

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MARIANA BARBERATO DE ALMEIDA

**ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO FATOR EXTERNO VELOCIDADE NA
AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

**Ilha Solteira
2021**

MARIANA BARBERATO DE ALMEIDA

**ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO FATOR EXTERNO VELOCIDADE NA
AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Nome do orientador

Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A447e Almeida, Mariana Barberato.
Estudo da interferência do fator externo velocidade na avaliação da superfície de pavimentos asfálticos / Mariana Barberato Almeida. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
48 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil)-
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2021

Orientador: Jairo Salim Pinheiro de Lima
Inclui bibliografia

1. Gerência de pavimentos. 2. Avaliação subjetiva de pavimentos. 3. Valor de serventia atual.


Raiane da Silva Santos

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURSO : ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : TRANSPORTES
REALIZADA EM : 16-08-2021
DISCENTE : **Mariana Barberato de Almeida**

COMISSÃO EXAMINADORES:

1. Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima – UNESP/Ilha Solteira (Orientador).
2. Prof^a. Dr^a. Cláudia Scoton Antônio Marques – UNIFUNEC/Santa Fé do Sul (Examinadora).
3. Eng^o Civil – João Batista Pereira – UNESP/FE Ilha Solteira (Examinador).

Título do trabalho: Estudo da interferência do fator externo velocidade na avaliação da superfície de pavimentos asfálticos.

Local: WEB – Via Google Meet

Horário de início: 16h

Em sessão pública, após exposição em torno de 40 (quarenta minutos), a discente foi arguida oralmente, e no final da exposição foi **"APROVADA"** pelos membros componentes da Comissão Examinadora. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ATA, a qual é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pela discente.

Ilha Solteira, 16 de agosto de 2021.



Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima
UNESP/FE Ilha Solteira (Orientador)



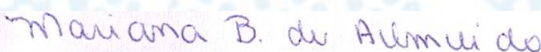
Prof^a. Dr^a. Cláudia Scoton Antônio Marques
UNIFUNEC/Santa Fé do Sul (Examinadora)



Eng^o Civil MS João Batista Pereira
UNESP/FE Ilha Solteira (Examinador)

Ciente:

Discente:



Mariana Barberato de Almeida

AGRADECIMENTOS

Aqui se dá o encerramento de um dos ciclos mais importantes da minha vida. Hoje vejo que Engenharia Civil é muito mais do que construção de edifícios. Engenharia é sobre disciplina, estratégia, raciocínio, planejamento, resolução de problemas, querer fazer as coisas de maneira diferente e mais produtiva. Minha escolha sempre foi, e sempre será, a engenharia.

Aqui, Agradeço, primeiramente, à Deus. Meu pai sempre me disse que meu Pai do Céu me amava muito. E ama mesmo. Sempre me surpreendeu com coisas melhores do que eu mesma imaginava para mim.

Agradeço aos meus pais, que sempre apoiaram meus estudos, meus sonhos de voar e minhas loucuras, investindo da maneira que podiam para eles se tornarem realidade. Esses anos não teriam sido os mesmos sem vocês.

Agradeço aos meus amigos Mateus e Rodrigo por toda a paciência e todas as madrugadas acordados estudando e fazendo trabalhos e nos divertindo, à medida do possível. Agradeço por termos sonhado muitas coisas juntos, e concretizado tais sonhos. Nosso intercâmbio não teria sido o mesmo sem vocês (desde as aulas de francês, até nossos dias em Fives, Lille, França).

Agradeço aos meus amigos da vida Natália e Muller, com os quais compartilho meus sonhos há mais de 10 anos (bem mais, estamos velhos!), e que sempre estiveram comigo, mesmo à distância. Amo vocês!

Um agradecimento super especial ao Luca, meu companheiro, meu amigo, minha “encheção de saco” diária para eu finalizar a faculdade! Sem você esses anos não teriam tido o brilho que tiveram.

Por fim, agradeço à Unesp de Ilha Solteira e todo o seu corpo docente, em especial, ao Professor Jairo, por toda a seriedade e compromisso que sempre me passou ao longo desses anos. Vocês foram de fundamental importância para a minha excelente formação, e escutar no mercado de trabalho que a Unesp de Ilha forma profissionais exemplares é incrível, e tudo graças a vocês.

E, Ilha Solteira, você terá minha admiração eterna! Conquistou meu coração desde a primeira vez que pisei meus pés, e terá meu coração para sempre.

RESUMO

Gerenciar pavimentos é essencial para a determinação do momento e do tipo adequado de intervenção, de forma a maximizar os investimentos e garantir condições operacionais seguras e confortáveis aos usuários. A avaliação dos pavimentos é uma importante etapa dessa gerência. Dentre os parâmetros para determinar a qualidade de um pavimento, destacam-se os modelos funcionais e estruturais. O método de Avaliação Subjetiva, objeto deste trabalho, é funcional e determina o Valor de Serventia Atual de pavimentos asfálticos de acordo com a opinião dos usuários. Por estar vinculada às condições de conforto, a avaliação subjetiva pode agregar fatores não diretamente vinculados à qualidade do pavimento, como os relacionados à operação, sendo alguns deles a velocidade operacional do veículo e a posição do avaliador dentro dele. Este trabalho analisa a influência do fator externo velocidade na nota atribuída ao pavimento. Os resultados obtidos demonstraram que a percepção da influência da velocidade é sentida quando o trecho apresenta um maior conforto ao rolamento. Além disso, em um trecho com menor conforto, há uma maior dificuldade sentida pelos avaliadores durante a análise.

Palavras-chave: gerência de pavimentos; avaliação subjetiva de pavimentos; valor de serventia atual.

ABSTRACT

Managing pavements is essential for determining the right time and type of intervention, in order to maximize investments and ensure safe and comfortable operating conditions for users. The assessment of pavements is an important step in this management. Among the parameters to determine the quality of a pavement, the functional and structural models stand out. The Subjective Evaluation method, object of this work, is functional and determines the Current Useful Value of pavements according to the users' opinion. As it is linked to comfort conditions, the subjective evaluation can add factors not directly linked to pavement quality, such as those related to the operation, some of which are the vehicle's operating speed and the position of the evaluator within it. This work analyzes the influence of the external factor velocity on the grade assigned to the pavement. The results obtained showed that the perception of the influence of speed is felt when the stretch has greater rolling comfort. Furthermore, in a stretch with less comfort, there is greater difficulty felt by the evaluators during the analysis.

Keywords: pavement management; subjective evaluation; current use value.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O Sistema Pavimento	16
Figura 2 - Estrutura de um Sistema de Gerência de Pavimentos.....	17
Figura 3 - Hierarquia de um SGP.....	19
Figura 4 - Fluxograma de um SGP com alternativas das estratégias de M&R.	21
Figura 5 - Representação de defeitos de superfície.....	26
Figura 6 - Variação da serventia em relação ao tráfego ou ao tempo decorrido de utilização da via.....	29
Figura 7 - Período recomendado para a manutenção dos pavimentos.	30
Figura 8 – Município de Ilha Solteira, São Paulo.....	32
Figura 9 - Trechos 1 e 2 analisados.	33
Figura 10 - Comprimento aproximado dos trechos de amostragem.....	33
Figura 11 - Rua Correntes, trecho 1.....	34
Figura 12 - Rua Batalha, trecho 2.	34
Figura 13 - Percurso realizado a cada volta.	37
Figura 14 - Exemplificação das viagens dadas por um avaliador.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de serventia.....	29
Tabela 2 - Avaliador, gênero e idade dos avaliadores.	41
Tabela 3 - Notas dos avaliadores na POSIÇÃO 1.....	42
Tabela 4 - Notas dos avaliadores na POSIÇÃO 2.....	43
Tabela 5 - Notas dos avaliadores na POSIÇÃO 3.....	44
Tabela 6 - Notas dos avaliadores na POSIÇÃO 4.....	45
Tabela 7 - Conceito de Serventia a cada trecho de acordo com a velocidade operacional.....	46
Tabela 8 - Média do VSA à velocidade de 30km/h e 50km/h.....	46
Tabela 9 - Valores de Serventia Atual e suas variações.	48
Tabela 10 - Desvios padrão dos Valores de Serventia Atual.	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Específico	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. Sistema de Gerência de Pavimentos.....	14
3.2. Níveis de Decisão na Gerência de Pavimentos	18
3.3. Modelos de previsão de desempenho	21
3.4. Ciclo de vida do pavimento.....	23
3.5. Deterioração dos Pavimentos.....	24
3.6. Avaliação dos Pavimentos.....	28
3.6.1. Generalidades.....	28
3.6.2. Avaliação Funcional.....	28
3.6.3. Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos.....	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1. Materiais	32
4.2. Métodos.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
6. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXO A – Ficha de avaliação de serventia.....	52

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Pavimento pode ser definido como um conjunto de componentes (revestimento, base, sub-base e subleito) que interagem mutuamente e são submetidos a fatores externos como tráfego, operações de manutenção e condições ambientais. Tais fatores causam desgaste ao pavimento e, devido a isso, é essencial que seja feita constantemente a sua manutenção e, se preciso, restauração, uma vez que sem tais procedimentos é reduzida a serventia do pavimento e, com isso, podem ocorrer aumentos significativos nos custos operacionais dos veículos e na sua recuperação.

Nesse contexto, surge o Sistema de Gerência de Pavimentos, cujo objetivo é alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER, 2000). Suas atividades básicas para implantação e frequente avaliação de um Banco de Dados são: sistema de referência; avaliação dos pavimentos; determinação das prioridades; e elaboração de programa plurianual de investimentos. A avaliação de pavimentos é o ponto de partida para as tomadas de decisão do Sistema de Gerência de Pavimentos, definindo suas condições funcionais, estruturais e operacionais.

A avaliação funcional de um pavimento significa a análise do estado de sua superfície e de como esse estado influenciará no conforto ao rolamento dos veículos. Tal análise é feita por meio de dois parâmetros, o Valor da Serventia Atual (VSA) e o Índice de Irregularidade Internacional (IRI). Nesse trabalho, o enfoque será dado ao VSA.

O Valor de Serventia Atual é uma medida subjetiva das condições dos pavimentos, e cujo valor varia de péssimo a ótimo de acordo com a nota atribuída pelos avaliadores que percorrem um determinado trecho da via em análise. No entanto, essa avaliação pode ser influenciada por fatores externos, não diretamente relacionados ao pavimento.

O levantamento de dados realizado neste trabalho faz parte de uma pesquisa maior, e nele consideraram-se a velocidade operacional do veículo durante a avaliação e a posição do avaliador no veículo como fatores externos que poderiam

influenciar na avaliação. O primeiro fator será o objeto de estudo desse trabalho, e o segundo, estará presente no trabalho de outro pesquisador.

Além disso, outros fatores como idade e gênero do avaliador, e modelo do veículo, que também podem influenciar a percepção do avaliador sobre a qualidade da via, foram controlados.

Os resultados do Valor de Serventia Atual foram obtidos por meio da média das notas dadas pelos avaliadores nas diferentes posições e velocidades operacionais utilizadas nos trechos percorridos. Além disso, para medir a confiabilidade dos dados, foi calculado o desvio padrão. Por fim, para a análise da influência do fator externo velocidade, foram comparados os resultados de mesmas posições dentro do veículo.

Ao final desse trabalho, foi possível afirmar que para o Trecho com condições de maior conforto ao rolamento, a influência da velocidade foi significativa, sendo que quanto maior a velocidade, maior o conforto percebido pelos usuários. Para o Trecho de conforto regular, foi possível perceber uma maior dificuldade na avaliação, e a influência da velocidade não pode ser notada.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição do fator externo velocidade no procedimento de avaliação subjetiva de pavimentos asfálticos.

2.1. Objetivo Específico

- Revisão da bibliografia;
- Avaliação subjetiva de trechos pré-definidos;
- Cálculo do Valor de Serventia Atual e desvio padrão;
- Análise dos dados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Sistema de Gerência de Pavimentos

Como cita Bernucci et al. (2008), o principal objetivo da pavimentação é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e condições climáticas, além de proporcionar aos usuários conforto e segurança ao rolamento. Dessa forma, para suportar a repetição de cargas de roda sem sofrer deformações significativas, torna-se necessária a construção de uma estrutura, denominada pavimento, responsável por distribuir as solicitações, limitando as tensões e deformações, com o objetivo de garantir um desempenho adequado da via por um longo período. Sendo assim, o desafio ao projetar um pavimento se trata em conceber uma obra de engenharia que cumpra demandas estruturais, funcionais (conforto ao rolamento e segurança) e que seja projetada da forma mais econômica possível.

E com o intuito e a necessidade de melhorar a preservação das rodovias, surge nos EUA, na metade dos anos 1970, o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), visando fornecer e manter os pavimentos em um nível adequado de conservação (ALBUQUERQUE, 2007).

Em sua tese de doutorado, ALBUQUERQUE (2007) explana sobre esse histórico do SGP. Após o desenvolvimento do primeiro SGP nos EUA, em 1985 a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) publicou o seu primeiro guia sobre gerência de pavimentos. Em seguida, o *Federal Highway Administration* (FHWA), determinou que todos os estados norte-americanos deviam implantar um SGP para suas malhas federais a fim de receber investimentos (NHI, 1998). A AASHTO continuou aprimorando e publicando guias de SGP, e a versão mais recente se trata da 2ª Edição do *Pavement Management Guide* (AASHTO, 2012).

Com a mesma condição de que para haver obtenção de investimentos em infraestrutura rodoviária, era preciso existir a aplicação de metodologia de gerência de pavimentos, o programa *Highway Development and Management* (HDM), do Banco Mundial, também foi responsável por impulsionar os conceitos e necessidades de implantação de SGP pelo mundo (ALBUQUERQUE, 2007). Sendo assim, desde os anos 1980 os países vêm aplicando tal metodologia, e a

versão HDM-III foi utilizada por duas décadas, combinando análises técnica e econômica de projetos de rodovias de forma a preparar programas de investimentos em rodovias e análise de estratégias.

No Brasil, de acordo com o Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT (2011), a partir de 1980 houve um crescente interesse no desenvolvimento e aplicação de Sistemas de Gerência de Pavimentos devido a fatores como: necessidade de manutenção oportuna e adequada da rede rodoviária por conta do envelhecimento dos pavimentos; exigência dos órgãos financiadores; a limitação dos recursos a serem aplicados no setor rodoviário frente às crescentes necessidades motivadas pela progressiva deterioração da rede; o reconhecimento do efeito que a condição do pavimento gera nos custos operacionais dos veículo, entre outros.

Em 1982, foi formalizada a criação da Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos (CPGP), presidida pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) e contando com representantes de demais setores técnicos do DNER. Inicialmente, a CPGP utilizou o Índice de Suficiência para priorizar projetos de restauração de pavimentos, porém tal índice não levava em consideração fatores de ordem econômica, e sim ponderava informações que refletiam as condições de conservação e utilização da rodovia, sendo aceito na época pelo Banco Mundial (VISCONTI, 2000 citado por ALBUQUERQUE, 2007).

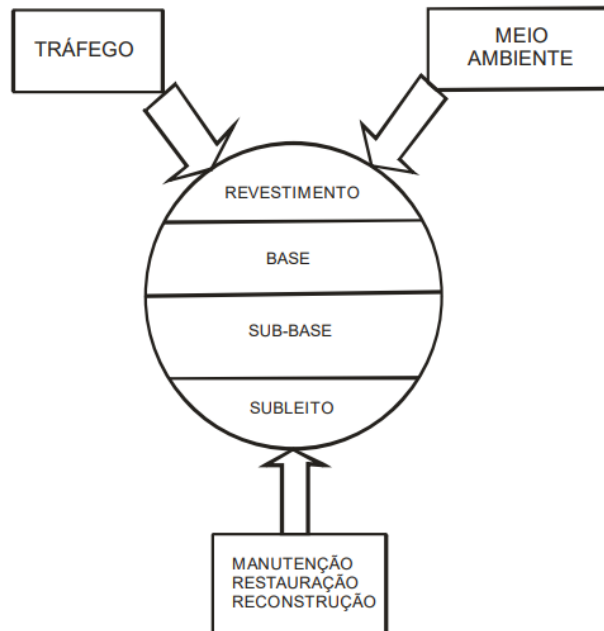
Posteriormente, em 1985, começaram a ser utilizados os resultados dos levantamentos de campo do HDM-III, selecionado para avaliar economicamente as alternativas de manutenção para todos os trechos da rede federal pavimentada. Desde então, o sistema HDM-III foi empregado no Sistema de Gerência de Pavimentos brasileiro para avaliação da rede federal e para a definição das prioridades de restauração (MANUAL DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS - DNIT, 2011).

No início dos anos 2000, o Brasil começou a utilizar o novo modelo de análise técnica e econômica de rodovias do Banco Mundial, o HDM-4, e atualmente muitos dos estados brasileiros estão em fase de implantação de seus próprios SGPs para as suas malhas rodoviárias.

O Sistema Pavimento pode ser definido como um conjunto de componentes que interagem mutuamente. Revestimento, base, sub-base e subleito são submetidos a fatores externos, como tráfego, operações de

manutenção e condições ambientais (MANUAL DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS – DNIT, 2011), conforme mostrado na Figura 1.

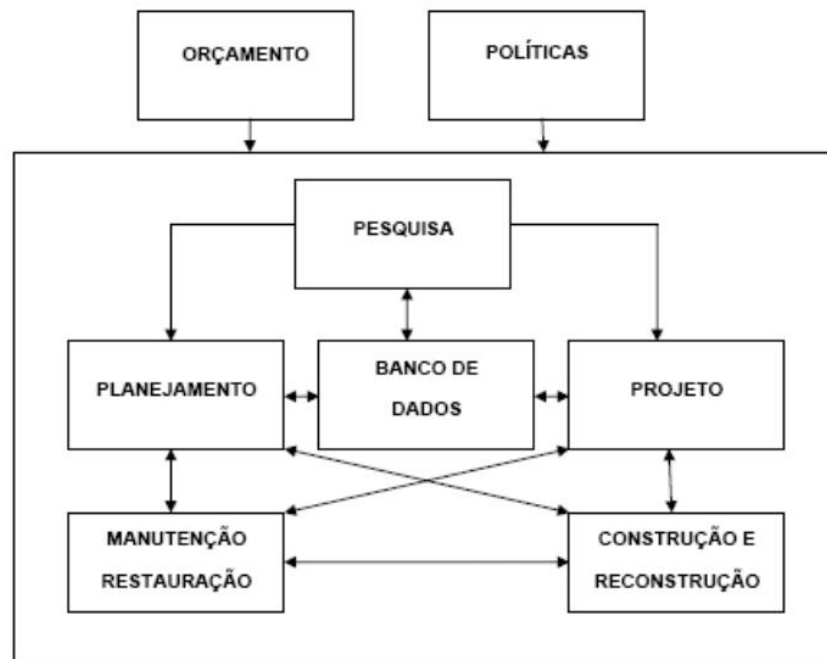
Figura 1 - O Sistema Pavimento



Fonte: Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 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 (MANUAL DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS, 2011), conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Estrutura de um Sistema de Gerência de Pavimentos



Fonte: Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011)

Para o Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011), o objetivo principal de um SGP é alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico.

Segundo Silva (2002), algumas das principais funções de um SGP são:

- planejar as atividades de manutenção presente e futuras;
- determinar o custo da manutenção futura, se ela se eleva ou diminui;
- assegurar viabilidade econômica;
- montar uma eficiente base de dados, pois na ausência destes não há

análise e nem suporte para decisão;

- definir as causas dos problemas e encontrar soluções adequadas;
- implementar métodos eficientes de monitoramento;
- gerar alternativas e critérios de priorização;
- criar modelos de previsão de desempenho.

Além disso, um SGP também pode ser definido como um conjunto de ferramentas ou métodos que auxiliam os tomadores de decisão a encontrar uma estratégia ótima para fornecer, avaliar e manter pavimentos em condições de serviço adequadas ao longo do tempo (AASTHO, 2001, citado por ALBUQUERQUE, 2007). Portanto, um Sistema de Gerência de Pavimentos consiste, na verdade, em um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) usado para ajudar a conciliar os menores investimentos possíveis com um nível desejado de serviço do pavimento ou malha rodoviária, por meio de programas de manutenção e restauração de pavimentos (NHI, 1998, citado por ALBUQUERQUE, 2007).

O SGP realiza todo o processamento de dados, normalmente por meio de sistema informatizado, mas a decisão é sempre tomada por pessoas. Trata-se de uma ferramenta para decidir pela aplicação de múltiplas estratégias de intervenção nos pavimentos, isto de acordo com as condições superficiais e estruturais mínimas desejáveis e com as restrições orçamentárias enfrentadas (ALBUQUERQUE, 2007).

As atividades básicas de um Sistema de Gerência de Pavimentos para implantação e frequente avaliação de um Banco de Dados estão relacionadas a área de planejamento, sendo elas (DNIT, 2011):

- sistema de referência;
- avaliação dos pavimentos (históricos da implantação, manutenção e melhoramentos da rodovia; orografia da região; características regionais das rodovias; condições estruturais e funcionais das rodovias; tráfego das rodovias;
- determinação das prioridades;
- elaboração de programa plurianual de investimentos.

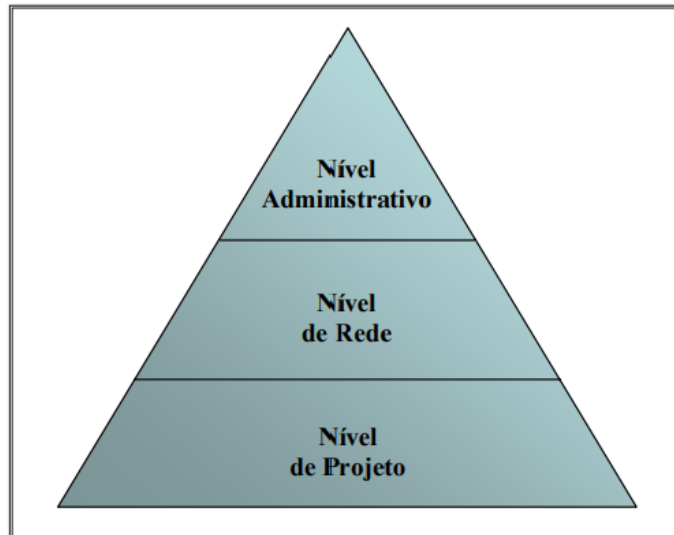
Lembrando sempre que o sistema de coleta de dados deve ser confiável, e as informações devem ser de fácil acesso e periodicamente atualizadas.

3.2. Níveis de Decisão na Gerência de Pavimentos

A gerência de pavimentos ainda é subdividida em três níveis diferentes de processo decisório (Haas *et al.*, 2001, citado por ALBUQUERQUE, 2007), sendo o primeiro deles o Nível Administrativo, em que os fundos são alocados entre categorias diferentes da infraestrutura de transporte (obras de arte, obras de

sinalização, obras de pavimentação, etc); no segundo, o Nível de Rede, as agências de gerência de pavimentos determinam as estratégias de intervenção, identificam as necessidades da malha e programam as atividades de intervenção. Os tratamentos detalhados das intervenções são tratados no nível do projeto (Figura 3).

Figura 3 - Hierarquia de um SGP.



Fonte: (ZHENG LI, 2005; PANTELIAS, 2005).

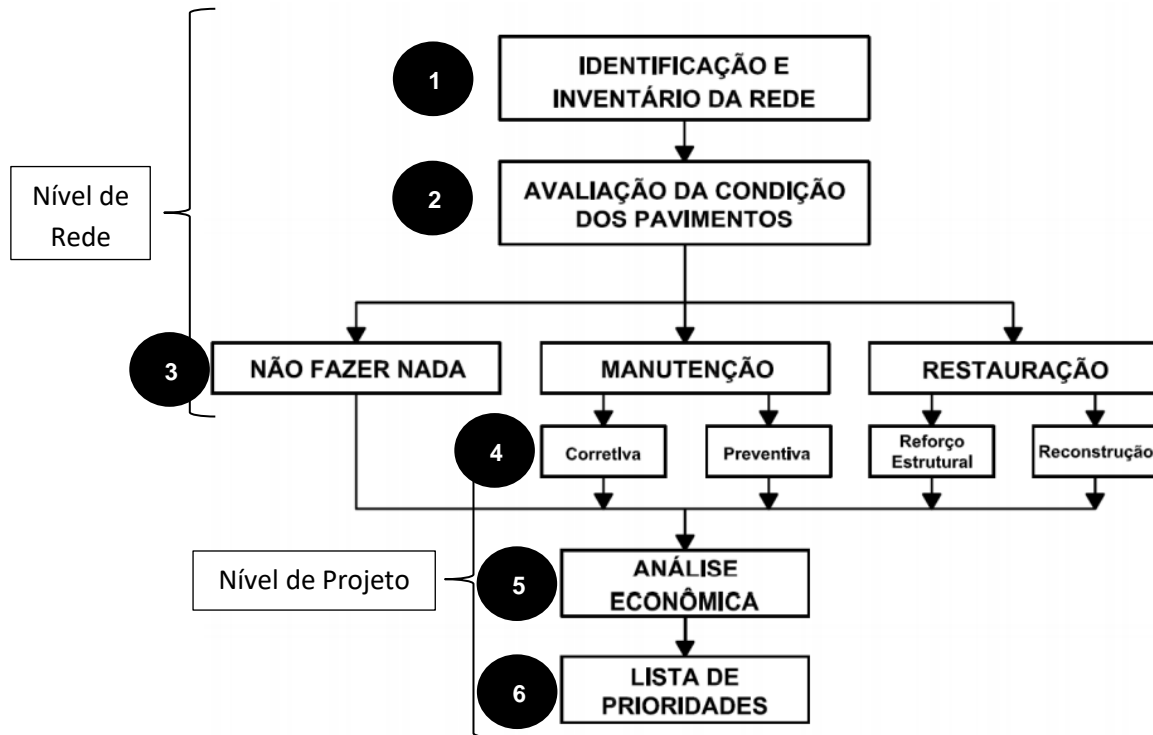
O guia de SGP da AASHTO (2001) determina que um SGP em nível de rede inclua o estabelecimento de programas de conservação de pavimentos, identificação de prioridades, estimativa das necessidades de investimentos, e alocação de capitais para manutenção, restauração e reconstrução. O SGP em nível de projeto seleciona atividades específicas de manutenção, restauração e reconstrução em segmentos definidos de pavimentos.

Além disso, o Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011), explica que o SGP em nível de rede caracteriza-se por estudar uma grande área ou malha viária, onde situam-se muitas rodovias. Assim, na coleta e análise de dados, busca-se o conhecimento da malha como um todo, de forma a possibilitar a adequada priorização dos recursos disponíveis. No nível de rede, as informações necessárias devem ser mais simples e demandar um menor intervalo de tempo para a sua obtenção. Preocupa-se com a escolha da melhor estratégia (“o que fazer”), com a indicação da atividade mais apropriada (“como fazer”), em selecionar as seções prioritárias (“onde fazer”), e com a definição da melhor época para a execução dos serviços de Manutenção e/ou Restauração e

a que custo aproximado (“quando fazer”). Tais tarefas podem ser desenvolvidas por meio de modelagens, sendo a meta a maximização da condição média da rede rodoviária para um horizonte de planejamento plurianual.

Em nível de projeto, o Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011) explica que se deve observar mais detalhadamente um determinado trecho pavimentado. Os dados são coletados de forma mais aprofundada, com estudos de estrutura das camadas do pavimento, determinando, sempre que possível, as causas do aparecimento de defeitos e as consequências que estes poderão induzir em camadas adjacentes, procurando avaliar e selecionar o tipo e data de execução do serviço de manutenção e reparo (M&R). Para este nível, as decisões, além de administrativas, são técnicas e econômicas, e as decisões em nível de projeto complementam o nível de rede. Nos estudos em nível de projeto, além da realização de levantamentos e ensaios, são determinadas as quantidades de serviços e os custos das diferentes alternativas de intervenção. Os benefícios advindos das melhorias da condição do pavimento, e consequentemente de sua vida útil, são avaliados, as necessidades são quantificadas, as prioridades são estabelecidas, contemplando programas e, depois de selecionadas as estratégias, os custos são estimados. Resumindo, o SGP em nível de projeto possibilita que seja feita uma melhor avaliação das causas de deterioração, ensejando a seleção de estratégias que sejam mais adequadas para a manutenção dos trechos. O fluxograma mostrado na Figura 4 resume bem todo esse processo.

Figura 4 - Fluxograma de um SGP com alternativas das estratégias de M&R.



Fonte: Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011)

1 – Definição e identificação das seções dos pavimentos para análise.

2 – Levantamento das condições do pavimento, obtendo-se informações sobre as características físicas e o estado de deterioração, anotando-se as extensões e os níveis de severidade dos segmentos.

3 – Análise em nível de rede, permitindo a escolha das alternativas das estratégias de M&R.

4 – Análise em nível de projeto, definindo-se as atividades de manutenção ou, se for o caso, de dimensionamento de reforços ou de restauração.

5 – Análise econômica: permite que sejam avaliadas as alternativas de M&R, e constituindo-se em ferramenta de tomada de decisão. Devem ser levados em consideração os fatores políticos, econômicos e sociais.

6 – Estabelecimento de prioridades para uma otimização das aplicações dos recursos, maximizando os benefícios ou minimizando os custos sob restrições orçamentárias.

3.3. Modelos de previsão de desempenho

Dois conceitos possuem grande importância quando se trata de Gerência de Pavimentos: serventia e desempenho.

Serventia “é a habilidade do pavimento em proporcionar ao usuário conforto, segurança e economia” (DNIT, 2006, p.33); desempenho “é definido como a variação da serventia que o pavimento oferece aos seus usuários, ao longo do tempo ou após um determinado número de aplicações de cargas do tráfego, ou seja, o histórico” (CAREY, IRICK, 1960 citado por SONCIM, 2011). O desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e à durabilidade compatível com o padrão da obra e o tipo de tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários (BERNUCCI et al. 2008). Quando o conforto é prejudicado, significa que o veículo também sofre mais intensamente as consequências desses defeitos. Essas consequências acarretam maiores gastos com peças de manutenção dos veículos, com consumo de combustível e de pneus etc (BERNUCCI et al. 2008).

Para que o desempenho permaneça elevado ao longo do tempo, existem modelos de previsão de desempenho que são empregados em planejamento e em gerência de pavimentos e de manutenção. Segundo ALBUQUERQUE (2007), os modelos de previsão de desempenho são ferramentas essenciais em um SGP, pois deles são determinadas as condições futuras do pavimento. Assim, são estimadas necessidades de manutenção e reabilitação futuras, além de programas de investimentos.

A disponibilidade de modelos consistentes resulta em uma estimativa confiável da vida restante do pavimento e a tomada de decisão acerca das soluções técnicas mais apropriadas no contexto de um projeto, permitindo, assim, a previsão do desempenho futuro dos pavimentos, com base na sua condição atual e nos fatores intervenientes (RODRIGUES, 2007).

Alguns tipos de modelos de desempenho de pavimento e suas características serão listados a seguir.

- Modelo mecânico: modelo baseado em parâmetros de respostas estruturais, como tensão, deformação e deflexão (HAAS, 1994, citado por ALBUQUERQUE, 2007), ou seja, eliminam as interferências empíricas na estimativa da deterioração do pavimento, sendo estudados efeitos baseados na representação física do processo de deterioração. Tem como vantagem otimizar a

combinação de projetos, estratégia e o tempo para concluir metas estabelecidas (PEDRO, 2017).

- Modelo empírico-mecanístico: modelo onde o parâmetro de resposta estrutural é relacionado à deterioração estrutural ou funcional medida, sendo o mais utilizado para a previsão de desempenho de pavimentos (ALBUQUERQUE, 2007), ou seja, as respostas estruturais são correlacionadas com dados experimentais sobre a evolução da deterioração do pavimento. Tem como vantagem avaliar impactos temporais de vários cenários elencados (PEDRO, 2017).
- Modelo empírico: modelo no qual variáveis dependentes de deterioração estrutural ou funcional são relacionadas a uma ou mais variáveis independentes, como suporte do subleito, fatores ambientais e suas interações, etc (ALBUQUERQUE, 2007). Tem como vantagem a promoção da retroalimentação para o processo de projeto do pavimento (PEDRO, 2017).
- Modelo subjetivo: nele a experiência de técnicos é formalizada em processos de transição, como o processo de Markov, que permite a obtenção de modelos de desempenho mesmo sem série histórica de dados. É um caminho alternativo para o desenvolvimento preliminar de modelos de desempenho, onde a base de dados requerida não é extensa e obtida em etapas de projeto (ALBUQUERQUE, 2007). Tem como vantagem auxiliar nas estimativas dos custos de ciclo de vida do pavimento (PEDRO, 2017).

A estimativa da evolução do processo de deterioração do pavimento é importante na determinação da sua vida em serviço (SONCIM, 2011). Portanto, modelos de previsão de desempenho são essenciais para estimar o custo do ciclo de vida de um pavimento (PEDRO, 2017).

3.4. Ciclo de vida do pavimento

Os modelos de otimização têm como objetivo identificar as estratégias de manutenção, restauração e reconstrução que maximizem o desempenho da

rede, ou que minimizem os custos necessários para colocar a rede em condições requeridas em contrato (AASHTO, 1990, citado por ALBUQUERQUE, 2007).

Os benefícios e custos que devem ser medidos para os procedimentos das análises de otimização são classificados em três categorias diferentes (HDM-4-b, 2000, citado por ALBUQUERQUE, 2007).

- Expressos em termos monetários: custo de operação do veículo, economia no tempo de viagem, custos de acidentes etc.
- Não expressos em termos monetários: segurança da via, poluição pela emissão de veículos e barulho de tráfego etc.
- Não quantificados: aumento do bem-estar social, impactos ao meio ambiente etc.

A estimativa do Custo do Ciclo-de-Vida da estratégia de intervenção é alternativa para análise da aplicação racional dos recursos disponíveis pela agência em determinado período, não é um processo fácil e está correlacionada com modelos de previsão de desempenho. Depende dos custos iniciais de construção e restauração, da vida do projeto restante da estrutura inicial do pavimento, dos custos futuros de manutenção e restauração, da previsão do valor residual do pavimento no final do período de análise (ALBUQUERQUE, 2007, citado por PEDRO, 2017).

3.5. Deterioração dos Pavimentos

Os principais fatores que contribuem para o início, propagação e acúmulo de deterioração são os ambientais (temperatura e teor de umidade) e as solicitações de tráfego (carga por eixo, pressão de enchimento dos pneus, tipo de suspensão etc.). Além desses fatores, a qualidade dos materiais, as técnicas e os cuidados construtivos e estratégias de manutenção e reabilitação também podem influir na deterioração dos pavimentos ao longo da vida em serviço (FERNANDES JR, 1994, citado por SONCIM, 2011).

Hudson (1971), citado por SONCIM (2011), apresenta alguns mecanismos de deterioração de pavimentos.

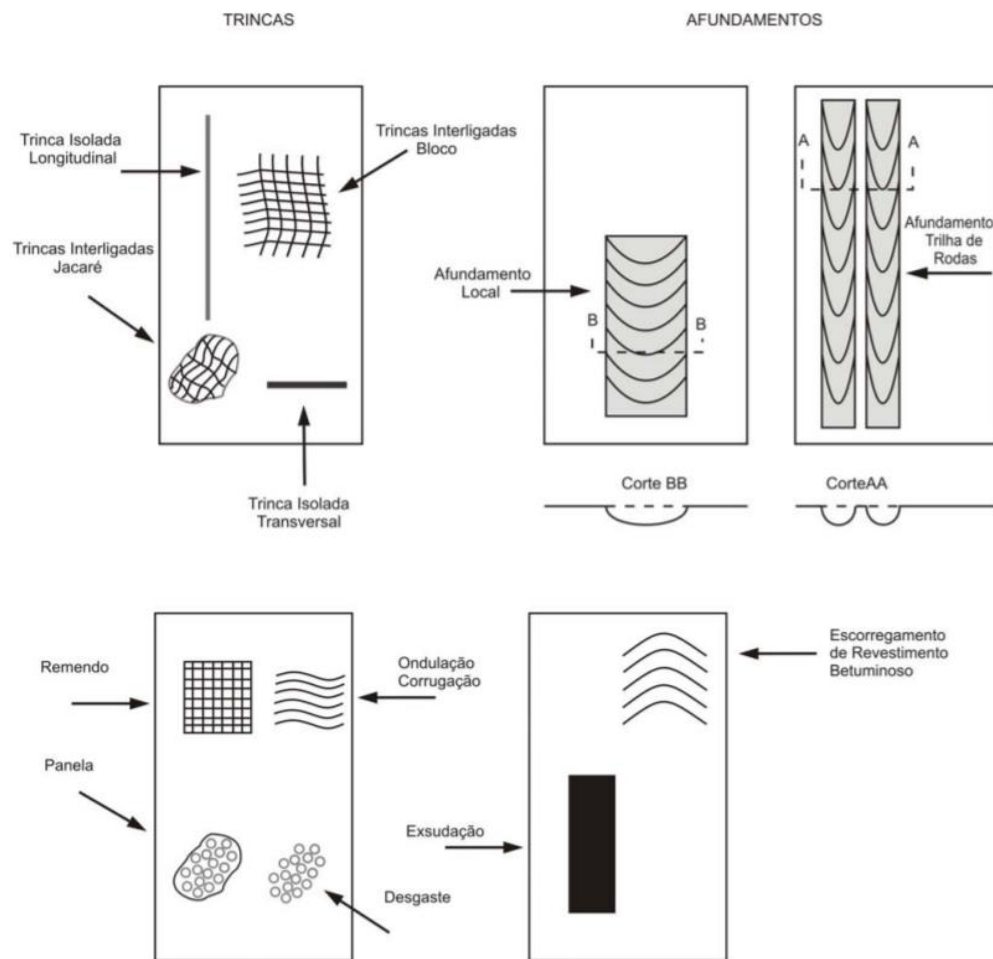
- Resposta estrutural: reação do pavimento às cargas e ao meio ambiente, manifestada por uma variação no estado de tensão.

- Deterioração: consequências visíveis do efeito cumulativo das cargas e do meio ambiente sobre os pavimentos.
- Fratura: estado em que as partes de uma estrutura são separadas.
- Distorção: mudança da forma original do pavimento (como a deformação permanente nas trilhas das rodas).
- Desintegração: estado em que o pavimento é decomposto em seus elementos.

Conforme Yoder e Witczak (1975), citados por SONCIM (2011), o processo de deterioração de pavimentos tem dois aspectos, o estrutural e o funcional. No estrutural, há fratura de uma ou mais partes da estrutura do pavimento, até o ponto que o pavimento seja incapaz de suportar as solicitações do tráfego. Na ruptura funcional, o pavimento não consegue fornecer condições de segurança e conforto aos seus usuários.

Na norma DNIT 005/2003 – TER estão definidos os defeitos, chegando-se a critérios bem estabelecidos na deterioração do estado de condição atual do pavimento (SONCIM, 2011). Os defeitos são classificados em oito categorias: fenda, afundamento, ondulação ou corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste, panela e remendo (PEDRO, 2017), e estão ilustradas na Figura 5.

Figura 5 - Representação de defeitos de superfície.



Fonte: (DNIT 005/2003-TER-DNIT, 2003a).

Algumas causas prováveis para alguns tipos de defeitos em pavimentos são descritas em ALBUQUERQUE (2007).

- Trincas: fadiga provocada pela repetição de cargas do tráfego.
- Trilhas de roda ou ondulação: deformações plásticas associadas a fadiga provocada pelas cargas do tráfego.
- Deterioração das camadas de revestimento: com a entrada de água por trincas ou panelas e a passagem de cargas, ocorre o bombeamento de finos da base para superfície (erosão), aumentando a deterioração de todo pavimento.
- Envelhecimento do ligante betuminoso: fragiliza a mistura asfáltica, facilitando o seu trincamento e arrancamento dos agregados.

As deteriorações e defeitos são causados, sobretudo, pela ação combinada dos efeitos das cargas do tráfego e da ação do meio ambiente nos materiais que compõe sua estrutura (SONCIM, 2011).

Os dois principais fatores ambientais, de acordo com o Manual da AASHTO (1986), citado por SONCIM (2011), são a temperatura e as precipitações de águas de chuvas que se infiltram no pavimento, alterando o teor de umidade das camadas que o constituem.

Para Yoder; Witczak (1975), citados por SONCIM (2011), a infiltração da água das chuvas pode ocorrer por meio de trincas ou panelas na superfície de pavimentos, defeitos nas bordas ou nos acostamentos, permitindo que a água chegue às camadas do pavimento e ao subleito, aumentando o seu teor de umidade e, por consequência, reduzindo a sua capacidade estrutural, o que pode levar à aceleração do processo de deterioração. Além disso, o Manual da AASHTO (AASHTO, 1986), também descreve prejuízos causados pela infiltração da água no pavimento, como a redução da resistência do subleito e das camadas do pavimento e o bombeamento de material fino das camadas inferiores, resultando na perda da capacidade de suporte dos pavimentos flexíveis.

Quanto à temperatura, as elevadas temperaturas do ar, como ocorre no Brasil e a grande absorção de radiação solar contribuem para o amolecimento do revestimento asfáltico, com ocorrência de deformações plásticas quando submetidos às cargas do tráfego (PREVITERA, 1974, citado por SONCIM, 2011). Além disso, as variações diárias e sazonais de temperatura causam variações da rigidez, pois controlam a viscosidade dos ligantes, como citam Medina e Motta (2005).

Em relação aos efeitos do tráfego, o processo de deterioração, segundo SONCIM (2011), ocorre devido ao acúmulo do dano causado pela aplicação de cargas sucessivas pelos eixos dos veículos. Além disso, cita Fernandes Jr. (1994), a carga por eixo, independentemente dos fatores ambientais, do comportamento estrutural dos pavimentos e da ação combinada de outros fatores de tráfego, é a que mais afeta a deterioração dos pavimentos.

Por fim, como demais fatores que influenciam na deterioração dos pavimentos, pode-se citar: critérios de projeto; técnicas construtivas; tipos de estrutura; materiais utilizados; qualidade inicial das obras; estratégias de manutenção e reabilitação.

3.6. Avaliação dos Pavimentos

3.6.1. Generalidades

Como explicado no Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011), a avaliação de pavimentos é uma das etapas mais importantes na implementação do SGP. A avaliação é o ponto de partida para as futuras decisões neste sistema, possibilitando que sejam definidas as condições funcionais, estruturais e operacionais dos pavimentos dos segmentos constituintes de uma malha viária em um determinado momento. Os dois principais tipos de avaliação de pavimentos são: estrutural e funcional.

Na avaliação estrutural objetivo é avaliar a capacidade de resposta do conjunto estrutural do pavimento frente às solicitações impostas pelo trânsito e pelo clima (PRESTES, 2001, citado por PEDRO, 2017). Este tipo de avaliação está associado ao conceito de capacidade de carga que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e o seu dimensionamento (Manual de Gerência de Pavimentos – DNIT, 2011)

A avaliação funcional tem como objetivo principal avaliar em que grau o pavimento satisfaz os requisitos desde o ponto de vista do conforto e segurança de circulação dos usuários (PRESTES, 2001, citado por PEDRO, 2017), sendo essa última o objeto de estudo desse trabalho.

3.6.2. Avaliação Funcional

Relaciona-se à apreciação do estado da superfície do pavimento e de como este estado influencia no conforto ao rolamento (DNIT, 2011). A avaliação funcional, objeto deste estudo, trabalha fortemente com o conceito de serventia. E serventia é a capacidade de o pavimento servir ao usuário, em um dado instante da sua vida de serviço, com conforto ao rolamento. Assim, a qualidade de rolamento relaciona com o conforto proporcionado pela superfície do pavimento ao usuário, representada pelo Valor de Serventia Atual (VSA) (ALBUQUERQUE, 2007).

O Valor de Serventia Atual é uma atribuição numérica compreendida entre 0 a 5, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento. Esta escala compreende cinco níveis de serventia, (Manual de

Gerência de Pavimentos – DNIT, 2011), que são mostrados na Tabela 1 e que também são adotados no Brasil pelo Procedimento DNIT 009/2003-PRO.

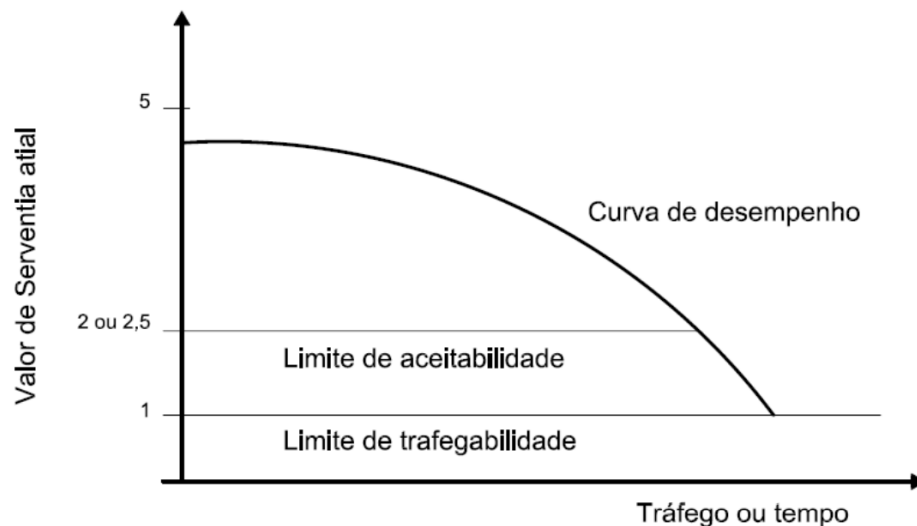
Tabela 1 - Níveis de serventia.

Padrão de Conforto ao Rolamento	Avaliação (Faixa de Notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Fonte: Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011).

Como cita o Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011), o VSA é, em geral, alto logo após a construção do pavimento, quando bem executado. Entretanto, a condição de perfeição, sem qualquer irregularidade (VSA = 5), não é encontrada na prática, e depende muito da qualidade executiva e das alternativas de pavimentação selecionadas. Além disso, o manual também mostra que o VSA do pavimento diminui com o passar do tempo devido ao tráfego e às intempéries. A forma da curva de serventia versus o tempo é mostrada na Figura 6.

Figura 6 - Variação da serventia em relação ao tráfego ou ao tempo decorrido de utilização da via.



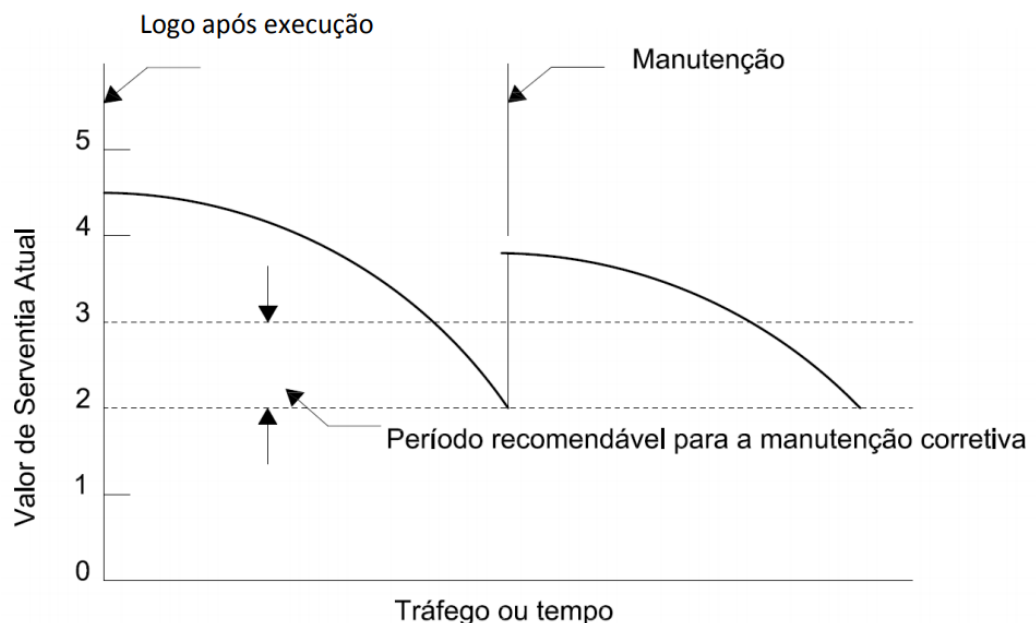
Fonte: Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011).

A Figura 6 apresenta dois limites, o de aceitabilidade e o de trafegabilidade. O primeiro é o limite das condições de rolamento do pavimento aceitas pelo usuário, abaixo do qual o nível de conforto passa a ser inaceitável. O guia de dimensionamento de pavimentos norte-americano da AASHTO (1993) atribui como limite de aceitabilidade a Nota 2,5 para as vias de alto volume de tráfego, e 2,0 para as demais. Significa que sempre que o VSA atinge esse patamar, uma intervenção de manutenção corretiva deve ser realizada, de modo a elevar novamente o índice a um valor superior.

No período em que o pavimento se mantém acima do limite de aceitabilidade, é importante a realização de manutenção preventiva periódica, de modo a prolongar o tempo de aceitação ao rolamento.

O limite de trafegabilidade é aquele no qual, abaixo desse valor (geralmente próximo a 1,0), torna-se necessária a reconstrução do pavimento e geralmente ocorre quando o pavimento não recebe manutenção adequada (Manual de Gerência de Pavimentos – DNIT, 2011). A Figura 7 ilustra esse período recomendado para manutenção.

Figura 7 - Período recomendado para a manutenção dos pavimentos.



Fonte: Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011).

3.6.3. Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos

A avaliação subjetiva de pavimentos se trata de uma avaliação funcional. A norma DNIT 063/2004 – PRO sugere que a avaliação subjetiva consiste em avaliar as condições do pavimento, especialmente aquelas que se referem ao conforto de tráfego, por meio de observações realizadas por avaliadores que trafegam sobre este pavimento e que atribuem notas a ele. Neste tipo de avaliação é muito importante a experiência do avaliador.

Os avaliadores são selecionados e é escolhido um trecho homogêneo de pavimento. Este segmento é percorrido em velocidade operacional próxima à velocidade permitida, utilizando um veículo de porte médio. Ao final do percurso, os avaliadores, sem se comunicarem, avaliam o conforto e a suavidade ao rolamento que o pavimento ofereceu. A média aritmética das notas dos avaliadores indica o VSA (PEDRO, 2017).

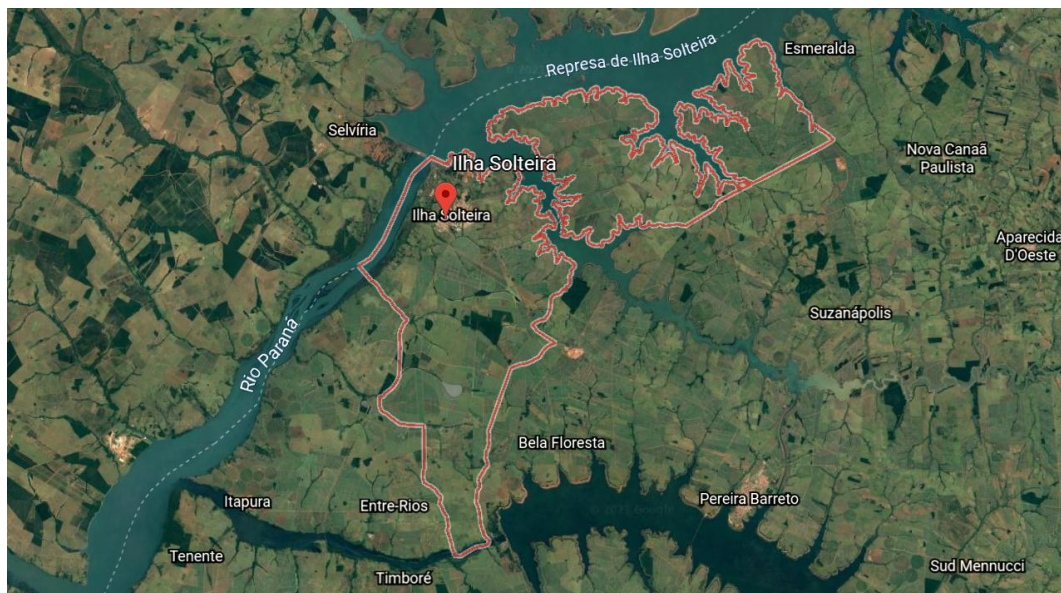
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

Para a avaliação da contribuição de fatores externos na avaliação subjetiva de pavimentos asfálticos, no caso desse trabalho a influência da velocidade na definição do Valor de Serventia Atual, foram previamente selecionados dois trechos com pavimento asfáltico na malha viária da cidade de Ilha Solteira, São Paulo, ambos com diferentes condições de tráfego e de conservação.

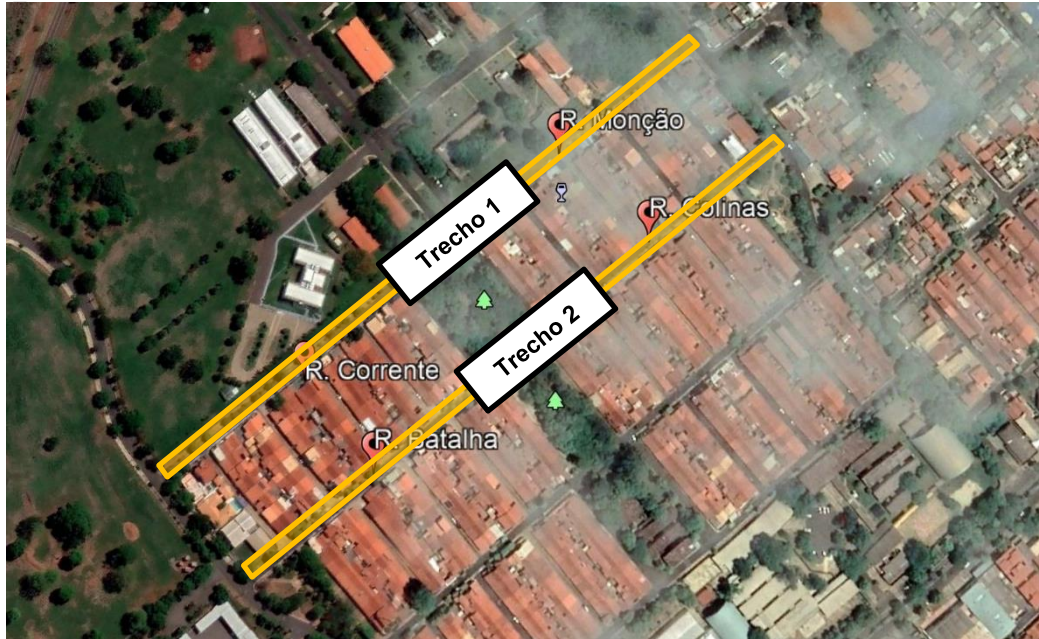
Os segmentos escolhidos se encontravam na Rua Correntes e Rua Monção (Trecho 1) e Rua Batalha e Rua Colinas (Trecho 2), com extensão aproximada de 500m e dispostos em sequência, como sugere a norma DNIT 009/2003 – PRO, de maneira a serem avaliados em um pequeno tempo de percurso. As Figuras de 8 a 12 mostram os trechos citados.

Figura 8 – Município de Ilha Solteira, São Paulo.



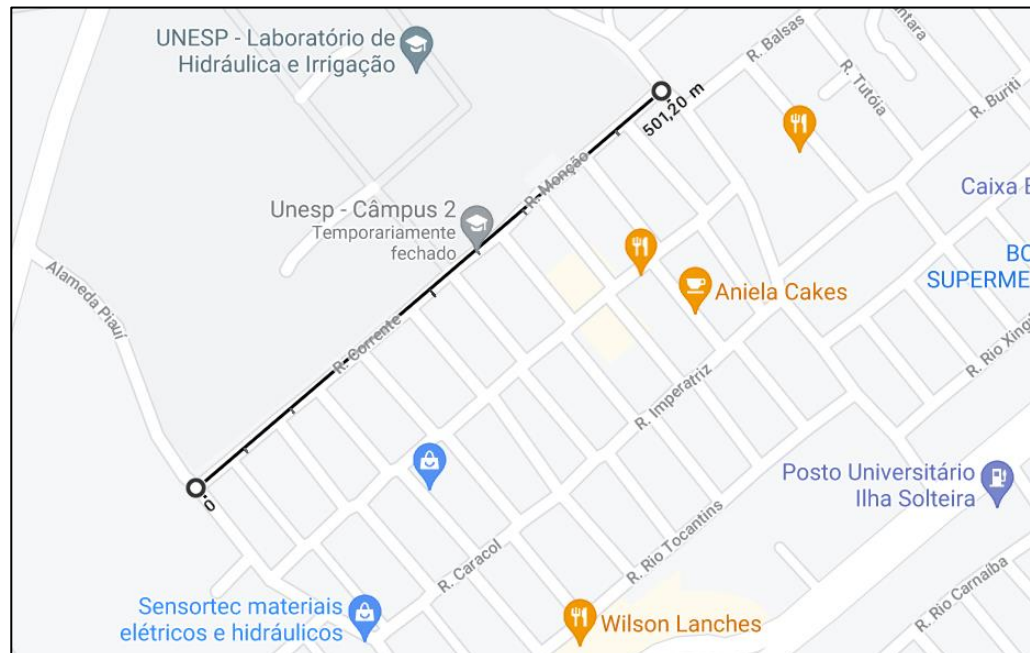
Fonte: Google Earth. Acesso em julho de 2021.

Figura 9 - Trechos 1 e 2 analisados.



Fonte: Google Earth. Adaptado pela autora (acesso em julho de 2021).

Figura 10 - Comprimento aproximado dos trechos de amostragem.



Fonte: Google Maps. Adaptado pela autora (acesso em julho de 2021).

Figura 11 - Rua Correntes, trecho 1.



Fonte: Google Earth. Acesso em julho de 2021.

Figura 12 - Rua Batalha, trecho 2.



Fonte: Google Earth. Acesso em julho de 2021.

A equipe de avaliadores foi formada por alunos da disciplina de Pavimentação do curso de Engenharia Civil da UNESP do campus de Ilha Solteira, bem como por demais estudantes dessa instituição. A formação e as idades do grupo (faixa de 18 a 25 anos), foram similares. A equipe de avaliação contou com a colaboração de 40 avaliadores e 02 motoristas (os quais não eram avaliadores).

O veículo utilizado no experimento foi um Chevrolet Onix, com troca de marchas automática, 1.4 cilindradas e ano 2018.

Por fim, foram utilizadas fichas de avaliação semelhantes àquela recomendada em normal (DNIT 009/2003), ver Anexo A, as quais foram preenchidas pelos avaliadores imediatamente após cumprir os percursos.

4.2. Métodos

O método de Avaliação Subjetiva seguiu as instruções descritas encontradas na norma DNIT 009/2003 – PRO, “Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento”.

Conforme a norma sugere, os avaliadores foram previamente instruídos sobre os procedimentos e os propósitos da avaliação. Os estudantes receberam informações e instruções sobre quais aspectos deveriam observar ao preencher as fichas de avaliação. Tais aspectos se encontram na norma do DNIT (2003), no tópico “Processo de avaliação”, citados a seguir.

- Como se portaria o trecho de pavimento, atendendo à finalidade para a qual foi construído, durante um período de 24 horas por dia, se ele estivesse localizado em uma rodovia principal?
- Qual o conforto que este pavimento me proporcionaria se tivesse que utilizá-lo dirigindo um veículo durante 8 horas?
- Como me sentiria dirigindo ao longo de 800 km sobre este pavimento?

Além disso, foram também explicadas as condições que os avaliadores deveriam considerar ao fazerem as suas avaliações, tal como consta no tópico “Condições específicas impostas para a avaliação” da norma. Seguem algumas dessas condições impostas:

- o trecho deve ser avaliado como se fosse uma rodovia de tráfego intenso constituída de veículos comerciais e de passageiros;
- o avaliador deve considerar somente o estado atual da superfície, sem pensar em sua condição futura;
- o avaliador deve ignorar os aspectos do projeto geométrico do trecho da rodovia que está sendo avaliada (alinhamento, largura do acostamento etc.);

- os avaliadores devem considerar principalmente os “buracos”, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície, sendo que as grandes depressões resultantes do recalque de aterros devem ser ignoradas;
- os avaliadores devem desprezar irregularidades ocasionais devidas a recalques de bueiros;
- na avaliação dos trechos, os avaliadores não devem levar em conta os valores assinalados para o trecho anteriormente avaliado.

Com essas explicações em mente, deram-se início às avaliações. Os avaliadores foram divididos em grupos de 4, os motoristas foram sempre os mesmos e procuraram manter os procedimentos operacionais, de modo a diminuir a interferência da maneira de dirigir o veículo na avaliação de serventia.

Os fatores externos analisados nesta pesquisa foram a velocidade do veículo e a posição dos avaliadores no automóvel. Cada grupo realizou um total de 8 viagens compreendendo os dois trechos da amostra. A cada 2 viagens, os avaliadores variavam a sua posição no veículo, e os motoristas variavam a velocidade a cada viagem.

As velocidades operacionais aplicadas no experimento foram da ordem de 30 km/h (máxima permitida para o trecho urbano), e a outra da ordem de 50 km/h. Embora a diferença de velocidade não seja critério para a avaliação subjetiva de pavimentos flexíveis e semirrígidos, ela é indicada no caso de pavimentos rígidos, conforme apresentado pela norma DNIT 063/2004 – PRO – “Pavimento Rígido – Avaliação subjetiva – Procedimento”. Esta norma explica que ao percorrer o trecho com velocidade reduzida, os avaliadores observam detalhes da pavimentação, e ao percorrê-lo com uma maior velocidade, avaliam as condições de conforto sentidas naquele trecho.

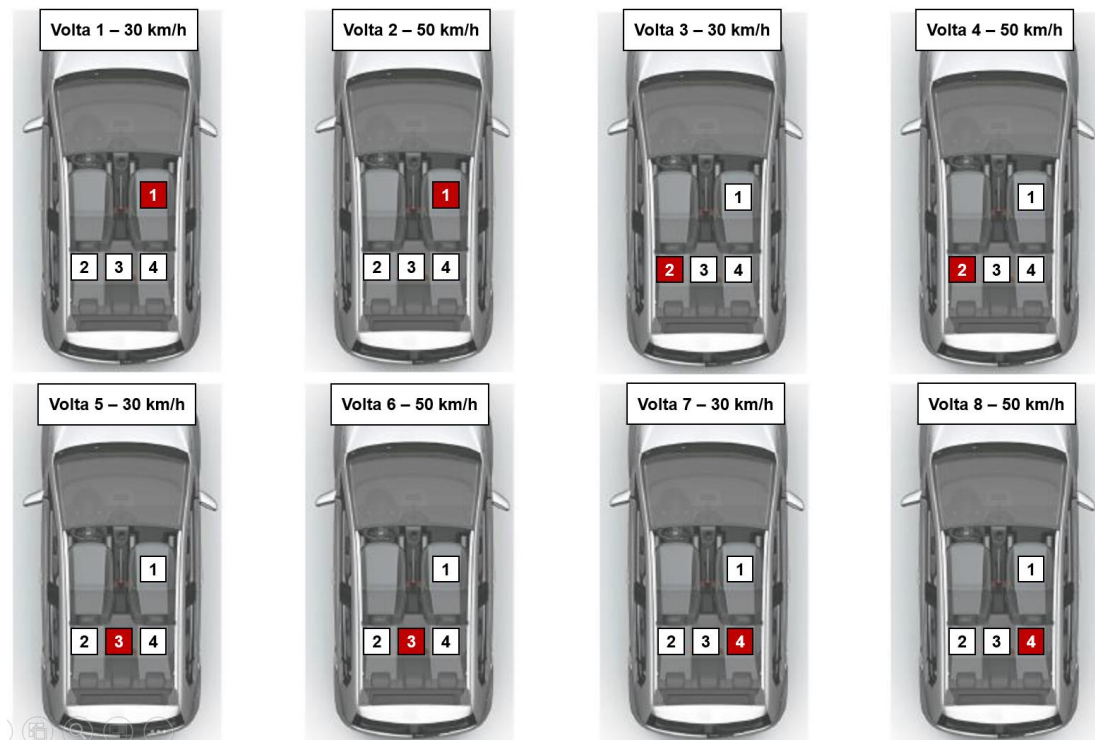
O percurso realizado em cada ciclo de viagem é indicado na Figura 13. A Figura 14 mostra a descrição da posição e velocidade a cada viagem de um avaliador que iniciou a avaliação na posição 1.

Figura 13 - Percurso realizado a cada volta.



Fonte: Google Earth. Adaptado pela autora (acesso em julho de 2021).

Figura 14 - Exemplificação das viagens dadas por um avaliador.



Fonte: Elaborado pela autora.

Cada grupo recebeu um total de 8 fichas de avaliação, preenchendo-as com os seus dados pessoais (nome, gênero e data de nascimento). Em cada ficha foram avaliados os trechos 1 e 2 logo após concluir cada viagem. Antes de cada percurso, os avaliadores anotaram nas fichas a sua posição dentro do veículo, e a velocidade operacional correspondente.

Após cumprir o percurso em cada trecho, os estudantes fizeram a sua avaliação de serventia, marcando na escala de 0 a 5, de acordo com a sua percepção. Assim como recomendado na norma, não houve comunicação entre eles, de modo a manter o caráter pessoal à nota atribuída ao pavimento.

Ao final das 8 viagens, as fichas de avaliação foram recolhidas e devidamente tabuladas para as análises posteriores.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objeto deste trabalho foi verificar a influência da velocidade na análise subjetiva de pavimentos asfálticos e, conseqüentemente, seu impacto no seu VSA. Para isto, foi feita a comparação entre diversas avaliações subjetivas realizadas em dois trechos de pavimento, avaliações estas que foram realizadas em diferentes velocidades operacionais, sendo elas 30km/h e 50 km/h.

Como o presente trabalho teve o objetivo de analisar a influência da velocidade no Valor de Serventia Atual, não foram considerados os possíveis efeitos da posição do avaliador dentro do veículo. A análise, portanto, foi direcionada à verificação das diferenças entre as médias e desvios padrão de VSA apresentados para cada um dos trechos analisados, considerando as diferentes velocidades de rodagem.

Os resultados do Valor de Serventia Atual para cada posição e velocidade, em cada um dos trechos, foi obtido por meio da Equação 1 (Norma DNIT 009/2003 – PRO).

$$VSA = \frac{\sum X}{n} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

VSA – Valor de Serventia Atual;

X – Valores de Serventia Atual individuais atribuídos por cada membro da equipe de avaliadores;

n – número de membros do grupo de avaliação.

O VSA é calculado por meio da média aritmética das notas atribuídas pelos avaliadores para os trechos analisados. A média é uma medida de tendência central de uma distribuição de valores, e para um grande número de amostras, como neste trabalho, é, em geral, a melhor estimativa do valor verdadeiro. Entretanto, ela sozinha não fornece toda a informação relevante sobre um conjunto de medidas, sendo importante a medida de dispersão dos dados coletados, de forma a expressar a confiabilidade do valor médio de um conjunto de números (MUNIZ, 2011).

A medida de dispersão calculada nesse trabalho foi o desvio padrão, cujo conceito está ligado à variabilidade de medidas e caracteriza a confiabilidade de um conjunto de dados. Se as fontes de incertezas são pequenas e aleatórias, os valores estarão distribuídos em torno do valor médio. A fórmula do desvio padrão é apresentada na Equação 2.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

X_i = Nota do Avaliador;

N = Número de Avaliadores.

Os nomes dos avaliadores, seus gêneros e idades estão na Tabela 2. As notas atribuídas pelos avaliadores, os Valores de Serventia Atual calculados e os respectivos desvios em cada uma das posições estão apresentados nas Tabelas 3 a 6.

Tabela 2 - Avaliador, gênero e idade dos avaliadores.

NOME	GÊNERO	IDADE
Avaliador 1	M	21
Avaliador 2	F	22
Avaliador 3	F	19
Avaliador 4	F	22
Avaliador 5	F	23
Avaliador 6	F	21
Avaliador 7	F	17
Avaliador 8	F	17
Avaliador 9	F	22
Avaliador 10	M	23
Avaliador 11	F	20
Avaliador 12	M	21
Avaliador 13	M	21
Avaliador 14	F	22
Avaliador 15	M	23
Avaliador 16	M	23
Avaliador 17	F	23
Avaliador 18	M	20
Avaliador 19	M	23
Avaliador 20	M	24
Avaliador 21	F	21
Avaliador 22	M	23
Avaliador 23	F	21
Avaliador 24	M	23
Avaliador 25	M	21
Avaliador 26	F	19
Avaliador 27	F	18
Avaliador 28	M	24
Avaliador 29	F	
Avaliador 30	F	25
Avaliador 31	F	27
Avaliador 32	F	25
Avaliador 33	M	21
Avaliador 34	M	23
Avaliador 35	M	20
Avaliador 36	F	24
Avaliador 37	F	24
Avaliador 38	M	22
Avaliador 39	F	21
Avaliador 40	F	21

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 3 - Notas dos avaliadores na POSIÇÃO 1.

Nome	Trecho 1		Trecho 2	
	30 km/h	50 km/h	30 km/h	50 km/h
Avaliador 1	3	2,5	4,5	4
Avaliador 2	3	2,5	4	5
Avaliador 3	3	3,5	5	5
Avaliador 4	2,5	3,5	4	5
Avaliador 5	2,5	3	5	5
Avaliador 6	3,75	3	4	4
Avaliador 7	1	2	4	5
Avaliador 8	1,5	2	3,5	4
Avaliador 9	3	1,7	3,5	3,8
Avaliador 10	1,2	1,8	2	2,5
Avaliador 11	2,5	2,5	4,5	4,5
Avaliador 12	2,3	2	4,6	4,8
Avaliador 13	2,25	3,25	3,25	3,5
Avaliador 14	3,5	3	4,5	5
Avaliador 15	2,8	2,7	3,1	3,2
Avaliador 16	2	3,5	4,5	4,5
Avaliador 17	3	3,5	4	4,5
Avaliador 18	1,3	1	5	5
Avaliador 19	2,5	2,8	4	4,6
Avaliador 20	2,5	3	4,8	5
Avaliador 21	3	2,5	4	4,5
Avaliador 22	3,75	4,05	4,5	5
Avaliador 23	2,5	2,5	4,5	5
Avaliador 24	3,3	3,96	4,96	5
Avaliador 25	2	0,5	4	5
Avaliador 26	2,5	2,6	4,8	4,9
Avaliador 27	2	2	4,5	4,5
Avaliador 28	1,9	2,5	4,3	4,5
Avaliador 29	2,8	3	4,3	4,4
Avaliador 30	2,5	2,75	4,75	4,75
Avaliador 31	4	4	4,5	4,5
Avaliador 32	3	2	4	4
Avaliador 33	3,5	3,5	4,5	4,5
Avaliador 34	2	1,5	4	4,5
Avaliador 35	1,5	1,6	4,2	4,1
Avaliador 36	3	3,5	4	4,5
Avaliador 37	2,9	3	4,8	5
Avaliador 38	2,8	3,2	4,4	4,75
Avaliador 39	3,2	3,25	4,3	4,5
Avaliador 40	3,1	3,8	4,5	4,6
VSA	2,61	2,71	4,24	4,51
σ	0,71	0,82	0,58	0,55

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 - Notas dos avaliadores na POSIÇÃO 2.

Nome	Trecho 1		Trecho 2	
	30 km/h	50 km/h	30 km/h	50 km/h
Avaliador 1	2,5	2	4	4,5
Avaliador 2	2,5	2,5	4	4,5
Avaliador 3	2,3	2	4	4
Avaliador 4	1,5	2	2,6	3,5
Avaliador 5	1	1,5	4,9	4,8
Avaliador 6	3	1,5	3,5	3,5
Avaliador 7	2,5	2	4,5	4,5
Avaliador 8	0,5	0	3	3,5
Avaliador 9	1	1,5	2,2	3,3
Avaliador 10	1,7	2	2,7	3
Avaliador 11	2,5	1,5	4,5	4,25
Avaliador 12	2	3	4,25	5
Avaliador 13	2,25	3,25	3,5	3,5
Avaliador 14	3,25	2,75	3,75	4
Avaliador 15	2,1	2,1	3	3,2
Avaliador 16	3,5	2	4,5	4,5
Avaliador 17	2	2,5	4	4
Avaliador 18	1,5	1	5	5
Avaliador 19	2	2,5	4	4,5
Avaliador 20	1,8	1,6	4,5	4
Avaliador 21	2	2	4	4,5
Avaliador 22	2,3	1,7	4,6	4,8
Avaliador 23	2,3	2	4,7	5
Avaliador 24	3,57	4,19	4,62	4,99
Avaliador 25	3	3	4	4,5
Avaliador 26	1,7	2,6	3,8	4,2
Avaliador 27	1,5	2	4	4,5
Avaliador 28	1,5	2	3,5	4,5
Avaliador 29	1,8	2,3	3,8	4
Avaliador 30	2	2,1	4,3	4,5
Avaliador 31	2	2	4	4
Avaliador 32	2,5	2	4	3,5
Avaliador 33	3	2,5	4	4
Avaliador 34	1,8	2,5	3,8	4,5
Avaliador 35	1,1	1,2	4,1	4,1
Avaliador 36	2	2,5	4	4
Avaliador 37	2	1,6	4,5	4
Avaliador 38	2,1	2,05	4,25	4
Avaliador 39	2,5	2	4	4,3
Avaliador 40	1,8	1,9	4	4
VSA	2,10	2,08	3,96	4,17
σ	0,66	0,67	0,61	0,52

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5 - Notas dos avaliadores na POSIÇÃO 3.

Nome	Trecho 1		Trecho 2	
	30 km/h	50 km/h	30 km/h	50 km/h
Avaliador 1	2	2	4	4,5
Avaliador 2	1,5	2	3,5	4
Avaliador 3	2,5	3,75	4,75	5
Avaliador 4	2,7	2	4,3	4,6
Avaliador 5	2	2	4,5	4,75
Avaliador 6	3	2,3	3,6	3,2
Avaliador 7	1,5	0,5	3	4,5
Avaliador 8	3	2,5	4,5	4
Avaliador 9	2	2,9	3,4	4
Avaliador 10	1,5	1,3	2	2
Avaliador 11	3,75	2,75	4,25	4,75
Avaliador 12	3	3,5	4,75	5
Avaliador 13	2,5	3,25	3,5	3,5
Avaliador 14	3	2,25	3,25	3,25
Avaliador 15	2	2,4	2,6	3,1
Avaliador 16	2,5	3	3,8	4,5
Avaliador 17	2,5	3	4	4
Avaliador 18	1	1	4,5	4,5
Avaliador 19	1,5	2	4,5	4,5
Avaliador 20	1,4	1,2	3,8	3,5
Avaliador 21	2	2	4	3
Avaliador 22	3,2	3,8	4,2	4,4
Avaliador 23	3	3,3	5	5
Avaliador 24	2,78	4,07	3,07	5
Avaliador 25	4	3	4,5	4,3
Avaliador 26	1,5	2,9	4	4,4
Avaliador 27	2	2,5	4,5	4,5
Avaliador 28	1,8	2,3	3,8	4,1
Avaliador 29	2,5	3	3,4	4
Avaliador 30	2,25	2,5	4,75	4,75
Avaliador 31	3	3	3	4
Avaliador 32	2,5	3	4	4,5
Avaliador 33	2,5	2,5	4	4,5
Avaliador 34	1,7	2,1	3,5	4,3
Avaliador 35	1	1	4,1	4,2
Avaliador 36	2,5	3	4	4
Avaliador 37	2,5	1,2	3,8	3,5
Avaliador 38	2,7	2,1	3,9	3,75
Avaliador 39	2,1	2,5	4	4,1
Avaliador 40	2	1,7	4	4,2
VSA	2,31	2,43	3,90	4,14
σ	0,69	0,81	0,62	0,63

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 6 - Notas dos avaliadores na POSIÇÃO 4.

Nome	Trecho 1		Trecho 1	
	30 km/h	50 km/h	30 km/h	50 km/h
Avaliador 1	2,5	2,5	4,5	2,5
Avaliador 2	2,5	2	4	4
Avaliador 3	1	2	3	3,5
Avaliador 4	2	2,5	3,7	4,5
Avaliador 5	1,5	2	4	4,25
Avaliador 6	3	2,3	4	3,5
Avaliador 7	2	1,5	3,5	4,9
Avaliador 8	2	2	4	4
Avaliador 9	2,2	1,7	3,4	3,2
Avaliador 10	1,5	1,3	2,5	2,5
Avaliador 11	3,75	2,5	4,25	4,25
Avaliador 12	2,5	2,8	4,4	4,7
Avaliador 13	3,25	1,75	3,25	3,5
Avaliador 14	2,25	1,75	4,5	4,75
Avaliador 15	2,5	2,8	3,5	4
Avaliador 16	2,2	2	4	4,5
Avaliador 17	2	1,5	4	4,2
Avaliador 18	1	1	5	5
Avaliador 19	2	2	4	4,8
Avaliador 20	2	1,8	4	4,1
Avaliador 21	2	1,5	4	4,5
Avaliador 22	1,6	1,9	4,12	4,2
Avaliador 23	2	1,5	5	4,8
Avaliador 24	3,7	3	4,5	4,8
Avaliador 25	1,6	3	4	4
Avaliador 26	2	1	4,7	4,9
Avaliador 27	2	1,5	4	4,5
Avaliador 28	1,8	2,2	3,7	4,5
Avaliador 29	1,9	2,7	3,7	4,1
Avaliador 30	3	2,5	4,5	4,75
Avaliador 31	3	2	4	4
Avaliador 32	3,5	2,5	4	4
Avaliador 33	3	3	4	4
Avaliador 34	1,7	2,3	4,3	4,5
Avaliador 35	1,2	1,1	4,1	4
Avaliador 36	2	1,5	4	4,2
Avaliador 37	2	1,8	4	4,1
Avaliador 38	2,1	1,65	4	4,15
Avaliador 39	2,5	1,6	4	4,1
Avaliador 40	1,8	2	3,9	4,2
VSA	2,20	2,00	4,00	4,17
σ	0,66	0,55	0,47	0,57

Fonte: Elaborado pela autora.

Para verificar-se a influência da velocidade na sensação de conforto, foram calculadas as médias do VSA para cada velocidade operacional e trecho (Tabela 7), e a média geral do VSA para cada uma das velocidades operacionais adotadas (Tabela 8).

Tabela 7 - Conceito de Serventia a cada trecho de acordo com a velocidade operacional.

Posição	Valor de serventia atual – VSA				Média
	Velocidade na avaliação do trecho percorrido				
	Trecho 1		Trecho 2		
	30km/h	50km/h	30km/h	50km/h	
1	2,61	2,71	4,24	4,51	3,52
2	2,1	2,08	3,96	4,17	3,08
3	2,32	2,43	3,9	4,14	3,2
4	2,2	2	4	4,17	3,09
Média	2,31	2,31	4,03	4,25	-
Conceito	Regular	Regular	Excelente	Excelente	

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8 - Média do VSA à velocidade de 30km/h e 50km/h.

Posição	Valor de serventia atual – VSA					
	Velocidade na avaliação do trecho percorrido					
	30km/h			50km/h		
	Trecho 1	Trecho 2	Média	Trecho 1	Trecho 2	Média
1	2,61	4,24	3,43	2,71	4,51	3,61
2	2,1	3,96	3,03	2,08	4,17	3,13
3	2,32	3,9	3,11	2,43	4,14	3,29
4	2,2	4	3,1	2	4,17	3,09
Média	3,12			3,28		

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o Trecho 1, as médias dos Valores de Serventia Atual se encontraram na faixa entre 2 e 3, o que o classifica como um pavimento com padrão de conforto ao rolamento Regular, assim como mostrado na tabela de níveis de serventia (Tabela 1). Esse VSA também indica que se trata de um rolamento ainda dentro dos limites de aceitabilidade, ou seja, a condição na qual o rolamento se encontra ainda é aceita pelo usuário (Figura 6). Entretanto, como indica o Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011), o pavimento já se

encontra no período recomendável para a manutenção corretiva (Figura 7), de modo a prolongar o tempo de aceitação ao rolamento.

Já no Trecho 2, a média aritmética dos VSA's encontrados apresentaram-se com nível de conforto acima de 4, sendo o trecho classificado, portanto, com um padrão de conforto ao rolamento Excelente (Tabela 1).

Além disso, a Tabela 7 mostra que, para o Trecho 1, as médias do VSA em ambas as velocidades operacionais utilizadas obtiveram o mesmo valor, demonstrando que, para esse trecho, os avaliadores não sentiram de forma expressiva os efeitos da velocidade em sua sensação de conforto. Já no Trecho 2, a média do VSA para a velocidade operacional maior, de 50km/h, mostrou-se ser maior do que para a velocidade de 30km/h, o que mostra que para esse trecho, a velocidade operacional teve influência na sensação de conforto dos estudantes.

Agora, se somente forem analisadas as duas velocidades operadas, como ilustra a Tabela 8, observa-se que a média geral dos Valores de Serventia é maior para a velocidade de 50km/h, o que também comprova que uma velocidade operacional mais elevada leva a uma maior sensação de conforto, ou seja, que a velocidade tem influência em uma avaliação subjetiva.

Para verificar a confiabilidade dos Valores de Serventia Atual obtidos, foram calculados os desvios padrão dessas médias, e a variação em termos percentuais entre as posições e trechos (Tabela 9).

Os desvios padrão encontrados apresentaram um valor pequeno tanto para o Trecho 1 quanto para o Trecho 2 (Tabela 10), o que demonstra a confiabilidade do valor médio das avaliações realizadas pelos estudantes. Além disso, nota-se que o Trecho 2 apresentou uma média dos valores de desvios menor (0,57) que a do Trecho 1 (0,70), o que sugere que os avaliadores tiveram uma maior facilidade em avaliar o trecho que estava em melhores condições de conforto (Trecho 2, classificado como excelente), do que de avaliarem o trecho que apresentava um valor de serventia considerado regular (Trecho 1).

Essa dificuldade em avaliar o Trecho 1 pode ser, também, uma explicação para o fato de as variações percentuais apresentadas no percurso serem tanto positivas como negativas para as diferentes velocidades (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores de Serventia Atual e suas variações.

Posição	Trecho 1			Trecho 2		
	30 km/h	50 km/h	Δ [%]	30 km/h	50 km/h	Δ [%]
1	2,61	2,71	3,79	4,24	4,51	6,01
2	2,10	2,08	-0,64	3,96	4,17	5,13
3	2,31	2,43	4,83	3,90	4,14	5,81
4	2,20	2,00	-10,13	4,00	4,17	4,15

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 10 - Desvios padrão dos Valores de Serventia Atual.

Posição	Trecho 1		Trecho 2	
	30 km/h	50 km/h	30 km/h	50 km/h
1	0,71	0,82	0,58	0,55
2	0,66	0,67	0,61	0,52
3	0,69	0,81	0,62	0,63
4	0,66	0,55	0,47	0,57
Média	0,70		0,57	

Fonte: Elaborado pela autora.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que existe influência da velocidade na Avaliação Subjetiva de Pavimentos, pois considerando-se as médias gerais dos VSA's encontrados (Tabela 8), nota-se uma maior sensação de conforto para a velocidade de 50km/h em relação a de 30km/h.

Entretanto, a Tabela 7 demonstra que essa influência da velocidade é menos percebida em pavimentos de menor qualidade (Trecho 1), pois nesse trecho, não houve diferenças entre as médias dos Valores de Serventia para nenhuma das velocidades.

Além disso, os desvios padrão e as variações no VSA (Tabelas 9 e 10) encontradas no Trecho 1 mostram uma maior dificuldade dos avaliadores em analisar o trecho que se encontrava com padrão de conforto ao rolamento regular.

Portanto, pode-se concluir que o fator externo velocidade tem influência na Avaliação Subjetiva de Pavimentos, e que seus efeitos são mais notados quanto maior o conceito de serventia do pavimento. Ou seja, ao se considerar os dois pavimentos em uma mesma condição estrutural, a depender da velocidade da via, os passageiros poderão ter uma maior sensação de conforto em seu trajeto na via de maior velocidade operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. **Pavement management guide**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DCC/USA, 2001.

ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de gerência de pavimento para departamentos de estradas do Nordeste Brasileiro**. 2007. 303 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008. 504 p.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES – DNIT. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro, 2011. 189p. (IPR Publ. 745).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. DNIT 005/2003 – TER: **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: Terminologia**. Rio de Janeiro: IPR, 2003. 12 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. DNIT – 009/2003 - PRO: **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**, Rio de Janeiro: IPR, 2003. 6 p.

MUNIZ, SÉRGIO R. **Fundamentos de Matemática II**. São Paulo, 2011.

PEDRO, B.G. **Avaliação subjetiva de pavimentos asfálticos: análise de fatores externos aos procedimentos tradicionais para determinar o valor de serventia atual**. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP. Ilha Solteira, p. 66. 2017.

RODRIGUES, R. M. **Modelos para previsão de desempenho de pavimentos com base em dados de concessionárias de rodovias.** In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES – CBR&C 2007, 5, 2007, Campinas. Disponível em: <Microsoft Word - Artigo CBCR.doc (pavesys.com.br)>. Acesso em 12 jul. 2021.

SILVA, L. F. M. **Fundamentos teórico-experimentais da mecânica dos pavimentos ferroviários e esboço de um sistema de gerência aplicado à manutenção da via permanente.** 2002. 333 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: Acesso em: <http://www.munizpada.com.br/pdfs/tese_muniz.pdf>. Acesso em 12 jul. 2021.

SONCIM, S. P. **Desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho de pavimentos asfálticos com base em dados de rede de rodovias do estado da Bahia.** 2011. 241 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-26072011-101938/publico/TESE_SPS_2011.pdf>. Acesso em 12 jul. 2021.

SONCIM, S. P.; FERNANDES JÚNIOR, J. L.; CAMPOS, L. E. P. de. **Modelo de previsão da área de desgaste em pavimentos rodoviários com revestimento em tratamento superficial.** Transportes, [s.l.], v. 22, n. 2, p.51-61, 14 jul. 2014. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v22i2.763>.

ANEXO A – Ficha de avaliação de serventia.

AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO				unesp
Responsáveis: Lucas M. Gasparini, Mariana Barberato e Prof. Jairo S. P. de Lima, Prof. César G. R. Lima				
Dados do Avaliador				
Nome:				
Gênero	M ()	F ()	Data de nascimento	

FICHA DE AVALIAÇÃO DE SERVENTIA							
Trecho: Rua Corrente e Passeio Monção							
Velocidade	() média	() alta	Posição no veículo	() 1	() 2	() 3	() 4

FICHA DE AVALIAÇÃO DE SERVENTIA							
Trecho: Passeio Batalha e Passeio Monção							
Velocidade	() média	() alta	Posição no veículo	() 1	() 2	() 3	() 4