9)$$

$$r^2 = 0,48 \text{ e } EP = 10,58$$

$$\text{Log}QI = 1,391 - 0,1315RH + 0,414P + 0,00751IDADE + 0,0248D_D \times \text{log}NA \quad (10)$$

$$r^2 = 0,32 \text{ e } EP = 0,13$$

$$QI = 12,63 - 5,16RH + 3,31ST + 0,393IDADE + 8,66\left(\frac{\text{log}NA}{SNC}\right) + 7,17 \times 10^{-5} (D_{VB} \times \text{log}NA)^2 \quad (11)$$

$$r^2 = 0,52 \text{ e } EP = 10,22$$

$$\text{Log}QI = 1,299 - 0,1072RH + 0,0415P + 0,0623IDADE + 0,0856\left(\frac{\text{log}NA}{SNC}\right) + 0,023(D_D \times \text{log}NA) \quad (12)$$

$$r^2 = 0,36 \text{ e } EP = 0,13$$

Para estimar o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 t necessário para o aparecimento da primeira trinca, Queiroz (1981) definiu a seguinte equação:

$$\text{Log}NA = 1,205 + 5,96\text{log}SNC \quad (13)$$

$$r^2 = 0,52 \text{ e } EP = 0,44$$

Onde:

log – logaritmo decimal;

RH – variável indicadora do estado da restauração (0 = construído, 1 = recapeado);

IDADE – idade do pavimento desde a construção ou reabilitação, em anos;

NA – Número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 t, calculado pelo método da AASHTO;

SNC – número estrutural corrigido;

QI – quociente de irregularidade, em contagens/km;

ST – variável indicadora do tipo de revestimento (0 = concreto asfáltico, 1 = tratamento superficial duplo);

D_{VB} – deflexão máxima medida com Viga Benkelman, em 0,01 mm;

P – percentagem da área do pavimento que recebeu reparos de remendo profundo;

D_D – deflexão máxima medida com Dynaflect, em 0,0254 mm.

b) Paterson (1987)

Com relação às equações obtidas por Paterson (1987), estas também foram baseadas em dados coletados no Brasil (PICR). São equações determinadas por

procedimentos estatísticos de regressão aliados a conceitos mecânicos de comportamento de pavimentos.

Com relação à irregularidade, Paterson (1987) apresenta um modelo de previsão simples e de aplicação facilitada denominado modelo agregado, dado pela seguinte equação:

$$RI = [RI_0 + 725 (1 + SNC)^{-4,99} \times YE_4] e^{0,0153 \times IDAD} \quad (14)$$

Onde:

RI – índice de irregularidade do pavimento para uma determinada idade, em m/km;

RI₀ – índice de irregularidade no início da análise, em m/km (IRI);

YE₄ – número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 ton calculado pelo método AASHTO com expoente 4, em milhões por faixa;

IDADE – idade do pavimento desde a construção ou reabilitação, em anos;

SNC – número estrutural corrigido.

2.7.1 NÚMERO ESTRUTURAL CORRIGIDO

O número estrutural é um número teórico que expressa a resistência estrutural de um pavimento necessária para dadas combinações de suporte de solo (Módulo de Resiliência - MR), tráfego total expresso em cargas equivalentes por eixo simples de 18.000 libras, serventia terminal e clima (AASHTO, 1993).

O cálculo do número estrutural (SN) é feito de acordo com a equação abaixo (AASHTO, 1993):

$$SN = \sum_{i=1}^n a_i D_i \quad (15)$$

Após pesquisa desenvolvida no Quênia pelo Transport and Road Research Laboratory (TRRL), em conjunto com o Banco Mundial, a inclusão da influência do subleito no comportamento do pavimento fez surgir o Número estrutural corrigido, adotado atualmente para os métodos de previsão de desempenho.

Pode-se citar como exemplo as equações de Queiroz (1981) e DNER (1985) equação 16, e de Paterson (1987) equação 17, mostradas a seguir:

$$SNC = \sum_{i=1}^n a_i D_i + 3,51 \log CBR - 0,85 (\log CBR)^2 - 1,43 \quad (16)$$

$$SNC = 0,0394 \sum_{i=1}^n a_i D_i + 3,51 \log CBR - 0,85 (\log CBR)^2 - 1,43 \quad (17)$$

Onde:

a_i – coeficiente de resistência da camada i do pavimento;

D_i – espessura da camada i do pavimento em cm para a Equação 16 e em mm para a Equação 17;

CBR – valor do Índice de Suporte Califórnia (ISC) do subleito.

Para o cálculo dos coeficientes de resistência, segue abaixo os procedimentos:

a) Revestimento (a_1)

Para Queiroz (1981):

$$a_1 = 0,46 (1 - e^{-0,000084MR}) \quad (18)$$

Para DNER (1985):

$$a_1 = 0,181 (1 - e^{-0,000084MR}) \quad (19)$$

Para Paterson (1987), os índices são tabelados conforme a seguir:

- Misturas asfálticas pré-misturadas a frio de baixa estabilidade: 0,20;
- Misturas asfálticas pré-misturadas a quente de alta estabilidade: 0,30 para $MR = 1.500$ Mpa; 0,40 para $MR = 2.500$ Mpa e; 0,45 para $MR \geq 4.000$ Mpa.

Onde:

MR – Módulo de resiliência determinado à 30°C, em kg/cm²

b) Base Granular (a_2)

Queiroz (1981) e Paterson (1987) apresentam a equação:

$$a_2 = (29,14CBR - 0,1977CB^2 + 0,00045CBR^3) \times 10^{-4} \quad (20)$$

Para DNER (1985):

$$a_2 = (11,47CBR - 0,07783CBR^2 + 1,772 \times 10^{-4}CBR^3) \times 10^{-4} \quad (21)$$

Onde:

CBR – Índice de Suporte Califórnia “in situ” da camada de base.

c) Sub-base granular (a_3)

Para Queiroz (1981) e Paterson (1987) a equação é a seguinte:

$$a_3 = 0,01 + 0,065 (\log CBR) \quad (22)$$

Para DNER (1985):

$$a_3 = 0,00394 + 0,02559 \log CBR \quad (23)$$

Onde:

CBR – Índice de Suporte Califórnia “in situ” da camada de sub-base.

d) Reforço do sub-leito (a_4)

Para Paterson (1987), utiliza-se a mesma equação da sub-base granular (a_3). O mesmo se repete para DNER (1985), utilizando a equação da sub-base granular.

Paterson (1987) também estima o valor do SNC através da correlação com a Deflexão máxima do pavimento, medida através da Viga Benkelman, para pavimentos flexíveis com base granular, conforme a seguir:

$$SNC = 3,2 \times D_{VB}^{0,63} \quad (24)$$

Onde:

SNC – número estrutural corrigido;

D_{VB} – Deflexão máxima do pavimento medida com Viga Benkelman, em mm.

2.8 CATÁLOGO DE SOLUÇÕES

Catálogo de soluções é uma matriz de alternativas de intervenções necessárias para determinado trecho com base nos parâmetros de tráfego e condições estruturais e funcionais do pavimento. Dessa forma, são comparados os valores medidos nos pavimentos com aqueles adotados nos limites desejáveis para cada alternativa de intervenção.

O catálogo de soluções se faz ferramenta importante para a tomada de decisões, pois tem como objetivo conceber uma sistemática gerencial de análise que utilize critérios compatíveis com os empregados em projetos rodoviários, de forma que as soluções de manutenção que venham a ser concebidas e planejadas tenham maior aderência com as indicações de projetos que efetivamente são realizadas nas rodovias federais brasileiras (BRASIL, 2015).

Para a elaboração da matriz de solução adotada pelo DNIT nas rodovias federais, os parâmetros utilizados foram: Volume médio diário comercial (VMDc) para parâmetros de tráfego; relação entre a deflexão característica (D_c) e a deflexão admissível (D_{adm}) para parâmetros estruturais; irregularidade longitudinal (IRI) e; trincamento para parâmetros funcionais.

Dessa forma, a Figura 6 apresenta o catálogo de soluções do DNIT, adotado para as rodovias federais brasileiras:

3. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

3.1 ASPECTOS AMBIENTAIS DO LOCAL

O Estado do Amazonas está situado na região Norte do país, tendo suas divisas ao norte, com o Estado de Roraima e com a Venezuela, ao sul, com os Estados do Acre, Rondônia e Mato Grosso, ao leste, com o Estado do Pará, e ao oeste, com Colômbia e Peru.

O Amazonas possui uma área de 1.559.149,074 km², sendo este o maior Estado do Brasil. Grande parte dele está ocupada por mata e água. De acordo com o IBGE (2016), a população está estimada em 4.001.667 de habitantes em 2016 divididos em 62 municípios, onde pouco mais da metade dessa população, 2.094.391 está localizada na capital, Manaus.

O acesso à região é feito principalmente por via fluvial e aérea. Apenas o inverno e o verão são bem definidos e a umidade relativa do ar fica em torno de 80%, tendo em vista que a região é cortada pela linha do equador, ao norte.

O clima da região é classificado como tropical chuvoso e úmido com temperatura máxima 31,8°C e mínima de 22°C, com temperatura média anual de 26,9°C. O forte calor, a vegetação florestal densa e a grande quantidade de rios caudalosos provocam uma intensa evaporação de água, que se acumula no ar atmosférico.

No decorrer do dia, a temperatura vai aumentando e a evaporação se intensifica, formando nuvens carregadas de umidade. O vapor de água contido nessas nuvens se eleva como consequência do aquecimento, e ao atingir maiores altitudes, resfria-se e precipita. Esse tipo de precipitação é denominado “chuva de convecção” e sua ocorrência é comum nos finais de tarde da região. Esse efeito contribui para o grande volume de precipitação ocorrido na área de estudo, que se encontra variando entre 2.400 mm e 1.800 mm anuais, podendo ultrapassar os 3.000 mm.

As características de clima e temperatura interferem diretamente na evolução da deterioração dos pavimentos, pois a água da chuva pode provocar queda da capacidade de suporte dos materiais das camadas do pavimento e do subleito.

De acordo com os dados do SNV (2016), o Amazonas possui uma malha rodoviária federal de 6.170 km, sendo que 3.803,4 km são de rodovia planejada, 1.736 km de rodovia não pavimentada e apenas 630,6 km de rodovia pavimentada, o que representa 61,6%, 28,2% e 10,2%, respectivamente.

Segundo a Pesquisa CNT (2016), foram analisadas as condições de 700 km de rodovias federais no Estado do Amazonas, no qual apenas 4% teve classificação boa do pavimento, sendo os 96% restantes com o estado de péssimas condições.

3.2 HISTÓRICO DA RODOVIA

A Rodovia BR-174/AM tem seu início na divisa com o estado do Mato Grosso e finda na divisa com o estado de Roraima, percorrendo uma extensão total de 1.139,50 quilômetros. Dessa extensão, 396 km são de rodovia planejada, 263,3 km de rodovia implantada, e 480,2 km rodovia pavimentada.

No trecho de rodovia pavimentada, pode-se dividir em três partes, sendo a primeira, coincidente com a rodovia BR-319/AM, do km 659,3 ao km 844,5. A segunda parte compreende o trecho urbano da cidade de Manaus, a cargo desta prefeitura. Por fim, a terceira parte tem seu início no km 883,8, em Manaus, no entroncamento com a AM-010 e percorre para o norte do estado até a divisa com o estado de Roraima, no km 1.139,5, estando os subtrechos objetos de análise deste trabalho inseridos nesta parte.

A rodovia BR-174/AM, entre Manaus e a divisa com o Estado de Roraima, teve a sua implantação concluída em 1977, com características técnicas de rodovia pioneira. Seu traçado corta a porção Norte do Estado do Amazonas e segue por todo o estado de Roraima no sentido Norte-Sul, tendo lá sua nomenclatura de BR-174/RR.

A rodovia BR-174/AM é o único elo terrestre de ligação entre os estados do Amazonas e Roraima. Atravessa a Terra Indígena Waimiri Atroari por 125 km, sendo 52 km dentro dos limites geográficos do estado do Amazonas e 73 km dentro dos limites geográficos do estado de Roraima.

Conscientes da importância da citada rodovia no contexto da economia regional, devido a existência de recursos minerais e vegetais diversos em sua área de

influência, assim como a perspectiva da conquista de novos mercados para os produtos fabricados no complexo industrial instalado na Zona Franca de Manaus, o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), órgão executivo responsável pelas rodovias federais à época, hoje representado pelo DNIT, concluiu em 1976 o projeto final de engenharia para a pavimentação dessa rodovia.

Em 1994 deu-se início à pavimentação deste trecho da rodovia, onde foi finalizada e liberada para o tráfego em 1996. Apenas o trecho da Reserva Waimiri Atroari, entre os km 1.092,6 ao km 1.139,5, foi inaugurado posteriormente, em 1998.

Após a pavimentação, a rodovia recebeu obras de conservação rodoviária anualmente. Em 2008, passados 10 anos de sua pavimentação, deu-se início ao projeto de restauração da rodovia. O projeto foi finalizado em agosto de 2009 e, no ano seguinte, sofreu alterações devido aos danos causados pela chuva histórica neste período.

Em 2010, após a finalização do projeto revisado, deu-se início aos serviços de restauração da rodovia, sendo esta dividida em 02 lotes. O lote 1 teve início em Manaus e fim na cidade de Presidente Figueiredo. Já o lote 02 iniciava-se na cidade de Presidente Figueiredo e findava na divisa de estado do Amazonas e Roraima. Tais serviços foram executados conforme projeto, no qual teve seu término em 2011 e 2014, respectivamente.

Atualmente a rodovia recebe serviços de manutenção e conservação rotineiros e também se encontra em levantamento de dados para elaboração de novo projeto de restauração para os próximos anos.

3.3 DEFINIÇÃO DOS TRECHOS PARA ANÁLISE

A escolha da rodovia BR-174/AM para estudo se fez, como caráter social, devido à importância da mesma para o estado do Amazonas, e, como caráter técnico, por constar de dados históricos possíveis de uma análise das condições e do comportamento do pavimento ao longo dos anos.

Como forma de avaliar a rodovia BR-174/AM em um todo, definimos a necessidade de análise de 03 trechos distintos, onde apresente condições diferentes de tráfego, estrutura e comportamentos estruturais e funcionais.

A seleção dos trechos para estudo neste trabalho teve como critério a definição de subtrechos homogêneos adotados no projeto de restauração da rodovia, onde foram analisados parâmetros definidores do comportamento funcional (avaliações subjetivas e objetivas) e de capacidade de carga (deflexões recuperáveis), além daqueles que definem as características da estrutura do pavimento e de tráfego.

Outro critério utilizado foi a determinação de trechos com extensão entre 5 e 10 quilômetros. Porém, como os subtrechos homogêneos apresentados no projeto variavam entre 300 e 3060 metros, procurou-se criar trechos que contemplem subtrechos com mesmas características.

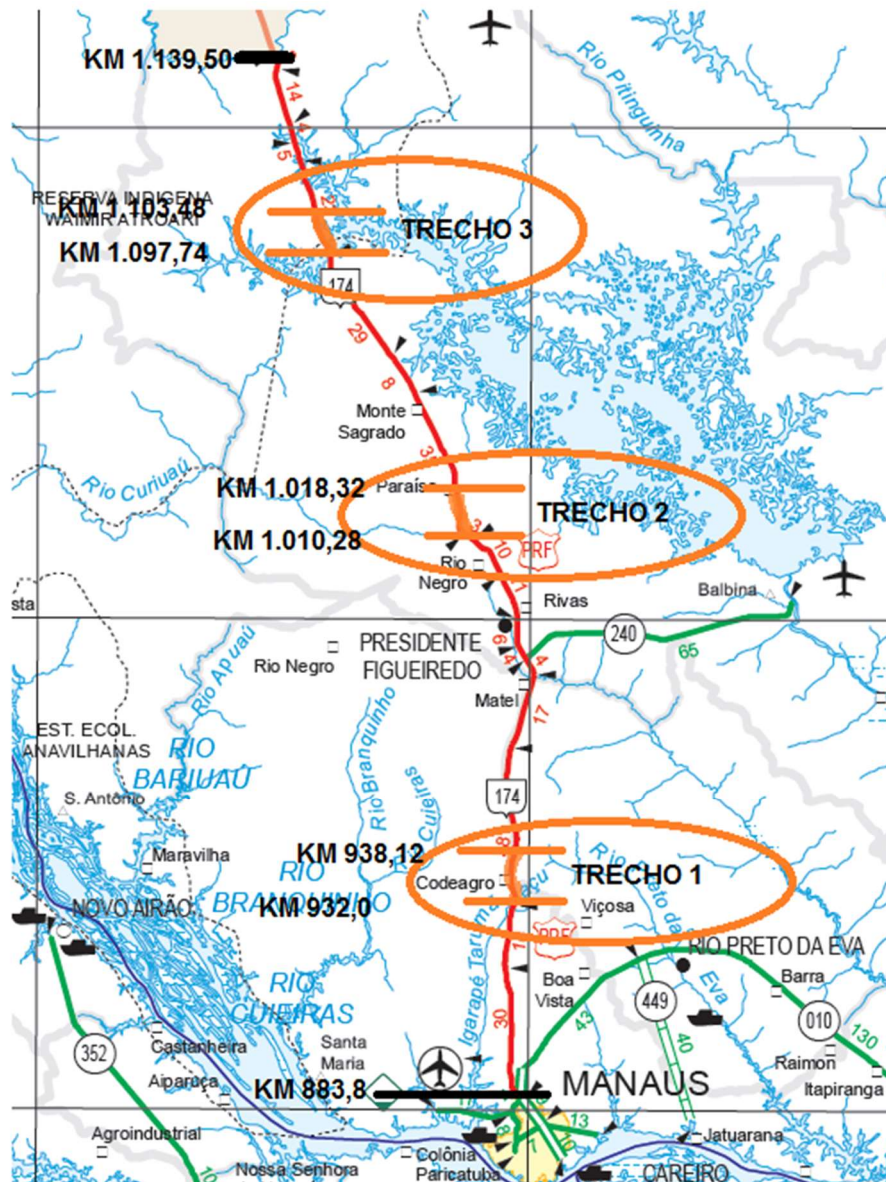
Dessa forma, adotamos os trechos a seguir para análise:

Tabela 5: Trechos adotados para análise

RODOVIA	TRECHO	KM INICIAL	KM FINAL	EXTENSÃO (km)
BR-174/AM	Trecho 1	932,00	938,12	6,12
BR-174/AM	Trecho 2	1.010,28	1.018,32	8,04
BR-174/AM	Trecho 3	1.097,74	1.103,48	5,74

A Figura 7 apresenta o mapa de localização dos trechos em estudo.

Figura 7: Mapa Localização dos trechos em estudo



3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES

Os dados utilizados para estudo foram coletados na Superintendência Regional do DNIT no Estado do Amazonas e na Unidade Local do Castanho, esta última subordinada à primeira e responsável pela circunscrição da rodovia BR-174/AM, no trecho em análise. Também foram utilizados dados do Banco de Dados do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) do DNIT e do Plano Nacional de Controle de Tráfego (PNCT).

A restauração da rodovia BR-174/AM, realizada entre 2010 e 2014, foi dividida em 02 lotes com horizontes temporais distintos. Dessa forma, existem dados de

diferentes épocas para cada lote. Ressalta-se também que, o trecho 1 selecionado neste trabalho está inserido no lote 1 do projeto de restauração, e os trechos 2 e 3 fazem parte do lote 2.

Para o trecho 1, os dados foram extraídos do projeto revisado de restauração da rodovia, no ano de 2010; do “as built” da obra de restauração, no ano de 2014; do Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT, no ano de 2015; e dados levantados em 2016 para elaboração de novo projeto de restauração.

Para os trechos 2 e 3, os dados são: do projeto de restauração da rodovia, no ano de 2009; da revisão de projeto, no ano de 2011; do as built da obra de restauração, no ano de 2014; do Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT, no ano de 2015; e dados levantados em 2016 para elaboração de novo projeto de restauração.

3.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA RODOVIA

As características físicas trazem dados da plataforma de rolamento da rodovia, como larguras de acostamento e faixas de rolamento. Os dados são apresentados na Tabela 6. A extensão total dos trechos avaliados é de 19,90 km.

Tabela 6: Características Físicas dos Trechos selecionados

TRECHO	KM INICIAL	KM FINAL	EXTENSÃO (km)	LARGURA FAIXA (m)	LARGURA ACOSTAMENTO (m)	LARGURA PLATAFORMA (m)
Trecho 1	932,00	938,12	6,12	3,50	1,00	9,00
Trecho 2	1.010,28	1.018,32	8,04	3,50	1,00	9,00
Trecho 3	1.097,74	1.103,48	5,74	3,50	1,00	9,00

3.4.2 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DA RODOVIA

A rodovia BR-174/AM tem velocidade operacional de 80 km/h.

Conforme dados levantados no projeto de restauração de 2009, para o trecho 1, a composição da frota da rodovia é de 83,3% de veículos de passeio, 4,1% de veículos coletivos e 12,6% de veículos de carga. Para os trechos 2 e 3, a composição

da frota é de 67,9% de veículos de passeio, 8,8% de veículos coletivos e 23,4% de veículos de carga.

Os dados foram coletados também do levantamento realizado em 2016, obtendo uma composição da frota da rodovia de 81% de veículos de passeio, 1,1% de veículos coletivos e 17,9% de veículos de carga. Tais dados foram coletados no trecho 1 deste estudo, porém, o levantamento considerou esta composição para toda a rodovia em estudo.

Com relação à taxa de crescimento do tráfego, devido à falta de dados econômicos históricos da região, adotou-se uma taxa de crescimento de 3% ao ano, para todos os tipos de veículos, os mesmos valores adotados nos projetos de 2009 e 2016.

O Fator de Veículo foi calculado no projeto de restauração de 2009, apresentando, para o trecho 1, um valor de 6,427 para o Método USACE e 1,800 para o Método AASHTO, e para os trechos 2 e 3, um valor de 5,124 para o Método USACE e 1,562 para o Método AASHTO. O levantamento de 2016 apresentou os valores de 14,789 para o Método USACE e 3,775 para o Método AASHTO, ambos considerados para os trechos 1, 2 e 3.

Apresentamos na Tabela 7 os dados descritos acima para melhor visualização.

Tabela 7: Dados Operacionais dos Trechos selecionados

TRECHO	COMPOSIÇÃO DA FROTA (%)						FATOR DE VEÍCULO				TAXA CRESC. (%)
	2009			2016			2009		2016		
	PAS.	COL.	CAR.	PAS.	COL.	CAR.	U.	A.	U.	A.	
Trecho 1	83,3	4,1	12,6	81	1,1	17,9	6,427	1,800	14,789	3,775	3
Trecho 2	67,9	8,8	23,4	81	1,1	17,9	5,124	1,562	14,789	3,775	3
Trecho 3	67,9	8,8	23,4	81	1,1	17,9	5,124	1,562	14,789	3,775	3

3.4.2.1 VMD

Foram coletados dados de VMD do ano de 1997, primeiro ano de operação da rodovia pavimentada. Encontrados também dados de VDM do ano de 2009, no projeto de restauração da rodovia, de 2015, no projeto de sinalização rodoviária, e de

2016, do levantamento para elaboração do projeto de restauração para o trecho 1 e do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) do DNIT para os trechos 2 e 3.

Os dados coletados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Dados de VMD

TRECHO	VELOC. OPER. (km/h)	VMD			
		1997	2009	2015	2016
Trecho 1	80	-	5.045	16.712	3.834
Trecho 2	80	350	1.030	1.725	1.787
Trecho 3	80	350	1.030	1.725	1.787

Em primeiro momento, pode-se notar diferenças consideráveis nas coletas do trecho 1, para cada levantamento. Isso se dá devido ao ponto de coleta de cada medição. Para os anos de 2009 e 2016, o ponto foi no km 894, trecho rural da rodovia. No ano de 2015, o ponto de coleta foi no km 884, ponto este localizado ainda na área urbana de Manaus, o que podemos dizer que a diferença se dá pelo tráfego local intenso.

Outro fato são as diferenças de VDM entre os trechos 1, 2 e 3. Tal fato se explica devido à grande concentração de áreas de lazer e sítios nas proximidades de Manaus, o que eleva consideravelmente o VDM no trecho 1.

Em uma análise mais criteriosa no memorial de cálculo do VDM de 2016, encontramos erros no cálculo, onde em determinado momento o valor final é multiplicado 2 vezes, elevando assim o VDM em 100%. Dessa forma, o valor correto para o VDM encontrado em 2016 é de 1.917 para o trecho 1 e 894 para os trechos 2 e 3.

3.4.3 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO

A composição da estrutura do pavimento à época da pavimentação foi dividida em sub leito, sub base, base e revestimento.

A sub base de projetocom CBR superior a 20% foi estabilizada granulometricamente com solo laterítico. A sua espessura apresentava a medida de 20 centímetros.

Na base, o material empregado também foi o solo laterítico, porém, com CBR superior à 60% e grau de compactação de 100% em relação ao proctor modificado. A espessura da camada também foi executada com 20 centímetros.

No revestimento utilizado para a pavimentação da rodovia, foi definido com base nos materiais disponíveis na região. Por ser uma região com pouca oferta de materiais pétreos à época, foram utilizados o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) apenas nos trechos 1 e 2 analisados, e a Areia Asfalto Usinado a Quente (AAUQ) no trecho 3. A espessura da camada de revestimento para ambas as soluções foi de 4 centímetros. A Tabela 9 apresenta as características da estrutura do pavimento.

Tabela 9: Características das estruturas dos pavimentos

TRECHO	ANO PAVIMENTAÇÃO	REVESTIMENTO		BASE		SUB BASE	
		TIPO	ESP. (cm)	TIPO	ESP. (cm)	TIPO	ESP. (cm)
Trecho 1	1996	CBUQ	4	Solo laterítico (CBR>60)	20	Solo laterítico (CBR>20)	20
Trecho 2	1996	CBUQ	4	Solo laterítico (CBR>60)	20	Solo laterítico (CBR>20)	20
Trecho 3	1998	AAUQ	4	Solo laterítico (CBR>60)	20	Solo laterítico (CBR>20)	20

Com a intervenção de restauração realizada entre 2010 e 2014, os trechos sofreram alteração em sua estrutura do pavimento. O projeto, com base nos dados coletados em levantamento e com a utilização do catálogo de soluções do DNIT, apresentou diferentes soluções para diferentes trechos da rodovia.

O trecho 1 em estudo recebeu serviços de reciclagem de base com brita graduada e adição de 3% de cimento, na espessura de 20 centímetros. Para o revestimento, foi apresentado a solução de duas camadas distintas, sendo a primeira com Tratamento Superficial Duplo com polímero, na espessura de 2,5 centímetros, e a camada de rolamento de CBUQ, faixa C, na espessura de 6 centímetros.

O trecho 2 teve quase as mesmas soluções do trecho 1, alterando apenas a espessura da camada do CBUQ, faixa C, na qual recebeu 5 centímetros.

Com relação ao trecho 3, escolheu-se segmentos homogêneos com melhores condições estruturais e funcionais. Dessa maneira, o trecho teve como solução apenas a fresagem da capa existente e a execução de nova capa de CBUQ, faixa C, na espessura de 4 centímetros. A Tabela 10 apresenta a estrutura após a intervenção.

Tabela 10: Estrutura atual do pavimento

TRECHO	ANO RESTAURAÇÃO	REVESTIMENTO		BASE	
		TIPO	ESPESSURA (cm)	TIPO	ESP. (cm)
Trecho 1	2011	TSDpol + CBUQ	8,5 (2,5 + 6)	Brita graduada + 3% cimento	20
Trecho 2	2014	TSDpol + CBUQ	7,5 (2,5 + 5)	Brita graduada + 3% cimento	20
Trecho 3	2014	CBUQ	4	Solo Laterítico	20

3.4.4 DADOS AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

Os dados de avaliação funcional e estrutural do pavimento coletados foram IRI e Deflexão. Por se tratar de trechos de diferentes obras, executadas em tempos diferentes, cada trecho possui dados com horizontes temporais específicos.

3.4.4.1 Irregularidade Longitudinal - IRI

Os dados encontrados de irregularidade longitudinal do pavimento foram de levantamentos de 2009, 2011, 2014 e 2015.

Para o trecho 1, os dados são de 2009, 2014 e 2015, correspondente ao projeto de restauração, 3 anos após a execução e 4 anos após a execução, respectivamente.

Nos trechos 2 e 3, os dados são de 2009, 2011, 2014 e 2015, correspondente ao projeto de restauração, à revisão de projeto, imediatamente após a execução e 1 ano após a execução, respectivamente.

Em todas as medidas, os dados foram coletados com perfilômetro a laser, o qual utiliza transdutores de medidas de distância a laser para medir as irregularidades longitudinal e transversal do pavimento à velocidades variando de 20 a 120 km/h.

Dessa forma, a Tabela 11 apresenta os dados coletados de IRI para os trechos em análise.

Tabela 11: Dados coletados de IRI

TRECHO (Extensão em km)	SEGMENTO HOMOGÊNEO	IRREGULARIDADE LONGITUDINAL - IRI			
		2009 (PROJETO)	2011 (REVISÃO PROJETO)	2014 (AS BUILT)	2015 (SGP)
Trecho 1 (6,12 km)	57B	3,8	-	1,5	1,3
	58	5,8	-	2,4	1,5
	59	6,2	-	2,4	1,5
	60	4,8	-	2,8	1,5
	61A	5	-	2,6	1,4
	61B	5	-	2,6	1,2
	62	2,9	-	2,8	1,4
Trecho 2 (8,04 km)	11	2,4	4,1	2,5	1,8
	12	3,8	5,2	4,7	2,5
	13	5	5,1	4,2	3,2
	14	4,5	4,1	2,9	2,2
Trecho 3 (5,74 km)	115	2,7	3,6	2,4	1,4
	116	3,2	3,2	2,2	1,5

Para o trecho 1, vale ressaltar que os dados do “as built” foram levantados e apresentados apenas em 2014, após 03 anos de operação da rodovia restaurada.

Analisando os valores de IRI da Tabela 11, podemos identificar uma desconformidade nos dados apresentados em 2015 pelo SGP. Tais dados apresentaram valores menores que aqueles medidos após a restauração.

Chamou a atenção também que os dados do SGP, em sua maioria, apresentam valores na faixa de 1,5 m/km. Esses valores se encaixam em rodovias com condições superficiais excelentes. Estes valores de IRI também não são coerentes com os dados da CNT (2016), quando foram analisadas as condições de 700 km de rodovias federais no Estado do Amazonas, no qual apenas 4% teve

classificação boa do pavimento, sendo os 96% restantes com o estágio de péssimas condições.

A comparação entre os valores de IRI antes e depois da restauração (“as built”) permite dizer que as obras de restauração foram eficientes na redução da irregularidade longitudinal, fato esperado ao se executar serviços desta natureza.

3.4.4.2 Deflexão

A deflexão é um dos parâmetros levantados para a avaliação estrutural do pavimento. Representa a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento.

Os dados obtidos de deflexão foram diversos, sendo coletados tanto na etapa de projeto, quanto nas etapas imediatamente após a execução da restauração e na operação da rodovia.

Para o trecho 1, os dados coletados são de 2010, 2014 e 2016, correspondentes ao projeto de restauração, 3 anos após a execução da restauração e 5 anos após a execução da restauração, respectivamente. O equipamento utilizado para as medições foi a Viga Benkelman em 2010 e o FWD em 2014 e 2016.

Nos trechos 2 e 3, os dados foram coletados de 2009, 2011, 2014 e 2016, correspondente ao projeto de restauração, à revisão de projeto, imediatamente após a execução da restauração e 2 anos após a execução. O equipamento utilizado para as medições foi a Viga Benkelman em 2009 e o FWD em 2011, 2014 e 2016.

Tendo em vista a utilização de diferentes equipamentos para avaliação da deflexão, fizemos a correlação dos valores obtidos com FWD e Viga Benkelman, conforme as equações 5 e 6. Dessa forma, os dados de deflexão são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Dados coletados de Deflexão

TRECHO	SEGMENTO HOMOGÊNEO	DEFLEXÃO VIGA BENKELMAN (10^{-2} mm)				
		2009	2010	2011	2014	2016
Trecho 1	57B	-	108	-	58	46
	58	-	119	-	58	46
	59	-	115	-	54	53
	60	-	100	-	60	56
	61A	-	106	-	58	47
	61B	-	114	-	58	52
	62	-	97	-	55	44
	Trecho 2	11	105	-	155	82
12		137	-	159	113	74
13		109	-	140	89	68
14		119	-	161	87	74
Trecho 3	115	80	-	92	70	71
	116	82	-	86	82	71

Analisando os valores de deflexão da Tabela 12, nota-se que, com a execução dos serviços de restauração em 2014, as deflexões dos trechos 1 e 2 diminuíram muito, o que não se repetiu para o trecho 3, onde a redução foi mais tímida. Este fato se justifica devido à execução da reciclagem da base, incluindo na estrutura um material semi-rígido, nos trechos 1 e 2. No trecho 3, a intervenção foi apenas no revestimento e a julgar pelos valores apresentados, os serviços de restauração não foram eficientes para reduzir as deflexões, fato esperado ao se executar serviços de restauração.

Atenta-se também à comparação dos valores de 2014 e 2016. Dos 13 segmentos homogêneos analisados, apenas um deles apresenta valores superiores para 2016. Fato não esperado, pois, o pavimento tende a se desgastar e deteriorar com a sua utilização, devendo assim apresentar aumento nos valores de deflexão com o passar do tempo.

3.5 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXISTENTES

Devido às inconsistências dos valores de VMD e conseqüentemente de Número N obtidos nos levantamentos, optou-se por realizar uma nova contagem volumétrica para os trechos em estudo, onde esses valores farão parte da análise deste trabalho e servirão de comparação para os levantamentos realizados e constantes no banco de dados do DNIT.

3.5.1 CÁLCULO DO VMD E FATOR DE VEÍCULO

As contagens volumétricas obtidas no banco de dados do DNIT, realizadas nos anos de 2009, 2015 e 2016, apresentam valores bem diferentes uma da outra. Assim, notou-se a necessidade de realizar uma nova coleta de dados, no intuito de identificar qual o tráfego atuante na rodovia.

Realizou-se uma coleta de apenas 01 dia, no horário de 06 da manhã às 06 da tarde, durante 12 horas. Após, foi verificado qual levantamento se enquadrava mais próximo aos dados coletados nesse período. Definido este levantamento, fizemos a expansão dos valores para o período de 24 horas, acrescentando a porcentagem de veículos que transitam no horário não medido.

De acordo com o projeto de restauração de 2009, o tráfego está mais concentrado no horário de 06 da manhã às 06 da tarde, representando 78% do total diário. Dessa forma, o valor coletado foi acrescido de 22%, representando assim o VMD, apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: VMD 2017

TRECHO	COMPOSIÇÃO FROTA			VMD (veículos/dia)
	PASSEIO	ÔNIBUS	CARGA	
Trecho 1	80,5%	3,6%	15,9%	3.757
Trecho 2	66,2%	6,7%	27,1%	1.357
Trecho 3	66,2%	6,7%	27,1%	1.357

Para a taxa de crescimento de tráfego e a taxa de ocupação de veículos de carga, foram utilizados os valores do projeto de restauração de 2009, correspondendo 3% ao ano e 40% veículos vazios e 60% veículos carregados, respectivamente.

Para o cálculo do Fator de Veículo (FV), utilizou-se os dados da Tabela 3 para USACE e Tabela 4 para AASHTO, juntamente com o VMD de cada trecho calculado na Tabela 13. Por consequência, os valores de FV para os trechos 1, 2 e 3 estão expressos na Tabela 14.

Tabela 14: Fator de Veículo 2017

TRECHO	TAXA DE CRESCIMENTO (%)	FATOR DE OCUPAÇÃO (%)		FATOR DE VEÍCULO	
		VAZIO	CARREGADO	USACE	AASHTO
Trecho 1	3	40	60	8,9647	2,4188
Trecho 2	3	40	60	11,1146	2,8635
Trecho 3	3	40	60	11,1146	2,8635

3.5.2 CÁLCULO DO NÚMERO N

O cálculo do número N foi realizado através de 02 métodos distintos, da AASHTO e da USACE. A equação utilizada para o cálculo foi a equação 7. Os dados utilizados para a composição da frota estão apresentados na Tabela 13 e o Fator de Veículo na Tabela 14.

Com os valores de VMD levantados neste trabalho, utilizou-se a taxa de crescimento de 3% anual e fez-se a regressão dos valores até o ano de 2010, calculando assim o Número N de cada ano e o acumulado desde 2010. Tais valores serão utilizados para análise da evolução do IRI, caso a restauração não fosse realizada.

Assim sendo, a Tabela 15 e Tabela 16 apresentam o Número N de cada ano, assim como o acumulado de 2010 até 2017, para cada trecho estudado.

Tabela 15: Número N - Trecho 1

CÁLCULO DO NÚMERO N					
TRECHO 1		Taxa de Crescimento		Fator de Veículo (USACE)	
		3%		8,965	
Taxa Ocupação (Comercial)		Fator de Pista		Fator de Veículo (AASHTO)	
21,5%		0,5		2,419	
ANO	VDM	USACE		AASHTO	
		N	Nacum.	N	Nacum.
2010	3.050	1,07E+06	1,07E+06	2,89E+05	2,89E+05
2011	3.142	1,11E+06	2,18E+06	2,98E+05	5,88E+05
2012	3.237	1,14E+06	3,32E+06	3,07E+05	8,95E+05
2013	3.335	1,17E+06	4,49E+06	3,17E+05	1,21E+06
2014	3.436	1,21E+06	5,70E+06	3,26E+05	1,54E+06
2015	3.540	1,25E+06	6,94E+06	3,36E+05	1,87E+06
2016	3.647	1,28E+06	8,23E+06	3,46E+05	2,22E+06
2017	3.757	1,32E+06	9,55E+06	3,57E+05	2,58E+06

Tabela 16: Número N - Trechos 2 e 3

CÁLCULO DO NÚMERO N					
TRECHO 2 E 3		Taxa de Crescimento		Fator de Veículo (USACE)	
		3%		11,115	
Taxa Ocupação (Comercial)		Fator de Pista		Fator de Veículo (AASHTO)	
32,2%		0,5		2,864	
ANO	VDM	USACE		AASHTO	
		N	Nacum.	N	Nacum.
2010	1100	7,18E+05	7,18E+05	1,85E+05	1,85E+05
2011	1133	7,40E+05	1,46E+06	1,91E+05	3,76E+05
2012	1167	7,62E+05	2,22E+06	1,96E+05	5,72E+05
2013	1203	7,86E+05	3,01E+06	2,02E+05	7,75E+05
2014	1240	8,10E+05	3,82E+06	2,09E+05	9,83E+05
2015	1278	8,35E+05	4,65E+06	2,15E+05	1,20E+06
2016	1317	8,60E+05	5,51E+06	2,22E+05	1,42E+06
2017	1357	8,86E+05	6,40E+06	2,28E+05	1,65E+06

3.5.3 CÁLCULO DO NÚMERO ESTRUTURAL CORRIGIDO

O cálculo do número estrutural corrigido (SNC) foi feito por 02 métodos. Um deles é o método do DNER (1985), utilizado para os projetos de restauração do DNIT. O outro é o de Paterson (1987), onde faz correlação com a deflexão máxima do pavimento, calculada com viga Benkelman. Com esses resultados, podemos fazer uma comparação dos métodos, porém, o resultado adotado neste trabalho será o do DNER (1985).

Para o cálculo do SNC pelo método DNER (1985), primeiro calculou-se os coeficientes estruturais de cada camada, e, juntamente com suas respectivas alturas, obteve-se o número estrutural (SN). Os coeficientes estruturais do revestimento, base e sub-base, foram calculados com base nas equações 19, 21 e 23, respectivamente.

Para o coeficiente estrutural do revestimento, utilizou-se o valor do Módulo de Resiliência (MR) recomendado pelo DNER (1985), de 30.000 kgf/cm². Dessa forma, aplicando a equação 19, chegou-se ao valor de $a_1 = 0,166$.

Para o coeficiente estrutural da base granular, utilizou-se o CBR de 80% para os trechos 1 e 2, e 60% para o trecho 3, conforme projeto de restauração. Assim, aplicando a equação 21, tem-se o valor de $a_2 = 0,051$ para os trechos 1 e 2, e $a_2 = 0,044$ para o trecho 3.

No cálculo do coeficiente estrutural da sub-base granular, utilizou-se o CBR de 20% conforme projeto. Aplicando a equação 23, encontrou-se o valor de $a_3 = 0,037$.

Utilizando a equação 15, encontrou-se os valores do número estrutural para cada trecho. No trecho 1, utilizou-se os coeficientes estruturais calculados acima, juntamente com as espessuras das camadas fornecidas pelo projeto de restauração. Assim, chegou-se ao valor de $SN = 3,171$. O mesmo procedimento é feito para os trechos 2 e 3, utilizando suas respectivas espessuras das camadas. Assim, chegou-se ao valor de 3,005 e 2,284, respectivamente.

De posse desses valores, aplicando finalmente a equação 16, chegou-se aos valores de SNC de 3,957, 3,791 e 3,07 para os trechos 1, 2 e 3, respectivamente.

Para o cálculo do SNC pelo Método de Paterson (1987), utilizou-se os valores da deflexão máxima do pavimento, medida com a viga Benkelman. Como os dados

disponíveis de deflexão foram obtidos através do FWD, utilizou-se as equações 5 e 6 para acharmos a correlação com a viga Benkelman. Dessa forma, obteve-se os valores de deflexões de 58, 89 e 77 para os trechos 1, 2 e 3, respectivamente.

Uma vez feita a correlação dos valores de deflexão, utilizou-se a equação 24 para obter o resultado do SNC. Assim, os valores de SNC encontrados foram 2,27, 2,97 e 2,71 respectivamente para os trechos 1, 2 e 3.

A Tabela 17 apresenta os valores obtidos para melhor visualização.

Tabela 17: Número Estrutural Corrigido (SNC)

TRECHO	a1	a2	a3	SN	SNC	SNC
					Método DNER	Método Paterson
Trecho 1	0,166	0,051	0,037	3,171	3,957	2,27
Trecho 2	0,166	0,051	0,037	3,005	3,791	2,97
Trecho 3	0,166	0,044	0,037	2,284	3,070	2,71

Foram adotados os valores de SNC do Método do DNER para as etapas seguintes deste trabalho.

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

A análise do comportamento dos pavimentos é realizada por meio de parâmetros que permitem determinar as suas condições estruturais e funcionais. O tipo, a quantidade de valores coletados e a confiabilidade das medições dos parâmetros são os principais fatores determinantes da qualidade da avaliação (SHAHIN, 1994; MARCON e CARDOSO, 1996).

3.6.1 VMD E NÚMERO N

O VDM é um dado importante para o dimensionamento do pavimento, pois é utilizado para o cálculo do Número N. Dados não confiáveis e que destoam da realidade podem acarretar subdimensionamento ou superdimensionamento do pavimento a ser restaurado. Devido às diferenças entre os VMD's coletados do banco de dados, realizou-se uma coleta de 01 dia, das 06 da manhã às 06 da tarde, para

verificar qual levantamento se aproxima da realidade da rodovia, ou seja, quais dados apresentam maior acurácia. Dessa forma, com base nos dados coletados, anotou-se os seguintes pontos:

- Para o trecho 1, a coleta realizada apresentou resultados inferiores aos dados do projeto de 2009, com uma taxa de crescimento negativa de 3,6% ao ano. Com relação aos dados de 2015, a comparação se faz inconsistente pois o ponto de coleta foi diferente, estando este localizado dentro de perímetro urbano;

- Ainda para o trecho 1, agora comparando com os dados de 2016 corrigidos, a taxa de crescimento seria de 96% em um ano;

- Para os trechos 2 e 3, a coleta realizada apresentou uma taxa de crescimento de 3,5% ao ano comparando com os dados de 2009. Com relação aos dados de 2015, apresentou taxa de crescimento negativa de 11,3% ao ano. Com relação aos dados de 2016, a taxa de crescimento seria negativa em 24% em um ano;

- As grandes diferenças encontradas na taxa de crescimento, tanto positiva quanto negativa, apresentam um grande problema no banco de dados, onde existem dados não confiáveis e que trazem graves erros na determinação das necessidades de manutenção dos pavimentos;

- Os erros na coleta de dados de VMD afetam todo o dimensionamento dos novos serviços, pois altera a composição da frota, o fator de veículo e, conseqüentemente o número N.

3.6.2 COMPORTAMENTO DO PAVIMENTO ANTES E DEPOIS DA RESTAURAÇÃO

A comparação dos parâmetros IRI e Deflexão antes e depois de uma intervenção servem para verificar a eficácia dos serviços executados, a sua qualidade e o desempenho do pavimento quanto às condições estruturais e funcionais. Dessa forma, inseriu-se em gráficos os números obtidos antes e depois da restauração de cada trecho analisado. A análise apresentada foi elaborada com base nos dados das Tabelas 11 e 12.

a) Dados de Deflexão

No tocante à Deflexão, os valores da deflexão recuperável de cada segmento homogêneo foram obtidos através da média aritmética e acrescidos do desvio padrão. Assim, os valores podem ser comparados com a deflexão admissível. Para esta última, foi traçado em cada figura uma linha de referência que denota o limite admissível para a deflexão, com base nos parâmetros da Figura 5.

Analisando o “as built” apresentado pela construtora em 2014, notou-se que a mesma utilizou os valores de deflexão levantados com o equipamento FWD, sem realizar a correlação para viga Benkelman, conforme preconizado em BRASIL (1979). Dessa forma, o critério de aceitação utilizado não se torna correto, uma vez que é necessária a correlação para a utilização das equações.

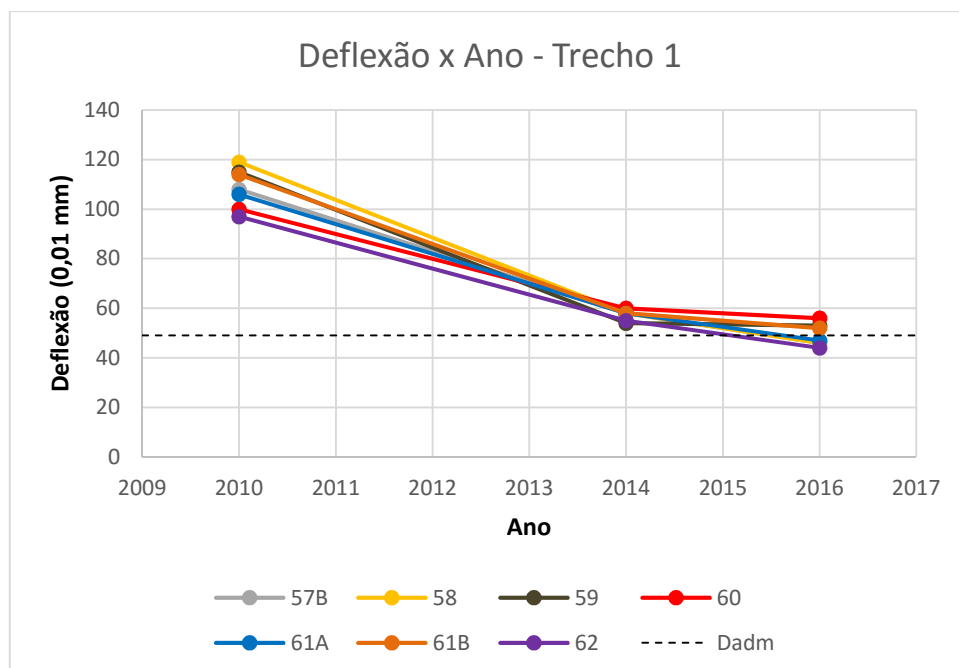
A Figura 8 apresenta o comportamento da deflexão de cada segmento homogêneo do trecho 1, antes da restauração, 3 anos e 5 anos após a restauração. Dessa forma, pode-se destacar os seguintes pontos:

- Para os levantamentos de deflexão com FWD, foram calculados seus valores correlacionados com a Viga Benkelman;
- A deflexão medida antes da restauração apresentou valores elevados, justificando a necessidade de uma intervenção;
- A intervenção executada foi uma reciclagem de 20 centímetros de base com adição de brita e cimento, e revestimento de 8,5 centímetros, sendo 2,5 de TSD e 6 de CBUQ;
- Utilizando a Equação 5, o padrão de desempenho para aceitação da deflexão é de 49 para base de brita tratada com cimento e Número N de $1,21 \times 10^6$;
- Os valores levantados e apresentados pela empresa executora dos serviços no “as built” são de 2014. Porém, a restauração foi finalizada em 2011. Essa demora de 03 anos para a realização dos levantamentos dificulta a análise da eficácia da intervenção realizada, uma vez que os dados utilizados para os critérios de aceitação deveriam ser coletados imediatamente após a execução;

- Apesar de os segmentos apresentarem uma diminuição brusca nos valores de deflexão após a intervenção, não foi suficiente para atender ao parâmetro máximo da deflexão admissível em nenhum dos segmentos homogêneos;

- Para o levantamento de 2016, os valores apresentam desconformidade com os valores apresentados de 2014, uma vez que a deflexão tende a aumentar conforme a operação da rodovia. Mesmo assim, os valores encontrados também não satisfazem a exigência da deflexão admissível;

Figura 8: Comportamento da deflexão em função do tempo - Trecho 1



A Figura 9 apresenta o comportamento da deflexão de cada segmento homogêneo do trecho 2, antes e imediatamente após a restauração, assim como valores obtidos com 2 anos de operação após a intervenção. Dessa forma, podemos destacar os seguintes pontos:

- Para os levantamentos de deflexão com FWD, foram calculados seus valores correlacionados com a Viga Benkelman;

- Os dados de 2009 são do primeiro levantamento para o projeto de restauração. Os dados medidos em 2011 da revisão do projeto, devido às fortes chuvas no período, mostram elevação dos valores de deflexão;

- A deflexão medida antes da intervenção, tanto em 2009 quanto em 2011, apresentou valores elevados, justificando a necessidade de uma intervenção;

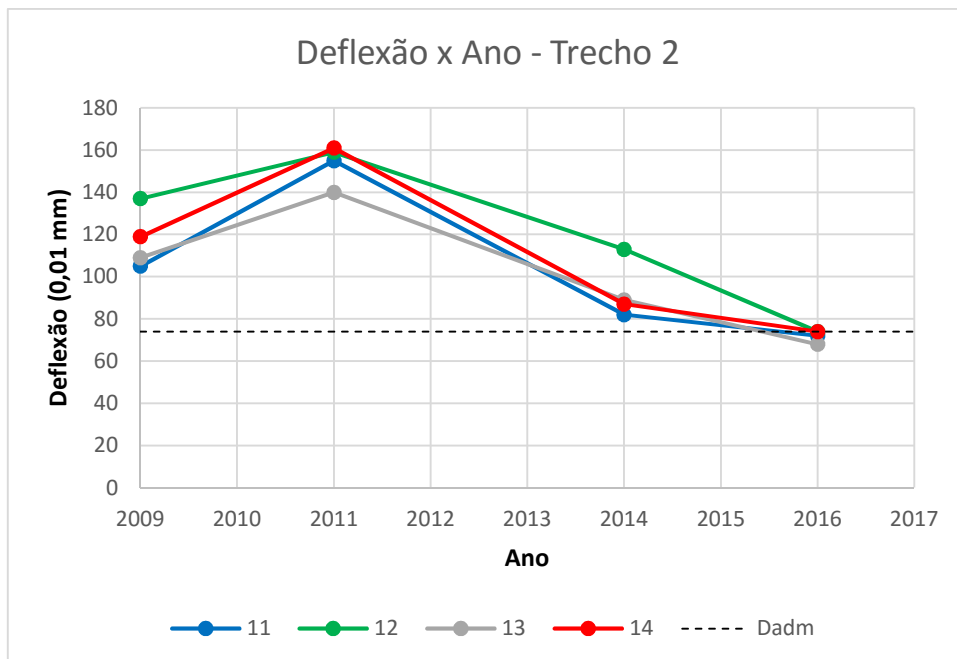
- A intervenção executada foi uma reciclagem de 20 centímetros de base com adição de brita e cimento, e revestimento de 7,5 centímetros, sendo 2,5 de TSD e 5 de CBUQ;

- Utilizando a Equação 5, o padrão de desempenho para aceitação é de 74, tendo como dados a deflexão admissível de 68 para base de brita tratada com cimento e Número N de $7,75 \times 10^5$;

- Apesar de os segmentos apresentarem uma diminuição brusca nos valores de deflexão após a intervenção, não foi suficiente para atender ao parâmetro máximo da deflexão admissível em nenhum dos segmentos homogêneos;

- Para o levantamento de 2016, os valores apresentam desconformidade com os valores apresentados de 2014, uma vez que a deflexão tende a aumentar conforme a operação da rodovia. Mesmo considerando o levantamento de 2016, o trecho não se encontra dentro dos parâmetros exigidos.

Figura 9: Comportamento da Deflexão em função do tempo - Trecho 2



A Figura 10 apresenta o comportamento da deflexão de cada segmento homogêneo do trecho 3, antes e imediatamente após a restauração, assim como

valores obtidos com 2 anos de operação após a intervenção. Dessa forma, podemos destacar os seguintes pontos:

- Para os levantamentos de deflexão com FWD, foram calculados seus valores correlacionados com a Viga Benkelman;

- Os dados de 2009 são do primeiro levantamento para o projeto de restauração. Os dados medidos em 2011 da revisão do projeto, devido às fortes chuvas no período, mostram elevação dos valores de deflexão;

- A deflexão medida antes da intervenção, tanto em 2009 quanto em 2011, apresentou valores elevados, justificando a necessidade de uma intervenção;

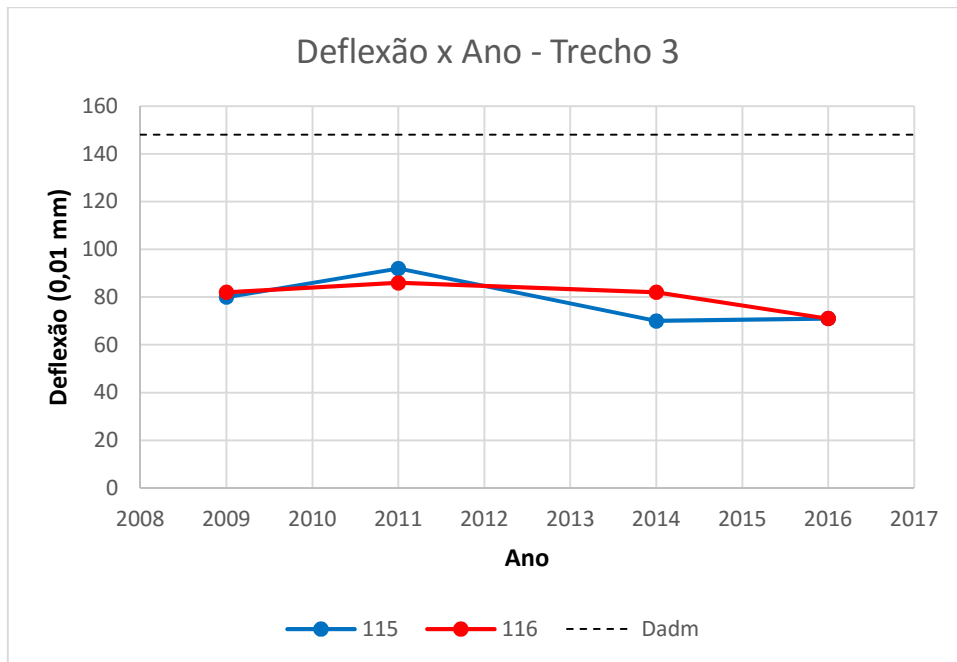
- A intervenção executada foi apenas no revestimento, onde houve uma fresagem do pavimento existente e execução de uma nova camada de 4 centímetros de CBUQ;

- Utilizando a Equação 5, o padrão de desempenho para aceitação é de 148, tendo como dados a deflexão admissível de 135 para base granular e Número N de $7,75 \times 10^5$;

- O trecho apresentou uma melhora discreta para os segmentos analisados, atendendo ao parâmetro máximo da deflexão admissível para todos os segmentos homogêneos. Ressalta-se que o trecho já apresentava condições de aceitabilidade, no que diz respeito à deflexão admissível, antes mesmo da execução dos serviços;

- Para o levantamento de 2016, os valores apresentam desconformidade com os valores apresentados de 2014, uma vez que a deflexão tende a aumentar conforme a operação da rodovia.

Figura 10: Comportamento da Deflexão em função do tempo - Trecho 3



b) Dados de Irregularidade Longitudinal

Para o parâmetro das condições funcionais, IRI, os valores para cada segmento homogêneo foram obtidos também pela média aritmética e acrescidos do desvio padrão. Uma linha de referência foi inserida em cada figura, indicando o valor máximo admitido para cada trecho estudado.

A Figura 11 apresenta o comportamento do IRI de cada segmento homogêneo do trecho 1, num horizonte temporal de 6 anos, desde o levantamento do projeto de restauração em 2009, partindo imediatamente após a intervenção em 2014 e com 01 ano de operação após os serviços. Dessa forma, tem-se os seguintes pontos a destacar:

- As coletas do IRI foram feitas por equipamento com medidores de perfil tipo Perfilômetro a Laser;

- Os dados de 2009 apresentam 5 segmentos homogêneos no conceito péssimo, 01 com conceito ruim e 01 com conceito regular, de acordo com a Tabela 1, justificando assim a necessidade de intervenção nesses locais;

- Os valores levantados e apresentados pela empresa executora dos serviços no “as built” são de 2014. Porém, a restauração foi finalizada em 2011. Essa demora

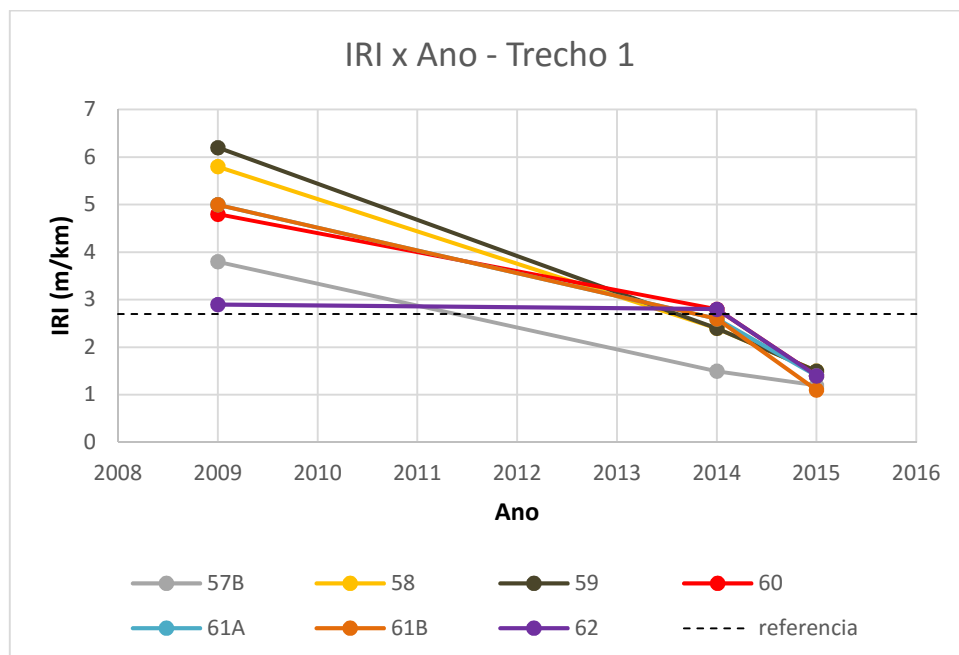
de 03 anos para a realização dos levantamentos dificulta a análise da eficácia da intervenção realizada, uma vez que os dados utilizados para os critérios de aceitação deveriam ser coletados imediatamente após a execução;

- A restauração foi finalizada em 2011 e os dados coletados em 2014, onde, dos 07 segmentos homogêneos do trecho 1, 02 segmentos não se enquadraram no padrão de aceitação, de acordo com a Tabela 2 para pavimentos restaurados com CBUQ;

- Os dados coletados em 2015 apresentaram valores inferiores aos de 2014, o que se contrapõem com a normalidade, uma vez que a irregularidade tende a aumentar com a operação da rodovia;

- As diferenças nos valores encontrados em 2014 e 2015 apresentam inconsistências dos levantamentos realizados.

Figura 11: Comportamento IRI em função do tempo - Trecho 1



A Figura 12 apresenta o comportamento do IRI de cada segmento homogêneo do trecho 2, num horizonte temporal de 6 anos, desde o levantamento do projeto de restauração em 2009, partindo imediatamente após a intervenção em 2014 e com 01 ano de operação após os serviços. Dessa forma, temos os seguintes pontos a destacar:

- As coletas do IRI foram feitas por equipamento com medidores de perfil tipo Perfilômetro a Laser;

- Os dados de 2009 apresentam 1 segmento homogêneo no conceito péssimo, 02 com conceito ruim e 01 com conceito bom, de acordo com a Tabela 1, justificando assim a necessidade de intervenção nesses locais;

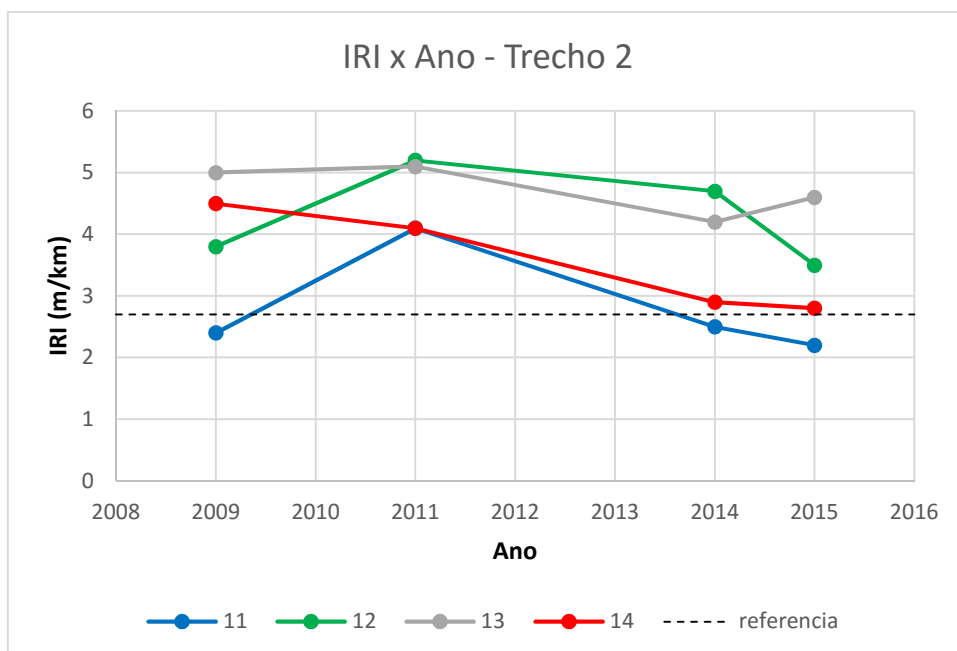
- Em 2011, ano de revisão do projeto de restauração, os dados apresentaram uma acentuada piora, passando para 02 segmentos com conceito péssimo e 02 ruins;

- A restauração foi finalizada em 2014 e, dos 04 segmentos homogêneos do trecho 2, 01 segmento não se enquadrou no padrão de aceitação, de acordo com a Tabela 2 para pavimentos restaurados com CBUQ;

- Os dados coletados em 2015 apresentaram novamente inconsistências em comparação aos de 2014, uma vez que 03 segmentos apresentaram números inferiores ao ano anterior, continuando mesmo assim com 01 segmento abaixo da linha de referência de aceitação;

- Mesmo com as inconsistências do banco de dados, em ambos os levantamentos o trecho ficou abaixo da linha de referência limite para pavimento bom em apenas 01 segmento homogêneo.

Figura 12: Comportamento IRI em função do tempo - Trecho 2



A Figura 13 apresenta o comportamento do IRI de cada segmento homogêneo do trecho 3, num horizonte temporal de 6 anos, desde o levantamento do projeto de restauração em 2009, até imediatamente após a intervenção em 2014 e com 01 ano de operação após os serviços de restauração. Dessa forma, temos os seguintes pontos a destacar:

- As coletas do IRI foram feitas por equipamento com medidores de perfil tipo Perfilômetro a Laser;

- Os dados de 2009 apresentam ambos os segmentos homogêneos no conceito regular, de acordo com a Tabela 1, justificando assim a necessidade de intervenção nesses locais;

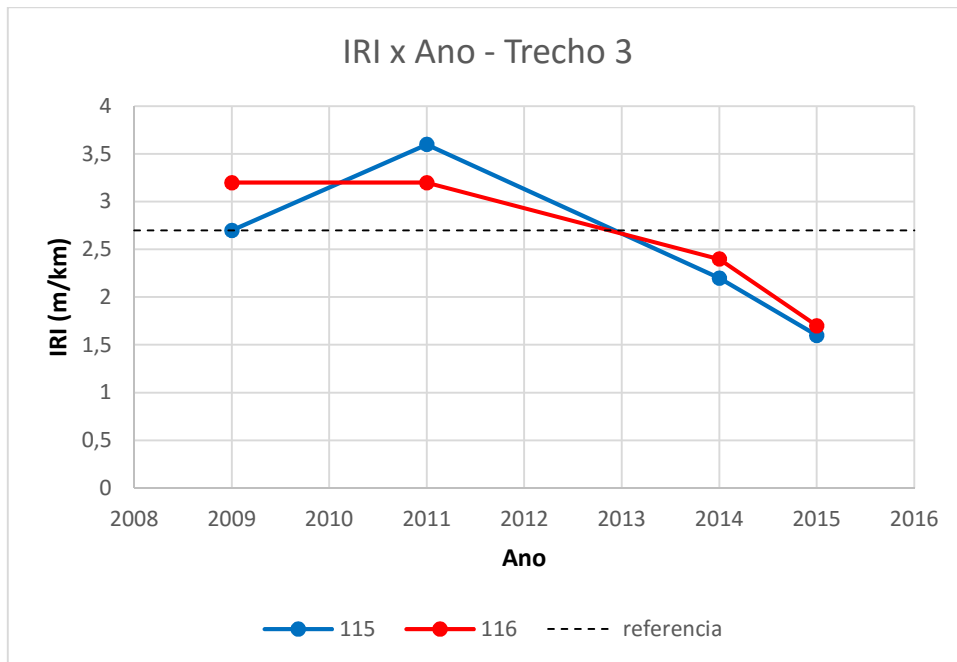
- Em 2011, ano de revisão do projeto de restauração, os dados apresentaram uma acentuada piora, passando para 01 segmento com conceito ruim e 01 regular;

- A restauração foi finalizada em 2014 e ambos os segmentos se enquadraram no padrão de aceitação, de acordo com a Tabela 2 para pavimentos restaurados com CBUQ;

- Os dados coletados em 2015 apresentaram valores inferiores aos de 2014, o que se contrapõem com a normalidade, uma vez que a irregularidade tende a aumentar com a operação da rodovia;

- As diferenças nos valores encontrados em 2014 e 2015 apresentam inconsistências dos levantamentos realizados. Porém, em ambos os levantamentos, o trecho se manteve abaixo da linha de referência de aceitação, significando que os serviços de restauração foram eficazes para melhoria da irregularidade.

Figura 13: Comportamento IRI em função do tempo - Trecho 3



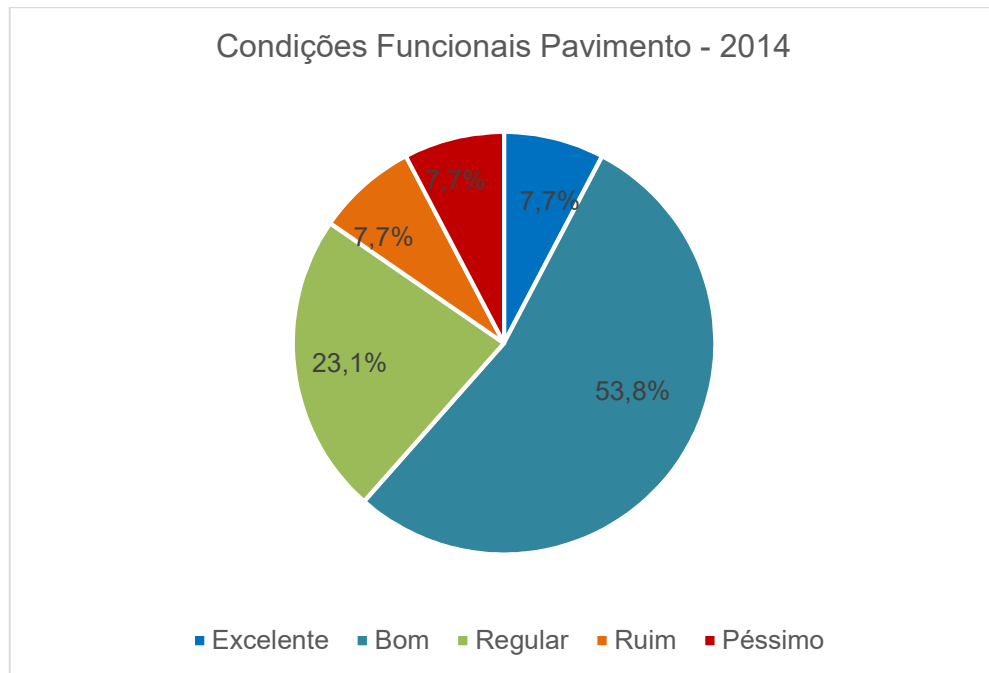
Ainda com relação ao IRI, elaborou-se a Figura 14 na qual apresenta os resultados das condições funcionais do pavimento no levantamento de 2014, após a intervenção de restauração, com os dados de todos os segmentos homogêneos dos 3 trechos analisados. Dessa forma, tem-se os seguintes pontos a destacar:

- 61,5% dos segmentos homogêneos analisados apresentaram condições boas ou excelentes após a intervenção, estando estes dentro do padrão de desempenho para aceitação de obras de restauração com revestimento asfáltico, conforme Tabela 2;

- 23,1% apresentaram condições regulares e 15,4% apresentaram condições ruins ou péssimas, totalizando 38,5% de segmentos fora do padrão de aceitação;

- Comparando os resultados dos trechos em estudo com os apresentados para as rodovias federais em 2013, na Figura 4, onde tinha-se 74,4% das rodovias em boas condições, 15,4% em condições regulares e 10,20% em condições ruins, pode-se concluir que o trecho analisado da rodovia BR-174/AM apresenta resultados abaixo da média nacional de 2013 para o conceito IRI;

Figura 14: Condições Funcionais do Pavimento - 2014



3.6.3 EVOLUÇÃO PREVISTA PARA O PAVIMENTO ATÉ 2017

Com base nos dados levantados após a intervenção, calculou-se a evolução prevista do IRI utilizando a equação 14, de Paterson (1987), até o ano de 2017, tendo como valor inicial IRI_0 o valor medido em 2014. Dessa forma, pode-se comparar os valores previstos de acordo com a evolução do IRI e os valores levantados em campo.

Os valores são apresentados em 03 figuras, uma para cada trecho estudado, onde plotou-se a variável tempo no eixo das abcissas e os valores de IRI no eixo das ordenadas. Dessa forma, conseguiu-se apresentar a linha de tendência de Evolução do IRI ao longo do tempo, que pode ser utilizada para previsão de condições futuras dos pavimentos avaliados.

A Figura 15 apresenta a evolução do IRI do trecho 1 até o ano de 2017. Apresenta também os valores medidos em 2015 pelo SGP para comparação dos resultados. Assim, destacou-se os seguintes pontos:

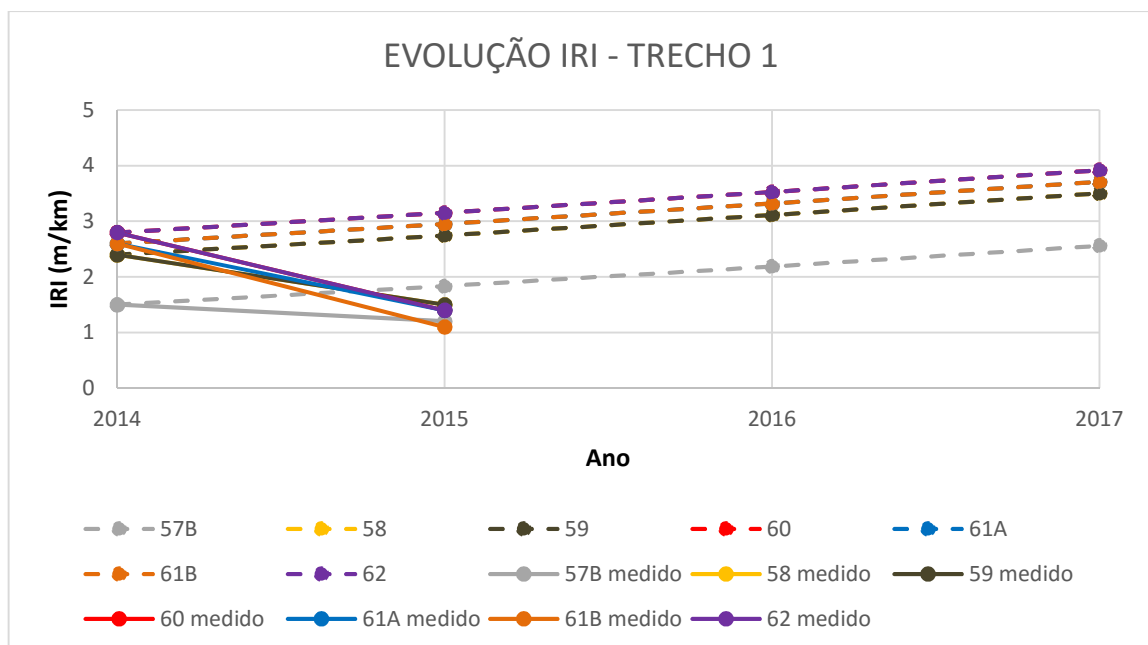
- As linhas tracejadas representam a tendência do IRI para cada segmento homogêneo. As linhas contínuas representam os dados coletados de cada segmento homogêneo;

- Apesar de a restauração do trecho 1 ter sido finalizado em 2011, os dados coletados pela empresa executora e que serviram de “as built” foram de 2014, apresentando uma demora de 03 anos. Dessa forma, consideramos o IRI₀ como 2014;

- Em 2015, os valores coletados em levantamento apresentaram resultados com direção oposta à evolução prevista para o IRI em todos os segmentos, o que pode caracterizar inconsistência nos dados coletados e os valores de IRI estão abaixo do valor médio das rodovias brasileiras;

- Excetuando-se o segmento 57B, os demais atingirão o conceito ruim para o estado do pavimento já em 2017, 3 anos após as intervenções executadas.

Figura 15: Evolução IRI - Trecho 1



A Figura 16 apresenta a evolução do IRI do trecho 2 até o ano de 2017. Apresenta também os valores medidos em 2015 pelo SGP para comparação dos resultados. Assim, destacamos os seguintes pontos:

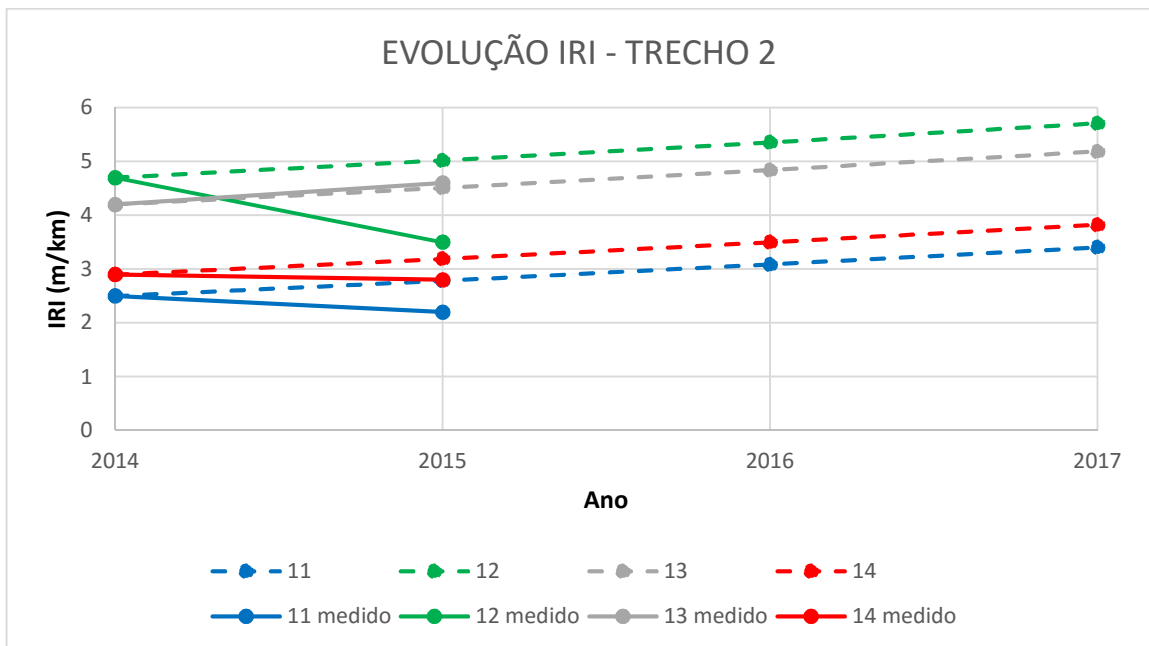
- As linhas tracejadas representam a tendência do IRI para cada segmento homogêneo. As linhas contínuas representam os dados coletados de cada segmento homogêneo;

- Em 2015, 01 ano de operação da rodovia após a conclusão da restauração, os valores coletados em levantamento apresentaram resultados com direção oposta

à evolução prevista para o IRI em todos os segmentos, o que pode caracterizar inconsistência nos dados coletados;

- Em 2017, 03 anos após as intervenções, todos os segmentos atingirão o conceito ruim para o estado do pavimento, tendo ainda 02 segmentos com conceito péssimo.

Figura 16: Evolução IRI - Trecho 2



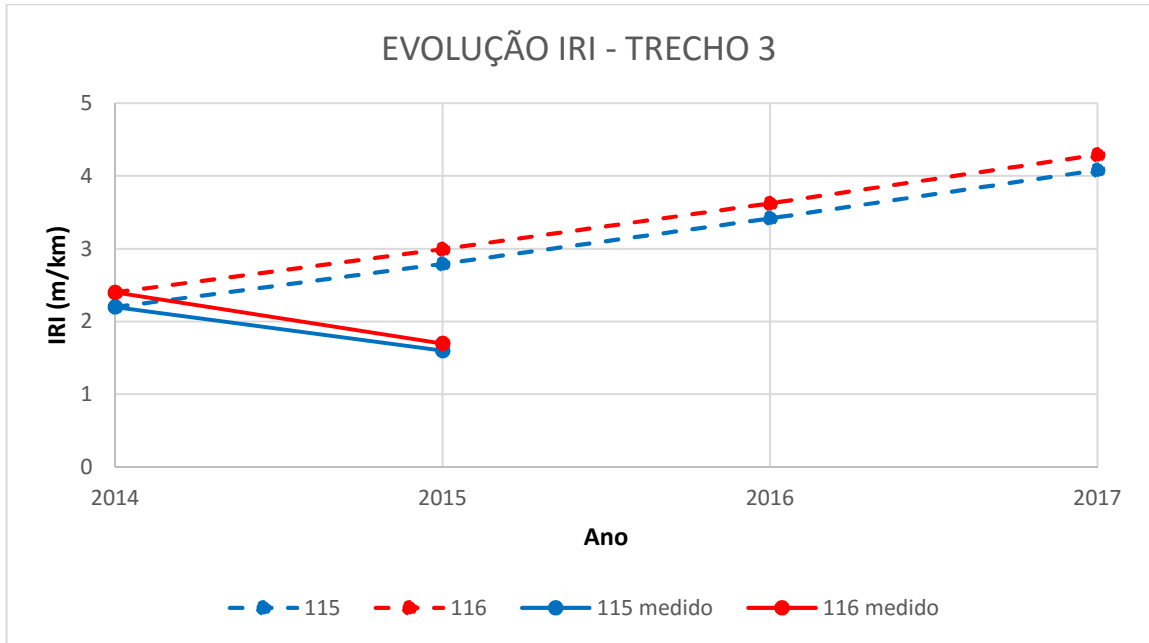
A Figura 17 apresenta a evolução do IRI do trecho 3 até o ano de 2017. Apresenta também os valores medidos em 2015 pelo SGP para comparação dos resultados. Assim, destacou-se os seguintes pontos:

- As linhas tracejadas representam a tendência do IRI para cada segmento homogêneo. As linhas contínuas representam os dados coletados de cada segmento homogêneo;

- Em 2015, 01 ano de operação da rodovia após a conclusão da restauração, os valores coletados em levantamento apresentaram resultados com direção oposta à evolução prevista para o IRI em todos os segmentos, o que pode caracterizar inconsistência nos dados coletados;

- Em 2017, 03 anos após as intervenções, todos os segmentos atingirão o conceito ruim para o estado do pavimento.

Figura 17: Evolução IRI - Trecho 3



4. CONCLUSÕES

Com base nos dados coletados e nas análises realizadas neste trabalho, as principais conclusões foram:

- A importância da avaliação periódica de pavimentos para a verificação das condições das rodovias e para a tomada de decisões;

- Os trechos analisados da rodovia BR-174/AM apresentaram resultados elevados de Deflexão e IRI em 2009, o que justificava a necessidade de uma intervenção de restauração;

- O “as built” apresentado pela construtora, em 2014, traz inconsistências quanto ao cálculo da deflexão recuperável. Os dados de deflexão utilizados foram aqueles coletados com equipamento FWD, sem realizar a necessária correlação para viga Benkelman;

- Após feita a correlação, os dados da deflexão não alcançaram os valores da deflexão admissível para os trechos 1 e 2;

- Com relação ao IRI, os trechos 1 e 3 atingiram os valores de aceitação. Para o trecho 2, os valores não foram satisfatórios, contendo ainda segmentos com condições péssimas;

- Os gráficos elaborados para a evolução prevista do IRI nos trechos estudados mostraram inconsistências nos dados de IRI coletados do banco de dados do DNIT. Tais inconsistências afetam a validade e a confiabilidade dos dados, que podem trazer erros no dimensionamento dos serviços de manutenção e restauração do pavimento;

- A evolução do IRI prevista também apresentou que os trechos em análise atingirão condições ruins, em 85% dos segmentos homogêneos, no ano de 2017, apenas 3 anos após as intervenções de restauração;

- Com relação aos dados operacionais (volumes de tráfego), também identificou-se inconsistências nos levantamentos presentes no banco de dados. Os dados de VMD devem ser confiáveis e precisos, uma vez que são variáveis importantes para o cálculo do Número N;

- A contagem de tráfego é uma tarefa crucial e precisa ser realizada, acompanhada e fiscalizada, de forma a identificar o comportamento do tráfego nas rodovias federais. Daí a importância do Plano Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT, retomado pelo DNIT em 2014, servindo de subsídio para estudos de planejamento em geral, estudos econômicos e projetos rodoviários;

- A utilização de dados não confiáveis impossibilita o conhecimento das condições da rodovia e compromete a elaboração de planos de manutenção e reabilitação da rodovia. Assim, a verificação dos dados arquivados e sua validação se tornam tarefas cruciais para um bom e eficiente gerenciamento de pavimentos;

- A avaliação dos dados operacionais, funcionais e estruturais da rodovia BR-174/AM realizadas neste trabalho puderam trazer à tona uma deficiência na qualidade/validação dos dados existentes no banco de dados do DNIT, que afeta gravemente a elaboração de projetos e tomadas de decisão pelos administradores e, conseqüentemente, a correta aplicação e distribuição de recursos públicos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AASHTO. “**Guide for Design of Pavement Structures**”. American Association of the State Highway and transportation Officials, Washington DC, 1993.

BASÍLIO, Rafael. **Análise do comportamento de pavimentos de Rodovias Estaduais de Goiás**, Dissertação de Mestrado – UFSC, Florianópolis-SC, 187 p., 2002.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros, 3ª reimpressão**. Petrobras/Abeda, Rio de Janeiro-RJ, 504 p., 2010.

BORGES, C.B.S. Estudo Comparativo entre medidas de Deflexão com a Viga Benkelman e FWD em Pavimentos da Malha Rodoviária de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado – UFSC, Florianópolis-SC, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis, DNER-PRO 011/79**, Rio de Janeiro-RJ, 16 p., 1979.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Conservação Rodoviária, 2ª edição**, Rio de Janeiro-RJ, 564 p., 2005.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, 2ª edição**, Rio de Janeiro-RJ, 314 p., 2006.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Estudos de Tráfego**, Rio de Janeiro-RJ, 384 p., 2006.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Gerência de Pavimentos**, Rio de Janeiro-RJ, 189 p., 2011.

_____. Ministério dos Transportes. **Plano Nacional de Logística e Transportes: Relatório final**, Brasília-DF, 260 p., 2012.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais**, 26 p., 2013.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Relatório Técnico – Catálogo de soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis, Revisão 3**, 41 p., 2015.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2016: relatório gerencial, 20ª edição**, Brasília-DF, 402 p., 2016.

CUNHA, Carlos Roberto. **Determinação de Modelo de Deterioração dos Pavimentos para a malha rodoviária Estadual do Ceará**, Dissertação de Mestrado – UFCE, Fortaleza-CE, 194 p., 2008.

IBGE. **Estimativas de população para 1º de Julho de 2016**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_tcu.shtml>. Acesso em: 17 de Setembro de 2017.

LISTER, N. W. **Pavement Evaluation and Structural Strengthening: The TRRL Method**, In **Proceedings of International Symposium on Pavement Evaluation and Overlay**, Rio de Janeiro-RJ, 1979.

FABRICIO, J. M., Duarte, J. C., Silva, P. D. E. A. **Correlação entre deflexões características em pavimentos flexíveis medidos com a Viga Benkelman e com o FWD – Falling Weight Deflectometer**. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Salvador-BA, 1996.

MARCON, Antônio Fortunato. **Contribuição ao Desempenho de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**, Tese de D.Sc., ITA, São José dos Campos-SP, 1996.

MEDINA, J. et al. **Utilização de Ensaio Defletométricos e de Laboratório para a Avaliação Estrutural de Pavimentos**, In **Anais da 28ª Reunião Anual de Pavimentação**, Belo Horizonte-MG, 1994.

NASCIMENTO, Deise Menezes. **Análise Comparativa de modelos de Previsão de Desempenho de Pavimentos flexíveis**, Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos-SP, 154 p., 2005.

SETRA. VISAGE – Système d’Aide à la Gestion Routière – **Manuel de Référence – Version 1.2**, Service d’Etudes Techniques de Routes et Autoroute, France, 16 p., 1995.

WITCZAK, M. W. **Uses and Misuses of pavement Deflection Data**, Conference Presented at Second International Symposium on Pavement Evaluation and Overlay Design, Rio de Janeiro-RJ, 53 p., 1989.

WOODSTROM, J. H. **Measurements, Specifications and Achievement of Smoothness for Pavement Construction**, National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice 167, Transportation Research Board, Washington – DC, 34 p., 1990.