



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOSÉ WILTON RIBEIRO ARAÚJO FILHO**

**O ESTADO DA ARTE SOBRE APLICAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS NO  
GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS**

**FORTALEZA**

**2021**

JOSÉ WILTON RIBEIRO ARAÚJO FILHO

O ESTADO DA ARTE SOBRE APLICAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS NO  
GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil  
do Centro Universitário Christus, como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Lucas Cavalcante de  
Almeida.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Centro Universitário Christus - Unichristus  
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do  
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A658e Araújo Filho, José Wilton Ribeiro.  
O estado da arte sobre aplicação de novas tecnologias no  
gerenciamento de pavimentos / José Wilton Ribeiro Araújo Filho. -  
2021.  
60 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro  
Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,  
Fortaleza, 2021.  
Orientação: Prof. Me. Lucas Cavalcante de Almeida..

1. Pavimentação. 2. Gerenciamento. 3. Tecnologia. I. Título.

CDD 624

JOSÉ WILTON RIBEIRO ARAÚJO FILHO

O ESTADO DA ARTE SOBRE APLICAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS NO  
GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil  
do Centro Universitário Christus, como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Lucas Cavalcante de  
Almeida.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Lucas Cavalcante de Almeida  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Profa. Me Leila Maria Coelho de Carvalho  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Profa. Dra Elayne Valério Carvalho  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu Pai do céu, por ter me guiado nessa jornada e proporcionado a realização desse sonho.

Aos meus pais, Wilton e Josilene, que tornaram essa vitória possível, com todo apoio e incentivo que serviram de base para o meu percurso acadêmico

À minha irmã, Vanessa Bezerra, pela amizade, atenção e ajuda quando precisei, e por ser um grande exemplo para mim.

À minha família, que sempre me incentivou e foi compreensiva quando minha ausência era necessária por conta dos estudos.

A minha namorada, Rebeca Félix, pela essencial ajuda, por estar sempre ao meu lado e por todo apoio e incentivo que foi me dado durante essa trajetória.

Aos meus amigos, em especial Isaque Samuel, Pedro Ícaro, Aristeu Nogueira e entre outros que se fizeram presentes em tantos momentos importantes.

Ao Centro Universitário Christus, por proporcionar a estrutura necessária para a realização deste trabalho, bem como os professores e coordenadores, em especial Rafaela Fujita, Marisa Leitão, Dimitry Pessoa, Adriano Oliveira, Willington Gondim, Cesar Bündchen, Alessandra Honório, Erivano Passos, Itamar Frota e Paula Nobre, pelos ensinamentos e oportunidades fornecidas durante a minha formação.

Aos professores Leila Maria e Elayne Valério, por toda atenção e correção realizada no meu projeto.

Por fim, um agradecimento especial ao meu orientador, Lucas Cavalcante, por ser um exemplo de profissional e por aceitar conduzir a minha pesquisa, além da paciência e dedicação ao meu projeto.

## RESUMO

O Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) foi criado e desenvolvido nos Estados Unidos da América em meados dos anos 70, com a intenção e a carência de melhorar a preservação das rodovias. O SGP é um processo que engloba todas as atividades que tem como função fornecer e manter os pavimentos em um nível adequado de serventia e ser funcional. O objetivo deste trabalho foi realizar um levantamento sistemático das novas tecnologias na avaliação estrutural e funcional dos pavimentos rodoviários. Todo procedimento metodológico utilizado nesse trabalho foi realizado por meio do *software* StArt, no qual para se obter uma base de dados relevantes precisou determinar as questões da pesquisa, em seguida foi definido as palavras-chaves que seriam consideradas relevantes, e assim o programa fez uma seleção dos artigos que eram pertinentes ao trabalho. Dentre os artigos selecionados, três deles abordaram tecnologias utilizando imagens para fazer a captura dos defeitos da via, um utilizou aplicativo de celular acoplado a um veículo e dois operaram veículos portadores de perfilômetros e deflectômetros. Constatou-se que, tecnologias existentes podem ser úteis tanto para ganhar eficiência quanto para aumentar a acurácia no gerenciamento de pavimento.

**Palavras-chaves:** Pavimentação. Gerenciamento. Tecnologia.

## **ABSTRACT**

The Pavement Management System (PMS) was created and developed in the United States of America in the mid-1970s with the intention and need to improve the preservation of highways. The PMS is a process that encompasses all the activities that have the function of providing and maintaining sidewalks at an adequate level of serviceability and being functional. The objective of this work was to perform a systematic survey of new technologies in the structural and functional evaluation of road sidewalks. All the methodological procedure used in this work was carried out using the StArt software, in which in order to obtain a relevant database it was necessary to determine the research questions, then it was defined the keywords that would be considered relevant, and so the program made a selection of the articles that were pertinent to the work. Among the selected articles, three of them addressed technologies using images to capture the defects of the road, one used a cell phone application coupled to a vehicle, and two operated vehicles with profilometers and deflectometers. It was found that existing technologies can be useful both to gain efficiency and to increase the accuracy of sidewalk management.

**Key words:** Paving. Management. Technology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Medição de irregularidades por perfilômetros .....	20
Figura 2 - Medição do coeficiente de atiro pelo <i>Mu-meter</i> .....	21
Figura 3 - Execução de poços de sondagem. ....	22
Figura 4 - Aplicação do ensaio de viga <i>Benkelman</i> .....	23
Figura 5 - Equipamento da Dynatest para execução do FWD. ....	24
Figura 6 - Esquema de funcionamento do FWD. ....	25
Figura 7 - Anotação dos defeitos pelo tablet .....	29
Figura 8 - Veículo para levantamento do ICM. ....	29
Figura 9 - Exemplo de ficha técnica para o LVC. ....	30
Figura 10 - Valores de gastos em manutenção nas rodovias federais por km na rede pavimentada e.....	34
Figura 11: Interface do <i>software</i> StArt.....	36
Figura 12: Fluxograma das etapas seguidas no trabalho.....	37
Figura 13: Países de publicação dos artigos.....	44
Figura 14: Etapas para detecção de trincas.....	46
Figura 15: Princípios gerais e básicos de uma CNN .....	46
Figura 16: Mapa de feições convolucionais da primeira camada obtida de modelo CNN .....	47
Figura 17: <i>Smartphone</i> utilizado para o levantamento. ....	48
Figura 18: Configuração do aplicativo utilizado no trabalho. ....	48
Figura 19: Equipamento <i>Laser Crack Measurement System</i> . ....	50
Figura 20: Imagens de buracos na câmera térmica. ....	51



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - O Sistema de Gerenciamento de Pavimentos .....	15
Quadro 2 - Requisitos para caracterização dos defeitos.....	17
Quadro 3 - Índices que classificam a condição do pavimento.....	31
Quadro 4 - Parâmetros para descrever os defeitos.....	31
Quadro 5 - Defeitos de pavimento asfáltico e forma de medição para o método do PCI .....	32
Quadro 6: Visão geral do modelo.....	45
Quadro 7: Níveis de decisão para o gerenciamento de pavimento .....	53
Quadro 8: Alguns tipos de métodos e equipamentos utilizados pelo DNIT.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condição do pavimento em função do IGG .....	27
Tabela 2 - Valores dos gastos em manutenção para rodovias federais (em milhões). .....	32
Tabela 4: Porcentagem de artigos duplicados, rejeitados e aceitos, por base.....	41
Tabela 3: Quantidade de artigos duplicados, rejeitados e aceitos, por base.....	41
Tabela 5: Detalhamento da busca de trabalhos .....	43
Tabela 6: Descrição obtida pelo SmartIRI dos trechos, IRI médio e condição estrutural. ....	49
Tabela 7: Considerações do ensaio. ....	50

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1. <b>Justificativa</b> .....	13
1.2. <b>Objetivos</b> .....	13
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i> .....	13
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
2.1. <b>Sistema de Gerenciamento de Pavimento (SGP)</b> .....	14
2.2. <b>Avaliação dos pavimentos rodoviários</b> .....	16
2.2.1. <i>Serventia e desempenho do pavimento</i> .....	17
2.3. <b>Avaliação funcional do pavimento</b> .....	18
2.4. <b>Avaliação estrutural do pavimento</b> .....	21
2.4.1. <i>Equipamento Falling Weight Deflectometer (FWD)</i> .....	23
2.5. <b>Avaliação do pavimento utilizando o IGG - Índice de Gravidade Global</b> .....	27
2.6. <b>Índice de Condição da Manutenção (ICM)</b> .....	28
2.7. <b>Levantamento visual contínuo (LVC)</b> .....	29
2.8. <b>Método de avaliação <i>Pavement Condition Index</i> (PCI)</b> .....	31
2.9. <b>Custos no gerenciamento de pavimentos rodoviários.</b> .....	32
<b>3. MÉTODOS DE PESQUISA</b> .....	<b>36</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>40</b>
4.1. <b>Resultados da primeira fase de busca no <i>software</i></b> .....	40
4.2. <b>Resultados da segunda fase de seleção</b> .....	42
4.3. <b>Estruturação do banco de dados</b> .....	43
4.4. <b>Artigos extraídos</b> .....	45
4.5. <b>Gerenciamento realizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)</b> .....	53
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A manutenção de pavimentos no Brasil é um aspecto essencial para o avanço socioeconômico do país, pois uma boa infraestrutura possibilita o transporte de cargas e pessoas em toda a extensão do território nacional. Dada a sua relevância, é fundamental manter o pavimento em bom estado de conservação, seja ele estrutural ou funcional. Por isso deve ser realizado o monitoramento frequente da condição em que se encontra.

Deste modo, o objetivo da pavimentação de uma rodovia é tornar capaz o trânsito de veículos, de forma segura e confortável, por meio da elaboração de uma estrutura durável e economicamente viável, seja qual for a condição climática. Após a sua construção, o pavimento fica disponível para o tráfego, e a partir deste momento a sua superfície começa a degradar por conta dos esforços da movimentação de veículos, do intemperismo, dentre outros (NÓBREGA. 2003).

O fator elementar percebido pelo usuário durante uma viagem a bordo de um veículo é a qualidade de rolamento, estando relacionada à sua experiência ao longo do passeio, sendo motivada por diversos fatores, dentre eles a má condição de iluminação, ruídos no carro, alinhamento da rodovia, suavidade da pista, etc. Os níveis de aceitabilidade de vibrações nas estradas estabelecido pelos padrões internacionais de qualidade de rolamento dependem de variados critérios, como a variação de temperatura, o tempo decorrido de uma viagem, atividades dos passageiros, entre outros (NITSCHE *et al.*, 2014).

Em 1960 foi listado por Carey e Irick a irregularidade longitudinal de pavimentos, destacando-se como o defeito substancial relacionado à avaliação funcional de pavimentos, fundamentado no conceito de serventia desempenho, inventado e elaborado pelos autores através dos resultados dos experimentos da Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte (AASHO Road Test). Nos variados conceitos encontrados na literatura, a irregularidade longitudinal é a causa de vários problemas, destacando o desconforto facilmente percebido pelos usuários durante o passeio.

As irregularidades longitudinais da superfície do pavimento exercem influência direta sobre a qualidade de rolamento, o que altera as condições de tráfego, segurança e conforto dos usuários da via, influenciando nos indicadores para definição da qualidade funcional de uma rodovia, isso confirma os resultados

encontrados em um estudo sueco no qual foi possível perceber que os acidentes aumentavam de acordo com que a irregularidade longitudinal dos trechos analisados crescia, além de alterar de forma negativa o conforto do usuário e segurança na condução dos veículos. Porém, o aumento no índice de irregularidade se mostrou mais influente em acidentes com apenas um veículo, em comparação aos acidentes envolvendo mais de um automóvel.

O Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP) avalia a perda da serventia e da capacidade de suporte no decorrer do tempo e a intervenção da passagem do tráfego nas várias etapas de vida de serviço de um trecho, de forma regular, no qual, definem as intervenções a partir de julgamentos das características dos vários aspectos do comportamento do pavimento avaliado. Estas perduram desde a manutenção preventiva até a reconstrução total do pavimento, quando o final da vida útil se torna incontestável pela seriedade dos defeitos encontrados na superfície.

A irregularidade longitudinal pode ter diversas origens, desde a má execução relacionada a problemas construtivos até defeitos causados pela carga dinâmica do tráfego ou oriundos de efeitos climáticos, principalmente nas deformações permanentes no subleito e no pavimento. Da mesma forma é conveniente considerar que a irregularidade longitudinal não se trata apenas de mais um problema superficial do pavimento, mas como indício do resultado da influência de diversos outros problemas que corroboram para alterações na qualidade de rolamento dos veículos, como explicado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT (2011).

Portanto, confirma-se a necessidade do acompanhamento e mensuração dos defeitos, que é medido por meio de diferentes métodos e equipamentos, quantificado principalmente pelo Índice de Irregularidade Internacional – IRI, estabelecido pelo Banco Mundial em 1986. A forma como medem a irregularidade do perfil classifica estes instrumentos de medição (SAYERS, 1990). Mesmo com a variedade de tipos, ainda não existe um que concilie precisão, alta produtividade e baixo custo.

Nos dias de hoje, os administradores de estradas estão coletando dados de monitoramento de estradas de alta qualidade que são necessários para fazer modelos de prognóstico e monitorar o desempenho de uma estratégia escolhida, apoiando assim o gerenciamento de estradas de longo prazo. Os dados são coletados periodicamente, com dispositivos de medição dedicados e tais dispositivos são

complexos e seus operadores precisam ser altamente qualificados. Por consequência, na maioria dos casos, apenas as estradas principais de uma rede são monitoradas regularmente, como por exemplo as rodovias (NIETSCHE et al., 2014).

Segundo Cassaniga (2017), existem três métodos diferentes para a detecção de deformidades no pavimento, são estes: métodos que utilizam técnicas de detecção por vibração, métodos que utilizam o varrimento de lasers para reconstrução 3D, e métodos baseados em visão.

Os equipamentos dinâmicos de vibração são responsáveis por estimar a capacidade de carga de uma estrutura de pavimento e a sua vida de serviço sob determinadas condições de tráfego, O principal parâmetro para a avaliação estrutural é a obtenção da deflexão do pavimento quando uma carga é aplicada em um ponto da superfície do pavimento, com isso, todas as camadas fletem devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento. (DNER, 1998). De forma geral, a avaliação estrutural tem como objetivo avaliar a capacidade de resposta das camadas estruturais frente às solicitações das cargas oriundas do tráfego, estimando também a sua vida de serviço e é realizado com equipamentos atrelado a um veículo com velocidades constantes.

Os perfilômetros laser são focados na análise e medição de irregularidades de pavimentos rodoviários, o equipamento visa obter medidas automáticas e de alta precisão da irregularidade superficial e outros defeitos associados aos pavimentos. O perfilômetros laser obtém medidas contínuas, em velocidade de tráfego, dos perfis longitudinais e transversais, incluindo a irregularidade em tempo real (DYNATEST, 2020).

O método por visão consiste em um equipamento que utiliza linhas de projeção de câmeras de alta velocidade para executar um escaneamento do pavimento de forma contínua. São capturadas imagens do perfil transversal do revestimento e, com isso, permite avaliar seus defeitos e imperfeições. A análise dos dados e imagens coletadas pela tecnologia resultam em parâmetros de desempenho do pavimento (DYNATEST, 2020).

## **1.1. Justificativa**

Cada literatura existente neste trabalho tem como objetivo principal detalhar como são aplicados vários métodos que abrangem diferentes procedimentos de coleta de informações para uma base de dados, métodos de detecção de defeitos, sendo eles capturados com máquinas e equipamentos tecnológicos como laser e imagens de alta definição, modelos de previsão de desempenho, simulando cargas e desgastes de uma rodovia em um curto período de tempo para saber a sua resistividade a esforços gerados pelos veículos trafegados naquela rodovia, sempre descrevendo e detalhando fatores importantes para aplicação de cada método.

## **1.2. Objetivos**

### *1.2.1. Objetivo Geral*

Realizar um levantamento do estado da arte de novas tecnologias na avaliação estrutural e funcional de pavimentos rodoviários.

### *1.2.2. Objetivos Específicos*

✓ Comparar equipamento e métodos antigos com os procedimentos mais atualizados.

✓ Analisar como os órgãos utilizam esses novos métodos e equipamentos para fazer suas avaliações nos pavimentos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foi abordado sobre o sistema de gerenciamento de pavimento (SGP), onde se constitui como uma ferramenta importante para aplicar os recursos públicos, implicando em uma boa avaliação de pavimentos rodoviários, tanto flexíveis como rígidos, sendo esta avaliação estrutural ou funcional e quais os métodos de gerências mais utilizados atualmente, como eles se definem e são aplicados.

### 2.1. Sistema de Gerenciamento de Pavimento (SGP)

O SGP foi criado, desenvolvido, conceituado e implantado por meados dos anos 70, nos Estados Unidos, com a aplicação de um banco de dados digital. O estímulo essencial para criar esse sistema foi a necessidade de preservar as rodovias em um bom estado de conservação para as rodovias existentes da época (MARTINS, 2019).

Segundo DNIT (2011),

[...] A Gestão de Pavimentos constitui-se atualmente 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 garanta a melhor relação Custo x Benefício.

Para a construção de um pavimento em área urbana diversas dificuldades são encontradas, tais como: a falta de informação, escassez de dados e pesquisas técnico-científicas na área. Com isto, é inevitável que o desempenho dos pavimentos das cidades é influenciado diretamente pelos projetos de pavimentação urbana (MARTINS, 2019).

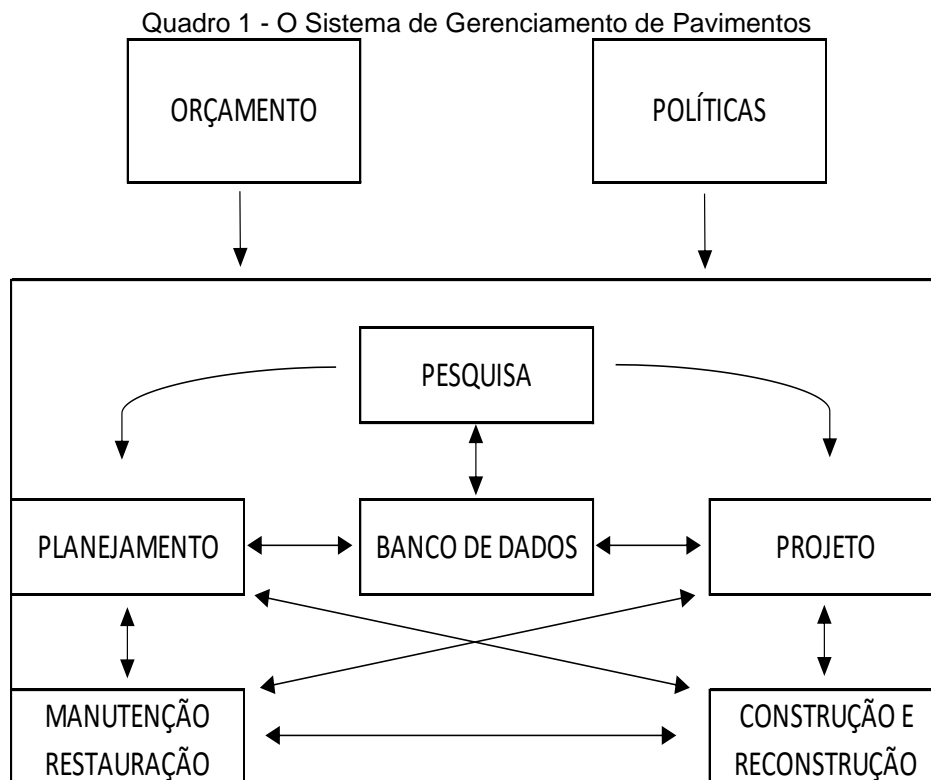
Sabe-se que quanto mais pesado é o eixo de um determinado veículo, maior será a sua capacidade de destruição do pavimento em relação a um eixo de menor peso, logo, menor será a durabilidade do pavimento e, este necessitará de manutenções com maior brevidade, conforme (BALBO 2007).

Os SGP retratam uma oportunidade de prosseguir de um esquema de manutenção tradicional, fundamentado na maioria das vezes no reparo de problemas, para um sistema de manutenção projetado, onde a atividade sobre a malha viária inclui não só a solução de seus defeitos imediatos, mas, também, uma laboração de



prevenção que prolongue sua vida útil e assegure padrões mínimos de serviço em toda a rodovia que está sendo gerenciada, (FERNANDES JUNIOR. 2001).

No Quadro 01, a seguir, ilustra adequadamente, a estrutura de um SGP, um fluxograma, onde o orçamento e as políticas usadas no SGP, serão de fundamental importância para se ter uma boa pesquisa, assim garantido um bom planejamento, um bando de dados completo, e como consequências, um projeto seguro a fim de determinar se será necessário fazer restauração ou uma reconstrução.



Fonte: DNIT, 2011.

Um SGP emprega metodologias racionais, para analisar estratégias alternativas ao decorrer de um período de observações específicas e baseado em valores previstos para características quantificáveis do pavimento. Engloba o tratamento inteiro e coordenado de todas as áreas, sendo uma sequência dinâmica que incorpora a realimentação de vários critérios, atributos, e restrições envolvidos no processo de aperfeiçoamento.

De acordo com o DNIT 2011, o SGP tem como obrigatoriedade, utilizar o sistema HDM-4 *Highway Development and Management*, para elaboração de um estudo econômico de uma ou mais rodovias, esse é um sistema de uso frequente pelo DNIT e demais órgãos rodoviários do País, e que é aprovado por entidades

internacionais como o BIRD (Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento) e o BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento).

Apesar das participações do Brasil nos estudos de desenvolvimento das primeiras versões do HDM em meados dos anos 70 (HDM-I e HDM-II), a implantação de um SGP no DNER (atualmente DNIT) só se deu por volta do ano de 1982, quando a diretoria do órgão, por uma atitude inicial do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), originou a Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos – CPGP (VISCONTI, 2000).

A princípio a CPGP empregou o chamado Índice de Suficiência para privilegiar projetos de restauração de pavimentos. Este índice considerava informações que repercutiam as condições de conservação e de utilização da rodovia, sendo aprovado na época pelo Banco Mundial, não levando em considerações fatores de ordem econômica (VISCONTI, 2000).

## **2.2. Avaliação dos pavimentos rodoviários**

As avaliações de pavimentos se fundamentam em determinar o nível de degradação da rodovia, mediante a quantificação e identificação dos defeitos superficiais, mantendo o pavimento apropriado para uso e, conseqüentemente, garantindo a segurança e o conforto dos usuários.

A aplicação de métodos de avaliação da condição estrutural e funcional dos pavimentos, registros dos custos e dos serviços executados, além do desempenho dos pavimentos, está diretamente relacionada às obras prioritárias para a manutenção da rede viária. Um dos principais objetivos da utilização de métodos avaliativos e de manutenção preventiva de um pavimento é a obtenção do melhor retorno possível para os recursos investidos, provendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários (FERNANDES JÚNIOR, 1996).

Os métodos precisam possibilitar uma melhoria da condição dos pavimentos e a diminuição dos custos de manutenção e reabilitação, e dos custos de funcionamento de veículos. Contudo, tem-se averiguado, constantemente, o desgaste precoce dos pavimentos reabilitados e novos, acarretando uma menor vida útil, do que as projetado no começo, ocasionando despesas aos usuários e ao estado. Isso acontece, em parte, devido a aplicações de projetos inadequados para as vias, projetos que na maioria das vezes são desenvolvidos sem um levantamento preciso

do pavimento ou da situação em que o terreno está. Em alguns casos acontece que os métodos de avaliação são usados de forma inadequada ou ineficiente na avaliação do pavimento (MARTINS, 2019)

Conforme teoriza Haas e Hudson (1978), A avaliação de pavimentos é uma das etapas fundamentais de um SGP, visto que é por meio dela que se pode analisar se o pavimento precisa de manutenção, reconstrução, se foi produzido adequadamente e se está de acordo com às especificações para as quais foi dimensionado em projeto. O objetivo principal da avaliação superficial é identificar os defeitos existentes. A caracterização dos defeitos é obtida por meio de três requisitos principais, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 - Requisitos para caracterização dos defeitos.

<b>Defeitos</b>	<b>Severidade</b>	<b>Dimensão dos defeitos</b>
Identificação e categorização de acordo a sua origem (causa);	É o estágio atual da evolução do defeito, refletindo-se no estado de degradação da área do pavimento afetado pelo defeito;	Anotação da extensão ou área do pavimento afetada por cada tipo de defeito; em algumas metodologias é anotada diretamente a densidade de defeitos, representado a estimativa do percentual da área afetada por defeitos.

Fonte: Haas e Hudson, 1978.

A avaliação da superfície se baseia em avaliar as condições funcionais e estruturais dos pavimentos através da identificação dos defeitos ou patologias existentes na superfície do pavimento. É efetuada mediante procedimentos padronizados de inspeções e medidas (MARTINS, 2019).

### 2.2.1. Serventia e desempenho do pavimento

Conforme DNIT (2006), a serventia do pavimento é a capacidade que ele tem de garantir um nível estipulado de desempenho funcional, ou seja, é a condição funcional do pavimento diante do ciclo de vida do projeto. Para avaliar a serventia de um pavimento, pode-se utilizar o método da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), que qualifica o nível de serventia do pavimento de 0 a 5, com 5 transparecendo um pavimento 'perfeito' e 0 assinalando um pavimento 'intransitável'.

Porém, este grau de perfeição do pavimento é avaliado subjetivamente, sendo denominado de PSR (*Present Serviceability Rating*). E, quando este índice é obtido por meio de correlações com defeitos de superfície ou com a irregularidade, é designado PSI (*Present Serviceability Index*), (GONÇALVES, 1999).

Entende-se como desempenho a variação da serventia ao longo do tempo, podendo ser quantificada através da área sob a curva de variação do PSI, ao longo do tempo. Também se deve considerar o desempenho estrutural do pavimento em projeto, ou seja, o tempo em que o pavimento resiste aos defeitos existentes e ao acúmulo de deformações plásticas, quando submetido ao tráfego esperado (GONÇALVES, 1999).

### **2.3. Avaliação funcional do pavimento**

A avaliação de um pavimento se totaliza em um conjunto de ações designada à obtenção de informações, dados e parâmetros que possibilitem identificar os problemas e interpretar o desempenho demonstrado pelo pavimento, de forma a se puder constatar as suas deficiências atuais e futuras de manutenção e de se anteciparem as consequências da implementação de estratégias alternativas de manutenção (MARTINS, 2019)

Os defeitos de superfície, para sua total definição, devem ser detalhados quanto aos seguintes parâmetros:

- Tipo de Defeito: dentre exsudação de asfalto ou de água, afundamentos, escorregamento de massa, erosão de bordo, trincas, desgaste, bombeamento de finos, painelas e remendos.
- Intensidade: descreve o grau com que o defeito específico prejudica a estrutura do pavimento ou compromete seu desempenho. É usado, em várias metodologias, realizar uma classificação por meio de três níveis: baixa, média e elevada.
- Gravidade: é a dimensão do grau de avanço do defeito. É normal as metodologias não distinguirem gravidade de intensidade, adotando um padrão único relacionado a ambas e designado severidade;
- Frequência: é a disposição da ocorrência do defeito por todo um segmento ou trecho da rodovia, sendo explanada pela relação percentual entre o

número de estacas onde verifica-se o defeito e o número total de estacas existente dentro do trecho;

- Extensão: demonstra a área ocupada pelo defeito em uma estaca determinada.

A verificação de defeitos de superfície é voltada para se analisar as medidas de conservação básica para se evitar uma deterioração precoce no futuro, ou para se definir os critérios de restauração exigidas para se melhorar o pavimento. Este levantamento não tem como finalidade retratar a resposta do usuário, apesar de que esteja a ela relacionado, tem em vista que os defeitos de superfície são a razão da perda de serventia atual e futura.

De acordo com o DNIT (2006), a avaliação funcional considera o levantamento visual contínuo do trecho em questão, objetivando a avaliação da superfície do pavimento existente, fazendo a verificação de irregularidades na superfície longitudinal do pavimento e o simultâneo cadastro dos reparos superficiais e profundos, contendo:

- Características gerais do local estudado;
- Registro fotográfico;
- Descrição detalhada dos procedimentos utilizados;
- Análise de resultados obtidos;
- Cadastro contínuo de reparos superficiais e profundos existentes.

Um aspecto fundamental a ser ponderado quando da avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à variabilidade imposta na fase de sua construção, que pode ser retratada pela irregularidade longitudinal concedida quando da sua abertura ao tráfego, (QUEIROZ, 1984).

Quanto maior a irregularidade, maiores serão as solicitações dinâmicas a que o pavimento estará passível a resistir. A medição da irregularidade longitudinal pode ser realizada de duas formas: registrando-se por meio de perfilômetros o próprio perfil longitudinal da via, como o APL (Analisador de Perfil Longitudinal), ou através dos equipamentos tipo resposta, como o “*Mu-meter*”, que registram os picos das vibrações de maiores amplitudes em um veículo em movimento (“Quarter-car Index”, QI, em contagens/km). A Figura 1 mostra o veículo equipado com as tecnologias e equipamentos apropriados para ser realizado o levantamento.

Figura 1 - Medição de irregularidades por perfilômetros



Fonte: Dynatest, 2020.

A irregularidade transversal pode ser mensurada por intermédio de aparelhos caros e automatizados, conforme os que funcionam com sensores a laser, ou basicamente utilizando-se a treliça da norma DNER PRO-08/78. No primeiro caso, obtém-se um registro ininterrupto e seguro de todo o perfil transversal, ao passo que, no segundo, mede-se somente os afundamentos nas trilhas de roda relativos às áreas da pista localizadas nas adjacências, fora das trilhas de roda (MARTINS, 2019).

Em contrapartida, pode-se utilizar um aparelho simples, composto por uma haste equipada com um ponteiro sobre rodas, que permite o registro contínuo do perfil transversal em papel milimetrado. O coeficiente de atrito, que indica a resistência à derrapagem em pista molhada, pode ser medido pelo Mu-meter, de forma contínua e rápida ao longo da pista, ou por meio de ensaios pontuais, como o pêndulo de atrito. (QUEIROZ, 1984). A Figura 2 mostra o veículo em funcionamento rebocando o aparelho utilizado para realizar o levantamento.

Figura 2 - Medição do coeficiente de atrito pelo *Mu-meter*

Fonte: Strata.

## 2.4. Avaliação estrutural do pavimento

É a indicação da capacidade de desempenho estrutural, que por seu lado, é a capacidade do pavimento de continuar com sua integridade estrutural. Essa avaliação estrutural de pavimentos fundamenta-se na avaliação das medidas de deslocamentos verticais que pode ser recuperável da superfície do pavimento quando colocado a um determinado carregamento. (DERSP, 2006).

Com isto, Martins (2019) define que a condição estrutural de um pavimento tem que ser composta pelos seguintes componentes:

- Indicadores que possam retratar a deformabilidade elástica ou viscoelástica dos materiais das camadas, ante a condições de solicitação impostas pelas cargas transientes dos automóveis. São usados para calcular as tensões e deformações motivadas pelas cargas do tráfego na estrutura do pavimento;
- Indicadores que especifiquem a resistência dos materiais ao aglomerado de deformações plásticas perante cargas repetitivas, que são função da natureza do material, de sua condição (densidade, umidade) e do histórico de solicitações;
- Integridade das camadas asfálticas e cimentadas, representada pelo grau de fissuramento.

Além disso, complementa-se que a condição estrutural é capaz também de ser avaliada de duas formas complementares:

- Avaliação Destrutiva: Constitui-se na abertura de vários furos de sondagem para identificação da espessura da camada e de sua natureza, da mesma forma que a abertura de poços de sondagem com o intuito de coletar amostras dos materiais que vão ser ensaiados no laboratório. Alguns ensaios *in situ* nas camadas de solos e de materiais granulares podem ser realizados, como o módulo de resiliência e determinações de umidade e densidade. Tanto os ensaios convencionais para caracterização geotécnica até ensaios especiais, como os que permitem a medida do módulo de resiliência, são realizados em laboratórios. A Figura 3 demonstra o um ensaio *in loco* de uma avaliação destrutiva, denominada como “poços de sondagem”.

Figura 3 - Execução de poços de sondagem.



Fonte: Além da inercia, 2018.

- Avaliação Não Destrutiva: Constitui-se na execução de provas-de-carga para coleta de parâmetros de resposta da estrutura perante as cargas de roda em movimento. Os deslocamentos verticais de superfície, denominado de deflexões, refere-se aos parâmetros de resposta na qual a medida é mais confiável e simples, quando comparado com tensões ou deformações, motivo pela qual a grande maioria dos equipamentos empregados para ensaios não destrutivos são deflectômetros. A Figura 4 demonstra como é realizado a aplicação do ensaio de viga *Benkelman in loco*.



Figura 4 - Aplicação do ensaio de viga *Benkelman*.

Fonte: Total construção, 2020.

Quando há uma condição estrutural inapropriada ou uma capacidade estrutural incapaz de resistir, para o tráfego atuante, acelerará o desenvolvimento de defeitos de superfície (trincas de fadiga nas camadas asfálticas e cimentadas), assim como uma queda no nível de serventia com o passar do tempo (em decorrência da geração de afundamentos plásticos em trilha de roda e ondulações).

Conjuntamente, a aparição de trincas no revestimento asfáltico libera a entrada de águas no pavimento, causando bombeamento de finos e a redução de resistência do solo de subleito, o que prejudica a condição da estrutura do pavimento, apressando a queda do nível de serventia e a própria degradação superficial (MARTINS, 2019).

Com isso, a condição estrutural do pavimento demonstra como a velocidade com que a degradação do pavimento está evoluindo, em outras palavras, a velocidade com que os defeitos estão aparecendo e/ou avançando de severidade. A estágio mais eficiente para se restaurar um pavimento, é aquela, cuja imediatamente antes da condição estrutural do pavimento atingir um certo nível em que a degradação passa a evoluir a uma velocidade crescente e cada vez maior (RODRIGUES, 1996).

#### 2.4.1. Equipamento *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

Atualmente, os defletômetros de impacto do tipo *Falling Weight Deflectometer (FWD)*, são bastante aceitos nas avaliações estruturais em pavimentações flexíveis e rígidas (asfalto e concreto respectivamente), em rodovias.

Isso se dá devido a sua versatilidade, celeridade, alta taxa de precisão e grande produtividade.

O FWD foi iniciado no Brasil por volta dos anos 1989. Existem atualmente, oito equipamentos desses existentes no nosso país, por fabricação da Dynatest (versão norte-americana) são seis e dois fabricados pela KUAB (versão sueca). A figura abaixo demonstra o equipamento utilizado para execução desse método feito pela Dynatest. A Figura 5 mostra o veículo em funcionamento rebocando o aparelho utilizado para realizar o levantamento.

Figura 5 - Equipamento da Dynatest para execução do FWD.



Fonte: Dynatest, 2020.

O princípio de funcionamento utilizado para todos os equipamentos FWD são basicamente iguais, porém existem três distinções relevantes para ressaltar, como explica Tholen (1985).

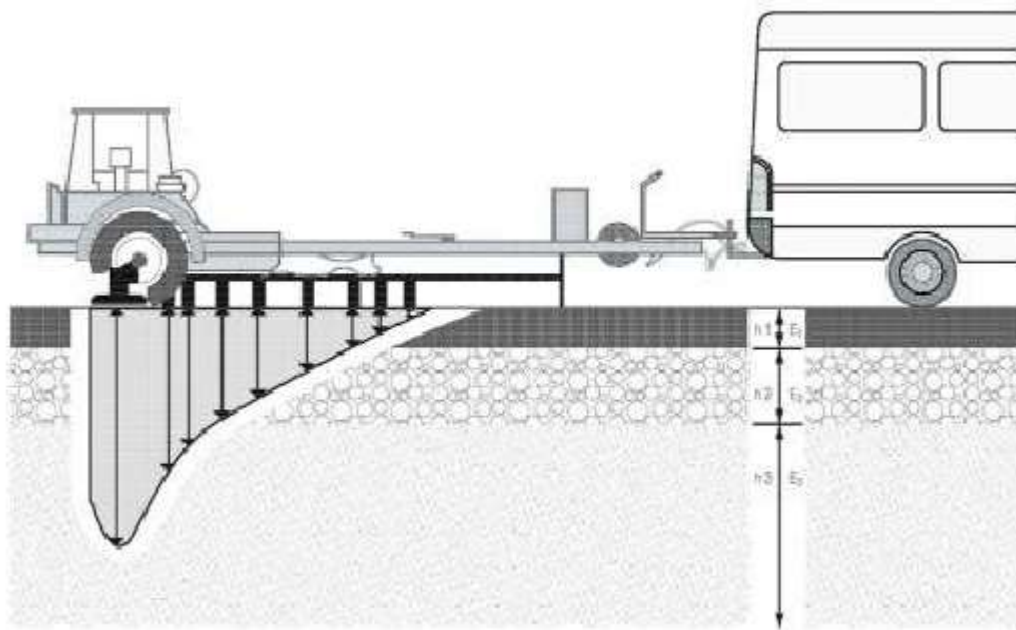
- Maneira diferente de geração do impulso (queda de um ou dois pesos);
- Modo de disposição da carga na superfície da pavimentação;
- Tipo de transdutor ou sensor usado para aferir as deflexões (sismômetros, acelerômetros, LVDTs e geofones).

O conceito básico do FWD consiste em um defletômetro de impacto que foi criado para simular cargas semelhantes a rodas de veículos em movimento no pavimento. A obtenção dessa medida de deflexão se dá por meio da queda de um conjunto de massas, a partir de algumas alturas pré-estabelecidas, em cima de um

sistema de amortecedores de borracha. Todo esse sistema foi criado e desenvolvido para ser capaz de tornar o impulso de carga sofrido pelo pavimento, aproximar-se a uma senoide. Tornando possível a energia potencial da massa se igualar antes e depois da sua queda (CARDOSO, 1999).

Toda a carga gerada é transmitida para o pavimento por meio do sistema de amortecedores com placas circulares de 30cm ou 45cm de diâmetro apoiada no pavimento. O valor dessa carga solicitada na pavimentação é registrado precisamente pela célula de carga (*load cell*) posicionada na placa de carga, conforme ilustra a imagem a seguir (BORGES, 2001). A Figura 6 expressa de forma detalhada como funciona o equipamento no pavimento.

Figura 6 - Esquema de funcionamento do FWD.



Fonte: EMERSLEBEN, 2016.

Essa carga aplicada no pavimento dura por volta de 30ms no Dynatest e de 34 a 50ms no KUAB, essa duração corresponde a uma velocidade de roda entre 60 e 80 km/h, pois é uma velocidade média frequentemente imposta por veículos diariamente. São ensaiados por volta de 500 a 700 pontos por dia com esse modelo de equipamento (MEDINA, 1997).

A deflexão é obtida por até sete sensores de velocidade, sendo um sensor de deslocamento localizado abaixo do centro da placa e o outro sensor de velocidade em posição variável, adequado para engates de até 4,5m de comprimento. No caso dos dispositivos Dynatest e LVDT, esses sensores de velocidade são geofones e, no caso do modelo KUAB, esses sensores sísmicos são sismômetros (*Linear Variable Differential Transformer*). O manual SHRP-LTPP recomenda a distância entre os sensores de pisos flexíveis e rígidos: 0, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 cm. Segundo Rocha Filho e Rodrigues (1996), a escolha mais correta do posicionamento do sensor deve depender da rigidez e da espessura da camada do pavimento a ser avaliada, pois afetará os resultados obtidos na análise retrospectiva. Usado para o módulo de elasticidade do material. Em calçadas grossas e macias, o último sensor deve estar longe do ponto de carga para registrar a deformação causada pelo leito. Em pisos mais finos, o último sensor pode estar mais próximo do ponto de aplicação de carga

Através da combinação dos seguintes componentes, o FWD permite que diferentes níveis de carga sejam aplicados na mesma estação de teste: altura de queda, massa do peso de queda e sistema de amortecimento selecionado (BORGES, 2001)

Quanto ao sistema de carregamento, pode-se encontrar um modelo de sistema gerador de carga com duas massas ou um único conjunto de massas e sistema de amortecimento. A carga gerada pelas duas massas é aplicada no pavimento através de um conjunto de pesos correspondente a primeira massa, que recai sobre a segunda massa e o grupo amortecedor. Quando o peso atinge a plataforma de carga, o peso aplica pulsos de carga para o pavimento.

Conforme Borges (2001) Para medir a temperatura da superfície da calçada e do ar ao redor, o FWD contém um termômetro conectado a um sistema de computador. Parte do equipamento também inclui um distanciômetro ou hodômetro, que pode definir o local exato do teste a ser estudado.

O aparelho registra o deslocamento da superfície (deflexão), a distância percorrida e a temperatura do pavimento e do ambiente. Todos esses dispositivos e equipamento que compõem o FWD são conectados ao sistema de computador de bordo. O avaliador só precisa marcar o ponto de partida da coleta de dados e a distância de uma e outra estação de avaliação de bacia deformada. Os dados de teste

gerados pelo sistema do processador podem ser exibidos no vídeo, impressos e armazenados no disco. Este equipamento deve ser calibrado regularmente (BORGES, 2001).

## 2.5. Avaliação do pavimento utilizando o IGG - Índice de Gravidade Global

Conforme a norma do DNIT 006/2003-PRO, a verificação objetiva da superfície dos pavimentos determina as referências para a utilização do método do IGG. O intuito deste é encontrar a um valor numérico para a condição em que o pavimento se encontra, podendo variar de 0 (ótimo) a 160 (péssimo). O Índice de gravidade global (IGG) é um indicativo das condições do pavimento, bastante proveitoso para tomar algumas decisões de acordo com às intervenções de restauração devidas, atribuindo conceitos variáveis segundo mostra a Tabela 01 a seguir: (MARTINS, 2019).

Tabela 1 - Condição do pavimento em função do IGG

CONCEITO	LIMITES
Ótimo	$0 < \text{IGG} \leq 20$
Bom	$20 < \text{IGG} \leq 40$
Regular	$40 < \text{IGG} \leq 80$
Ruim	$80 < \text{IGG} \leq 160$
Péssimo	$\text{IGG} > 160$

Fonte: DNIT 006/2003-PRO.

Zanchetta (2005) aponta que a empregabilidade do IGG no sistema de gerenciamento de pavimentos rodoviários possui algumas delimitações, por exemplo o fato de levar em consideração somente a quantidade de ocorrência das deformações. Outra restrição importante é não conceituar a dimensão e o nível de severidade dos defeitos, com exceção das trincas. Essas características delimitam o uso do índice no segmento de gerência de pavimento. Ademais, esse método requer uma duração maior para avaliar o trecho do pavimento.

Conforme afirmam Bernucci *et al.* (2010) que para o levantamento dos defeitos, são usadas planilhas para anotações das ocorrências e materiais para marcação de estacas e áreas da pesquisa. O IGG é realizado somente como uma forma amostral para algumas estacas com e distancias e áreas pré-estabelecidas, analisando aproximadamente 15% da área total do pavimento em estudo, pela especificação do DNIT.

## 2.6. Índice de Condição da Manutenção (ICM)

O Índice de Condição de Manutenção (ICM), tem como finalidade a caracterização da superfície do pavimento, tornando o estudo fundamental, onde interfere na segurança do usuário e na preservação qualitativa da rodovia, englobando as condições da sinalização, roçada e sistema de drenagem. Além do mais, o ICM desempenha como parâmetro para acompanhar ações corretivas e preventivas feitas na malha rodoviária, sendo utilizado para nortear as manutenções necessárias, possibilitando a identificação das imperfeições de cada rodovia (DNIT, 2017).

O levantamento de campo do ICM visa avaliar dois grupos de atividades, considerados como a superfície do pavimento e a conservação da rodovia. Para o primeiro critério de estudo, o percentual de trincas, o número de remendos e a quantidade de painéis, exercem como os parâmetros que precisam ser estudados. Já a categoria conservação da rodovia examina, os componentes de drenagem da rodovia, as sinalizações horizontais e verticais e a roçada, em que compreende a vegetação que germina nas laterais da via, como referido por DNIT (2017).

Para se realizar um levantamento do ICM, de acordo com DNIT (2017), é necessário trafegar na rodovia em análise sob um veículo com odômetro e trafegando a uma velocidade média aproximada de 40 km/h. Todas as ponderações são anotadas em um tablet ou planilha de forma manual, sendo esta atividade de responsabilidade técnica. Além disso, todo o estudo deverá obrigatoriamente ser realizado em climas adequados, não podendo ser executado em dias chuvosos ou com baixa visibilidade que impeça a análise do técnico. As Figuras 7 e 8 mostram como é feito o levantamento, anotação e veículo utilizado para esse estudo.

Figura 7 - Anotação dos defeitos pelo tablet



Fonte – Ministério da Infraestrutura

Figura 8 - Veículo para levantamento do ICM.



Fonte - LabTrans/UFSC

## 2.7. Levantamento visual contínuo (LVC)

O levantamento visual contínuo (LVC) tem como propósito realizar uma análise da condição da superfície do pavimento por meio de levantamento visual e contínuo dos defeitos considerados por dois técnicos avaliadores sob um veículo, estando um deles na condição de condutor (DRESCH, 2014).

A avaliação é executada em toda a extensão da via, usando um automóvel com uma velocidade média aproximada de 40 km/h. As falhas são anotadas de forma manual. As faixas de tráfego da via em análise são examinadas, admitindo segmentos de extensão de 1 km, em que são detectadas a frequência, as ocorrências, e a severidade de cada um dos defeitos (DRESCH, 2014).

Conforme DNIT 008/2003 - PRO, uma nota de 0 a 5 é concedida subjetivamente conforme a precisão de manutenção no decorrer da avaliação do pavimento que recai sobre a condição de conforto ao rolamento, o levantamento visual contínuo possibilita a definição de três parâmetros: Índice de Defeitos de Superfície (IDS), o Valor de Serventia Atual (VSA) e o Índice de Condição Funcional (ICF). A Figura 9 mostra um exemplo de uma ficha técnica realizada no levantamento do método LVC.

Figura 9 - Exemplo de ficha técnica para o LVC.

SEGMENTO HOMOGÊNEO - FICHA RESUMO DE PROJETO						Nº	1
Dados Gerais	Rodovia:	367	UF:	MG			
	Segmento: do km	400,70	ao km	403,70			
	Coord. GPS:	Inicial:	Final:				
Pista:	PS	07°55,565	07°53,230				
		80°94,455	80°93,957				
Extensão:	Pista:	Nº de faixas	Faixas:				
	3,00	2	6,0	kmf			
Estrutura	Pista	Material	Espessura	Idade			
	Revestimento	TSD					
Tráfego	Acostamento	Revestimento					
	Degrau Médio	0	(cm)LE	0	(cm)LD		
VMD:		4815	veic./dia	N (USACE):	2,5E+06	3 anos de projet	
VMDc:		851	veic./dia				
Foto de Início do Segmento							
DNIT PRO-06	% FC-2:	30%	% O:	0%			
	% FC-3:	60%	% P:	0%			
	% (FC-2+FC-3):	90%	% R:	10%			
	% (ALP+ATP):	0%	Flecha (mm):	4			
	IGG:	121					
DNIT PRO-008	FC-2+FC-3:	M	Panelas:	A			
	Afundamento Plástico:	B	Remendos:	A			
	IGGE:	104	ICPF:	3	IES:	8	
Parâmetros Estruturais (PRO-011)							
Df <sub>medida</sub> :		48,0	x10 <sup>-3</sup> mm	HR (cm):	0	3 anos de projeto	

Fonte – CREMA.



## 2.8. Método de avaliação *Pavement Condition Index* (PCI)

Conforme Shahin e Kohn (apud APS et al., 1998), o método *Pavement Condition Index* (PCI) é muito utilizado para classificar a integridade estrutural e funcional da superfície de pavimentos, primordialmente desenvolvido para pavimentos de aeroportos, sendo um dos índices mais usado internacionalmente, no entanto ajustado para vias urbanas e rodovias em diversos trabalhos. A definição desse índice é fundamentada na sondagem de defeitos e sua densidade, na qual são apurados para um determinado trecho do pavimento. Essa classificação do índice é realizada em uma escala que varia entre 0 e 100, indo do péssimo ao excelente respectivamente. O Quadro 3 qualifica a condição do pavimento por meio de um índice numérico que fornece um padrão para:

Quadro 3 - Índices que classificam a condição do pavimento.

<b>Classificação da condição do pavimento</b>			
Detalhar a integridade estrutural e a capacidade funcional da superfície pavimentada.	Definir qual a necessidade de manutenção do pavimento.	Apontar os locais críticos e com uma necessidade de reparo, por meio da comparação entre trechos de pavimento.	Averiguar o desempenho do pavimento por meio de determinação própria do PCI.

Fonte: Shain e Khon, 1998.

Como relata Gonçalves (1999), a análise da superfície do pavimento abrange registrar os tipos de defeito, a severidade dos defeitos, a frequência e a extensão dos defeitos nas vias. Por esse viés, os defeitos devem ser tratados conforme os parâmetros a seguir:

Quadro 4 - Parâmetros para descrever os defeitos.

<b>Tipo de defeito</b>	<b>Severidade</b>	<b>Frequência</b>	<b>Extensão</b>
trincas, remendos, panelas, escorregamento de massa, desgaste, exsudação, entre outros.	baixa, média ou alta, retrata o grau de influência do efeito no pavimento.	distribuição da ocorrência do defeito ao longo do trecho em estudo.	área ocupada pelo defeito.

Fonte: Gonçalves, 1999.

Para essa finalidade, faz-se avaliar e quantificar os defeitos na via, classificando-os e medindo-os de acordo com o Quadro 5:

Quadro 5 - Defeitos de pavimento asfáltico e forma de medição para o método do PCI

Defeito	Forma de Medição	Defeito	Forma de Medição
Couro de Crocodilo	Área	Remendos	Área
Exsudação	Área	Agregado polido	Área
Fissura em blocos	Área	Panelas	Unidade
Elevações/recalques	Metro linear	Cruzamento ferroviário	Área
Corrugação	Área	Afundamento de trilha de roda	Área
Afundamento localizado	Área	Escorregamento de massa	Área
Fissura de borda	Metro linear	Fissuras devido ao escorregamento de massa	Área
Fissuras por reflexão de juntas	Metro linear	Inchamento	Área
Desnível pavimento / acostamento	Metro linear	Desgaste	Área
Fissura longitudinal e transversal	Metro linear		

Fonte: APS et al. (1998).

Para definir o valor do PCI, é feita uma escolha de uma seção com área aproximada de 225m<sup>2</sup> por vez, detectando os tipos, a severidade e a porcentagem de área afetada de todos os defeitos e registrando-os em uma planilha. Em seguida ao levantamento de dados, eles são levados para planilha de cálculo e assim pode obter o valor exato do PCI de cada trecho da via.

## 2.9. Custos no gerenciamento de pavimentos rodoviários.

Desde a estabilização da moeda brasileira, que aconteceu em 1994 e se deu até 2015, o DNIT e o DNER fizeram investimentos de um pouco mais de R\$ 42 bilhões direcionado para manutenção da malha viária do país. Por esse motivo e nesse mesmo período, a malha federal passou de 51.000 km para 59.000 km. A Tabela 2 mostra detalhadamente esses dados (MELLO E QUEIROZ, 2018).

Tabela 2 - Valores dos gastos em manutenção para rodovias federais (em milhões).

ANO	R\$ (Milhões)	ANO	R\$ (Milhões)	ANO	R\$ (Milhões)	ANO	R\$ (Milhões)
1995	354,82	2001	818,96	2007	2316,5	2013	4065,47
1996	464,84	2002	530,04	2008	1733,65	2014	5664,52
1997	462,43	2003	587,19	2009	3719,54	2015	2469,52
1998	436,91	2004	777	2010	6073,79	2016	4574
1999	457,32	2005	1510,86	2011	4453,03	2017	3502
2000	608,28	2006	2107,7	2012	3002,66		

Fonte: DNIT, 2017.

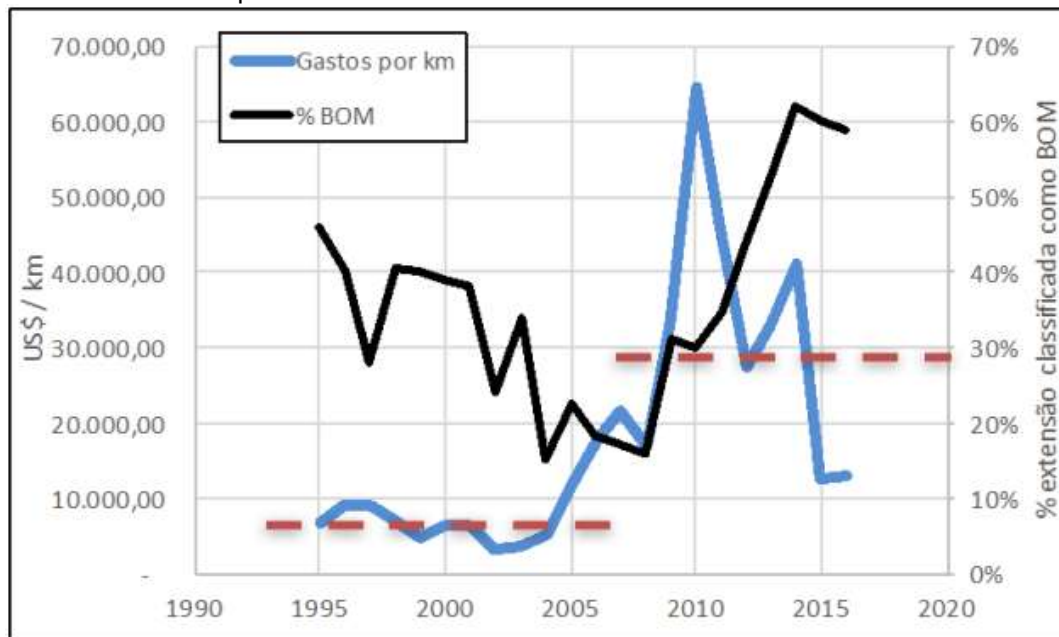
Não estão disponibilizados dados referentes aos investimentos em rodovias federais separando a condição do leito, ou seja, pavimentada e não pavimentada. Com isso, é de se esperar que o valor acima para rodovias pavimentadas tenha sido, realmente, menor em função de parte dos gastos terem sido realizados em rodovias não pavimentadas (MELLO E QUEIROZ, 2018).

Contudo, esse valor serve como referência para analisar os investimentos realizados em manutenções em contraponto das construções de novas obras. Nesse caso, considerando, por exemplo, os dados referentes entre 1995 e 1999 o investimento em construção de novas obras foram, em média, 75% maiores que aqueles em manutenção nesse período. Isso foi observado entre 2009 e 2014, quando novas obras receberam 25% a mais de investimentos quando comparado com manutenção das rodovias existentes (DNIT, 2017).

Conforme Schliessler e Bull (1992), uma proporção ideal de investimentos em rodovias com características similares às da América Latina deve seguir a relação em que a manutenção receba  $2/3$  dos investimentos chamados de habituais ou de manutenção, enquanto novas obras tenham o  $1/3$  restante. Como consequência, considerando os dados disponibilizados pelo DNIT, em 1992 havia 46% do pavimento das rodovias federais em bom estado, caindo para 15% em 2001. Essa alta queda na qualidade das rodovias só teve alteração quando decidiram mudar o patamar de investimentos com relação a manutenção de pavimentos.

Observando a Figura 10, a curva de investimento em manutenção nos últimos 20 anos está caracterizada por dois patamares distintos, cujo divisor é o ano de 2005. É notório que os valores investidos na última metade desse período triplicam quando se comparado com a primeira metade. Contudo, os gastos direcionados com a construção de obras novas foram também incrementados, continuando com parcelas superiores daquelas voltadas para manutenção do pavimento. Esse quadro, portanto, não resultou numa melhoria estrutural da rede rodoviária (MELLO E QUEIROZ, 2018).

Figura 10 - Valores de gastos em manutenção nas rodovias federais por km na rede pavimentada e percentual da rede viária caracterizada como bom.



Fonte: DNIT, 2017.

Analisando os dados dos gastos em manutenções realizadas e os dados pertinentes ao levantamento executado pelo DNIT acerca da condição da rede viária, nota-se um ganho expressivo do índice de condição da superfície do pavimento (ICS) nos últimos 10 anos.

Os investimentos realizados em manutenção de pavimentos nas rodovias federais foram limitados a intervenções funcionais, que não atenderam, na sua grande parte, às necessidades estruturais dos pavimentos face ao tráfego observado, bem como ao próprio período original de construção das rodovias (MELLO E QUEIROZ, 2018).

Segundo Lancelot (2010), em 2005 cerca de 66% das rodovias estavam com idades entre 20 e 40 anos, necessitando um robusto programa de reabilitação em função do incremento do tráfego e das condições climáticas características do país. Foi preciso desde a década de 1980 um rigoroso trabalho de recuperação das rodovias brasileiras, porém, isso não aconteceu, ocasionando uma alta redução da qualidade da malha viária.

Mediante esse cenário, associado à uma recente crise econômica que o nosso país vem passando, os investimentos decresceram expressivamente tanto para

a manutenção de rodovias, quanto para a construção de novas obras, tornando inevitável que a malha rodoviária vá experimentar um aumento significativo de extensão de pavimentos classificados como ruim ao longo dos próximos anos.

Na atualidade, cerca de 60% da malha pavimentada está sendo atendida por contratos de conservação rotineira, que não envolvem nenhum tipo de recuperação estrutural. Apenas 3% dos contratos possuem soluções de pavimento com duração prevista para 10 anos. Cerca de 9% da malha rodoviária não está coberta por nenhum contrato de manutenção. A extensão restante, pouco mais de 20%, está coberta por contratos baseados em desempenho, modelo introduzido pelo Banco Mundial. Esses dados demonstram um aumento da probabilidade de a qualidade das rodovias decaírem em níveis vistos no início da década passada. Com isso, os ganhos estruturais e funcionais da malha viária não foram satisfatórios quando levado em consideração o nível de investimento realizado (MELLO E QUEIROZ, 2018).

Juntamente a isto, barreiras negativas fazem parte da realidade do país em se tratando de obras rodoviárias como pagamentos irregulares, problemas durante o processo de contratação do serviço, ausência de uma cobrança qualitativa bem como interferência dos organismos de controle. Em casos específicos, por exemplo, a lentidão para aprovar projetos de requalificação da malha viária resultava num desfasamento dos dados coletados inicialmente, acarretando um problema na execução futura do projeto, pois o pavimento estará em um estado inferior de quando foi analisado.

Tomando como referência o estado da rede viária, em que 38% encontram-se em estado regular e ruim, o que poderia indicar a necessidade de reabilitar o pavimento para uma vida útil de 10 anos, e considerando um custo de reabilitação médio de R\$ 2,0 milhões/km, pode-se estimar intervir em cerca de 20.000 km de rodovias a um custo total de R\$ 39,52 bilhões (MELLO E QUEIROZ, 2018).

### 3. MÉTODOS DE PESQUISA

O procedimento metodológico utilizado nesse trabalho consiste em uma revisão bibliográfica utilizando a ferramenta *StArt*. Trata-se uma pesquisa de caráter descritivo qualitativo onde serão expostas as novas tecnologias utilizadas para realizar o gerenciamento de pavimentos rodoviários, A Figura 11 mostra a como é a interface do programa

Figura 11: Interface do *software* StArt

The screenshot displays the 'Protocol' form in the StArt software. The interface is in Portuguese and includes a sidebar on the left with navigation options like 'Person', 'Enroll', 'Studies Identification', 'Selection (PRF)', 'Exclusion (E)', and 'Summarize'. The main form has the following sections:

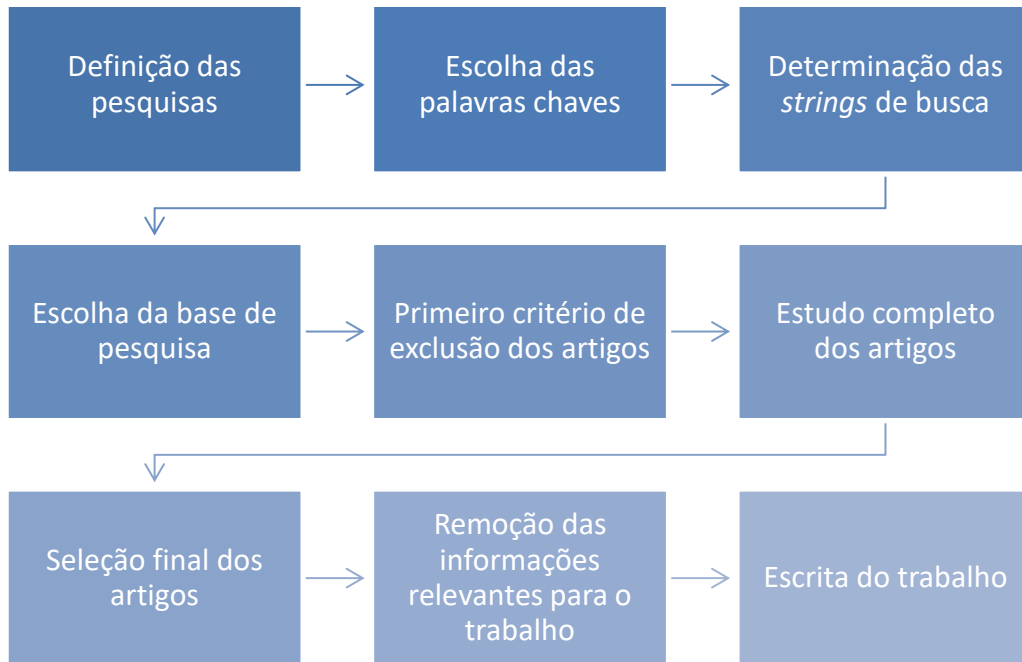
- Objectives:** A text box containing 'Fazer um levantamento de aplicação de novas tecnologias no gerenciamento de pavimentos'.
- Main question:** A text box containing 'Quais as novas tecnologias aplicadas no gerenciamento de pavimentos' and a checkbox for 'Use PRDC criteria'.
- Keywords and Synonyms:** A list of keywords: 'Pavement Management System', 'Pavement', and 'Turnover'.
- Research Selection Criteria Definition:** A text box containing 'Ser artigos sobre o tema de gerenciamento de pavimentos sobre aplicações no gerenciamento de pavimentos rodoviários'.

At the bottom left, there are logos for 'ufpa' and 'LoPEs'. At the bottom right, there is a small text: 'Continuar a fazer o seu protocolo'.

Fonte: Autor, 2021.

A ferramenta *StArt* se trata de um programa gratuito para cooperar na seleção de artigos que fornecem auxílio e base às atividades de processo de revisão sistemática, na qual se torna possível realizar a organização da revisão sistemática e sua execução (HERNANDES *et al.*, 2012). Dessa forma, este estudo foi realizado seguindo as etapas descritas na Figura 12 e detalhadas a seguir.

Figura 12: Fluxograma das etapas seguidas no trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O protocolo da revisão sistemática se inicia pelas questões de pesquisa, que para esse estudo são:

- Quais as novas tecnologias presentes na gerência de pavimentos rodoviários?
- Quais as diferenças entre os equipamentos e métodos mais tradicionais com os mais atualizados e tecnológicos?
- Quais parâmetros de custo-benefício quando se trata dessa comparação entre os métodos tradicionais e os mais avançados?

Logo após, são definidas as palavras-chave que são consideradas relevantes para o trabalho. Assim, por consequência, definidas aquelas que seriam usadas nas *strings* de busca:

- a) *SGP/Pavement Management System*;
- b) *Pavement Management*;
- c) *Pavement Management Technology*;
- d) *Safety Management*;
- e) *Pavement Functional Analysis*;

- f) *Pavement Structural Analysis*;
- g) *FWD / Falling Weight Deflectometer*;
- h) *Management Cost*;
- i) *Road Pavement*.

Já tendo selecionado as palavras-chave anteriormente, definiu-se as strings que seriam usadas nas pesquisas realizadas nos bancos de dados. As strings de busca foram:

- a) (“SGP” OR “Pavement Management System”) AND (“Management Cost” OR “Road Pavement”).
- b) (“FWD” OR “Falling Weight Deflectometer”) AND (“Pavement” OR “Pavement Functional Analysis”).
- c) (“Safety Management”) AND (“Pavement Functional Analysis” OR “Pavement Management Technology”).

Definidas as buscas de *strings*, foram determinados os critérios para escolha da base de pesquisa, selecionando aquelas que possibilita a exportação dos arquivos em formato BiBtex ou RIS. Assim, foram escolhidos o Web of Science e o Science Direct, pois proporcionava essa exportação. Além disso, foram colocados artigos manualmente no programa, uma vez que esses artigos foram usados como base para os estudos preliminares do conteúdo abordado, antes mesmo da definição das *strings* de busca, e apesar de não terem sido aparecidos na pesquisa, por isso foi relevante a sua adição. Desejando considerar uma base de pesquisa nacional, foi realizado uma pesquisa nos manuais do órgão nacional DNIT, de maneira que foram analisados todos os conteúdos pertinentes ao trabalho, a fim de encontrar dados relevantes.

Por conseguinte, foram definidos os critérios para exclusão dos artigos encontrados por meio das bases de pesquisa. O primeiro critério de exclusão foi baixa pontuação de relevância no programa StArt, tendo em vista que o software retorna uma pontuação baseada na frequência que os títulos, palavras-chave e resumo aparecem nos termos de pesquisa. Entretanto, existe erros nessa exportação dos artigos, pois alguns são submetidos na plataforma sem as palavras-chaves, sem o



espaçamento entre as palavras ou sem resumo, acarretando assim na diminuição da pontuação no programa. Levando assim, a exclusão de todos os estudos com pontuação menor ou igual a 3.

Logo após, a seleção inicial prosseguiu com base na relevância do título e palavras-chave do artigo, no que se refere ao que pretende analisar no trabalho. Em seguida, estabeleceu-se como critério de exclusão dos artigos lidos: não há um foco nas novas tecnologias de gerência de pavimentos; documento que não foi encontrado; que não teve uma relevância significativa para o trabalho; e, em último caso, o documento ser muito antigo e com poucas citações.

Por fim, foi determinado o que era relevante e deveria ser extraído por meio da leitura dos trabalhos selecionados na última etapa. As informações que precisam ser alcançadas, são: objetivo claro do estudo; local onde a pesquisa foi desenvolvida; a metodologia utilizada; quais parâmetros foram avaliados no desenvolvimento dos indicadores e quais conclusões essenciais do estudo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico, apresentam-se os resultados obtidos através das buscas de artigos relevantes as novas tecnologias empregues ao gerenciamento de pavimentos rodoviários, com o objetivo de relacionar e discutir os resultados encontrado em cada trabalho. Além disso, é discutido como está sendo utilizado essas novas tecnologias e qual as vantagens e desvantagens com os métodos mais convencionais, tendo em vista os resultados obtidos e a comparação com trabalhos selecionados.

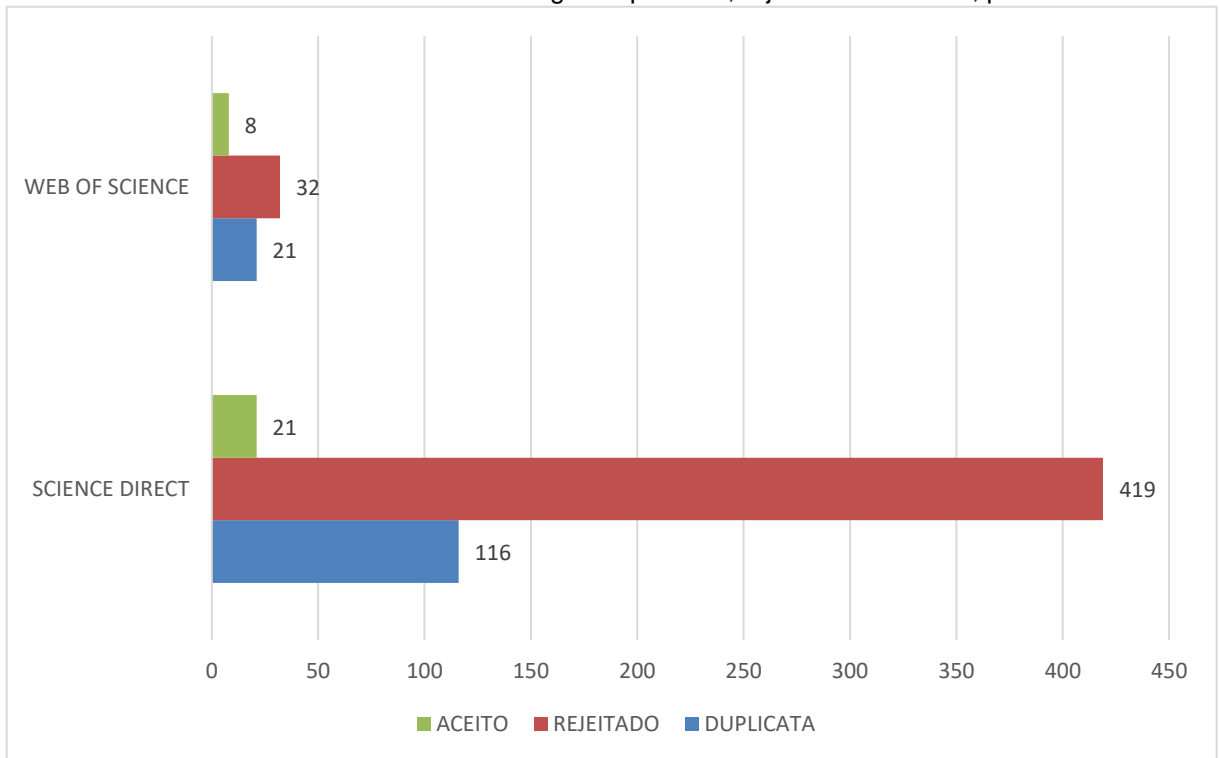
### 4.1. Resultados da primeira fase de busca no *software*

Como resultado da primeira fase de busca e análise de artigos, foram retornados, somando todas as bases e termos de busca, 685 artigos extraídos das bases analisadas (*Science Direct* e *Web of Science*). Após a remoção de 137 artigos duplicados, restaram 548 artigos para a seleção primária de artigos.

Como descrito na fase metodológica, artigos presentes na seleção primária que tiveram score obtido pelo sistema atribuído do software STArt de 0 (zero), foram rejeitados no início da etapa de seleção primária. Desta forma, 451 artigos foram excluídos por se encaixarem nesse parâmetro estabelecido, restando 97 artigos para a análise primária.

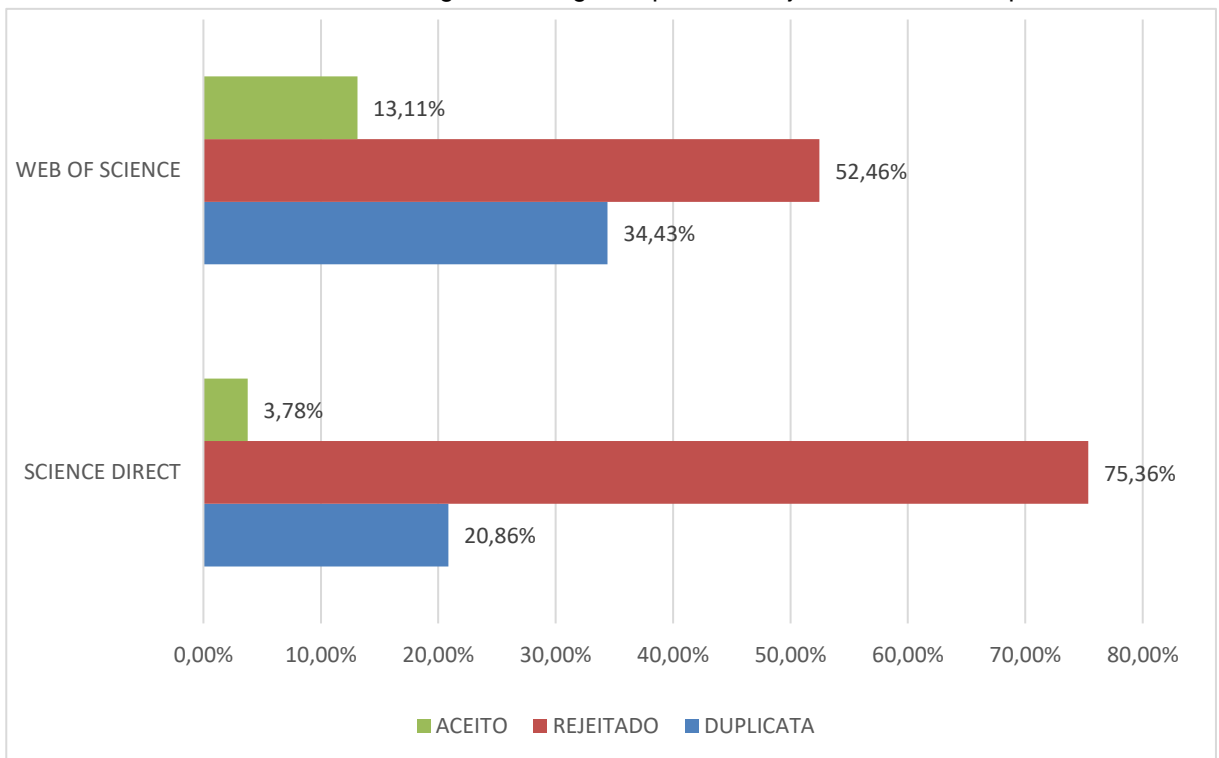
Durante a análise primária títulos, resumos e palavras-chaves dos artigos foram averiguados, analisando se, a partir do que foi observado nesses campos, o artigo atendia aos critérios de inclusão e a nenhum dos critérios de exclusão. Ao todo, 29 artigos encaixaram-se nessas condições e passaram para a fase de seleção secundária. As Tabelas 3 e 4 expõem os resultados da seleção primária dos artigos, separados por base de pesquisa.

Tabela 4: Quantidade de artigos duplicados, rejeitados e aceitos, por base.



Fonte: Autor,2021.

Tabela 3: Porcentagem de artigos duplicados, rejeitados e aceitos, por base.



Fonte: Autor,2021.

Em relação ao tema de pesquisa, a base *Science Direct* foi a que retornou o maior número de artigos aceitos para a seleção secundária. O número de duplicatas elevado mostra que diversos artigos iguais foram retornados em diferentes bases, devido sua indexação correta. Observou-se também que a base *Web of Science* não é a mais adequada para a busca do tema desse artigo, pois houve o retorno de diversos artigos sem valor a agregar à pesquisa, mesmo utilizando os mesmos termos de busca para a outra base, que retornaram resultados mais pertinentes que o dessa base.

#### **4.2. Resultados da segunda fase de seleção**

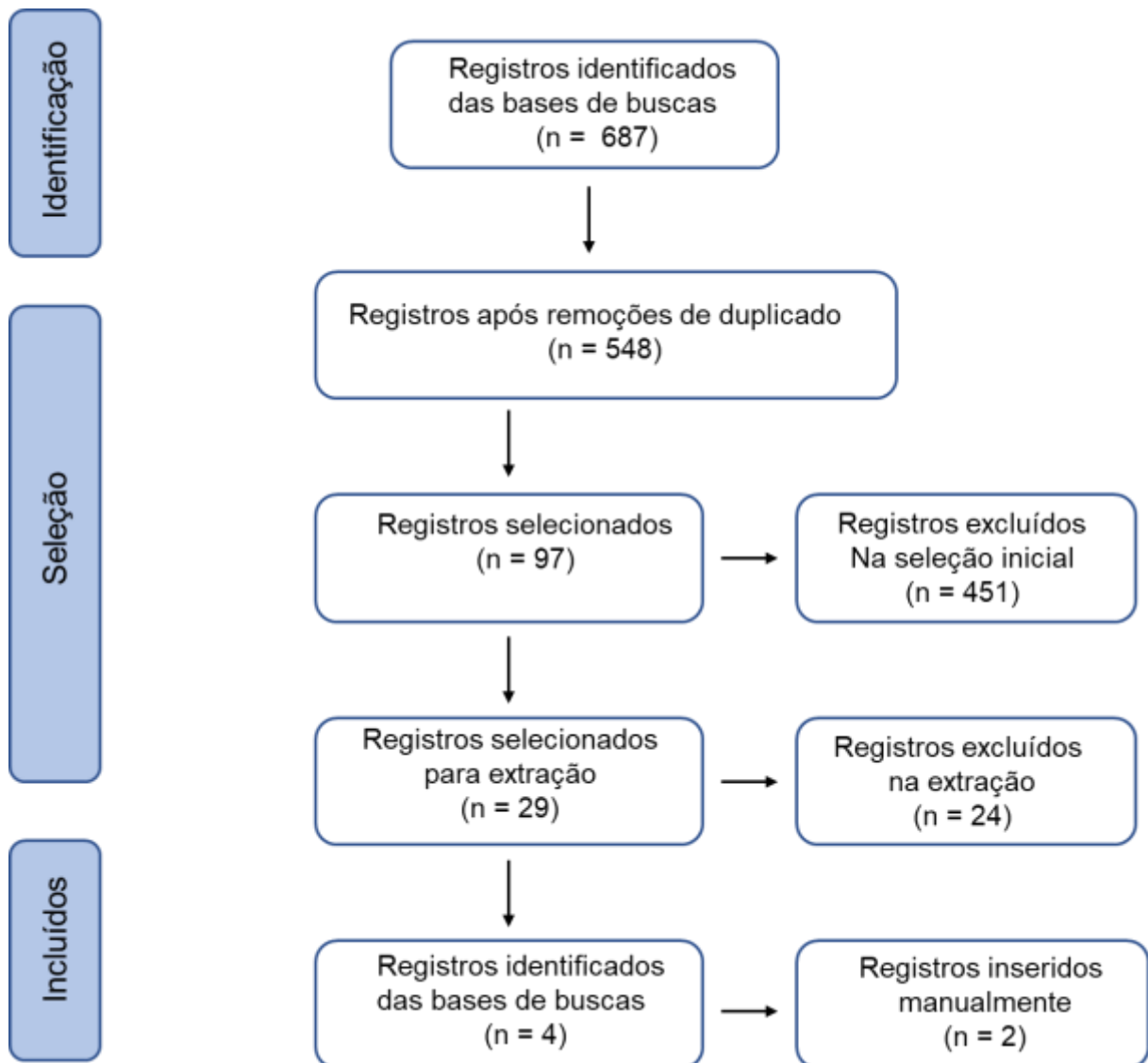
Na seleção secundária de artigos, 24 foram rejeitados pela falta de acesso aos artigos completos (*full papers*). 5 desses artigos são de origem chinesa, e não foi possível a extração dos artigos de jornal e conferência através da plataforma disponível. Foi tentada a requisição do texto completo diretamente dos autores, por meio do portal do *ResearchGate*, mas não houveram respostas dos autores até a data de escrita e revisão deste trabalho. 19 outros artigos de conferência também não poderão ser extraídos de suas bases. O Apêndice A expõe os artigos sem o *full paper* disponível

Ao fim do processo de extração da seleção secundária, 4 artigos foram escolhidos para compor a revisão sistemática da literatura. Além desses, 2 artigos foram incluídos manualmente nessa seleção, totalizando 6 artigos.

### 4.3. Estruturação do banco de dados

A Tabela 5 mostra todo o detalhamento de como foi realizado o procedimento metodológico, bem como toda a fase de identificação das bases de buscas, seleção e exclusão dos artigos pré-escolhidos e os registros dos artigos escolhidos após a ultimo filtragem.

Tabela 5: Detalhamento da busca de trabalhos



Fonte: Autor, 2021

Na Figura 13 é apresentado um mapa que localiza os trabalhos selecionados de acordo com o local de publicação. Por meio dela, pode-se notar que o assunto é de certa forma, estudado em alguns países, de maneira que está presente em 3 dos seis continentes.

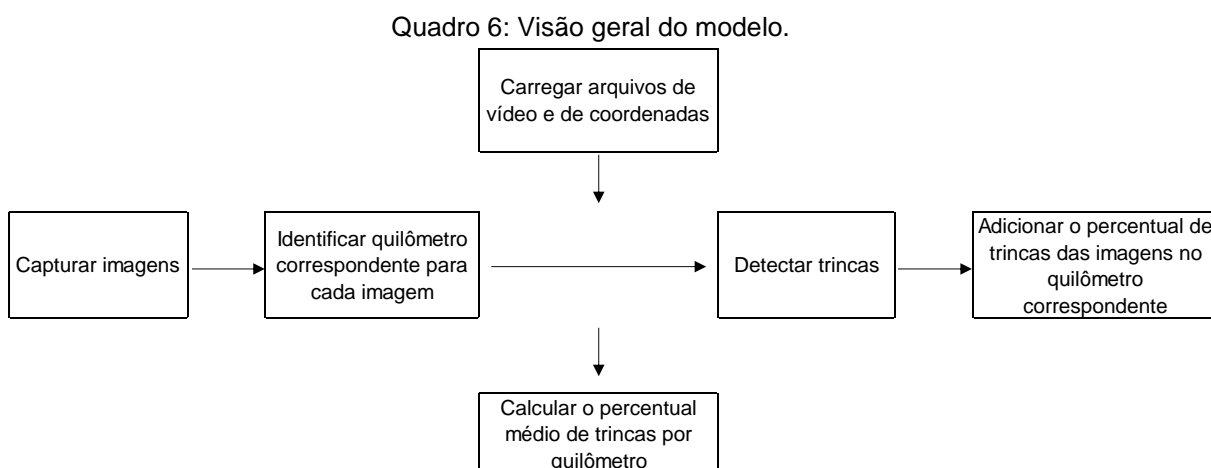
Figura 13: Países de publicação dos artigos



Fonte: Autor, 2021

#### 4.4. Artigos extraídos

Destri Junior *et al.* (2019) apresentaram um método automatizado para detectar trincas e estimar o seu percentual, por quilômetro, em vídeos-registros, com o auxílio de técnicas de processamento de imagem e de aprendizado de máquina. O Quadro 6 mostra uma visão geral de como foi estruturado o modelo.

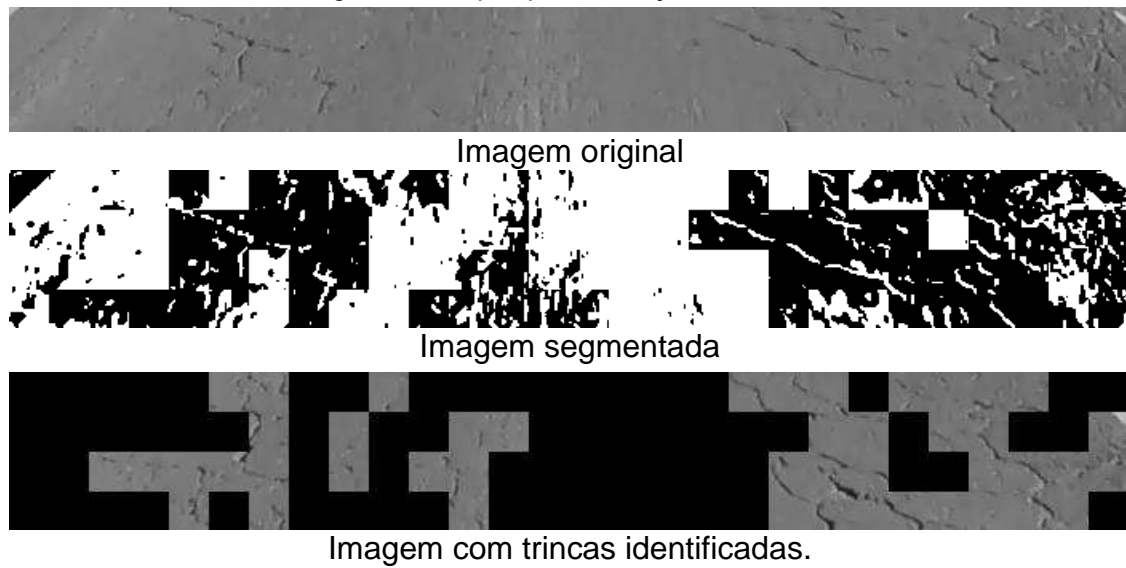


Fonte: Destri Junior *et al.*, 2019.

Foram combinadas duas abordagens, uma que visa descartar regiões cuja probabilidade de ter trincas é baixa, e outra que se certifica de que as demais regiões têm trincas ou não.

A solução proposta baseou-se em duas abordagens comuns na literatura de Processamento de Imagens Digitais, que são detecção baseada em textura e classificação de objetos com o auxílio de redes neurais. Essas duas abordagens foram combinadas, de forma que a maior parte de regiões sem trincas sejam descartadas baseada em textura, enquanto que as demais regiões sem trincas são descartadas com o auxílio de uma Rede Neural Convolutiva (CNN). A Figura 14 demonstra as etapas para detecções de trincas.

Figura 14: Etapas para detecção de trincas.

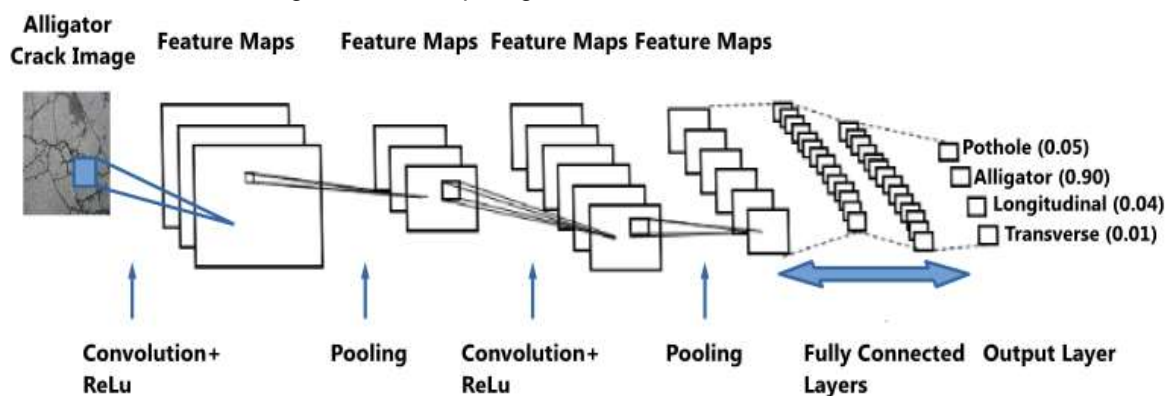


Fonte: Destri Junior *et al*, 2019.

O modelo de CNN proposto foi validado em um conjunto de 138.909 imagens, obtendo excelentes indicadores de acurácia e de sensibilidade (0,9 e 0,89, respectivamente). A precisão do modelo teve um valor menor (0,75), em razão de que, propositalmente, o modelo tende a atuar com melhor eficácia em imagens com trincas, uma vez que as demais tendem a ser descartadas pela abordagem de textura.

Aslan *et al.* (2019) propuseram uma detecção automatizada de trincas e método de classificação baseado em aprendizagem profunda para detectar e classificar rachaduras em um pequeno conjunto de imagens tiradas de motores de busca. A Figura 15 demonstra as etapas para detecções de trincas.

Figura 15: Princípios gerais e básicos de uma CNN



Fonte: Aslan *et al*, 2019.



Desenvolveram e testaram um conjunto de dados balanceado contendo 400 imagens coloridas e consistindo em quatro tipos de danos ao pavimento: (1) longitudinal, (2) transversal, (3) jacaré e (4) rachaduras em buracos. A Figura 16 mostra o resultado do mapa de feições convolucionais da primeira camada obtida de modelo CNN.

Figura 16: Mapa de feições convolucionais da primeira camada obtida de modelo CNN



Fonte: Aslan *et al*, 2019.

Aplicaram o aumento de imagem usando um pacote de transformações para melhorar a precisão da classificação de trincas do seu CNN. A precisão da classificação dos quatro tipos de fissuras foi encontrada para ser 76,2%. Assim, demonstraram que o modelo CNN proposto pode prever os tipos de fissuras sem qualquer intervenção do usuário em um bom nível de precisão.

Para melhorar a robustez e precisão da estrutura de avaliação, analisaram mais tipos de rachaduras, usando um tamanho de conjunto de dados maior em estudos futuros.

Costa (2019), usou um aplicativo de smartphone para investigar o desnível longitudinal da superfície flexível da estrada nomeado de SmartIRI para investigar a rodovia em Belém, Estado do Pará. A Figura 17 mostra como era utilizado o smartphone para fazer o levantamento.

Figura 17: Smartphone utilizado para o levantamento.



Fonte: Costa, 2019.

Foi apresentado o nível de eficiência desta nova tecnologia, que pode ser uma alternativa para auxiliar os órgãos gestores na tomada de decisões de gestão rodoviária, por se tratar de um produto de baixo custo operado pelos usuários e prover uma rede de oportunidades geradas em tempo real através do tempo real de monitoramento. A Figura 18 mostra a configuração do aplicativo que foi utilizado nesse trabalho.

Figura 18: Configuração do aplicativo utilizado no trabalho.



Fonte: Costa, 2019.

Por ser na saída da área metropolitana de Belém, os trechos rodoviários cobertos têm importante significado e influência local, pois, são afetados diariamente pelo trânsito intenso, e locais desgastados requerem manutenção frequente para evitar o aumento dos custos operacionais do veículo.

Por fim, verificou-se que o SmartIRI pode ser usado para substituir equipamentos de campo em grande escala em uma rede rodoviária onde os recursos financeiros são escassos. A Tabela 6 mostra a descrição obtida pelo SmartIRI dos trechos, o IRI médio e condição estrutural.

Tabela 6: Descrição obtida pelo SmartIRI dos trechos, IRI médio e condição estrutural.

Trechos	Velocidade (km/h)	Distância (km)	IRI médio	Condição
Avenida Independência	53,18	37,86	1,83	Ótima
Avenida João Paulo II	50,66	20,87	1,97	Ótima
Rodovia Augusto Montenegro	44,44	25,98	2,26	Boa

Fonte: Costa, 2019.

Considerando que a malha rodoviária do estado do Pará possui pouca ou nenhuma manutenção, o aplicativo SmartIRI para medição de desníveis longitudinais é uma ferramenta eficaz para sistemas de gestão rodoviária.

Saldaña *et al.* (2017) apresentaram os resultados obtidos na comparação dos dados avaliados com o *Laser Profilometer* e o *Laser Crack Measurement System (LCMS)*. Para a execução da pesquisa, selecionou-se uma estrada que apresentou uma ampla gama do indicador funcional IRI, foram feitas 4 medições com cada equipamento e os resultados obtidos com as duas tecnologias foram comparados. A Figura 19 mostra o equipamento *Laser Crack Measurement System*.

Figura 19: Equipamento *Laser Crack Measurement System*.

Fonte: Saldaña *et al*, 2019.

Para a realização do estudo, foi realizada uma análise estatística de repetibilidade e reprodutibilidade (GRR) após processamento dos dados, seleção das peças, cálculo da repetibilidade e reprodutibilidade e análise dos resultados em amostras mais discretas.

Conforme afirma o documento, existe uma correlação de 98,25% entre as duas equipes. Por outro lado, em relação à tendência e repetibilidade entre avaliações, dados repetíveis e reproduzíveis são obtidos independentemente da condição funcional do pavimento.

Da análise verificaram que a maior contribuição da variabilidade dos resultados foi apresentada na análise realizada aos resultados do IRI Altos, onde a variabilidade total do sistema correspondente a um valor de 0,0093 é influenciada por uma contribuição de 60,53 % pela análise GRR e 39,47% pela variação entre as amostras. Esta situação pode ser atribuída em função da obtenção dos dados, pois embora as medições tenham sido feitas no mesmo dia e na mesma faixa, foram feitas com dois veículos diferentes, por isso dois perfis longitudinais próximos e paralelos que ao apresentarem alta os valores de IRI podem ter uma pequena dispersão, sem serem muito diferentes entre eles. A tabela 7 expressa as considerações do ensaio realizado.

Tabela 7: Considerações do ensaio.

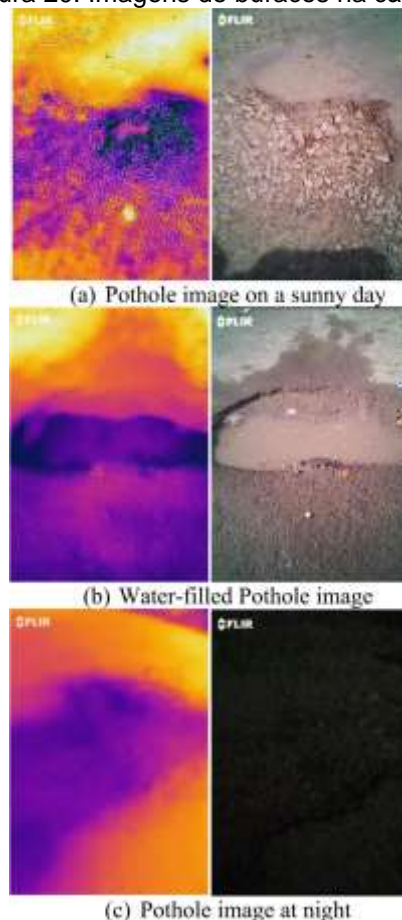
Setor estudado	Equipamento de medição	Amostras	Amostras	Amostras	N° de passadas	IRI	IRI	IRI
		10 m	50 m	100 m		10 m	50 m	100 m
Rota 5 Norte (30 Km)	LCMS	3000	600	300	2	6000	1200	600
	Perfilômetro Laser	3000	600	300	2	6000	1200	600

Fonte: Adaptado de Saldaña *et al*, 2019.

Por fim, concluiu-se que o sistema de medição representa uma boa relação entre os resultados obtidos com os dois equipamentos, apresentando uma variabilidade mínima e mostrando uma boa correlação entre as medidas feitas na mesma amostra, obtendo resultados repetíveis e reprodutíveis.

Aparna *et al.* (2019) propuseram um sistema com base em redes neurais convolucionais, o uso de imagens térmicas tem potencial para competir com as técnicas existentes de detecção de buracos. O buraco (panela) estudado no sistema de detecção usando o modelo ResNet baseado em CNN alcançou uma precisão de 97,08% que foi a melhor relatada na literatura. Além disso, esta foi a primeira vez que a imagem térmica foi usada para a detecção de buracos, essa tecnologia tem várias vantagens sobre as outras técnicas, sendo mais precisas, tendo baixo custo, menos complexo, pode funcionar em condições de tempo noturno e nevoeiro e também não envolve risco de passagem por buracos. A Figura 20 mostra o resultado de imagens térmicas dos buracos da via.

Figura 20: Imagens de buracos na câmera



Fonte: Aparna *et al.*, 2019.

Além disso, este trabalho pode ser estendido para detectar a região de buracos depois de classificar uma imagem como buraco e, além disso, parâmetros também podem ser detectado como a gravidade dos buracos com base do qual pode ser descoberto qual área requer reparo urgente trabalhar.

Jia *et al.* (2020) investigaram a correlação entre a deflexão da superfície medidas e outros dados do pavimento, como estrutura do pavimento, rugosidade da superfície e condição de desgaste. Uma análise não paramétrica de correlação de classificação foi empregada para avaliar as associações entre deflexão e outros dados do pavimento.

A deflexão medida por *Traffic Speed Deflectometer Device* (TSDD) poderia ser potencialmente afetado pelo movimento dos dispositivos de teste. As propriedades da superfície podem influenciar a oscilação gerada no movimento do veículo, o que foi evidenciado pela deflexão do pavimento sob uma carga móvel.

Percebeu-se que não era intenção dos autores construir um modelo para prever a deflexão da superfície com base em desgaste e outros dados do pavimento. Conforme foi indicado em estudos presente na pesquisa, é difícil construir relações entre índices *Traffic Speed Deflectometer* (TSD) e a condição da superfície.

A deflexão da superfície é mecanicamente dependente de parâmetros estruturais do pavimento, incluindo espessura da camada e condições ambientais e de carregamento.

Alguns defeitos superficiais, tais como fissuras por fadiga e fissuras longitudinais podem ser parcialmente associado a defeitos estruturais. No entanto, a previsão do modelo com apenas problemas de superfície pode ocultar algumas questões de pavimentos. Este artigo apresentou uma abordagem que pode ser usada por *State Highway Agencies* (SHAs) para incorporar dados TSD em PMS. O autor deixou claro que para implementar o resultado deste estudo, mais dados são necessários.

Os índices de deflexão não consideram informações estruturais, como espessura da camada e propriedades do material. Para melhor fazer uso dos dados estruturais, tais informações devem estar explícitas.

#### 4.5. Gerenciamento realizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) atualmente possui um processo executivo para realizar uma gerência de pavimentos.

Existem alguns níveis de decisões utilizadas pelo DNIT para esse gerenciamento como mostra o Quadro 7.

Quadro 7: Níveis de decisão para o gerenciamento de pavimento

<b>SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS EM NÍVEL DE REDE</b>	<b>SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS EM NÍVEL DE PROJETO</b>
Caracteriza-se por estudar uma grande área ou malha viária, onde se situam muitas rodovias. Assim, predomina a quantidade sobre o detalhe.	Observa-se mais detalhadamente um determinado trecho pavimentado. Os dados são coletados de forma mais aprofundada, com estudos de estrutura das camadas do pavimento.

Fonte: DNIT, 2011.

Atualmente o DNIT estipula alguns métodos e equipamentos necessários para cada tipo de gerenciamento, isso vai depender do tipo de via, da severidade dos problemas, do orçamento previsto para o estudo e da disponibilidade dos equipamentos. O Quadro 8 mostra alguns tipos de métodos recentes utilizados pelo DNIT.

Quadro 8: Alguns tipos de métodos e equipamentos utilizados pelo DNIT.

<b>DEFLECTÔMETROS</b>	<b>PERFILÔMETROS (LASER E IMAGEM)</b>	<b>IMAGEM E VISUAL</b>
Viga Benkelman	Veículo de Diagnóstico de Rodovias (VDR)	Levantamento Visual Contínuo (LVC)
Falling Weight Deflectometer (FWD)	Levantamento da Irregularidade Longitudinal (IRI)	Índice de Gravidade Global (IGG)
		Índice de Condição da Manutenção (ICM)

Fonte: Autor, 2021.

Como visto, alguns desses métodos já são obsoletos, como a norma como a norma que determina a irregularidade longitudinal, porém devido a alguns fatores como custo elevado dos equipamentos e falta de mão de obra especializada não é possível ainda substituir os procedimentos mais antigos.

Um ponto a ser levado em consideração é a agilidade e ganho de tempo quando realizado um gerenciamento dos pavimentos com os equipamentos atuais e mais tecnológicos, sendo possível assim ao DNIT realizar um estudo para ver até que ponto compensa usar um método mais antigo ou substituí-lo por métodos e equipamento mais modernos.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho expôs o estado sobre as aplicações de novas tecnologias no gerenciamento de pavimentos.

Dito isso, um sistema de gerenciamento de pavimentos consiste em um conjunto de ferramentas e equipamentos que auxiliam na avaliação para manter a pavimentação das vias em condição funcional, confortável e segura para os usuários durante um certo período de tempo.

Com base no que foi exposto, o trabalho seguiu as metas apresentadas para cada etapa de avaliação de resultados, visando analisar quais as novas tecnologias empregues na esfera do gerenciamento de pavimentos, bem como a sua utilização.

Com isso, essa avaliação pode ser dividida entre funcional, na qual o seu objetivo é identificação de problemas superficiais no pavimento, determinando a serventia que o pavimento proporciona ao usuário, e estrutural, por sua vez está associada a capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao pavimento.

Uma importante análise do trabalho foi demonstrar quais as tecnologias e estudos atuais que estão sendo realizados nessa parte de gerência de pavimentos, onde se destacam as tecnologias baseadas em sensores a laser, processamento digital de imagens, perfilômetros e deflectômetros.

Quando comparado os métodos utilizados pelo DNIT e os métodos e equipamentos mais tecnológico, como por exemplo as imagens térmicas abordada por Aparna *et al*, 2019 que teve precisão de 97,08%, tem um ganho de acurácia, agilidade e tempo, conseguindo realizar o mesmo serviço com mais eficiência e rapidez, porém, para o quesito de custo-benefício, é preciso fazer alguns estudos aprofundados entre cada método, a via que será trabalhada, a disponibilidade de mão de obra especializada e o orçamento total para esse gerenciamento, para assim verificar o real custo-benefício na aplicação de novas tecnologias na avaliação de pavimentos.

Desta forma, para trabalhos futuros, considera-se válidas duas simulações de gerenciamento de uma via, a primeira simulação utilizando os métodos usados convencionalmente pelo DNIT e a segunda usando os métodos mais atualizados como foi exposto nesse trabalho, assim tendo como fazer um comparativo mais

realista e chegar a uma conclusão de quais métodos já podem ser substituídos ou não.

## REFERÊNCIAS

- ALEM DA INERCIA. **Como realizar a avaliação estrutural destrutiva dos pavimentos**. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2018/02/05/como-realizar-a-avaliacao-estrutural-destrutiva-dos-pavimentos/>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- APARNA. *et al.* **Convolutional neural networks based potholes detection using thermal imaging**. India. 2019.
- APS, M.; BALBO, J.; SEVERI, A. A. **Avaliação superficial de pavimentos asfálticos em vias urbanas utilizando o método do PCI**. REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31., 1998, São Paulo. Anais... Rio de Janeiro: ABPV, 2001
- ASLAN, O. D. *et al.* **Using artificial intelligence for automating pavement condition assessment**. 2019.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. Oficina de texto, 2007. 558 p.
- BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, Brasil: Petrobras, 2010.
- CAREY, W. N. Jr; IRICK, P. E. C. **The Pavement Serviceability Performance Concept**. 1960.
- CASSANIGA, M. J. **Deteção de Trincas e Buracos em Estradas Asfaltadas**. Santa Catarina, 2017.
- COSTA, E. M. C. **Avaliação da irregularidade longitudinal em pavimento flexível por meio do uso de aplicativo para smartphone**. Balneário Camboriú, 2019.
- DER-SP, **Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo**, 2006.
- DESTRI JUNIOR, J. *et al.* **Deteção e quantificação automatizadas de trincas em pavimentos de rodovias**. Balneário Camboriú, 2019.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro, 1998. 243 p.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos**. – PRO 006/2003. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Levantamento Visual Contínuo para Avaliação da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos**. – PRO 008/2003. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro, 2011. 188 p.
- \_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006. 278 p.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Projeto Programa CREMA**. Minas Gerais, 2016.

\_\_\_\_\_. **Termo de Referência. Processo nº. 50600.030684/2017-30**. Disponível em:

<[http://www1.dnit.gov.br/anexo/Termo%20de%20Refer%C3%Aancia/Termo%20de%20Refer%C3%Aancia\\_edital0523\\_17-00\\_0.pdf](http://www1.dnit.gov.br/anexo/Termo%20de%20Refer%C3%Aancia/Termo%20de%20Refer%C3%Aancia_edital0523_17-00_0.pdf)>. 2017.

DRESCH, F. **Gerência de pavimentos urbanos: utilização de levantamento visual contínuo para avaliação das vias principais pavimentadas de Santa Rosa/RS**. Rio grande do Sul, 2014.

DYNATEST. **Perfilômetro laser (RSP)**. 2020. Disponível em: <http://dynatest.com.br/perfilometro-laser-rsp/>. Acesso em: 12 abr. 2021.

EMERSLEBEN, A. **The use of geocells in road constructions over soft soil: vertical stress and falling weight deflectometer measurements**. 2016.

FERNANDES JUNIOR, J. L. **Sistemas de Gerência de Pavimentos para Cidades de Médio Porte. Tese de Livre Docência** – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001, 109 p.

FERNANDES JUNIOR, J. L.; PANTIGOSO, J. F. G. **Compatibilização da gerência de pavimentos urbanos com as concessionárias de serviços públicos com o uso de SIG**. XI ANPET – Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. Rio de Janeiro, 1996.

GONÇALVES, F. J. P. **O diagnóstico e a manutenção dos pavimentos**. Passo Fundo, 1999.

HAAS, R.; HUDSON, W. **Pavement Management Systems**. New York, 1978.

HERNANDES, E.; ZAMBONI, A.; FABRI, S. **Using GQM and TAM to evaluate StArt-a tool that supports**. 2012

JIA, X. *et al.* **Evaluation of influence of pavement data on measurement of deflection on asphalt surfaced pavements utilizing traffic speed deflection device**. USA. 2020.

LABTRANS. **Ferramenta e Metodologia de Apoio ao Levantamento do Índice de Condição de Manutenção (ICM)**. Disponível em: <https://www.labtrans.ufsc.br/ferramenta-e-metodologia-de-apoio-ao-levantamento-do-indice-de-condicao-de-manutencao-icm/>. Acesso em: 12 abr. 2021.

LANCELOT, E. **Performance based contracts in the road sector: towards improved efficiency in the management of maintenance and rehabilitation Brazil's experience**. 2010

MARTINS, L. L. S. **Avaliação Superficial de Pavimentos, usando o método IGG, (Índice de Gravidade Global): Um estudo de caso, em um trecho na Av. Anhanguera, em Goiânia, Goiás**. Goiânia, 2019.

MELLO, L. G. R.; QUEIROZ, C. **Recentes investimentos em rodovias federais brasileiras**. Brasília, 2018.

MINISTERIO DE INFRAESTUTURA. **ICM, rodovias federais quilômetro por quilômetro**. Disponível em: <https://antigo.infraestrutura.gov.br/icm-indicador-de-qualidade-das-rodovias.html>. Acesso em: 24 abr. 2021.

NIESTCHE, P. *et al.* **Monitoring ride quality on roads with existing sensors in passenger cars**. Sydney, 2014. NOBREGA, E. S. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2003.

QUEIROZ, C. A. V. **Modelos de Previsão de Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil**. Brasília, 1984.

REIS, C. A. R. **Desenvolvimento de equipamento e método para levantamento visual contínuo com vídeo-registro de defeitos de pavimentos rodoviários**. Rio de Janeiro, 2007.

RODRIGUES, R. M. **Projeto e Gerência de Pavimentos**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA. São José dos Campos, 1996.

SALDAÑA, D. M. **Evaluación comparativa de la medición del índice de rugosidad internacional (iri) empleando tecnologia laser de tres dimensiones (lcms) y perfilometro laser**. 2017.

SAYERS, M. W.; GILLESPIE, T. D.; QUEIROZ, C. A. V. **The International Road Roughness Experiment Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements**. 1990.

SCHLISSLER, A. S. & BULL, A. (1992). **Caminhos – Um novo caminho para a gestão e conservação das redes viárias**. 246p.

SHAHIN, M.Y; KOHN S. D. **Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets and Parking Lots**. Julho, 1979.

Systematic Review. **CLEI Electronic Journal**, v. 15, n. 1, p. 3-3.

STRATA. **MM - Meter**. Disponível em: <http://www.strata.com.br/service/mm-meter/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

TOTAL CONSTRUÇÃO. **Viga Benkelman – O Que É? Como Funciona? Aprenda Aqui**. Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/viga-benkelman/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

VISCONTI, T. S. **O sistema gerencial de pavimentos do DNER**. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Divisão de Apoio Tecnológico. 2000, 84 p.

ZANCHETTA, Fábio. **Aquisição de dados sobre a condição dos pavimentos visando a implementação de sistemas de gerência de pavimentos urbanos**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 2005.