



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

ANA CAROLINA SILVÉRIO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE SIMPLIFICADO DE
PRIORIZAÇÃO PARA A MANUTENÇÃO DE VIAS URBANAS**

Londrina
2020

ANA CAROLINA SILVÉRIO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE SIMPLIFICADO DE
PRIORIZAÇÃO PARA A MANUTENÇÃO DE VIAS URBANAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina para o título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Heliana Barbosa Fontenele

Londrina
2020

ANA CAROLINA SILVÉRIO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE SIMPLIFICADO DE
PRIORIZAÇÃO PARA A MANUTENÇÃO DE VIAS URBANAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina para o título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Heliana Barbosa
Fontenele
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr.^a Lilian Tais de Gouveia
Universidade Estadual de Ponta Grossa -
UEPG

Prof. Dr.^o Bernardo Luiz Costas Fumió
Centro Universitário de Lins - UNILINS

Londrina, 26 de novembro de 2020.

*Dedico esse trabalho à Deus, à minha noiva,
à minha família, especialmente ao meu pai
que foi a base do que sou hoje e aos meus
amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus que até aqui me fortaleceu, me protegeu e me guiou pelos melhores caminhos.

Ao programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina (UEL) que disponibilizou toda a infraestrutura do campus e apoiou a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa (processo nº 408409/2016-9).

À professora Dra. Heliana Barbosa Fontenele, pela orientação, ensinamentos e dedicação durante todo esse período de pesquisa, além disso, agradeço pela vontade que despertou em mim de aprender cada vez mais.

Aos colegas colaboradores que participaram dos julgamentos do índice, objeto desta pesquisa.

À minha noiva por todo apoio e incentivo que sempre me ofertou e porque se hoje estou concluindo mais esta fase de minha vida é principalmente devido a ela.

Ao meu pai que sempre me apoiou em minhas escolhas e me orientou para ser alguém melhor no mundo.

Aos meus amigos e à minha família, em especial a minha vó, meus irmãos, minha sogra, meu sogro, meus tios e a querida Luzia.

SANTOS, Ana Carolina Silvério dos. **Desenvolvimento de um Índice Simplificado de Priorização para a Manutenção de Vias Urbanas**. 2020. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

RESUMO

O sistema de gerência de pavimentos (SGP) contém ferramentas para gerenciar a rede de vias pavimentadas desde a etapa de projeto e execução até a de manutenção e reabilitação (M&R). No que tange à M&R um SGP urbano utiliza o critério de priorização para a tomada de decisão quanto às vias candidatas às intervenções. Dessa forma, tendo em vista a carência de recursos por parte dos órgãos responsáveis pela gestão e as condições precárias da maioria dos pavimentos brasileiros, é importante o desenvolvimento de um índice simples e confiável para apoiar a tomada de decisão dos gestores sobre as seções prioritárias dos pavimentos à M&R. Assim, o objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um índice simplificado de priorização (ISP) para vias pavimentadas urbanas, baseado na metodologia de análise multicritério construtivista, a MCDA-C. Para tanto, o software M-Macbeth foi utilizado. Por meio de um *brainstorming* com um grupo de 6 profissionais ligados à área de transportes foram definidos 4 áreas e 7 indicadores para compor o ISP. As áreas e indicadores, por meio de seus níveis de desempenho, foram criados e utilizados para gerar pesos e assim, fazer a priorização dos trechos do pavimento analisado. Para testar o índice gerado os trechos do pavimento da rede viária do campus da Universidade Estadual de Londrina (UEL) foram avaliados, tanto por método subjetivo (com e sem uma escala visual de referência) como objetivo (*Pavement Condition Index*), em conjunto com o levantamento das demais informações necessárias à verificação da ordem de priorização. A prioridade expressa pelo ISP para cada um dos trechos da malha viária da UEL foi comparada àquela considerando apenas o PCI, o índice de condição resultante das avaliações subjetivas e o índice de priorização de Tavakoli. Posteriormente esses dados foram validados utilizando o teste estatístico de Mann-Whitney. A partir dos principais resultados dos testes e da validação do índice criado foi possível observar que o método do ISP é mais indicado para priorizar trechos de vias urbanas do que o método do PCI e de Tavakoli. Como parte dos resultados também foi possível notar que o ISP representa melhor a importância e/ou a necessidade de M&R que um trecho de pavimento apresenta do que quando comparado com os outros métodos utilizados neste trabalho. Sendo assim, concluiu-se que o ISP é válido, prático, eficiente e econômico e poderá ser utilizado pelos gestores públicos como uma ferramenta de priorização de vias candidatas à M&R. Além disso, o ISP estimado a partir do uso de dados da avaliação subjetiva com auxílio de uma escala visual se tornou um processo mais funcional e ainda assim eficiente para ser utilizado quando em comparação às demais variações analisadas neste trabalho.

Palavras-Chave: Gerência de pavimentos. Avaliação subjetiva. Avaliação objetiva. Defeitos. MCDA-C. Software M-Macbeth.

SANTOS, Ana Carolina Silvério dos. **Development of a Simplified Priority Index for the Maintenance of Urban Roads**. 2020. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

ABSTRACT

The pavement management system (SGP) contains tools to manage the network of paved roads from the design and execution stage to maintenance and rehabilitation (M&R). With regard to M&R, an urban SGP uses the prioritization criterion for decision making regarding the candidate candidates for interventions. Thus, in view of the lack of resources on the part of the bodies responsible for management and the precarious conditions of most Brazilian pavements, it is important to develop a simple and reliable index to support managers' decision-making on the priority sections of the floors to M&R. Thus, the main objective of this work was to develop a simplified prioritization index (ISP) for urban paved roads, based on the methodology of multicriteria constructivist analysis, the MCDA-C. For this, the M-Macbeth software was used. Through brainstorming with a group of 6 professionals linked to the transport area, 4 areas and 7 indicators were defined to compose the ISP. The areas and indicators, through their performance levels, were created and used to generate weights and, thus, prioritize the sections of the analyzed pavement. To test the generated index, the pavement sections of the campus of the Universidade Estadual de Londrina (UEL) were evaluated, both by subjective method (with and without a visual reference scale) and objective (Pavement Condition Index), together with the survey of other information necessary to verify the prioritization order. The priority expressed by the ISP for each section of the UEL road network was compared to that considering only the PCI, the condition index resulting from subjective evaluations and the Tavakoli prioritization index. These data were subsequently validated using the Mann-Whitney statistical test. From the main results of the tests and the validation of the index created, it was possible to observe that the ISP method is more suitable for prioritizing sections of urban roads than the PCI and Tavakoli method. As part of the results it was also possible to notice that the ISP better represents the importance and / or the need for M&R that a stretch of pavement presents than when compared to the other methods used in this work. Thus, it was concluded that the ISP is valid, practical, efficient and economical and can be used by public managers as a tool for prioritizing routes candidates for M&R. In addition, the ISP estimated from the use of subjective assessment data with the aid of a visual scale has become a more functional and yet efficient process to be used when compared to the other variations analyzed in this work.

Keywords: Field test. Validation. MCDA-C. M-Macbeth software.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Exemplo de uma árvore de decisão.....	20
Figura 2	Escala visual para o formulário de avaliação subjetiva	24
Figura 3	Divisões das seções de uma via para avaliação pelo método do IGG.....	25
Figura 4	Matriz de julgamentos no software M-Macbeth	41
Figura 5	Variação de valores dos critérios no software M-Macbeth	41
Figura 6	Valores de cada critério para um índice criado	42
Figura 7	Análise de sensibilidade dos pesos dos critérios no M-Macbeth ...	42
Figura 8	Fluxograma das etapas e fases do trabalho	43
Figura 9	Árvore de decisão construída no M-Macbeth.....	45
Figura 10	Inserção dos níveis de desempenho.....	46
Figura 11	Níveis de referência entre os níveis de desempenho.....	46
Figura 12	Exemplo da matriz de julgamento pronta para o procedimento	47
Figura 13	Termômetro da área “A – Parâmetros gerais da via”	48
Figura 14	Divisões dos trechos na UEL	49
Figura 15	Formulário para avaliação subjetiva.....	52
Figura 16	Formulário para avaliação objetiva	55
Figura 17	Aplicativo de celular utilizado para contagem de veículos	56
Figura 18	Custos de acordo com a condição do pavimento.....	58
Figura 19	Exemplo de atualização de custos pelo INCC de 2015 para 2020	58
Figura 20	Recomendação para divisão das unidades amostrais	60
Figura 21	Forma incorreta para divisão das unidades amostrais	61
Figura 22	Base para classificação funcional das vias da UEL	62
Figura 23	Comparações realizadas entre os métodos de priorização.....	66
Figura 24	Níveis de desempenho da área “A - Parâmetros gerais da via”	72
Figura 25	Equações para VDMs intermediários no indicador “A2”	73
Figura 26	Níveis de desempenho da área “B - Condição do Pavimento”	74
Figura 27	Níveis de desempenho da área “C - Localização da via”	76
Figura 28	Níveis de desempenho da área “D - Custos de M&R”	77
Figura 29	Pesos dos indicadores do ISP	78
Figura 30	Pesos das áreas do ISP	78

Figura 31	Arborização dos pesos das áreas e dos indicadores do ISP	78
Figura 32	Mensuração do número de terminais, instituições e comércios	86
Figura 33	Correlações das comparações do grupo 1.....	93
Figura 34	Correlações das comparações do grupo 2.....	94
Figura 35	Correlações das comparações do grupo 3.....	95
Figura 36	Correlações das comparações do grupo 4.....	96
Figura 37	Correlações das comparações do grupo 5.....	97
Figura 38	Desvios padrões das comparações realizadas	99
Figura 39	Coeficientes de variações das comparações realizadas.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Conceitos e limites do IGG.....	26
Tabela 2	Níveis do PCI	27
Tabela 3	Mensuração dos defeitos nos pavimentos flexíveis	28
Tabela 4	Diferenças entre os métodos do IGG e do PCI	29
Tabela 5	Dados para calcular o IP de uma via pelo método de Tavakoli.....	32
Tabela 6	Considerações para as comparações realizadas.....	65
Tabela 7	Comparações realizadas com os índices de priorizações das vias.....	67
Tabela 8	Indicadores e níveis de desempenho das áreas do índice gerado	70
Tabela 9	ICP dos trechos de acordo com as avaliações objetiva e subjetivas	80
Tabela 10	Divisões das classes funcionais dos trechos de vias da UEL	81
Tabela 11	Máxima quantidade de veículos por dia e o VDM dos trechos da UEL	82
Tabela 12	Características dos trechos de acordo com os valores de FHP	83
Tabela 13	Classificações dos trechos conforme o tipo de método usado.....	84
Tabela 14	Número de terminais, instituições e comércios próximos.....	86
Tabela 15	Custos por m ² adotados de acordo com a condição dos trechos...	87
Tabela 16	Custos (R\$) por m ² dos trechos de acordo as avaliações.....	87
Tabela 17	Valores equivalentes dos níveis de desempenho dos indicadores.....	88
Tabela 18	Pontuações dos trechos de acordo com cada tipo de avaliação....	90
Tabela 19	Trechos em ordem de prioridade de acordo as avaliações.....	91
Tabela 20	Resultados do teste de Mann-Whitney para as comparações	92
Tabela 21	Ordem de priorização dos trechos conforme o tipo de avaliação.	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA	Estados Unidos da América
FHP	Fator Horário de Pico
HDM-4	Highway Development and Management Model
ICPsubj._esc visual	Índice da Condição do Pavimento Subjetiva com Escala Visual
ICPsubj._info básica	Índice da Condição do Pavimento Subjetiva sem Escala Visual
IGG	Índice de Gravidade Global
INCC	Índice Nacional da Construção Civil
ISP	Índice Simplificado de Priorização
MCDA	Multi-Criteria Decision Analysis
MCDA-C	Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista
M&R	Manutenção e Reabilitação
PCI	Índice de Condição do Pavimento ou Pavement Condition Index
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPU	Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
SHRP	Strategic Highway Research Program
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UA	Unidade Amostral
VSA	Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2	SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	18
2.1	SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS (SGPU)	18
2.2	PRIORIZAÇÃO E TOMADA DE DECISÃO.....	19
2.3	A RELAÇÃO DAS ATIVIDADES DE M&R COM A PRIORIZAÇÃO DAS VIAS	21
3	TIPOS DE AVALIAÇÕES NOS PAVIMENTOS	23
3.1	AVALIAÇÃO SUBJETIVA	23
3.2	AVALIAÇÃO OBJETIVA.....	25
3.2.1	Índice De Gravidade Global (Igg)	25
3.2.2	Índice De Condição Do Pavimento.....	26
3.2.3	Comparação Entre Os Métodos Do Igg E Do Pci.....	29
4	MÉTODOS DE PRIORIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS	31
4.1	MÉTODO DE TAVAKOLI	31
4.2	MÉTODO DO DNER	33
4.3	MÉTODO DE BODI & BALBO	33
4.4	MÉTODO HIGHWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT MODEL (HDM-4)	34
4.5	ESTUDOS SOBRE PRIORIZAÇÃO DE PAVIMENTOS	34
4.5.1	Estudos De Priorização De Vias No Brasil	35
4.5.2	Estudos De Priorização De Vias A Nível Internacional.....	37
5	Análises Multicritério	39
5.1	METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO (MCDA).....	39
5.2	METODOLOGIA CONSTRUTIVISTA MCDA-C	39

6	Método De Pesquisa	43
6.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS E SEUS INDICADORES.....	44
6.2	NÍVEIS DE DESEMPENHO, UNIDADES E DESCRIÇÕES DOS INDICADORES.....	44
6.3	JULGAMENTOS E CRIAÇÃO DO ÍNDICE PELO SOFTWARE M-MACBETH.....	45
6.4	AVALIAÇÕES EM CAMPO.....	49
6.4.1	Área De Estudo Para Aplicação Do Índice	49
6.4.2	Avaliações Da Condição Da Superfície Do Pavimento	50
6.4.2.1	Avaliações subjetivas	50
6.4.2.2	Avaliações objetivas	53
6.4.3	Parâmetros Utilizados Em Campo Para Aplicação No Isp	55
6.5	TESTE E VALIDAÇÃO DO ÍNDICE GERADO	59
6.5.1	Parâmetros Para Testar O Índice	59
6.5.2	Teste E Validação Do Índice	61
7	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
7.1	DEFINIÇÃO DAS ÁREAS, INDICADORES E NÍVEIS DE DESEMPENHO	69
7.2	CRIAÇÃO DO ISP PELO M-MACBETH.....	72
7.3	RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES EM CAMPO	79
7.4	TESTE DO ISP.....	80
7.4.1	Parâmetros Adotados Para A Área “A” Do Isp	81
7.4.2	Parâmetros Adotados Para A Área “B” Do Isp	83
7.4.3	Parâmetros Adotados Para A Área “C” Do Isp	85
7.4.4	Parâmetros Adotados Para A Área “D” Do Isp	87
7.4.5	Valores Correspondentes Dos Níveis De Desempenho	88
7.4.6	Ordem De Priorização E Valores Finais Do Isp Para Cada Trecho.....	89
7.5	VALIDAÇÃO DO ISP.....	91
7.6	RESULTADOS DAS PRIORIZAÇÕES DE ACORDO COM O MÉTODO APLICADO.....	101
8	CONCLUSÕES	102
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICES	112

APÊNDICE A	Guia de recomendações para retirada de dados em meios urbanos.....	113
ANEXOS	114
ANEXO A	Tipos de defeitos avaliados pelo PCI e suas causas	115

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos houve o avanço do desenvolvimento das vias pavimentadas no Brasil que como consequência fez surgir a necessidade da implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP). Assim, mais do que a existência do SGP, foi preciso também melhorar o modo como esse sistema iria prever as atividades de construção, manutenção e reconstrução das vias pavimentadas.

Sendo uma ramificação do SGP, em muitas cidades no mundo existe o Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) que por meio de métodos avaliativos, subjetivos ou objetivos, consegue estimar a condição da malha viária existente no município. Apesar de haver esse sistema implantado em algumas cidades no mundo, muitas outras cidades ainda não o incorporaram.

Para ajudar na gerência de pavimentos e na priorização das vias candidatas à manutenção e reabilitação (M&R), tanto no SGP quanto no SGPU, existem os métodos avaliativos e as formas de tomada de decisão. Destacam-se os métodos do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), de Tavakoli, de Bodi & Balbo e o do *Highway Development and Management Model* (HDM-4). Para tomar decisões baseadas nesses métodos, existem a metodologia *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA), conhecida no Brasil como Análise de Decisão Multicritério, e a construtivista MCDA-C. Para facilitar a tomada de decisão por meio da MCDA-C, que vem sendo abundantemente utilizada em pesquisas para este fim, existe o software M-Macbeth.

Apesar da existência do SGPU e seus diferentes métodos em diversas cidades, existe um tipo de falha que comumente acontece, sendo ela a dificuldade de fazer a priorização das vias candidatas a M&R, uma vez que os principais métodos existentes são complexos. Neste sentido, uma alternativa para facilitar a priorização destas vias é simplificando a avaliação. Uma opção para esta simplificação é utilizar menos critérios no índice para fazer a priorização, de forma que se considere aspectos que tenham relevância, representatividade e que, além disso, sejam mensuráveis e de fácil obtenção.

A falta de gestão de pavimentos pode facilmente acelerar a deterioração das vias, por isso, é importante que ela seja passível de ser realizada com praticidade e baixo custo. Assim, a priorização de vias incorporada ao SGPU, que nos dias de hoje é comumente realizada de forma empírica ou de maneira com elevado nível de

complexidade, poderá ser feita de modo mais funcional e eficiente em apoio às tomadas de decisões relativas às atividades de M&R.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um índice simplificado de priorização para vias urbanas candidatas à manutenção.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho foram determinados os objetivos específicos, conforme são descritos a seguir:

- Identificar as áreas, indicadores e seus correspondentes níveis de desempenho;
- Definir as unidades de mensuração e descrever os indicadores de cada área do índice;
- Realizar os julgamentos de atratividade no software M-Macbeth;
- Criar um índice global de priorização;
- Coletar em campo os dados relativos aos indicadores do índice;
- Testar o índice criado;
- Validar o índice desenvolvido.

1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha para M&R de vias pavimentadas urbanas normalmente é feita sem um adequado planejamento por parte dos gestores públicos. Desta forma, é comum que essas vias sejam recuperadas por ordem de precariedade. Sendo assim, as atividades de M&R ocorrem nos locais que apresentam maior número de defeitos (buracos, trincas, entre outros) ou até mesmo, por excessivas reclamações vindas da população. Esta situação ocorre constantemente nas cidades brasileiras devido à inexistência de um SGP.

Existem diferentes métodos para fazer a gestão e a priorização de vias pavimentadas urbanas candidatas a M&R, porém, eles normalmente possuem um alto custo e nível de complexidade para serem implantados e aplicados. Por isso, é importante que sejam desenvolvidas maneiras mais práticas, simples e de baixo custo para avaliar e priorizar essas vias.

Assim, será possível que os gestores públicos administrem melhor a forma como priorizam as vias urbanas para serem recuperadas. Desta forma, o que atualmente é feito de maneira aleatória, se tornará mais preciso e viável, tanto de modo econômico quanto na facilidade de se aplicar nos municípios brasileiros.

Conhecendo estas dificuldades e buscando aprimorar o sistema de gestão dos pavimentos nos municípios, esta pesquisa foi realizada com o propósito de desenvolver um índice simplificado para fazer a priorização de vias pavimentadas urbanas. Acredita-se que este trabalho contribuirá não só para o meio acadêmico, dando suporte teórico para aqueles que queiram desenvolver e estudar assuntos relacionados com a gestão de pavimentos, mas principalmente à área pública, visto que o índice desenvolvido gerou um modelo mais simples e econômico para apoiar os gestores públicos na tomada de decisão com relação às vias urbanas candidatas à M&R.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte maneira:

No capítulo 1, encontra-se a contextualização da pesquisa, ou seja, sua parte introdutória. Além da introdução, estão presentes também nesse capítulo, o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

No capítulo 2, apresentam-se os conceitos gerais do SGP, bem como a caracterização da M&R e do SGPU, além dos parâmetros para a tomada de decisão na priorização de vias pavimentadas urbanas.

No capítulo 3, apresentam-se os tipos de avaliações feitas no pavimento (subjetiva e objetiva), além de exemplos de ambas as avaliações.

No capítulo 4, apresentam-se alguns exemplos de métodos para a priorização de pavimentos, sendo eles o método de Tavakoli, do DNER, de Bodi & Balbo e o do HDM-4. E ainda, alguns dos estudos sobre priorização de pavimentos que já foram realizados ao longo do mundo, os métodos utilizados e os seus resultados.

No capítulo 5, apresentam-se os tipos de análises multicritério (MCDA e MCDA-C), bem como o método MACBETH e o software M-Macbeth.

No capítulo 6, apresentam-se os métodos de pesquisa utilizados para desenvolver este trabalho.

No capítulo 7, apresentam-se os resultados e discussões obtidos no trabalho.

No capítulo 8, apresentam-se as conclusões da pesquisa.

2 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

O Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é um sistema utilizado desde a fase de planejamento até as etapas relacionadas com a M&R das vias quando houver necessidade.

Neste sentido, Mota, Oliveira e Aguiar (2016), afirmam que o SGP é mais utilizado no planejamento e na tomada de decisão sobre as atividades de M&R de vias quando existe a necessidade. Um SGP adequado deve existir já na fase de planejamento do pavimento e não apenas na fase de manutenção e/ou recuperação.

Nas decisões necessárias para intervenção e restauração dos pavimentos existem os métodos que auxiliam nestas decisões, como por exemplo, o método de Tavakoli, entre outros. Além deles, existem ainda alguns elementos que ajudam a demonstrar as necessidades de intervenção e restauração nos pavimentos. Assim, Horta *et al.* (2013), descrevem estes elementos como sendo por exemplo, equipamentos de inspeção visual, base de dados e avaliações estratégicas.

Sabe-se que em um SGP existem as intervenções de restauração e de reconstrução, variando de acordo com a necessidade e com a condição do pavimento em questão. Sendo assim, Mirandola, Coelho e Oliveira (2016), ressaltam que a implementação de um SGP nas cidades e rodovias é necessária para uma boa gestão. Assim, ajudando a gestão pública a evitar gastos com manutenção e/ou recuperação tardia. Além disso, proporcionam aos usuários destes pavimentos, viagens com conforto, qualidade e segurança.

2.1 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS (SGPU)

Os Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) são resultantes do que se espera a respeito de uma boa gerência de vias pavimentadas. Estes sistemas, que são exclusivamente utilizados dentro dos municípios, apresentam vantagens diversas. Conforme afirma Oliveira (2013), essas vantagens são por exemplo, a melhoria da qualidade do nível de serviço das vias pavimentadas urbanas, a redução de custos devido à gerência, a justificativa de gastos perante o poder público e a organização das vias. Além disso, salienta-se que as principais etapas do SGPU são o inventário, a avaliação da condição do pavimento, a priorização das vias, a programação das atividades de M&R e a implementação de melhorias.

A utilização do SGPU é importante para embasar, principalmente, as atividades de M&R, pois, conforme afirma Zanchetta (2017), grande parte das vias pavimentadas urbanas brasileiras estão em más condições. Sendo assim, para melhorar a condição destes pavimentos é preciso unir a gerência técnica com a gerência política dos órgãos municipais.

Apesar de muitas vezes a gerência de pavimentos por órgãos municipais ser difícil devido ao racionamento financeiro existente, principalmente em pequenos municípios, pode-se afirmar que ainda assim existem recursos. Para minimizar esse problema, a maioria dos municípios optam por trabalhar com o método de priorização do pavimento. Este método se restringe a dois fatores principais: o custo de reparo e a condição do pavimento. Para priorizar, são utilizados critérios de decisão que hierarquizam as vias e ajudam a direcionar os recursos financeiros que chegam para as atividades de M&R nestes pavimentos (LIMA; RAMOS; FERNANDES JUNIOR, 2008).

2.2 PRIORIZAÇÃO E TOMADA DE DECISÃO

Para Lima (2007), a tomada de decisão para priorizar um pavimento está diretamente relacionada com um SGP. De acordo com Becker (2008), a priorização significa quantificar o índice de necessidade que um pavimento tem e relacionar estes dados com os recursos presentes na execução deste serviço. A priorização de pavimentos está diretamente relacionada com o orçamento desta atividade, por isso é preciso que este processo seja feito de maneira correta, ou seja, com um banco de dados organizado e preciso.

Oliveira (2013) afirma que a priorização de pavimento está relacionada também com as melhores decisões tomadas em um grupo técnico responsável por essas vias, bem como está relacionada com a M&R dos pavimentos. A priorização e o planejamento estão diretamente ligados, por isso, é preciso que haja uma relação muito próxima entre todos os dados coletados e relacionados com o pavimento em questão.

Para se ter uma boa escolha de priorização de pavimento é preciso que haja antes uma boa gerência do mesmo, relacionado a isto também deve estar a organização de dados e a tomada de decisão. Com base nisto, Oliveira (2013) afirma que a priorização é o nível intermediário da estrutura de gerência de pavimentos,

sendo que antes dela deve vir o inventário e a avaliação das condições do pavimento e posteriormente, o programa de atividades e a implementação.

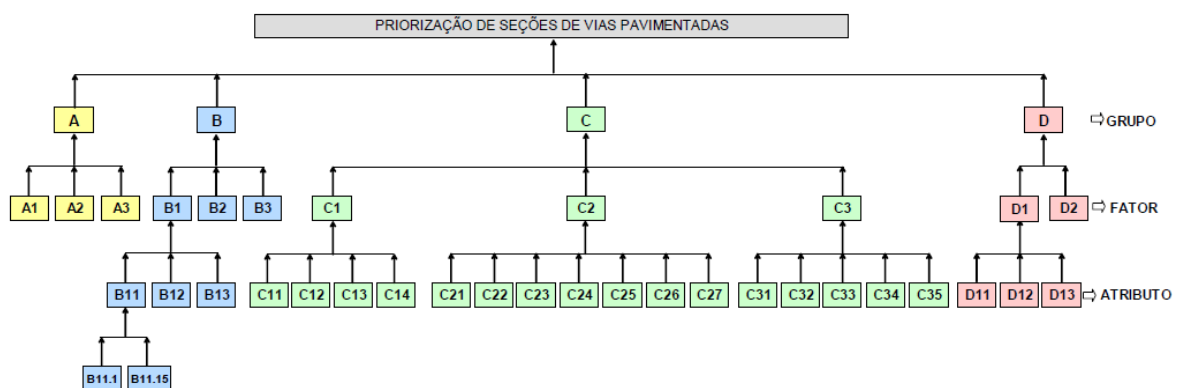
Os critérios de priorização e de tomada de decisão são elementos importantes dentro de um SGP. Confirmando isto, Pinto *et al.* (2004) relatam que ambos os elementos estão presentes na ação de avaliar e reconhecer as principais necessidades de manutenção e/ou reabilitação de uma via pavimentada. Em um SGP os critérios são utilizados para determinar as prioridades dos pavimentos.

Existem diferentes métodos para ajudar na tomada de decisão, como por exemplo, o método de Tavakoli e o do DNER. Esses métodos são utilizados para identificar onde deve-se intervir para fazer o melhoramento de um pavimento.

A tomada de decisão, em um SGP, se baseia em árvores com áreas e subáreas que ajudam na priorização das vias pavimentadas. Destaca-se que nem sempre estes elementos apresentam um mesmo número de critérios dentro das áreas. Sendo assim, alguns autores que se basearam nas árvores de decisões não utilizaram um número igual de ramificações dos elementos analisados em suas pesquisas. Como exemplo disso tem-se os trabalhos de Almeida (2006), Albuquerque (2007), Lima (2007), Longaray, Caprario e Ensslin (2010), Alves e Santarem (2015) e Fialho (2015).

Na Figura 1, conforme demonstrado por Lima (2007), observa-se que o número de ramificações de uma árvore de decisão não é igual para todos os grupos em análise. Nesta árvore de decisão nota-se que o grupo A, B e C possuem 3 fatores dependentes, já o grupo D possui apenas 2 fatores dependentes.

Figura 1 – Exemplo de uma árvore de decisão.



Fonte: Lima (2007)

2.3 A RELAÇÃO DAS ATIVIDADES DE M&R COM A PRIORIZAÇÃO DAS VIAS

As atividades de M&R devem ocorrer de maneira constante nos pavimentos, para isso, segundo Lima, Ramos e Fernandes Júnior (2009), elas utilizam diferentes critérios de acordo com o SGP na qual estão inseridas. Ou seja, em cada situação pode ser tomada uma decisão com base nos critérios adotados (custos, condição da via, entre outros) em cada gestão de pavimentos.

A determinação de que um pavimento precisa de M&R é o resultado de uma tomada de decisão que, no Brasil, normalmente é realizada por meio da priorização das vias. Desse modo, fazendo com que exista uma grande relação entre as atividades de M&R e a priorização das vias. Com base nisto, de acordo com Lima, Ramos e Fernandes Júnior (2009), nos casos em que existe o SGP, os modelos de priorização das vias seguem um padrão no qual os piores pavimentos entram em manutenção conforme vão se degradando ou em casos de extrema urgência.

Tendo em vista esta informação, observa-se que ainda é preciso aprimorar a gestão de pavimentos no Brasil. Complementando isso, Zanchetta (2017) relata que as atividades de M&R se fazem necessárias devido a deterioração que ocorre nos pavimentos ao longo dos anos de sua vida útil de projeto. Normalmente eles são deteriorados por meio da ação de veículos com excesso de cargas e também pela ação, muitas vezes, das intempéries (ventos fortes, tempestades, entre outras ações do clima).

Em complemento, Mota, Oliveira e Aguiar (2016), ressaltam que é importante conhecer as condições físicas e climáticas próximas ao pavimento que será executado. Desta forma a tomada de decisão relacionada com a M&R das vias pavimentadas se torna mais facilitada para os gestores responsáveis por estas atividades.

A manutenção dos pavimentos deve ser frequente para evitar maiores danos nas vias ao longo dos anos. Mota, Oliveira e Aguiar (2016) afirmam ainda que as faltas de reparos nos pequenos sinais de problemas nos pavimentos podem gerar prejuízos financeiros e estruturais muito maiores com o passar dos anos nestas vias. Além disso, a falta de manutenção poderá ocasionar a necessidade de uma reabilitação na via, atividade essa que se torna mais complexa e de maior custo.

Acima da importância de se fazer manutenções periódicas nos pavimentos e evitar a reabilitação dos mesmos, está uma boa gestão destas atividades. Assim

relatam Mirandola, Coelho e Oliveira (2016) ao afirmarem que a gestão de pavimentos é uma atividade de extrema importância. O resultado de uma boa gestão dos pavimentos ocasiona positivamente a conservação das vias por um período igual ou maior ao que foi projetado a princípio.

Já a falta de gestão de pavimentos, que é comum nas cidades brasileiras, pode causar problemas sérios. Essa falta de gestão e uma falsa manutenção são o que ocorrem constantemente no Brasil, conforme relatam Rodrigues e Vaz (2017) ao afirmarem que principalmente em pequenas cidades as operações de “tapa buracos” mascaram o erro da falta de cuidados com as vias pavimentadas.

Rodrigues e Vaz (2017) afirmam ainda que o fato de nas pequenas cidades tentarem consertar os pavimentos danificados com “tapa buracos”, muitas vezes devido à falta de gestão e verba, não garantem um período maior de vida útil aos pavimentos e não os consertam de fato. O contrário disto é o que acontece, ou seja, esta ação gera ineficiência e uma aplicação errônea dos recursos financeiros municipais voltados para a pavimentação.

Com estas informações, nota-se que a priorização das vias precisa estar implantada dentro de um adequado SGP, ocorrendo de forma planejada e evitando atividades desnecessárias. Assim, Rodrigues e Vaz (2017) realçam que o SGP é o principal instrumento para intervir com ações de melhoramento e preservação dos pavimentos. Isto ocorre, pois, com este sistema é possível determinar quais vias precisam de M&R com urgência e as que podem aguardar. Assim, a tomada de decisão neste sistema se torna um ponto positivo para ajudar o poder público tanto na preservação dos pavimentos quanto na administração financeira das cidades.

3 TIPOS DE AVALIAÇÕES NOS PAVIMENTOS

As avaliações dos pavimentos podem ser funcionais ou estruturais. Neste capítulo, serão abordadas apenas as avaliações do tipo objetiva e subjetiva, pois são duas das principais maneiras de avaliar funcionalmente um pavimento, bem como são as utilizadas nesta pesquisa. Como o próprio nome já deixa claro, ambas as avaliações se diferenciam, principalmente, pelo modo como os dados são coletados em campo. Nos próximos itens as principais características de cada método de avaliação da condição da superfície de pavimentos flexíveis são apresentadas.

3.1 AVALIAÇÃO SUBJETIVA

A avaliação subjetiva, de acordo com Pescador Junior, Silva Junior e Fontenele (2018), é utilizada para mensurar a condição do pavimento, por meio de notas atribuídas por usuários que representam sua opinião ao avaliar o conforto e a qualidade de rolamento proporcionada por determinada via pavimentada.

Este tipo de avaliação simplificada surgiu para suprir a limitação orçamentária existente nos órgãos públicos relacionada às atividades de M&R nos pavimentos. Entretanto, este tipo de avaliação exige cuidados quanto à influência que o avaliador pode exercer sobre o resultado final da análise realizada em campo (LIMA, 2007).

Embasada pela norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT 009/2003 – PRO, recomenda-se fazer as avaliações subjetivas compondo um grupo de cinco pessoas que sejam especialistas em avaliações de pavimentos para a determinação do Valor de Serventia Atual (VSA). Este valor refere-se à condição e ao conforto do pavimento de acordo com a opinião dos especialistas em campo.

A serventia atual tem relação direta com o desempenho do pavimento e ajuda a classificar as vias para futuras atividades de manutenção. Conforme Carey Jr. e Irick (1960), esse vínculo representa, por meio da opinião dos usuários, o nível de qualidade de um pavimento. Essa qualidade é medida por valores que variam de 0 a 5 pontos e considera exclusivamente a condição da via, não levando em conta sua largura, declividade, itens de drenagem, entre outros fatores.

A avaliação subjetiva, segundo Pereira (2019), é uma excelente opção para a verificação inicial da condição da superfície do pavimento tendo em vista as restrições

orçamentárias dos municípios brasileiros. Para tanto o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem tais avaliações são importantes para aumentar a confiabilidade e, portanto, diminuir as dispersões entre os avaliadores.

Alguns estudos como o de Hartgen *et al.* (1982), Golroo e Tighe (2010), Oliveira, Silva Júnior e Fontenele (2013), Fontenele e Fernandes Júnior (2013), Pereira *et al.* (2018) e Pereira (2019) relatam o desenvolvimento e o uso de escalas visuais como uma referência no ato da atribuição das notas.

Assim como apontado na pesquisa de Pereira (2019) e demonstrado na Figura 2, neste trabalho se considerou como escala visual o instrumento formado por um grupo de fotografias da superfície de pavimentos que representam cada intervalo de classificação adotado na avaliação.

Figura 2 – Escala visual para o formulário de avaliação subjetiva.



Fonte: Pereira (2019)

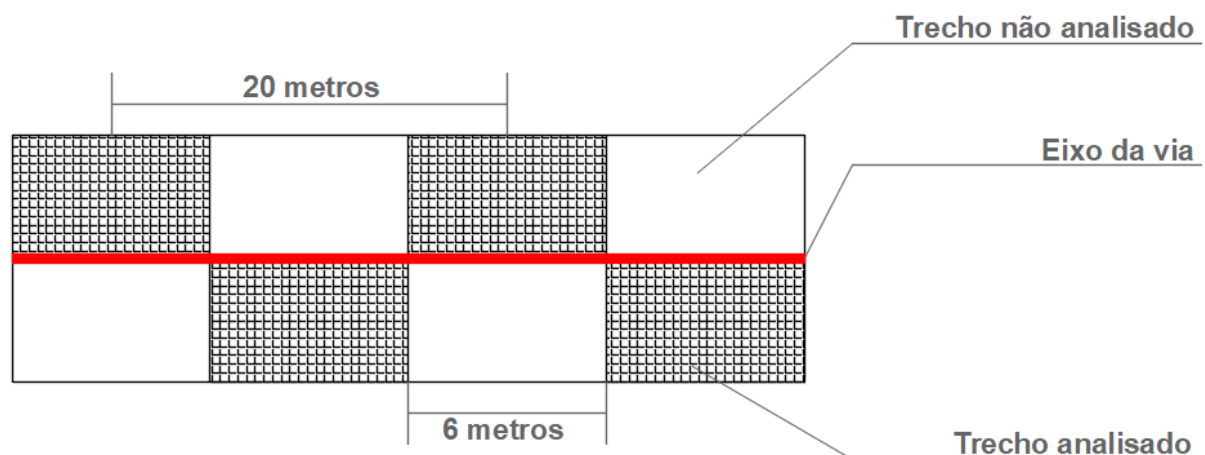
3.2 AVALIAÇÃO OBJETIVA

A avaliação objetiva da superfície dos pavimentos flexíveis tem por finalidade avaliar as seções dos mesmos levando em consideração o levantamento dos tipos de defeitos neles presentes e, desta forma, classificando-os qualitativamente. No Brasil este tipo de avaliação está preconizado pela norma do DNIT 006/2003. Outro tipo de avaliação objetiva muito difundida nas pesquisas ao longo do mundo é o método do PCI, sendo este contido na norma da *American Society For Testing And Materials – ASTM* (2018) e que será utilizado nesta pesquisa.

3.2.1 Índice de Gravidade Global (IGG)

Descrito na norma do DNIT 006/2003, o Índice de Gravidade Global (IGG) leva em consideração a frequência com que os defeitos se apresentam nas seções avaliadas e os tipos de defeitos presentes nas mesmas. É importante destacar que as considerações para cálculos deste tipo de avaliação objetiva variam de acordo com o tipo de pista (simples ou dupla). Esta norma ainda estabelece que, quanto à avaliação da superfície do pavimento, ela deve ocorrer a cada 20 metros de forma alternada em relação ao eixo da via, de maneira que a seção avaliada tenha uma extensão de 6 metros e uma largura igual a metade da via analisada, como demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Divisões das seções de uma via para avaliação pelo método do IGG.



Fonte: adaptado do DNIT 006/2003 (2003)

Conforme indicado por Vieira *et al.* (2016), o IGG analisa os defeitos de um pavimento de forma objetiva com foco em identificar a condição de sua superfície. Em complemento, Machado (2013), afirma que o IGG qualifica um pavimento de ótimo a péssimo, sendo que essa variação é dividida em 5 grupos de conceitos que variam de 0 a igual ou maior 160 pontos, conforme representado na Tabela 1.

Tabela 1 – Conceitos e limites do IGG.

CONCEITOS	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

Este índice de combinação de defeitos é muito usual no Brasil, pois, segundo Soncim e Fernandes Júnior (2015), classifica de maneira geral a condição da superfície de uma via pavimentada de acordo com o número de defeitos que ela apresenta. Páez (2015) afirma que apesar de muito usual o método do IGG não avalia a extensão dos defeitos nos pavimentos analisados. Em complemento, Zanchetta (2017) ressalta que esse método é limitado, pois, além de não considerar a extensão dos defeitos de um pavimento, também não considera suas severidades, com exceção das trincas, levando em consideração então apenas o número de ocorrências das mesmas.

3.2.2 Índice de Condição do Pavimento

O Índice de Condição do Pavimento, ou *Pavement Condition Index* (PCI), outro método objetivo de avaliação de pavimentos, representa o resultado de uma combinação de defeitos sobre as vias pavimentadas. Este índice surgiu com o objetivo de estimar a qualidade dos pavimentos de aeroportos, porém, segundo Páez (2015), esta metodologia avaliativa se expandiu e passou a ser aplicada também em rodovias e vias urbanas pavimentadas.

Ressalta-se ainda que esse índice colabora na tomada de decisão por gestores públicos no que diz respeito ao tipo e momento em que a atividade de M&R dos pavimentos deve ser realizada.

Nas avaliações objetivas realizadas por meio do método PCI, são levados em consideração os tipos, as densidades e as severidades dos defeitos. É importante destacar que para utilizá-lo de forma correta, segundo recomendação da ASTM (2018), é preciso avaliar unidades amostrais do pavimento de áreas entre 135 a 315 m².

A ASTM (2018) classifica as vias pavimentadas com relação a sua condição atual com base no PCI. Assim, as unidades amostrais (UAs) de um pavimento podem ser classificadas de acordo com uma escala de valores que varia entre 7 categorias distintas, conforme pode-se observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Níveis do PCI.

PCI	CLASSIFICAÇÃO
86 a 100	excelente
71 a 85	muito bom
56 a 70	bom
41 - 55	Regular
26 – 40	ruim
11 – 25	muito ruim
0 – 10	péssimo

Fonte: adaptado da ASTM (2018)

De acordo com a ASTM (2018) o método do PCI considera 20 tipos diferentes de defeitos no pavimento, conforme pode-se observar na Tabela 3. A avaliação deve ser realizada em campo com avaliadores especialistas no assunto. Da mesma maneira, estes avaliadores devem definir quais defeitos existem na via, depois precisam mensurá-los de acordo com sua severidade (alta, média ou baixa). Por fim, combinações numéricas entre as severidades dos defeitos em cada trecho da via devem acontecer para que o maior valor entre as combinações seja o escolhido para definir a condição do pavimento que varia de muito bom a muito ruim.

Tabela 3 – Mensuração dos defeitos nos pavimentos flexíveis.

Defeito	Forma de mensurar	Defeito	Forma de mensurar
1 – Trincas por fadiga	Área	11 – Remendos	Área
2 – Exsudação	Área	12 – Agregado polido	Área
3 – Trincas em blocos	Metro	13 – Buracos	Unidade
4 – Saliências e deformações	Área	14 – Passagem de ferrovia	Área
5 – Corrugação	Área	15 – Afundamento de trilha de roda	Área
6 – Depressão	Área	16 – Deformação plástica do revestimento	Área
7 – Trincas na borda	Metro	17 – Trincas parabólicas	Área
8 – Trincas por propagação de juntas	Metro	18 – Empolamento	Área
9 – Desnível entre a pista e o acostamento	Metro	19 – Desintegração	Área
10 – Trincas longitudinal e transversal	Metro	20 – Imtemperismo	Área

Fonte: adaptado de APS, Balbo e Severi (1998)

A densidade no método do PCI é relacionada com o nível percentual de determinado defeito perante a área total do trecho da via. Já a severidade é relacionada com o nível de gravidade do defeito, podendo ser do tipo baixa, média ou alta. Ao avaliar os trechos de uma via por meio do PCI, o avaliador deve conhecer e definir qual, ou quais, defeitos existentes estão presentes na região analisada.

Com base na identificação do defeito, o avaliador deve ainda o mensurar e indicar seu nível de severidade. Após isso, combinações de severidades em cada defeito devem ser realizadas de modo que o maior nível de severidade seja considerado como predominante no defeito. Da mesma forma, o maior valor entre todas as combinações de defeitos (alta, média e baixa) será considerado como a condição final do trecho da via pavimentada em análise.

O PCI é uma ferramenta importante para avaliar a condição de uma via pavimentada e deve estar presente em um SGP. Por ser objetivo, o PCI é mais rigoroso no que diz respeito aos níveis dos defeitos, severidades e densidades, quando comparados com outros métodos, como por exemplo, os métodos subjetivos de avaliação. Por isso, segundo Albuquerque *et al.* (2017), devido a sua alta rigorosidade de avaliação em campo, muitas vezes quando comparado a outros índices avaliativos, o valor do PCI vai se sobrepôr com relação aos defeitos nas vias pavimentadas.

3.2.3 Comparação entre os métodos do IGG e do PCI

Sabendo que os métodos do IGG e do PCI são métodos objetivos, mas com certas diferenças avaliativas, como por exemplo, tipo de avaliação em campo, defeitos analisados, variação numérica do índice gerado e complexidade de execução, tem-se na Tabela 4 os detalhes de cada método.

Tabela 4 – Diferenças entre os métodos do IGG e do PCI.

Método	Como avalia	Defeitos avaliados	Variação	Execução
		20 defeitos (8 tipos).		
<u>IGG</u>	Trechos intercalados a cada 20m com 6m de extensão e com a metade da largura da via.	» Tipo 1: fissuras e trincas isoladas; » Tipo 2: trincas sem erosão; » Tipo 3: trincas com erosão; » Tipo 4: afundamentos; » Tipo 5: Ondulações, painelas e escorregamentos; » Tipo 6: Exsudação; » Tipo 7: Desgaste; » Tipo 8: Remendos.	0 a 160	Menos complexo
<u>PCI</u>	Trechos entre 135 a 315 m².	20 defeitos	0 a 100	Mais complexo

Fonte: o próprio autor (2020)

Com base nas diferenças apresentadas entre os métodos do IGG e do PCI, pode-se notar que apesar de ambos os métodos avaliarem o mesmo número de defeitos, o método do PCI se torna mais complexo de avaliar, pois, não simplifica por agrupamentos os defeitos como o método do IGG exige por norma.

Muitos trabalhos comparando as diferenças entre o método do IGG e do PCI foram realizados. Na pesquisa de Vieira *et al.* (2016), por exemplo, analisou-se o campus da Universidade de Fortaleza – UNIFOR e demonstrou-se que os resultados quanto as condições qualitativas do pavimento analisado foram semelhantes ao serem comparados pelos dois métodos objetivos. Da mesma forma, os mesmos autores constataram, porém, que o método do PCI se mostrou mais completo e recomendado para uso.

Aps, Balbo e Severi (1998) também analisaram pavimentos em meios urbanos, dessa vez na cidade de Santos – SP e concluíram que em 84% dos trechos analisados por ambos os métodos, resultaram em uma classificação das vias igual ou muito parecida. Além disso, os mesmos autores afirmam que o IGG é recomendado para grandes extensões e para situações em que se necessitem de resultados rápidos. Já o PCI é indicado para trechos menores e em situações em que não se necessitem de resultados rápidos.

4 MÉTODOS DE PRIORIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Neste capítulo do trabalho são descritos alguns dos principais métodos para priorização de pavimentos utilizados no Brasil e no mundo. São exemplos destes métodos o de Tavakoli, o do DNER, o de Bodi & Balbo e o do HDM-4.

4.1 MÉTODO DE TAVAKOLI

Desenvolvido nos Estados Unidos da América (EUA) para dar apoio a um sistema de gerenciamento em cidades de pequeno porte, o método para priorização de vias pavimentadas, conforme afirmam os próprios autores em Tavakoli *et al.* (1992), ajuda os gestores a determinarem os trechos do pavimento que necessitam de M&R, bem como seus custos. Os autores afirmaram ainda que esse método é de fácil aplicação em campo e leva em consideração fatores como o levantamento de dados (classificação funcional da via, volume diário médio, entre outros), custos e a condição do trecho do pavimento em análise.

De acordo com Lima (2007), o método de Tavakoli surgiu como uma alternativa de priorizar vias urbanas dos EUA de maneira simplificada. O método de priorização desenvolvido por Tavakoli *et al.* (1992) determina, por meio da geração de um índice, as prioridades que um trecho do pavimento tem sobre outro conforme suas características e qualidade atual. De acordo com Bodi e Balbo (1998), este método leva em consideração o tráfego, o tipo de via, sua classificação, volume de veículos e o número de manutenções na via em questão.

O índice de priorização pelo método de Tavakoli é obtido por meio da Equação 1 e os valores a serem considerados em cálculo variam conforme demonstrado na Tabela 5. É importante destacar que as classificações das vias consideradas nesta equação variam em uma faixa de pontuação de 0 (péssima) a 100 (excelente).

$$IP = \frac{1}{PCI} \times TF \times FC \times TR \times MF \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

IP = índice de priorização;

PCI = índice da condição do pavimento;

TF = fator de tráfego (dado em função do Tráfego Diário Médio - TDM);

TDM = Tráfego Diário Médio;

FC = classificação funcional da via;

TR = fator de trânsito;

MF = fator de manutenção.

Tabela 5 – Dados para calcular o IP de uma via pelo método de Tavakoli.

FATOR	DADOS
PCI	PCI = 100 – somatória dos defeitos na via
	TDM = 0-99 (TF=10)
	TDM = 100-499 (TF=20)
	TDM = 500-999 (TF=30)
TF	TDM = 1000-1999 (TF=40)
	TDM = 2000-4999 (TF=50)
	TDM ≥ 5000 (TF=100)
	Arterial = 1,2
FC	Coletora = 1,1
	Local = 1,0
	Residencial = 1,0
	Lazer = 1,0
TR	Comercial = 1,1
	Serviços = 1,1
MF	MF = (1+índice de manutenção) / 10
	1A = 0
	A = 1
Índice de manutenção (IM)	B = 2
	C = 3
	D = 4
	E = 5
IM e ESTRATÉGIA DE ACORDO COM O PCI	Para PCI de 96 a 100: IM = 1A (estratégia: fazer nada)
	Para PCI de 61 a 95: IM = A (estratégia: manutenção rotineira)
	Para PCI de 51 a 60: IM = B (estratégia: manutenção preventiva)
	Para PCI de 26 a 50: IM = C (estratégia: reabilitação)
	Para PCI de 0 a 25: IM = D (estratégia: reconstrução)

Fonte: adaptado de Becker (2012)

Assim, por meio de cálculos e uma equipe técnica especialista é possível classificar as ações a serem tomadas (manutenção e/ou reabilitação) e qual seu nível de urgência para serem executadas nos pavimentos. A partir do método de Tavakoli, de acordo com Bodi e Balbo (1998), é sugerido gerenciar os pavimentos levando em consideração a malha viária, as condições do pavimento, as estratégias de manutenção ou reabilitação, os custos, a taxa de degradação da via, as metas de priorização e os resultados esperados.

4.2 MÉTODO DO DNER

Com início de levantamento de dados em 1985, o SGP do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), leva em consideração um índice denominado de Índice de Suficiência (IS). O IS, segundo Visconti (2000), é considerado como sendo de simples e rápida aplicação em campo. Variando de 0 (péssimo) a 100 (excelente), ele contempla variáveis como a quantidade de veículos que passam pelo trecho do pavimento avaliado, defeitos (trinca, remendo, desgaste e remendo), pluviometria e classe do relevo da via. Esse índice não considera os custos.

4.3 MÉTODO DE BODI & BALBO

O método de Bodi e Balbo (1998) é um método computacional que avalia o pavimento antes e depois da manutenção por meio de uma simulação, em uma análise que dura 5 anos. Essa metodologia surgiu entre os anos de 1991 e 1994 na cidade de São Paulo - SP e só utiliza como opção de manutenção no pavimento as camadas de reforço. A limitação existente neste modelo de priorização se deve ao fato de que, neste período, somente o reforço era utilizado pelos órgãos públicos quando uma via necessitava de manutenção.

Conforme Bodi e Balbo (1998), esse método foi desenvolvido para ser utilizado em cidades que possuam o mesmo tipo de pavimento e quantidade de veículos que a cidade de São Paulo - SP, ou seja, em cidades de grande porte. Caso este método seja aplicado em outros municípios de padrões diferentes ao de São Paulo - SP, os erros serão notórios e os resultados da priorização do pavimento serão errôneos. Vale

ressaltar que esse método computacional foi desenvolvido de maneira empírica, por isso é classificado como um modelo empírico-estatístico.

4.4 MÉTODO HIGHWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT MODEL (HDM-4)

Este método, baseado na ferramenta computacional do HDM-4, tem por objetivo apoiar o gestor na tomada de decisão. O HDM-4, conforme Lima (2007), é o resultado de anos de pesquisa e desenvolvimento computacional buscando aprimorar a gerência de pavimentos e as opções de investimento nesta área. Basicamente, este método prioriza as vias por meio de diferentes conjuntos computacionais que devem ser devidamente preenchidos. Estes conjuntos são o gerenciador de dados, as ferramentas de análise e os modelos que juntos fornecem resultados.

De acordo com Nunes (2012), cada conjunto computacional possui diferentes elementos a serem analisados. O gerenciador de dados é composto por dados relacionados à rede viária, frota de veículos, intervenções e configurações gerais do software HDM-4. O conjunto de ferramentas de análise é composto por projeto, programa e estratégia. Por fim, o conjunto de modelos é composto por 4 tipos diferentes, sendo eles, *Road Deterioration* - RD (modela a deterioração da via), *Work Effects* - WE (simula os efeitos das intervenções e seus custos na via), *Road User Effects* - RUE (considera os custos de operários e o tempo de viagem) e *Safety, Energy and Environmental* - SEE (considerada os efeitos da emissão de gases dos veículos, o consumo de energia e os acidentes).

Considerando estes elementos dentro do HDM-4, o operador do software pode definir quais os parâmetros que mais se adequam de acordo com a realidade de cada trecho do pavimento a ser analisado. Desta maneira, segundo Nunes (2012), podem ser criados diferentes cenários para estarem inseridos em um SGP. O uso deste software não é recomendado para vias pavimentadas urbanas, pois, foi desenvolvido para ser utilizado em estradas.

4.5 ESTUDOS SOBRE PRIORIZAÇÃO DE PAVIMENTOS

Os modelos para priorização de vias no Brasil e em todo o mundo são constantemente estudados e desenvolvidos. Atualmente, existem diferentes índices e

métodos que foram criados chegando a resultados considerados válidos para serem implantados em um SGP, conforme é descrito nos itens deste capítulo.

4.5.1 Estudos de Priorização de Vias no Brasil

Exemplo de priorização de vias, conforme descrito por Almeida (2006), foi o desenvolvimento de um índice para vias não pavimentadas que, por meio de um *brainstorming*, definiu critérios apoiados por especialistas da área de projetos viários e com diferentes pontos de vista. Desta forma, chegou-se aos principais critérios do índice, que são os aspectos físicos, climáticos, de tráfego, administrativos, além dos aspectos sociais, tais como acesso a escolas, hospitais, centros produtivos e centros urbanos. Após análises, por meio do método da *Analytic Hierarchy Process* (AHP), concluiu-se que o índice criado é válido para vias não pavimentadas e cidades de médio porte, porém, sua metodologia exige recursos técnicos e financeiros por parte das prefeituras municipais.

Modelos para vias pavimentadas urbanas também são existentes, conforme indicado por Fernandes, Oda e Guerini (2018), ao desenvolverem uma ferramenta para auxiliar nas tomadas de decisões com a finalidade de priorizar vias para atividades de M&R e que é voltado para cidades de pequeno e médio porte. Esta ferramenta é um software dentro do Excel que foi testada utilizando dados (volume de tráfego e defeitos das vias) provindos de avaliações subjetivas, gerando assim um valor de serventia atual. É importante destacar que as avaliações foram realizadas em campo pelo método de inspeção visual denominado de *Strategic Highway Research Program* (SHRP).

Assim, na pesquisa de Fernandes, Oda e Guerini (2018), fez-se a priorização de trechos de pavimentos urbanos dentro do centro universitário da Universidade Federal do Rio de Janeiro. No total foram avaliadas 40 vias distribuídas em uma extensão de aproximadamente 20 km. O software desenvolvido para a realização da priorização dessas vias foi testado por 2 grupos de alunos da graduação de engenharia civil da própria universidade e se mostrou eficiente uma vez que, em campo, conseguiu cumprir sua proposta inicial que era de servir como apoio à gestão de pavimentos por meio de seus resultados gerados.

Ressalta-se que os resultados gerados se mostraram em forma de planilha priorizando as vias de acordo com os dados analisados (volume de tráfego e defeitos

na via). Porém, de acordo com Fernandes, Oda e Guerini (2018), por ser um método simples, exige melhorias, como por exemplo, inclusão de análises mais complexas do pavimento, tais como, fatores de custo, desempenho e georeferenciamento.

Um outro exemplo de modelo de priorização de vias pavimentadas, foi desenvolvido por Sequinel *et al.* (2018), que por meio de um *brainstorming* entre os próprios autores, definiram critérios e elaboraram um índice de priorização. Neste processo foram utilizados o software M-Macbeth e a metodologia do MCDA-C. Este índice considerou os critérios de condição e idade do pavimento, estratégia de manutenção e classificação funcional da via. Assim, concluiu-se que o valor do índice de priorização e a necessidade de intervenção são diretamente proporcionais. Este modelo se mostrou eficaz para ser utilizado em um SGP, uma vez que gera resultados possíveis de serem aplicados na prática. Sendo assim, se torna também uma ferramenta de apoio para os gestores na tomada de decisão.

Lima, Ramos e Fernandes Júnior (2008) também desenvolveram uma forma de priorizar pavimentos. Para isso, fizeram uso da AHP que é baseada na MCDA para definir os critérios importantes no índice de prioridades criado. Levando em consideração fatores da hierarquia viária, de questões técnicas-operacionais, localização da via e custos, este índice foi aplicado e desenvolvido principalmente para municípios de médio porte. Testado por meio da plataforma SIG (Sistema de Informação Geográfica) na cidade de São Carlos – SP, este índice se mostrou eficiente para a tomada de decisão por gestores públicos.

Notando a importância da priorização de vias para um SGP com foco na M&R, Hansen (2008) fez testes em um bairro na cidade de Maringá - PR com o objetivo de desenvolver um índice e priorizar as vias deste mesmo bairro. Desta forma, foi possível classificar as vias com a ajuda de um SIG e concluiu-se que este é um modo viável para a gestão e a administração por parte dos órgãos públicos. Além disso, com o índice criado concluiu-se que é possível priorizar as vias que mais necessitam de intervenção, dando a possibilidade de oferecer ao usuário um pavimento mais seguro, confortável e de qualidade.

Ressalta-se que o modelo de Hansen (2008) foi desenvolvido para cidades de médio porte e levou em consideração trechos que foram divididos em categorias de acordo com a classificação viária de cada via. Foram avaliadas as condições dos pavimentos de forma objetiva e subjetiva, resultando na identificação das vias que precisavam de M&R. Os principais elementos que embasaram a priorização das vias

analisadas foram a hierarquia viária, a condição do pavimento e o atendimento ao transporte público.

Em um outro estudo, Fernandes (2011), buscando desenvolver um método de gerência para conservar pavimentos urbanos, priorizou vias utilizando o apoio de um SIG. Levando em consideração os fatores de localização, condição da via, hierarquia viária e custos de intervenção, criou-se mapas temáticos e verificou-se que eles eram viáveis na gerência de pavimentos e na tomada de decisão. Válido para cidades de médio porte, conforme foi testado no município brasileiro de São José – SC, este método mostrou conclusões positivas e válidas. Ressalta-se que o método desenvolvido foi válido, pois, permitiu que a priorização de vias acontecesse por meio de sua utilização.

Em seus resultados, norteado por um banco de dados (condição do pavimento, histórico de M&R, entre outros dados), avaliações objetivas e avaliações subjetivas, Fernandes (2011) notou que de forma visual, conforme representado em seus mapas, pode-se amparar o gestor na escolha de intervenções corretas a se fazer no pavimento. Além disso, assim é possível demonstrar de maneira mais clara e concisa para os gestores públicos o motivo pelo qual se busca o apoio financeiro para o melhoramento das vias pavimentadas urbanas.

4.5.2 Estudos de Priorização de Vias a Nível Internacional

Modelos de priorização de vias pavimentadas a nível internacional também são estudados e desenvolvidos a nível de rede, como descrevem Marcelino *et al.* (2019), ou seja, considerando apenas os recursos disponíveis voltados para as atividades de M&R em um contexto geral. Utilizando o método Macbeth, fez-se análises em Portugal com o objetivo de apoiar a tomada de decisão dos gestores de pavimentos.

Neste modelo de Marcelino *et al.* (2019) foram utilizados os critérios de custos, volume de tráfego e condições do pavimento. Assim, definiu-se os pesos de cada critério para a priorização do mesmo. Após o estudo de caso, realizado por um único avaliador técnico em projetos que apresentavam possíveis necessidades de manutenção no pavimento, concluiu-se que esta metodologia foi eficiente para priorização e para ajudar o gestor tanto na tomada de decisão quanto na gerência de pavimentos.

Semelhantes motivos, como por exemplo, orçamentos restritos e a necessidade de M&R, impulsionam uma busca pela priorização de vias. Desta maneira, motivados por uma ferramenta de apoio, Moazami, Behbahani e Muniandy (2011), utilizaram da metodologia AHP com a lógica *fuzzy* e o apoio estatístico do software MATLAB para analisarem vias em condição de priorização. Em complemento, empregaram os critérios relacionados à condição do pavimento, ao volume de tráfego, à dimensão da via e aos custos de possíveis M&Rs para avaliarem algumas ruas divididas em 131 trechos na cidade de Teerã no Irã.

As conclusões de Moazami, Behbahani e Muniandy (2011), baseadas nas opiniões de 200 especialistas da área, mostraram que os modelos desenvolvidos, bem como suas metodologias aplicadas, são válidos e satisfatórios para priorizar pavimentos. Porém, ressaltam que ao se utilizar o método AHP, ao invés de outros métodos mais precisos como a lógica *fuzzy*, quanto maior for o número de subcritérios nas áreas a serem avaliadas em um índice, menor será a precisão do modelo a ser desenvolvido.

Na cidade indiana de Noida fez-se um estudo parecido, também baseado na metodologia AHP. Prakasan *et al.* (2015) utilizaram este método para priorizar vias urbanas nesta cidade, de modo que as separou em 21 seções para a realização de análises. Para verificar os resultados e validar os dados, fez-se uma comparação com um mesmo grupo de especialistas da área, entre dois métodos avaliativos. No primeiro método, chamado de avaliação direta, os especialistas deram um grau de importância variando de 0 a 100% para cada parâmetro relacionado com a priorização de pavimentos. Já no segundo método fez-se a comparação par a par (método AHP) entre os parâmetros com uma escala de valores variando entre 0 e 9.

Ressalta-se que Prakasan *et al.* (2015) escolheram como parâmetros de análises na priorização de vias urbanas candidatas à manutenção, a condição do pavimento, a classe da via, o conforto, a segurança, o volume de tráfego, as condições de drenagem, a importância para a comunidade e a situação estrutural da via. Todos estes parâmetros foram escolhidos com base na literatura. Concluiu-se que o método de avaliar, sendo pelo AHP ou pela avaliação direta, demonstraram resultados semelhantes e válidos. Da mesma forma, recomendaram que o índice gerado seja desenvolvido por região e não que um mesmo índice seja utilizado para qualquer uma, pois, cada local apresenta suas características e valores próprios dos parâmetros em questão.

5 ANÁLISES MULTICRITÉRIO

Sendo um suporte para a tomada de decisão, a análise multicritério leva em consideração diferentes opiniões com o objetivo de sintetizá-las e chegar a um ponto em comum. Notando sua importância na tomada de decisão e conseqüentemente na priorização das vias pavimentadas urbanas, neste capítulo serão descritos alguns tipos de métodos de análises.

5.1 METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO (MCDA)

A Metodologia MCDA é um tipo de análise multicritério que não leva em consideração uma discussão entre os participantes da avaliação. Sendo assim, uma pessoa formula o problema e os avaliadores de forma independente e sem discussões entre si pontuam os critérios já definidos pelo formulador. Dessa forma, não há interação ou troca de opiniões entre os avaliadores. Diversos estudos foram realizados com base nesta metodologia, um deles foi a pesquisa de Xavier (2009), que levantou dados baseados em terminais de contêineres brasileiros em instalações portuárias, definiu critérios, subcritérios e pesos para então repassar à especialistas que deram notas aos critérios escolhidos por ele.

O método AHP é uma categoria da MCDA que faz comparações par a par entre os critérios pré-definidos. A comparação par a par está relacionada com a ação de comparar dois critérios diferentes de uma mesma matriz de julgamentos. Isso permite determinar, entre valores de 0 a 10, qual o grau de importância, na opinião do avaliador especialista, um critério tem sobre o outro. Ressalta-se, segundo Xavier (2009) que quanto mais alternativas possuir um critério, maior será a chance de possuir inconsistência no índice a ser criado. É importante que o avaliador mantenha os critérios homogêneos, ou seja, com uma ordem lógica de qualidade e quantidade.

5.2 METODOLOGIA CONSTRUTIVISTA MCDA-C

Primeiramente é importante destacar que segundo Ensslin *et al.* (2010) a principal diferença entre o MCDA e o MCDA-C é que na MCDA-C os decisores passam pelas fases de estruturação, avaliação e recomendação sobre uma determinada decisão a ser tomada, sendo que os decisores têm grande participação

nestes processos. Na MCDA as fases são apenas de formulação e avaliação do problema, sem muita participação dos decisores.

Com o objetivo de apoiar, e não de tomar a decisão, Machado, Ensslin e Ensslin (2015) afirmam que a Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista (MCDA-C) é um elemento importante que pode ser fornecido a um gestor com o objetivo de analisar os critérios a serem considerados, bem como fazer com que o mesmo possa tomar uma decisão baseada nestes critérios. No caso dos pavimentos, por exemplo, este método ajuda na escolha de vias pavimentadas candidatas ao processo de M&R.

Ao fim do processo, a MCDA-C permite ao gestor responsável conhecer todos os critérios considerados importantes para a tarefa. Dessa forma, segundo Machado, Ensslin e Ensslin (2015) o gestor pode escolher melhor sua opção e ter uma base de apoio, além disso, ele fica menos propenso a errar em sua escolha, uma vez que essa metodologia é construtivista, ou seja, leva em consideração a opinião divergente de diferentes especialistas no assunto.

Tendo em vista que os órgãos públicos municipais brasileiros enfrentam constantemente a falta de recursos, o critério de priorização das vias candidatas a M&R é empregado, porém, na maioria das vezes de forma empírica. Dessa forma, a aplicação da MCDA-C fornece um apoio técnico na tomada de decisão. Essa informação pode ser confirmada, pois, segundo Bortoluzzi *et al.* (2009), com a aplicação da MCDA-C é possível criar modelos que sejam capazes de avaliar os diferentes elementos envolvidos nele.

Um dos métodos baseados na MCDA-C e que merece destaque, principalmente por ele ser utilizado nesta pesquisa, é o MACBETH. De acordo com Perdigão *et al.* (2012) neste método é utilizada uma abordagem por meio da medição da atratividade, com uso de técnicas de avaliação baseadas em categorias, para a construção de escalas numéricas de intervalos de acordo com os julgamentos dos decisores e considerando as diferenças de atratividade entre duas alternativas.

Dessa forma, por meio de questionamentos e comparações par a par, o método Macbeth gera um modelo numérico capaz de avaliar e priorizar diferentes tipos de problemas tendo como base sete categorias qualitativas de atratividade (indiferença, diferença muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema), critérios de ponderação e análise de sensibilidade. De acordo com Costa, Corte e Vansnick (2012) o software M-Macbeth é um sistema de apoio para o método da MCDA-C.

É importante destacar que no M-Macbeth existem os níveis de desempenho (intervalos que mensuram as áreas que compõe um índice a ser avaliado e gerado pelo software). Para criar um modelo numérico no M-Macbeth é preciso determinar os níveis de referência (variável entre 0 – nível neutro – e 100 – nível superior) que devem ser marcados entre os níveis de desempenho.

Depois, segundo Lima *et al.* (2015), no M-Macbeth os critérios são avaliados por meio de uma matriz que avalia a atratividade entre eles de acordo com a opinião dos julgadores. O julgamento não deve gerar uma matriz inconsistente, ou seja, que não siga uma ordem lógica respeitando a ordem decrescente de cima para baixo e da esquerda para a direita. Porém, se gerar, o próprio sistema indica maneiras de deixá-la consistente (Figura 4).

Figura 4 – Matriz de julgamentos no software M-Macbeth.

	op 1	op 2	op 3	op 4	op 5
op 1	nula	fraca	?	?	mt. forte
op 2		nula	mt. fraca	forte	forte
op 3	?		nula	moderada	moderada
op 4	?			nula	fraca
op 5					nula

Julgamentos inconsistentes

	op 1	op 2	op 3	op 4	op 5
op 1	nula	fraca	moderada	forte	mt. forte
op 2		nula	mt. fraca	forte	forte
op 3			nula	moderada	moderada
op 4				nula	mt. fraca
op 5					nula

Julgamentos consistentes

Fonte: adaptado de Costa, Meza e Oliveira (2013)

Andrade (2016) afirma que após o julgamento de atratividade no M-Macbeth, deve-se analisar os pesos que serão gerados para então validá-los de acordo com a opinião de todos os julgadores. Nesta fase é possível variar o valor de cada critério dentro de um limite estabelecido pelo software (Figura 5).

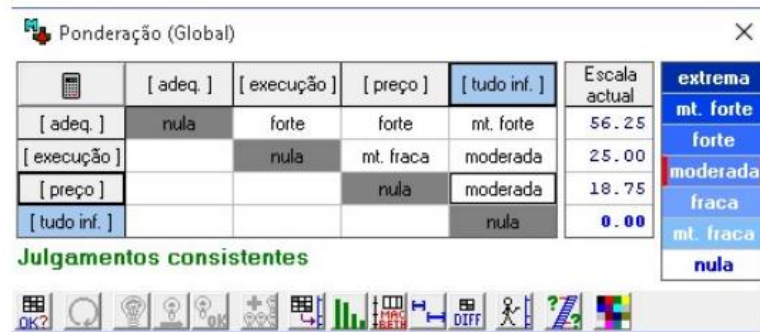
Figura 5 – Variação de valores dos critérios no software M-Macbeth.



Fonte: adaptado de Costa, Meza e Oliveira (2013)

Depois da validação dos valores de cada critério, Andrade (2016) descreve que uma ponderação global é feita. Sendo assim, cada critério passa a ter um valor perante o índice geral que foi criado. Esses valores são representados no M-Macbeth em uma coluna e são descritos como “escala atual” (Figura 6).

Figura 6 – Valores de cada critério para um índice criado.

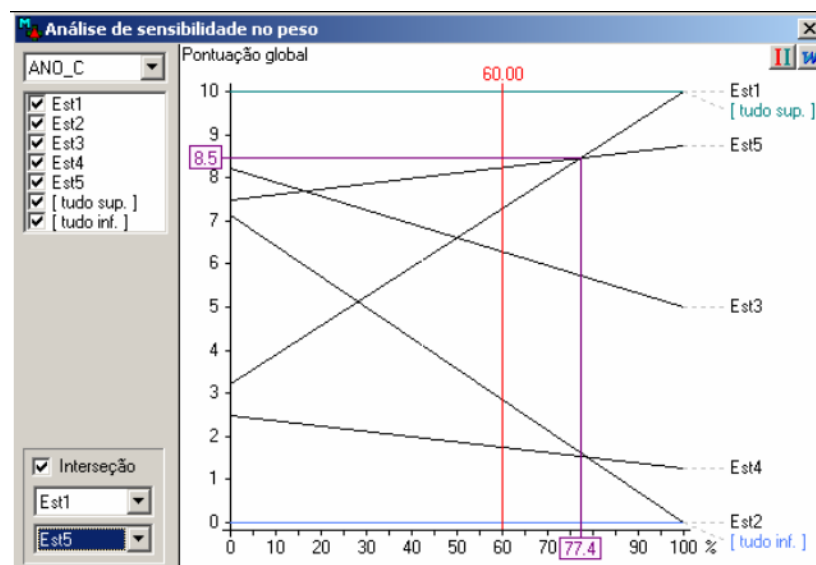


Fonte: Andrade (2016)

Segundo Torres, Espencht e Lins (2010) o software M-Macbeth é vantajoso por ser um sistema que auxilia na tomada de decisão, desde a fase de estruturação de um determinado problema até a fase de avaliação e recomendação de soluções.

Além disso, o M-Macbeth apresenta uma abordagem pratica e fácil de ser utilizada. No M-Macbeth também é possível realizar a análise de sensibilidade dos pesos dos critérios adotados (Figura 7).

Figura 7 – Análise de sensibilidade dos pesos dos critérios no M-Macbeth.



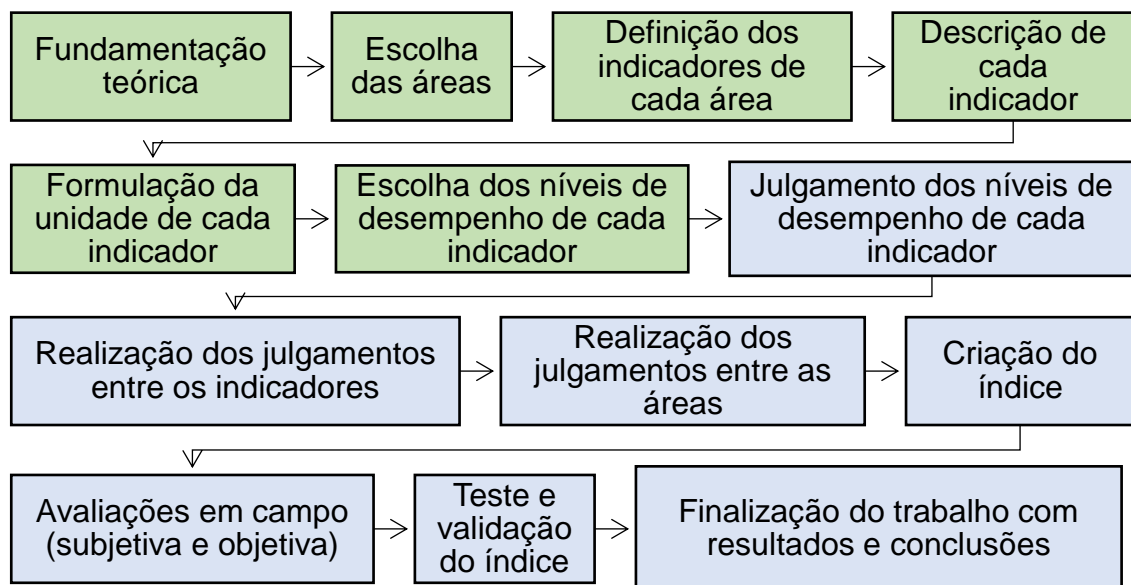
Fonte: Torres, Espencht e Lins (2010)

6 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo são descritos os métodos utilizados para desenvolver um índice simplificado para priorização de vias pavimentadas urbanas. Ressalta-se que o termo “simplificado” foi utilizado para se referir a um índice não só de fácil aplicação em campo como também a nível do número de elementos envolvidos no processo.

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas constituídas, ao todo, por seis fases: *i*) escolha das áreas, definição dos indicadores (com unidades e níveis de desempenho); *ii*) a realização dos julgamentos de atratividade; *iii*) a criação de um índice global; *iv*) a coleta de dados em campo; *v*) o teste do índice gerado e; *vi*) a validação do índice criado. Na Figura 8 apresenta-se um fluxograma para melhor ilustrá-las e na sequência se discorre sobre cada uma delas em detalhes.

Figura 8 – Fluxograma das etapas e fases do trabalho.



Fonte: o próprio autor (2020)

As fases relativas à primeira etapa do trabalho são representadas na cor verde, enquanto as demais, na cor azul, representam aquelas compreendidas na segunda etapa.

6.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS E SEUS INDICADORES

O primeiro passo para o desenvolvimento do índice de priorização proposto neste trabalho foi a identificação das áreas que iriam compô-lo. Nesta fase, realizou-se um *brainstorming* com 6 estudantes do curso de pós-graduação *stricto sensu* em Engenharia Civil pertencentes à área de estudo em transportes. Assim, o grupo formado por 5 engenheiros civis e 1 arquiteto discutiu sobre os critérios que deveriam ser considerados no índice. Ressalta-se ainda que, com base na revisão bibliográfica, alguns itens foram apresentados ao grupo no *brainstorming*.

Assim, utilizando da metodologia construtivista, a equipe formada por especialistas no assunto construiu a lista de parâmetros a considerar, concordando com a permanência de algumas áreas e a remoção ou a realocação de outras.

Logo após a definição das áreas, os especialistas discutiram e selecionaram os indicadores, ou seja, subitens diretamente relacionados à cada área que compõe o índice proposto na pesquisa. Após defini-los, foi possível partir para a próxima fase e definir os próximos parâmetros.

6.2 NÍVEIS DE DESEMPENHO, UNIDADES E DESCRIÇÕES DOS INDICADORES

De forma geral, os níveis de desempenho são elementos qualitativos ou quantitativos que representam as diferentes classificações que um indicador pode apresentar. Já as unidades dos níveis de desempenho têm o objetivo de mensurar essas classificações. É importante destacar que para os níveis de desempenho qualitativos não existem unidades.

Tendo conhecimento teórico disso, na parte prática para a definição das áreas, bem como na determinação dos indicadores, suas unidades e seus níveis de desempenho levou-se em consideração o que os especialistas definiram no processo do *brainstorming* com base na revisão bibliográfica.

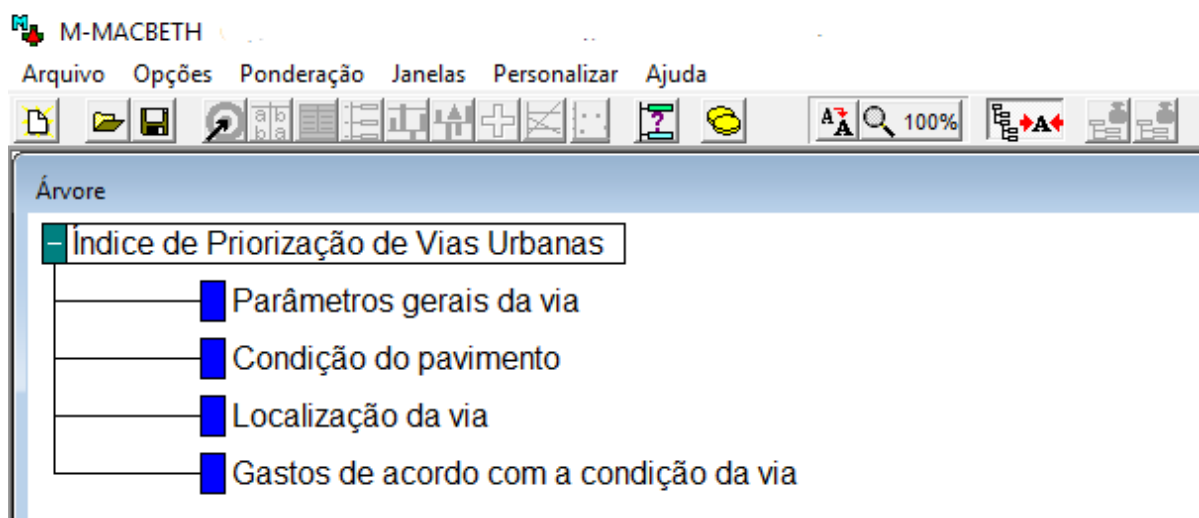
Para determinação destes parâmetros foram levados em consideração aspectos que se consideravam ser importantes e ao mesmo tempo simples para qualquer pessoa com conhecimento básico na área pudesse mensurar e aplicá-los em campo.

6.3 JULGAMENTOS E CRIAÇÃO DO ÍNDICE PELO SOFTWARE M-MACBETH

Na fase de desenvolvimento do índice simplificado para priorização de vias pavimentadas urbanas, foi utilizado o software M-Macbeth. Neste software foi possível criar uma fórmula baseada em todos os critérios que foram pré-definidos e implantados no mesmo.

Para criar o índice no software M-Macbeth foi necessário construir uma árvore de decisão, conforme observa-se na Figura 9. A árvore de decisão foi embasada por um problema principal e consistiu basicamente nos critérios que a ela foram implantados. O problema principal foi o Índice de Priorização de Vias Urbanas e os 4 critérios implantados foram os critérios apontados pelos especialistas: os parâmetros gerais da via, a condição do pavimento, a localização da via e os gastos de acordo com a condição da via.

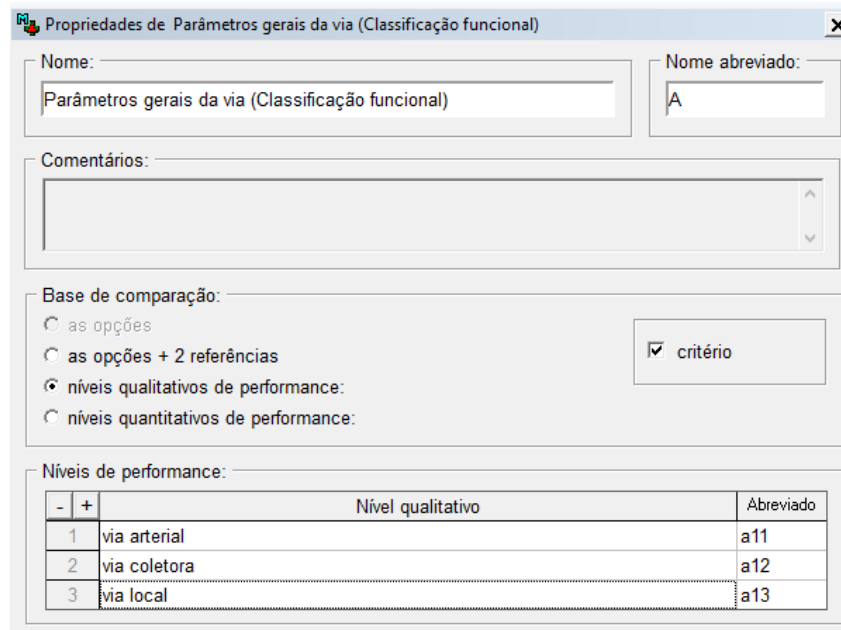
Figura 9 – Árvore de decisão construída no M-Macbeth.



Fonte: o próprio autor (2020)

O passo seguinte foi a inserção dos níveis de desempenho de cada indicador e de cada área estabelecidos para fazerem parte do índice. No software, existem 4 formas de comparação entre os níveis de desempenho. Neste trabalho foram utilizadas apenas duas, a qualitativa e a quantitativa (Figura 10), pois, todos os níveis de desempenho exigiram análise somente destes dois tipos.

Figura 10 – Inserção dos níveis de desempenho.



Propriedades de Parâmetros gerais da via (Classificação funcional)

Nome: Parâmetros gerais da via (Classificação funcional) Nome abreviado: A

Comentários:

Base de comparação:

as opções

as opções + 2 referências

níveis qualitativos de performance:

níveis quantitativos de performance:

critério

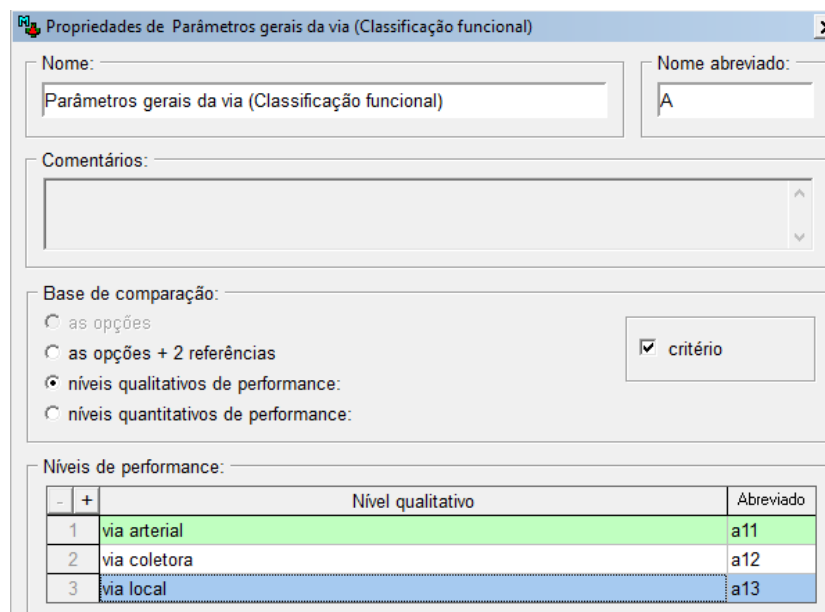
Níveis de performance:

-	+	Nível qualitativo	Abreviado
1		via arterial	a11
2		via coletora	a12
3		via local	a13

Fonte: o próprio autor (2020)

Após os níveis de desempenho serem informados, os níveis de referência foram marcados entre as opções de cada indicador para o índice de acordo com a opinião dos especialistas. Estes níveis foram ancorados em 0 como nível neutro e 100 como nível superior, representados no software M-Macbeth pelas cores azul e verde, respectivamente (Figura 11).

Figura 11 – Níveis de referência entre os níveis de desempenho.



Propriedades de Parâmetros gerais da via (Classificação funcional)

Nome: Parâmetros gerais da via (Classificação funcional) Nome abreviado: A

Comentários:

Base de comparação:

as opções

as opções + 2 referências

níveis qualitativos de performance:

níveis quantitativos de performance:

critério

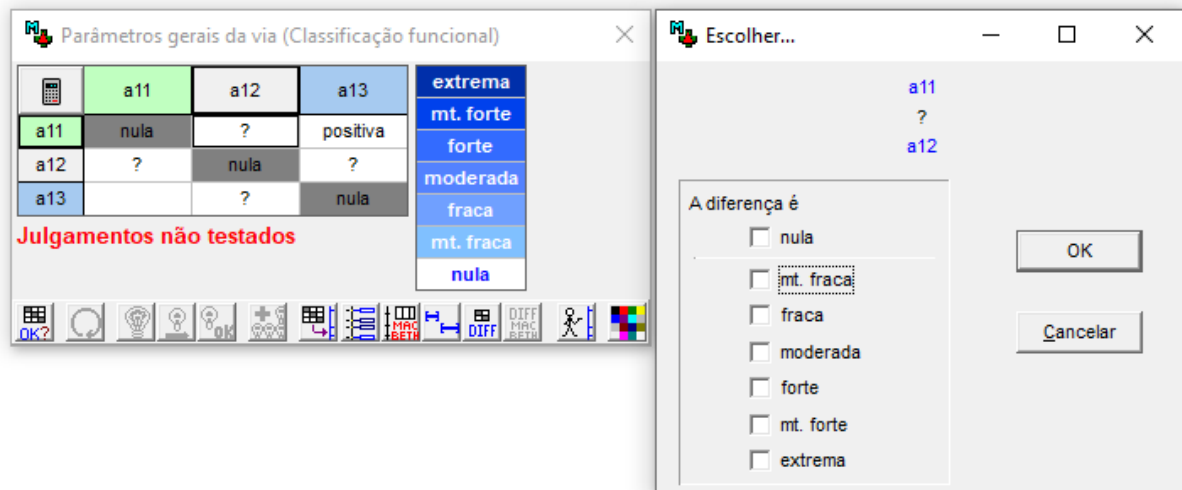
Níveis de performance:

-	+	Nível qualitativo	Abreviado
1		via arterial	a11
2		via coletora	a12
3		via local	a13

Fonte: o próprio autor (2020)

Na sequência, após o preenchimento totalizado, o julgamento de atratividade foi realizado. Neste momento os avaliadores arbitraram qual a diferença atrativa entre os níveis de desempenho, entre os indicadores e entre as áreas do índice criado (Figura 12). Por exemplo, ao comparar os níveis de desempenho do indicador “A1” (classificação funcional da via) da área “A” (parâmetros gerais da via), os avaliadores discutiram entre si e determinaram de forma consensual qual a diferença atrativa (de nula a extrema) entre todos esses níveis. Os julgamentos foram todos consistentes, ou seja, respeitaram a ordem decrescente de cima para baixo e da esquerda para a direita.

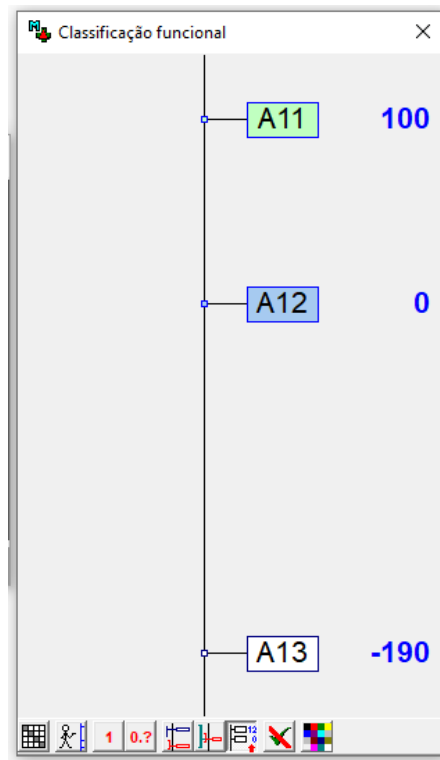
Figura 12 – Exemplo da matriz de julgamento pronta para o procedimento.



Fonte: o próprio autor (2020)

A ponderação foi o último procedimento para o desenvolvimento do índice no M-Macbeth. Neste momento, após os julgamentos de atratividade, foi possível observar o peso atribuído a cada área no índice. É importante destacar que no software existe uma ferramenta chamada de “Termômetro” (Figura 13) que foi usada para a definição dos pesos de acordo com a opinião, em consenso, de todos os avaliadores. É importante destacar que essa ferramenta deve ser interpretada de maneira que os intervalos entre os indicadores são relacionados com os valores com o qual os mesmos podem ser variados. Por exemplo, o indicador “A11” não pode ser maior que 100 e nem menor que 0, mas dentro desse intervalo ele pode ser variado se assim desejar os avaliadores em consenso.

Figura 13 – Termômetro da área “A – Parâmetros gerais da via”.



Fonte: o próprio autor (2020)

Destaca-se que a opinião em consenso significa que mesmo após discutirem, determinarem a diferença de atratividade entre os níveis de desempenho e o software gerar automaticamente os valores dos pesos para cada nível de desempenho, os avaliadores ainda podem manipular o termômetro entre limites já determinados pelo programa, de forma que em acordo entre todos os especialistas, esses novos pesos sejam determinados e fixados a cada nível de desempenho de cada indicador e de cada área do índice gerado. Ao resultado final do índice se denominou de “Global”.

Ressalta-se que o índice global desenvolvido é chamado nesta pesquisa como “ISP” e foi gerado ao agrupar todos os seus pesos e critérios, conforme representado na equação 2.

$$\text{ISP} = \sum A(n) \cdot \% (n) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

ISP = Índice Simplificado de Priorização;

A(n) = valores das áreas;

%(n) = pesos correspondentes às áreas.

6.4 AVALIAÇÕES EM CAMPO

Neste item estão reunidos os procedimentos utilizados para a obtenção de todas as informações necessárias ao teste e validação do índice proposto nesta pesquisa. O procedimento envolve a definição dos trechos da rede viária da área selecionada para o estudo, as avaliações da condição dos pavimentos e a coleta dos demais elementos pertinentes ao processo de priorização aqui estabelecido.

6.4.1 Área de Estudo para Aplicação do Índice

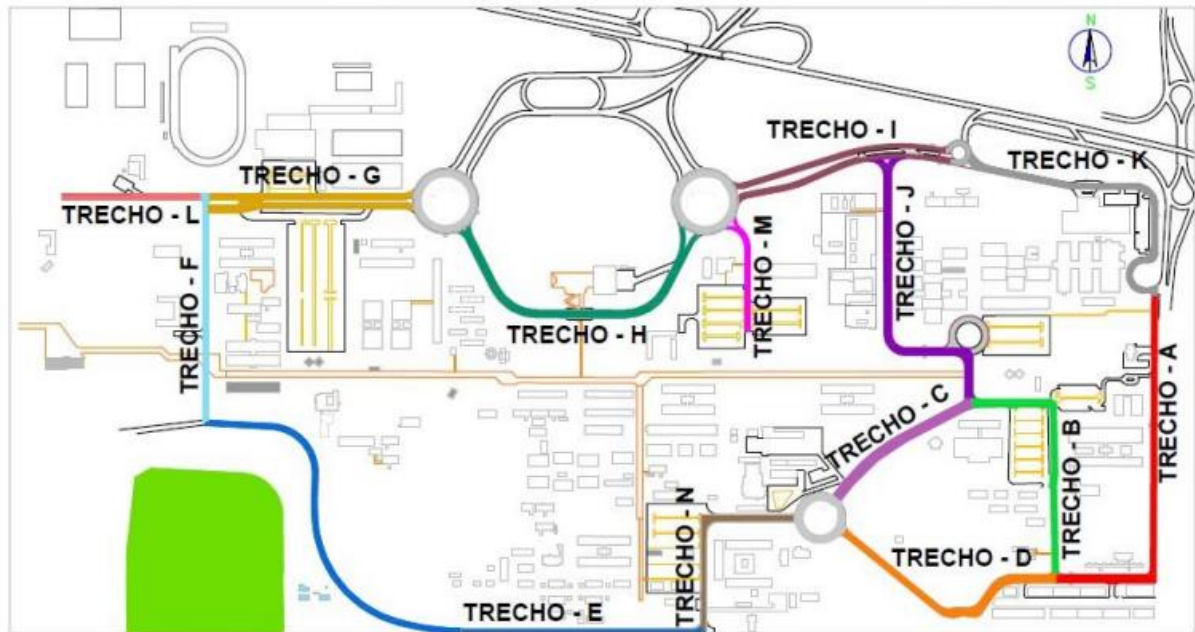
O índice gerado neste trabalho foi desenvolvido para ser aplicável em qualquer cidade. Porém, nesta pesquisa a área de estudo para a aplicação do índice foi o campus da UEL. Esta área foi escolhida por apresentar aspectos de uma pequena cidade, ou seja, nela existem escolas, bancos, restaurantes, entre outras características que compõem uma cidade. Com a área de estudo determinada, o próximo passo foi selecionar os trechos e suas respectivas unidades amostrais (UAs) a serem analisadas.

Para o caso deste trabalho, após procurar a prefeitura do campus da UEL e não encontrar nenhum tipo de mapa com separações das vias em trechos ou unidades amostrais, as análises foram realizadas seguindo as divisões que Ignácio *et al.* (2018), Pereira (2019) e Palma (2019) propuseram. Ressalta-se que o processo adotado pelos referidos autores foi baseado no método de avaliação objetiva do PCI. Portanto, a área de cada UA assumiu valores dentro de uma faixa de 135 a 315 m².

As rotatórias e os bolsões de estacionamentos do campus da UEL não foram considerados para as análises deste trabalho, pois, haviam poucos avaliadores em campo no período em que foi realizada a coleta de dados de alguns parâmetros que foram utilizados no índice gerado.

O total de trechos analisados, conforme representado na Figura 14, foi igual a 14 trechos pavimentados (de “A” até “N”) que somados possuem 165 UAs, representando, aproximadamente, 11 km de vias pavimentadas.

Figura 14 – Divisões dos trechos na UEL.



Fonte: Ignácio *et al.* (2018)

6.4.2 Avaliações da Condição da Superfície do Pavimento

Neste trabalho foram utilizados dois tipos de avaliações para coleta de dados em campo, a avaliação subjetiva (com e sem escala visual) e a avaliação objetiva. As mesmas ocorreram sempre aos domingos de manhã devido ao menor fluxo de veículos nos trechos analisados, mantendo assim a segurança dos avaliadores e uma maior eficiência para coletar os dados. O período total de avaliações foi de aproximadamente 3 meses.

6.4.2.1 Avaliações subjetivas

As avaliações do pavimento da UEL e a coleta de dados em campo por meio da avaliação subjetiva, com ou sem escala visual, foram realizadas por dois grupos diferentes. Esses grupos foram compostos por 12 pessoas que tinham capacidade e conhecimento sobre os métodos de avaliações dos pavimentos, sendo que 3 deles eram alunos de pós-graduação (mestrado), pertencentes à área de transportes, e 9 eram da graduação em engenharia civil inseridos em iniciação científica ou trabalho de conclusão de curso na área da pesquisa.

Dentre as 12 pessoas, 6 delas eram do sexo masculino e as demais eram do sexo feminino. Os grupos estavam igualmente divididos em número de pessoas e em gêneros. A diferença entre os painéis foi que para um deles foram dadas apenas informações básicas sobre o procedimento de avaliação (Painel_{info_básica}), enquanto para o outro, além das informações básicas, também foram fornecidas escalas visuais (Painel_{escala_visual}), desenvolvidas por Pereira (2019).

As avaliações subjetivas em campo foram realizadas simultaneamente com ambos os painéis. A presença de todos os membros foi obrigatória para garantir que todos fossem submetidos às mesmas condições de avaliação. A coleta de dados em campo de forma subjetiva foi dividida em 2 etapas, sendo que cada uma ocorreu em 2 dias. Destaca-se que a segunda delas teve como finalidade a comparação de dados entre as 2 etapas e o desenvolvimento de análises entre elas.

De forma visual e subjetiva, os avaliadores de cada grupo caminharam pelas vias da UEL e durante todo o período de avaliação atribuíram uma nota de 0 (péssimo) a 100 (excelente) para cada uma das UAs do pavimento.

É importante destacar que durante todo o período de avaliações, os avaliadores não trocaram informações ou opiniões entre si sobre a qualidade e o conforto que cada trecho do pavimento oferecia aos usuários.

A nota final que representou o estado de cada trecho foi obtida por meio da média aritmética entre as notas dadas àquele referido trecho por cada painel de avaliação. Esses valores são designados como índice de condição subjetivo do pavimento: $ICP_{subj_esc\ visual}$ e $ICP_{subj_info\ básica}$.

É importante destacar que antes da coleta de dados em campo, todos os avaliadores passaram por um processo de “nivelamento” de seus conceitos sobre o que seria considerado como um trecho de pavimento excelente e o que seria considerado como um trecho de pavimento péssimo, bem como as condições intermediárias dos trechos do pavimento.

O processo foi feito por meio de duas reuniões onde imagens de diversos tipos e condições de pavimentos foram apresentadas a eles. Desta forma, as qualificavam de excelente a péssimo e davam uma nota a cada um desses pavimentos. Conforme essas imagens iam sendo apresentadas, os avaliadores foram discutindo e entrando em acordo sobre a nota média que cada condição do pavimento deveria receber.

Destaca-se que a primeira reunião ocorreu com os avaliadores que iriam compor o grupo com escala visual e a segunda reunião ocorreu com quem iria compor

o grupo sem usar a escala visual. Em ambas as reuniões os avaliadores discutiam quanto às suas opiniões sobre a condição dos diferentes trechos dos pavimentos mostrados a eles até que chegavam a dar uma nota média de forma consensual.

Depois, outras imagens foram apresentadas a eles e os mesmos deram uma nota individual quanto à condição dessas vias. É importante destacar que o que diferenciou o “nivelamento” de ambas as reuniões foi que apenas o grupo com escala visual tinha o conjunto de imagens como apoio para gerarem as notas, conforme já apresentado no item 3.1. Em campo, o grupo com escala visual, utilizou esse documento com as imagens de referência juntamente com o formulário de pontuações (Figura 15).

Figura 15 – Formulário para avaliação subjetiva.

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS																																
Avaliador:																																
Data:	Hora início:	Hora término:																														
<p style="text-align: center;">Escala de notas para classificação da condição da superfície do pavimento:</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> <table style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">100</td> <td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 20px; width: 20px;"></td> <td style="padding-left: 10px;">Ótima</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">80</td> <td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 20px; width: 20px;"></td> <td style="padding-left: 10px;">Boa</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">60</td> <td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 20px; width: 20px;"></td> <td style="padding-left: 10px;">Regular</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">40</td> <td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 20px; width: 20px;"></td> <td style="padding-left: 10px;">Ruim</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">20</td> <td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 20px; width: 20px;"></td> <td style="padding-left: 10px;">Péssima</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">0</td> <td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 20px; width: 20px;"></td> <td></td> </tr> </table> </div>						100		Ótima	80		Boa	60		Regular	40		Ruim	20		Péssima	0											
100		Ótima																														
80		Boa																														
60		Regular																														
40		Ruim																														
20		Péssima																														
0																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Nº UA</th> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Nota</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">01</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">02</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">03</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">04</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> </tbody> </table>	Nº UA	Nota	01		02		03		04		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Nº UA</th> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Nota</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">05</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">06</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">07</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">08</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> </tbody> </table>	Nº UA	Nota	05		06		07		08		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Nº UA</th> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Nota</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">09</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">10</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">11</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 5px;">12</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> </tbody> </table>	Nº UA	Nota	09		10		11		12	
Nº UA	Nota																															
01																																
02																																
03																																
04																																
Nº UA	Nota																															
05																																
06																																
07																																
08																																
Nº UA	Nota																															
09																																
10																																
11																																
12																																

Fonte: Pereira (2019)

6.4.2.2 Avaliações objetivas

A avaliação objetiva foi realizada por meio do método do PCI, por ser um método de avaliar a condição do pavimento de maneira mais completa, rigorosa e confiável entre os métodos objetivos existentes e apresentados neste trabalho, como já descrito no item 3.2.

Ressalta-se que a avaliação objetiva ocorreu após a primeira avaliação subjetiva para evitar que houvesse influência nos avaliadores ao darem suas notas subjetivas para cada trecho, uma vez que já pudessem conhecer as notas do método objetivo que atribuem normalmente piores condições ao pavimento quando comparado com as notas da avaliação subjetiva.

Em campo, a totalidade dos painéis não foi necessária para a coleta de dados, sendo assim, parte dos avaliadores que participaram da avaliação objetiva em campo, faziam a identificação dos defeitos e suas severidades e a outra parte descrevia essas informações em um formulário, conforme demonstrado na Figura 16. Após esse processo, fez-se os procedimentos de cálculos recomendados pela ASTM (2018).

É importante destacar que foram escolhidos os dias de domingo para avaliar os trechos do pavimento, pois, por não ser um dia letivo apresentava menor fluxo de veículos e possibilitava de maneira mais rápida e segura a coleta de dados. O período da manhã foi escolhido por apresentar melhor condição climática para a realização da coleta de dados.

Por esse método, os avaliadores coletaram dados dos defeitos encontrados nos trechos dos pavimentos da UEL durante um período de 10 dias. Os defeitos foram avaliados conforme seus tipos, áreas, quantidades e severidades. Com o auxílio do Excel os valores do PCI de cada trecho foram calculados. É importante destacar que combinações de todas as severidades entre os defeitos foram realizadas, quando necessárias, de maneira que o maior valor resultante entre elas foi o escolhido para representar o índice referente ao trecho do pavimento. As combinações de severidades dos defeitos, conforme descreve a ASTM (2018), são:

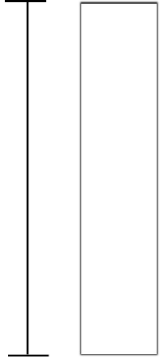
- L, M, H (baixa, média, alta): não há combinação;
- L + M (baixa + média): nessa combinação, se existente em um trecho de pavimento, a severidade do defeito será considerada como média;
- L + H (baixa + alta): nessa combinação, se existente em um trecho de pavimento, a severidade do defeito será considerada como alta;

- M + H (média + alta): nessa combinação, se existente em um trecho de pavimento, a severidade do defeito será considerada como alta;
- L + M + H (baixa + média + alta): nessa combinação, se existente em um trecho de pavimento, a severidade do defeito será considerada como alta.

Destaca-se que de diferentes tipos de defeitos que um trecho de pavimento possa apresentar, se algum deles necessitar de um dos 4 tipos de combinações, os demais também deverão ser considerados, mas estes de maneira individual. Isso significa que, por exemplo, se o defeito “trinca por fadiga” se apresentar separadamente em um mesmo trecho com densidades L, M e H e um segundo defeito, “intemperismo” se apresentar separadamente com severidades L e M, nos cálculos referente a combinação L + M + H, o defeito “trinca por fadiga” será combinado e se apresentará apenas com densidade alta, enquanto o defeito “intemperismo” não terá essa combinação e será considerado com as duas severidades normalmente.

Dessa forma, após a coleta de dados em campo e a realização das combinações dos defeitos quando necessárias, os valores do PCI de cada uma das UAs do pavimento da UEL foram calculados. Posteriormente fez-se a média dos valores do PCI para cada um dos trechos do pavimento. Assim, calculados todos os valores dos trechos, foi possível ordena-los numericamente e fazer a ordem de priorização com base nesses resultados. Ressalta-se que a ordem de prioridade foi dada primeiramente aos trechos com piores condições, ou seja, que apresentaram um menor valor de PCI.

Figura 16 – Formulário para avaliação objetiva.

Trecho:		Seção:	
Data:		Unidade Amostral:	
Avaliador:		Área da Amostra:	
<p align="center">Tipos de Defeitos:</p> 1. Trincas por fadiga 2. Exsudação 3. Trincas em bloco 4. Saliências e deformações 5. Corrugação 6. Depressão 7. Trincas na borda 8. Trincas por propagação de juntas 9. Desnível entre a pista e o acostamento 10. Trincas longitudinais e transversais 11. Remendo 12. Agregado polido 13. Buracos 14. Passagem de ferrovia 15. Afundamento de trilha de roda 16. Deformação plástica do revestimento 17. Trincas parabólicas 18. Empolamento 19. Desintegração 20. Intemperismo		<p align="center">Desenho:</p> 	
Tipos de defeitos: Comprimento/Área e Severidade			
Tipo:			
Comprimento/Área e Severidade			
Total			
Baixo			
Médio			
Alto			
Cálculo do PCI			
Tipo de defeito	Densidade (%)	Severidade	Valor-dedução
q =	Valor-dedução total =		PCI = 100 - CDV PCI = Classificação:
Valor-dedução corrigido (CDV) =			

Fonte: Adaptado da ASTM (2018)

6.4.3 Parâmetros Utilizados em Campo para Aplicação no ISP

A quantidade de veículos por dia em cada trecho avaliado na área da pesquisa foi verificada a partir da realização de uma contagem volumétrica. O levantamento ocorreu de maneira manual com o auxílio de um aplicativo universal de celular denominado de “*MultiCounter*”. Na Figura 17 apresenta-se, a título de exemplo, a tela do celular com alguns dados obtidos. É importante destacar que esse aplicativo não

salva dados e nem gera nenhum tipo de arquivo com resultados, portanto, os dados por ele obtidos devem ser anotados pelo avaliador de alguma outra maneira.

Figura 17 – Aplicativo de celular utilizado para contagem de veículos.



Fonte: o próprio autor (2020)

A contagem foi realizada por dois avaliadores em pontos estratégicos de cada trecho, ou seja, onde era possível observar e contar todos os veículos que passaram pela via, independentemente do sentido deles. Esse processo ocorreu em horários de pico e em dias úteis e típicos (dias letivos e fora do período de feriados) ao longo de um período de 14 dias.

Esses parâmetros foram importantes para demonstrar uma representação o mais real possível do número de veículos que passam diariamente por cada trecho da UEL. O procedimento foi feito de acordo com as recomendações da Companhia de Engenharia de Tráfego - CET (1977).

Destaca-se que somente os veículos motorizados foram contados em cada trecho. A contagem foi realizada considerando os dois sentidos de tráfego, quando existentes. Nesta contagem os veículos foram separados de acordo com sua classe (carros, motocicletas, ônibus e outros - micro-ônibus, van, trator, Kombi, caminhão e

semelhantes), mas foram considerados para fins de cálculos como um valor total por trecho. Por se tratar de 14 trechos diferentes, considerando que as contagens ocorreram 2 vezes por dia com o apoio de apenas 2 avaliadores, este procedimento ocorreu apenas uma vez em cada trecho.

A contagem de veículos seguiu as recomendações do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) no que diz respeito ao método do tipo manual. Embasado pelo mesmo manual, este trabalho fez uso adaptado do procedimento de contagem durante 1 hora, em um dia de semana, entre 9:00 h e 18:00h, com precisão de nível D, ou seja, com 90% de chance do erro de precisão da contagem não ultrapassar de 25 a 50%.

A contagem realizada em campo foi adaptada, pois, ocorreu nos períodos entre às 8:00h e 18:00h, com uma hora de diferença inicial da recomendação do método do DNIT (2006). Ressalta-se que a contagem ocorreu desta forma porque esse mesmo método permite que extensões sejam realizadas para aprimorar a estimativa da contagem.

Por este mesmo motivo, as contagens ocorreram duas vezes ao dia, das 7:00h às 8:00h e das 17:00h às 18:00h, ao invés de apenas uma, como recomendado pelo DNIT (2006). O maior número de veículos entre os dois períodos diários avaliados em cada trecho foi considerado como o valor representativo da quantidade de veículos que passaram por dia pelo determinado trecho.

Ainda, para verificar a validação dos dados coletados em campo, as contagens foram divididas, além de classes, em períodos de 15 minutos para calcular o Fator de Hora Pico (FHP). Em áreas urbanas este deve variar entre 0,8 a 0,98. Quando os valores de FHP são superiores a 0,95, indicam grande volume de tráfego na via em análise (DNIT, 2006).

Para complementar, de acordo com o Boletim Técnico nº 5 da Companhia de Engenharia de Tráfego – CET (1977) os volumes de hora pico equivalem em média a 10,5% do VDM da via no período da manhã e a 10% do VDM da via no período da tarde. Em resumo, o VDM é em média 10 vezes maior que o volume de hora pico do trecho. Desta forma, com todos esses parâmetros é que os cálculos relacionados ao volume de tráfego foram realizados.

Já com relação a valores, para se estabelecer o custo para M&R foi utilizada a classificação da condição do pavimento para cada trecho, resultante das avaliações subjetivas e objetiva realizadas em campo. Os valores adotados nesta pesquisa foram

baseados nos custos citados por Durán e Fernandes Júnior (2015) que estão apresentados na Figura 18.

Figura 18 – Custos de acordo com a condição do pavimento.

Condição do pavimento		M&R recomendada	PCI após intervenção	Vida em serviço (anos)	Custo aproximado (m ²)
91 a 100	Muito Bom	Não fazer nada (NF)	-	-	R\$ -
76 a 90	Bom	Manutenção Corretiva (MC)	mais 5 pontos	4 a 6	R\$ 2.00
51 a 75	Regular	Manutenção Preventiva (MP)	até 85	3 a 8	R\$ 9.00
26 a 50	Ruim	Reforço estrutural (RF)	até 95	8 a 15	R\$ 15.00
0 a 25	Muito Ruim	Reconstrução (RC)	até 100	mais de 15	R\$ 30.00

Fonte: Durán e Fernandes Júnior (2015)

Como são valores relativos a um trabalho publicado no ano de 2015, foi necessário atualizá-los. O processo foi feito a partir do Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) do ano de 2020. Na Figura 19 é apresentado um exemplo de atualização de custos pelo INCC.

Figura 19 – Exemplo de atualização de custos pelo INCC de 2015 para 2020.

Escolha o índice

INCC ?

Informe o valor original

2,00

Escolha a data para conversão

Janeiro 2015 ➔ Janeiro 2020

Calcular

Índice	Ano	Mês	Valor Original	Valor em 1º de Janeiro 2020
INCC	2015	Janeiro	R\$ 2,00	R\$ 2,57

Fonte: Fundação de Economia e Estatística (2020)

Percebe-se que ao atualizar para o ano de 2020 o custo de R\$ 2,00 por m² para a manutenção corretiva em virtude de um pavimento estar em boa condição, ele se elevou para, aproximadamente, R\$ 3,00. Nesta pesquisa para fins de simplificação se optou por utilizar valores arredondados.

Outros elementos elencados como importantes para o processo de priorização precisaram ser verificados no entorno das vias do campus. Assim, a quantidade relativa aos terminais de ônibus, às instituições e aos comércios próximos à cada trecho foi quantificada considerando um raio de 500 metros a partir do centro do eixo de cada trecho por intermédio da visualização destes no *Google Maps*.

6.5 TESTE E VALIDAÇÃO DO ÍNDICE GERADO

Este item da pesquisa contém os parâmetros que foram utilizados para testar e validar o índice criado. A limitante principal para aplicação do índice, bem como as principais recomendações de como dividir os trechos de forma correta para retirada dos dados em campo também estão contidos neste item do trabalho.

6.5.1 Parâmetros para Testar o Índice

Para desenvolver o índice com a finalidade de priorizar vias candidatas a M&R, as unidades amostrais do campus da Universidade Estadual de Londrina (UEL) foram divididas para análise conforme a seguinte limitante:

- Área: não ultrapassando o limite recomendado de 135 a 315 m² para cada UA, conforme determinado pela ASTM (2018). As seções do pavimento para análise foram divididas em áreas retangulares. As rotatórias e estacionamentos não foram considerados.

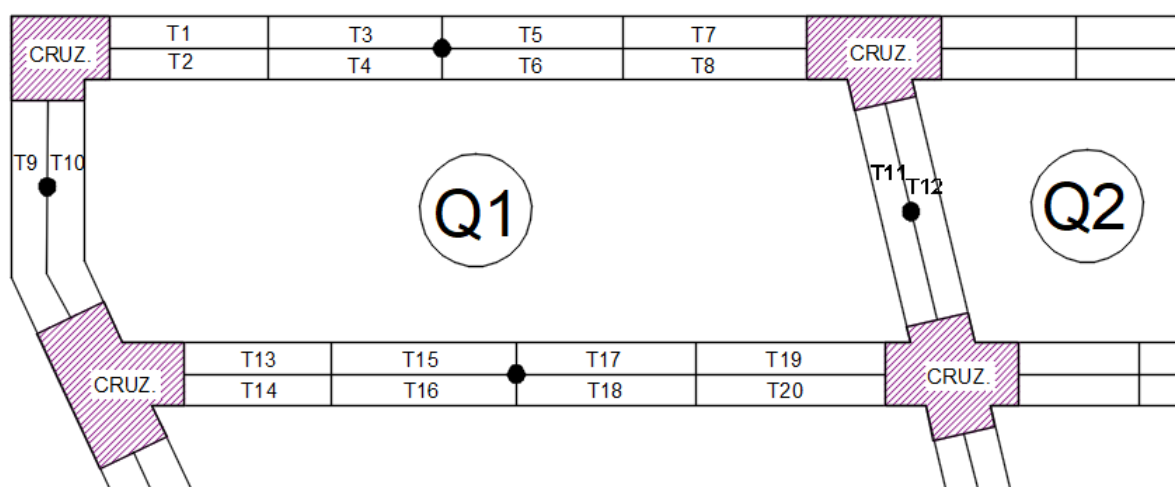
É importante destacar que um guia de recomendações e do processo para aplicar o índice desenvolvido em meios urbanos está contido no apêndice deste trabalho.

Na Figura 20, pode-se observar a forma correta recomendada para dividir as unidades amostrais de um pavimento urbano com a finalidade de aplicar o índice que foi criado neste trabalho. Destaca-se que o perímetro de cada quarteirão, bem como

o próprio quarteirão, serve apenas como base para definir a área de cada unidade amostral a ser verificada.

Ressalta-se que nenhuma unidade amostral, como por exemplo a T11 e T12, pode pertencer simultaneamente a dois quarteirões, neste caso o Q1 e Q2 ao mesmo tempo. Logo, a delimitação das demais unidades amostrais de um pavimento urbano devem seguir as recomendações, principalmente da limitação da área, desconsiderando as unidades amostrais já demarcadas.

Figura 20 – Recomendação para divisão das unidades amostrais.



Fonte: o próprio autor (2020)

Onde:

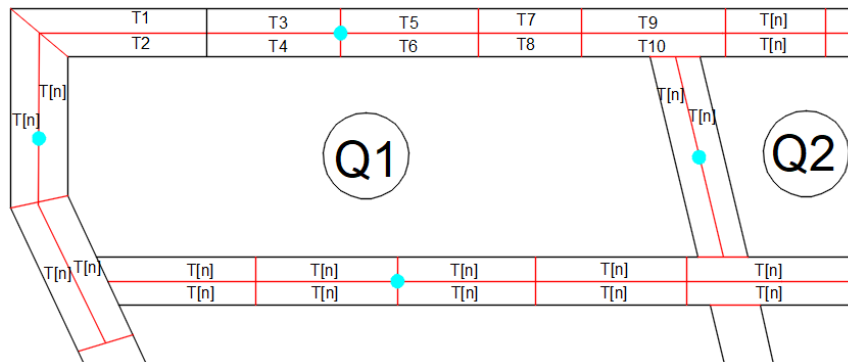
CRUZ = cruzamentos;

T (n) = trechos;

Q (n) = quarteirões.

Já na Figura 21, pode-se observar a forma incorreta para dividir as unidades amostrais de um pavimento urbano com a finalidade de aplicar o índice que foi criado neste trabalho. Nota-se que não há separação de cruzamentos e em alguns pontos, como por exemplo em T9 e T10, as unidades amostrais estão “passando reto” entre dois quarteirões.

Figura 21 – Forma incorreta para divisão das unidades amostrais.



Fonte: o próprio autor (2020)

Onde:

T (n) = trechos;

Q (n) = quarteirões.

É importante afirmar que essas recomendações são para todos os especialistas que irão aplicar este índice nas vias pavimentadas urbanas, visto que o objetivo é de poder utiliza-lo em qualquer cidade brasileira.

6.5.2 Teste e Validação do Índice

Para fins de validação do ISP as prioridades por ele definidas foram confrontadas às prioridades obtidas a partir da consideração do valor do PCI e do IP do método de Tavakoli obtidos para cada trecho avaliado na rede viária do campus da UEL.

O índice proposto foi calculado a partir do emprego do: *i*) ICP_{subj_esc_visual} (1ª e 2ª avaliações); *ii*) ICP_{subj_info_basica} (1ª e 2ª avaliações) e *iii*) PCI. Para fins de diferenciação foram designados, respectivamente, por: ISP_{subj_esc_visual}; ISP_{subj_info_basica} e ISP_{PCI}.

As informações de cada um dos indicadores apresentados neste trabalho foram aplicadas no índice desenvolvido de acordo com:

- **Classificação funcional da via:** foi utilizado no índice gerado para avaliar os trechos da UEL de acordo com o plano diretor de Londrina – PR (Lei 12.237/2015). Assim, com base em tais diretrizes a malha viária do campus foi classificada da seguinte forma:

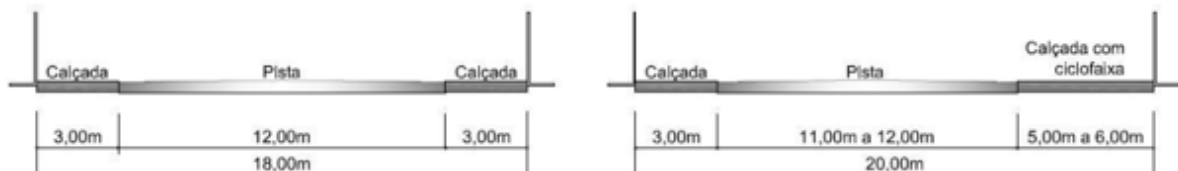
- **Arteriais:** os trechos das vias que apresentaram canteiro central, sentido duplo de passagem de veículos e faixa de estacionamento;
- **Coletoras:** os trechos das vias que apresentaram ciclofaixas e estavam ligadas diretamente às arteriais;
- **Locais:** os trechos das vias de pista simples, sem ligação direta com as vias arteriais, sem ciclofaixas ou faixas de estacionamento e que têm apenas ligação com regiões locais e/ou restritas. Por exemplo, uma única rua com sentido duplo que dá acesso a um estacionamento.

As diretrizes dessa Lei, conforme observa-se na Figura 22, leva em consideração, principalmente, fatores como a presença ou não de canteiros centrais, ciclofaixas, sentido da via e tipo da via.

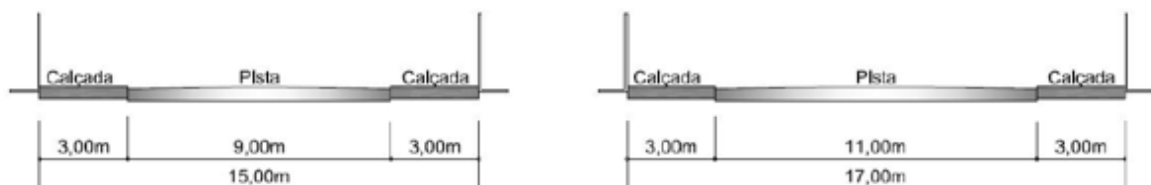
Figura 22 – Base para classificação funcional das vias da UEL.



Via arterial: com canteiro central, 2 sentidos e estacionamento.



Via coletora: com ciclofaixas e ligadas às vias arteriais.



Via local: sem ligação direta com a via arterial, sem estacionamento ou ciclofaixas, pistas simples e acessos locais.

Fonte: adaptado da Lei Municipal de Londrina – PR de nº 12.237 (2015)

- **Quantidade de veículos:** foi utilizado no índice gerado de acordo com o número diário de qualquer tipo de veículo motorizado (leve a pesado) que passou em cada trecho do pavimento da UEL. A contagem de veículos foi feita duas vezes por dia, em horários de pico (das 7:00 h às 8:00 h e das 17:00 h às 18:00 h) e em dias úteis da semana. Este parâmetro seguiu a norma do Boletim Técnico da CET – Companhia de Engenharia de Tráfego – nº 5 (1977). Na contagem de veículos, para classificar o tipo de tráfego dos trechos das vias entre urbano ou rural, se levou em consideração o fator horário de pico (FHP) que é resultante da razão entre o total de veículos da hora pico pelo máximo valor de veículos em 15 minutos dentro da mesma hora pico, multiplicado por 4. Destaca-se que o FHP normalmente varia de 0,25 a 1,00, valores acima de 0,80 indicam tráfego urbano, sendo que valores acima de 0,98 indicam grandes volumes de tráfego na via urbana. Notando que no caso deste trabalho, os maiores tráfegos de veículos ocorreram na hora pico da tarde, fez-se os cálculos somente para esse período. O volume diário médio (VDM) foi calculado de acordo com a maior quantidade de veículos em cada trecho de via entre os horários de picos contabilizados (VHP), seguindo a equação adaptada do DNIT (2006):

- **VDM = 10 x VHP;** onde: VHP = volume da hora pico.

- **Condição do pavimento:** foi utilizado no índice gerado de maneira qualitativa seguindo as cinco classificações dadas por Durán e Fernandes Júnior (2015) e que variavam de acordo com o valor numérico da condição da via. Uma média de cada um dos trechos foi realizada para representar o valor numérico da condição de cada trecho do pavimento. Este processo ocorreu para todos os métodos utilizados para gerar o índice da condição dos trechos do pavimento, sendo eles, os métodos subjetivos e objetivo;
- **Número de terminais próximos a via:** foi utilizado no índice gerado de acordo com o número total de pontos de ônibus e/ou terminais a um raio de 500m partindo do centro do eixo de cada trecho analisado;
- **Número de instituições próximos a via:** foi utilizado no índice gerado de acordo com o número total de diferentes instituições sociais, independentemente de seu tipo (escolas, prefeitura, creches, faculdades, universidades, bancos, cartórios, fóruns, igrejas, centros comunitários e outras

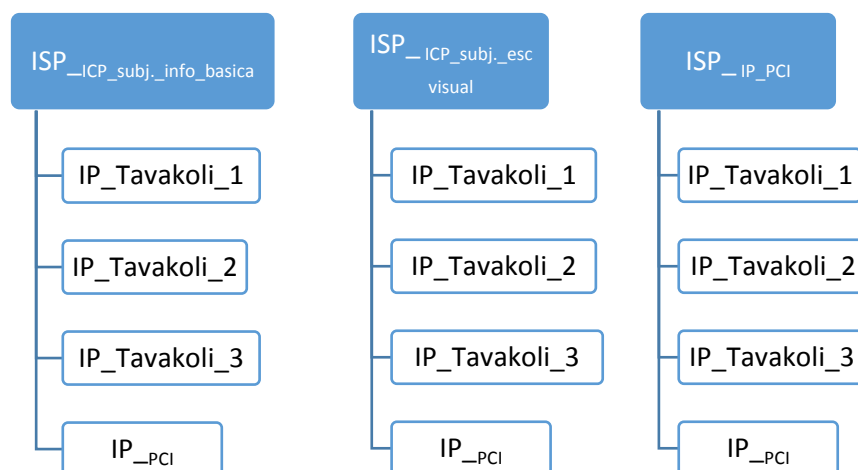
semelhantes), a um raio de 500m partindo do centro do eixo de cada trecho analisado;

- **Número de comércio próximos a via:** foi utilizado no índice gerado de acordo com o número total de comércio (mercados, restaurantes, papelarias, entre outros) a um raio de 500m partindo do centro do eixo de cada trecho analisado;
- **Custos:** foi utilizado no índice gerado de acordo com o custo por m² dado em função da condição da via e que foi apresentado por Durán e Fernandes Júnior (2015). Uma atualização de custo por meio do INCC (Índice Nacional da Construção Civil) para cada trecho se fez necessária para o ano de 2020.

Desta forma, os IPs de cada um dos trechos foram calculados com base nos dados levantados em campo seguindo os critérios exigidos em cada método. No IP pelo método de Tavakoli os valores variaram originalmente de 0 a 0,01 representando que quanto maior o valor, maior é sua ordem de prioridade. Os valores obtidos foram normalizados a partir de sua multiplicação por 10⁴ para que variasse de 0 a 100 de forma a facilitar a comparação posterior com a prioridade estabelecida pelo PCI e pelo ISP.

Na Figura 23 apresentam-se esquematicamente as comparações que foram realizadas intercalando na condição do pavimento dentro do índice ISP, os resultados das duas avaliações subjetivas (com e sem escala visual) e da avaliação objetiva (PCI).

Figura 23 – Comparações realizadas entre os métodos de priorização.



Fonte: o próprio autor (2020)

Considerando todas as combinações possíveis envolvendo os índices de priorizações que foram realizadas neste trabalho, chegou-se a um total de 30 comparações, sendo que cada uma resultou em diferentes valores que variaram de acordo com os dados introduzidos a elas no quesito da condição do pavimento, quando necessário. Sendo assim, estes diferentes índices de priorizações ficaram identificados como:

- IP_Tavakoli_1: índice de priorização pelo método de Tavakoli que considerou na condição do pavimento os dados provenientes da avaliação objetiva (PCI);
- IP_Tavakoli_2: índice de priorização pelo método de Tavakoli que considerou na condição do pavimento os dados provenientes da avaliação subjetiva sem escala visual (ICP_subj_info_basica). Esse método foi comparado duas vezes, uma com os dados da 1ª avaliação subjetiva e outra com os dados da 2ª avaliação subjetiva;
- IP_Tavakoli_3: índice de priorização pelo método de Tavakoli que considerou na condição do pavimento os dados provenientes da avaliação subjetiva com escala visual (ICP_subj_esc_visual). Esse método foi comparado duas vezes, uma com os dados da 1ª avaliação subjetiva e outra com os dados da 2ª avaliação subjetiva;
- IP_PCI: índice de priorização que considerou somente os próprios resultados do PCI para priorizar os trechos do pavimento.

Levando em consideração estes resultados, os testes e a priorização dos trechos de acordo com cada índice foram realizados. Desta maneira, são expostas na Tabela 6 as considerações para aplicação do teste de Mann-Whitney.

Tabela 6 – Considerações para as comparações realizadas.

Nº DA COMPARAÇÃO	CONSIDERAÇÕES
C6, C12, C18, C24 e C30	<p>H0 = o método do ISP não é mais indicado para priorização de pavimentos do que o método do PCI.</p> <p>H1 = o método do ISP é mais indicado para priorização de pavimentos do que o método do PCI.</p>

Demais combinações

H0 = o método ISP não gera um valor numérico com mais precisão do que o de Tavakoli.

H1 = o método ISP gera um valor numérico com mais precisão do que o de Tavakoli.

Fonte: o próprio autor (2020)

Com base nestas considerações, fez-se a aplicação do teste para todas as 30 comparações. Estas comparações foram divididas em 11 tipos de índices avaliativos quanto a ordem de priorização dos trechos do pavimento da UEL, sendo eles assim denominados:

- CT1: Comparação Tipo 1 (método do ISP utilizando dados da 1ª avaliação subjetiva sem escala visual);
- CT2: Comparação Tipo 2 (método do ISP utilizando dados da 2ª avaliação subjetiva sem escala visual);
- CT3: Comparação Tipo 3 (método de Tavakoli utilizando dados da avaliação objetiva PCI);
- CT4: Comparação Tipo 4 (método de Tavakoli utilizando dados da 1ª avaliação subjetiva sem escala visual);
- CT5: Comparação Tipo 5 (método de Tavakoli utilizando dados da 2ª avaliação subjetiva sem escala visual);
- CT6: Comparação Tipo 6 (método de Tavakoli utilizando dados da 1ª avaliação subjetiva com escala visual);
- CT7: Comparação Tipo 7 (método de Tavakoli utilizando dados da 2ª avaliação subjetiva com escala visual);
- CT8: Comparação Tipo 8 (método do PCI com dados do PCI);
- CT9: Comparação Tipo 9 (método do ISP utilizando dados da 1ª avaliação subjetiva com escala visual);
- CT10: Comparação Tipo 10 (método do ISP utilizando dados da 2ª avaliação subjetiva com escala visual);
- CT11: Comparação Tipo 11 (método do ISP utilizando dados do PCI).

Dessa maneira, fez-se as 30 comparações levando em consideração todos estes métodos de priorizações. Sendo assim, elas foram realizadas conforme é representado na Tabela 7.

Tabela 7 – Comparações realizadas com os índices de priorizações das vias.

Nº	Comparação	Nº	Comparação	Nº	Comparação
C1	CT1 x CT3	C11	CT2 x CT7	C21	CT10 x CT5
C2	CT1 x CT4	C12	CT2 x CT8	C22	CT10 x CT6
C3	CT1 x CT5	C13	CT9 x CT3	C23	CT10 x CT7
C4	CT1 x CT6	C14	CT9 x CT4	C24	CT10 x CT8
C5	CT1 x CT7	C15	CT9 x CT5	C25	CT11 x CT3
C6	CT1 x CT8	C16	CT9 x CT6	C26	CT11 x CT4
C7	CT2 x CT3	C17	CT9 x CT7	C27	CT11 x CT5
C8	CT2 x CT4	C18	CT9 x CT8	C28	CT11 x CT6
C9	CT2 x CT5	C19	CT10 x CT3	C29	CT11 x CT7
C10	CT2 x CT6	C20	CT10 x CT4	C30	CT11 x CT8

Fonte: o próprio autor (2020)

Estas comparações foram a fase de teste do índice gerado. Posteriormente, fez-se a validação juntamente com as análises de estatística descritiva, sendo elas a correlação, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Para complementar a validação do ISP, foi realizado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney com duas amostras independentes. Este teste estatístico foi utilizado para comparar as notas das classificações entre os métodos, bem como suas equivalências em relação à priorização dos trechos.

O processo de validação do ISP se deu por meio de testes estatísticos ao comparar todos os resultados dos índices provenientes dos diferentes métodos utilizados e explanados neste trabalho. É importante destacar que o ISP foi normalizado, pois, originalmente ao ser desenvolvido, não variava sua pontuação de 0 a 100. A normalização se fez necessária para comparar de maneira igualitária o ISP com o PCI e o Tavakoli.

O teste de Mann-Whitney consiste em considerar duas hipóteses iniciais, H0 (hipótese nula) e H1 (hipótese alternativa), sendo que é recomendado escolher como H1 aquela alternativa que se acredita ser a hipótese verdadeira com base no

conhecimento e nas avaliações realizadas pelo aplicador do teste. Neste teste se considera a rejeição ou não de H_0 com base no elemento calculado que é chamado de p-valor. Assim, para um p-valor $\leq 0,05$ deve-se rejeitar H_0 e aceitar a consideração da alternativa H_1 . Caso contrário, se p-valor $> 0,05$ deve-se aceitar a hipótese de H_0 .

7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados e análises do presente trabalho que englobam desde a definição das áreas com o apoio de especialistas por meio de um *brainstorming* até a validação do índice desenvolvido na pesquisa.

7.1 DEFINIÇÃO DAS ÁREAS, INDICADORES E NÍVEIS DE DESEMPENHO

Os primeiros componentes do ISP foram as áreas, seguidos pelos indicadores de cada uma e, depois, pelos níveis de desempenho de cada indicador.

A partir do *brainstorming* realizado foram definidos, ao todo, quatro áreas e sete indicadores.

Para fins de simplificação e realização dos julgamentos de atratividade no software M-Macbeth, cada área foi representada por uma letra maiúscula e cada respectivo indicador recebeu a letra maiúscula referente à sua área acompanhada de um número. Por exemplo, a área “Parâmetros gerais da via” recebeu a letra “A” e um de seus indicadores denominado “Classificação quanto ao tipo funcional da via pavimentada urbana” foi identificado como “A1”.

Na Tabela 8 são apresentados os indicadores e os níveis de desempenho das áreas do índice gerado. Além disso, observa-se a descrição de cada indicador, bem como suas unidades de medida e seus níveis de desempenho. É importante notar que nem todas as áreas possuem o mesmo número de indicadores e níveis de desempenho.

Tabela 8 – Indicadores e níveis de desempenho das áreas do índice gerado.

ÁREA	INDICADORES	UNIDADE	NÍVEIS DE DESEMPENHO
A - Parâmetros gerais da via	A1 - Classificação quanto ao tipo funcional da via pavimentada urbana	-	via arterial via coletora via local
	A2 - Quantidade de veículos que passam na via pavimentada urbana	Veíc./dia	5000 2000 1000 500 100
B - Condição do Pavimento	B1 - Classificação da condição do pavimento	-	muito ruim ruim regular bom muito bom
C - Localização da via	C1 - Quantidade de terminais e/ou pontos de parada de transportes públicos próximos a via	número de terminais e/ou pontos	≥ 4 3 2 1 0
	C2 - Quantidade de diferentes tipos de instituições nas proximidades da via	número de instituições	≥ 4 3 2 1 0
	C3 - Quantidade de diferentes tipos de comércios nas proximidades da via	número de comércios	≥ 4 3 2 1 0
D - Custos de M&R	D1 - Custos por m ² de acordo com a condição da via	R\$/m ²	0 3 12 19 38

Fonte: o próprio autor (2020)

A seguir apresentam-se algumas considerações e recomendações para cada um dos indicadores das quatro áreas do índice proposto na pesquisa:

- **Indicador A1 – Classificação quanto ao tipo funcional da via pavimentada urbana:** Este indicador está relacionado à classificação funcional das vias pavimentadas urbanas de acordo com o planejamento urbano da cidade (plano diretor). Segundo Muniz (2006), o plano diretor de um município é obrigatório

em cidades com população a partir de 20 mil habitantes. A classificação funcional deverá seguir, de preferência, os parâmetros do plano diretor da cidade a qual a malha viária é analisada;

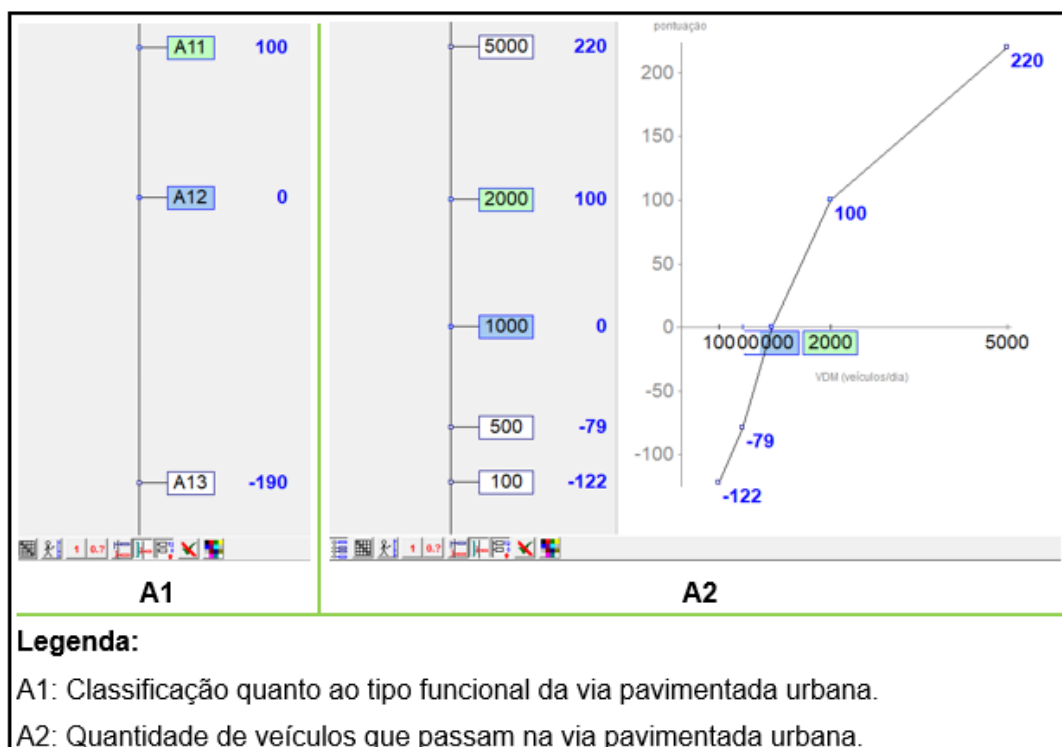
- **Indicador A2 – Quantidade de veículos que passam na via pavimentada urbana:** Este indicador está relacionado ao número diário de qualquer tipo de veículo motorizado (leve a pesado) que passa em cada trecho da via. A contagem de veículos deverá ser feita ao menos durante uma semana, nos horários de pico (das 7:00 h às 8:00 h e das 17:00 h às 18:00 h), em dias úteis e típicos. Sugere-se seguir a norma do Boletim Técnico da CET – Companhia de Engenharia de Tráfego – nº 5 (1977);
- **Indicador B1 – Classificação da condição do pavimento:** Este indicador foi utilizado no índice gerado de maneira qualitativa seguindo as cinco classificações dadas por Durán e Fernandes Júnior (2015) e que variavam de acordo com o valor numérico da condição da via;
- **Indicador C1 – Quantidade de terminais e/ou pontos de parada de transportes públicos próximos a via:** Este indicador tem por objetivo quantificar o número de terminais e/ou pontos de paradas de transportes públicos em função de um raio de 500 m a partir do centro do eixo de uma via pavimentada urbana. A quantificação destes elementos deverá ser limitada a cada quarteirão;
- **Indicador C2 – Quantidade de diferentes tipos de instituições sociais nas proximidades da via:** Este indicador está relacionado ao número total de diferentes instituições sociais, independentemente de seu tipo (escolas, prefeitura, creches, faculdades, universidades, bancos, cartórios, fóruns, igrejas, centros comunitários e outras semelhantes), a um raio de 500m partindo do centro do eixo da via. A quantificação destes elementos deverá ser limitada a cada quarteirão;
- **Indicador C3 – Quantidade de diferentes tipos de comércios nas proximidades da via:** Este indicador tem por objetivo quantificar o número total de diferentes comércios, independentemente de seu tipo (lojas, restaurantes, bares, mercados, shoppings e outros semelhantes) a um raio de 500m partindo do centro do eixo da via. A quantificação destes elementos deverá ser limitada a cada quarteirão;

- **Indicador D1 – Custos de acordo com a condição da via:** Este indicador tem o objetivo de fornecer o valor do custo por m² da atividade de manutenção necessária em função do índice de condição do pavimento nas vias pavimentadas urbanas. Recomenda-se, quando necessário, fazer a atualização anual de valores por meio do INCC (Índice Nacional da Construção Civil).

7.2 CRIAÇÃO DO ISP PELO M-MACBETH

Por meio dos critérios em consenso entre os avaliadores, o software M-Macbeth gerou o ISP que foi resultado de um conjunto de níveis de desempenho para cada indicador e para cada área. Para exemplificar melhor estes níveis de desempenho e seus significados são apresentados nas Figuras 24 a 28 os gráficos de pontuações que foram provenientes das discussões construtivistas entre os especialistas. Destaca-se que os níveis ancorados em 0 (cor azul) indicam uma pontuação neutra com um limite aceitável mínimo, enquanto os níveis ancorados em 100 (cor verde) indicam uma pontuação satisfatória.

Figura 24 – Níveis de desempenho da área “A - Parâmetros gerais da via”.



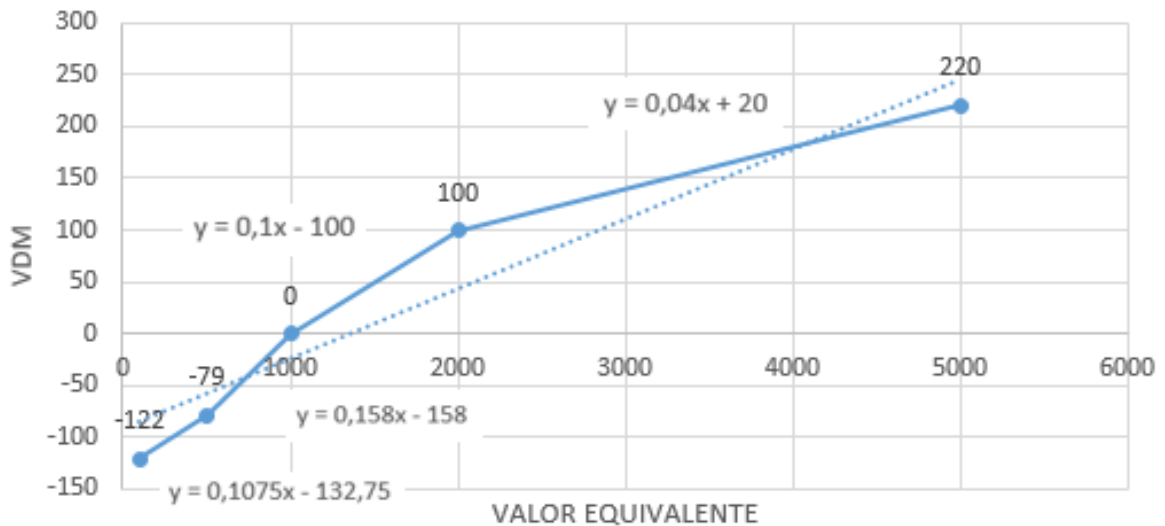
Fonte: o próprio autor (2020)

Na discussão entre os especialistas, em consenso, os níveis de desempenho do indicador “A1” ficaram estabelecidos como um valor igual a -190 quando o trecho da via em análise for do tipo local, um valor igual a 0 quando o trecho for do tipo coletora e um valor igual a 100 quando o trecho for do tipo arterial. Deste modo, evidencia-se que quanto maior a importância hierárquica de um trecho da via em análise, maior também será a pontuação e a prioridade deste indicador para ser inserido no ISP.

Os níveis de desempenho do indicador “A2” passaram pelo processo de desenvolvimento de equações para valerem também em casos de quantidades intermediárias de VDMs, como é demonstrado na Figura 25.

Cada equação desenvolvida equivale a um intervalo entre quantidades de VDMs. Por exemplo, se um trecho da via a ser analisada pelo ISP apresentar um VDM igual a 2500, deve-se utilizar a equação ($y = 0,04x + 20$), onde x = o valor de VDM. O resultado dessa equação é que deverá ser acrescentado no ISP no que diz respeito ao indicador A2.

Figura 25 – Equações para VDMs intermediários no indicador “A2”.



Fonte: o próprio autor (2020)

Quanto a área “B”, representada na Figura 26, nos níveis de desempenho do indicador “B1” ficaram estabelecidos como um valor igual a -30 para quando o trecho da via em análise apresentar uma condição da superfície do pavimento classificada como “muito bom”, um valor igual a 0 quando o trecho apresentar uma condição da superfície do pavimento classificada como “bom”, um valor igual a 70 quando o trecho

apresentar uma condição da superfície do pavimento classificada como “regular”, um valor igual a 100 quando o trecho apresentar uma condição da superfície do pavimento classificada como “ruim” e um valor igual a 120 quando o trecho apresentar uma condição da superfície do pavimento classificada como “muito ruim”.

Assim, é notável que quanto melhor for a classificação da condição da superfície do trecho do pavimento analisado, menor será a pontuação e a prioridade do indicador “B1” para ser inserido no ISP.

Figura 26 – Níveis de desempenho da área “B - Condição do Pavimento”.



Fonte: o próprio autor (2020)

Na área “C”, representada na Figura 27, os níveis de desempenho do indicador “C1” ficaram estabelecidos como um valor igual a -200 quando o trecho da via em análise não apresentar nenhuma quantidade de terminais e/ou pontos de transportes públicos em suas proximidades, um valor igual a 0 quando o trecho apresentar apenas um terminal e/ou ponto de transporte público próximo, um valor igual a 50 quando o trecho apresentar dois terminais e/ou pontos de transportes públicos próximo, um valor igual a 100 quando o trecho apresentar três terminais e/ou pontos de transportes públicos próximo e um valor igual a 150 quando o trecho apresentar quatro ou mais terminais e/ou pontos de transportes públicos próximo.

Com tudo se observa que quanto maior for a quantidade de terminais e/ou pontos de transportes públicos próximos ao trecho do pavimento analisado, maior também será a pontuação e a prioridade do indicador “C1” para ser inserido no ISP.

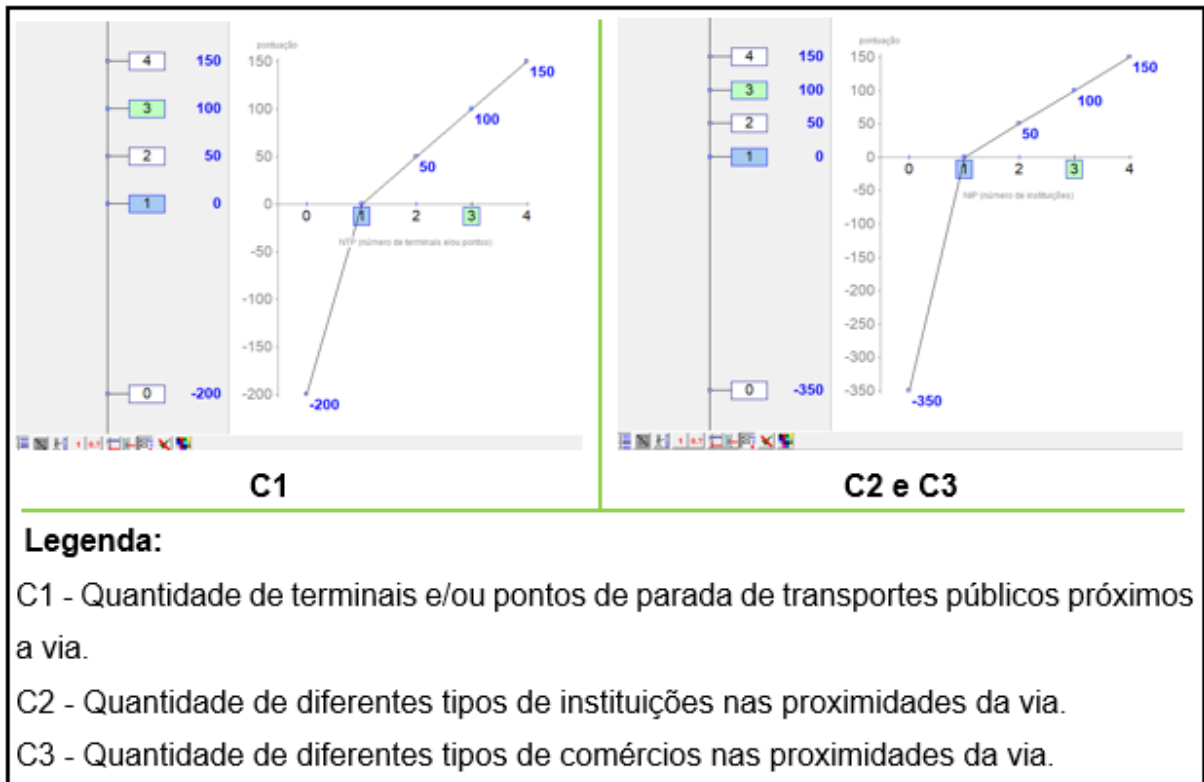
Os níveis de desempenho do indicador “C2” ficaram estabelecidos como um valor igual a -350 quando o trecho da via em análise não apresentar nenhum tipo de instituição em suas proximidades, um valor igual a 0 quando o trecho apresentar apenas um tipo de instituição em suas proximidades, um valor igual a 50 quando o trecho apresentar dois diferentes tipos de instituições em suas proximidades, um valor igual a 100 quando o trecho apresentar três diferentes tipos de instituições em suas proximidades e um valor igual a 150 quando o trecho apresentar quatro ou mais diferentes tipos de instituições em suas proximidades.

Assim, nota-se que quanto maior for a quantidade de diferentes tipos de instituições próximas ao trecho do pavimento analisado, maior também será a pontuação e a prioridade do indicador “C2” para ser inserido no ISP.

Já com relação aos níveis de desempenho do indicador “C3” ficaram estabelecidos como um valor igual a -350 quando o trecho da via em análise não apresentar nenhum tipo de comércio em suas proximidades, um valor igual a 0 quando o trecho apresentar apenas um tipo de comércio em suas proximidades, um valor igual a 50 quando o trecho apresentar dois diferentes tipos de comércios em suas proximidades, um valor igual a 100 quando o trecho apresentar três diferentes tipos de comércios em suas proximidades e um valor igual a 150 quando o trecho apresentar quatro ou mais diferentes tipos de comércios em suas proximidades.

Assim, nota-se que quanto maior for a quantidade de comércios próximos ao trecho do pavimento analisado, maior também será a pontuação e a prioridade do indicador “C3” para ser inserido no ISP.

Figura 27 – Níveis de desempenho da área “C - Localização da via”.

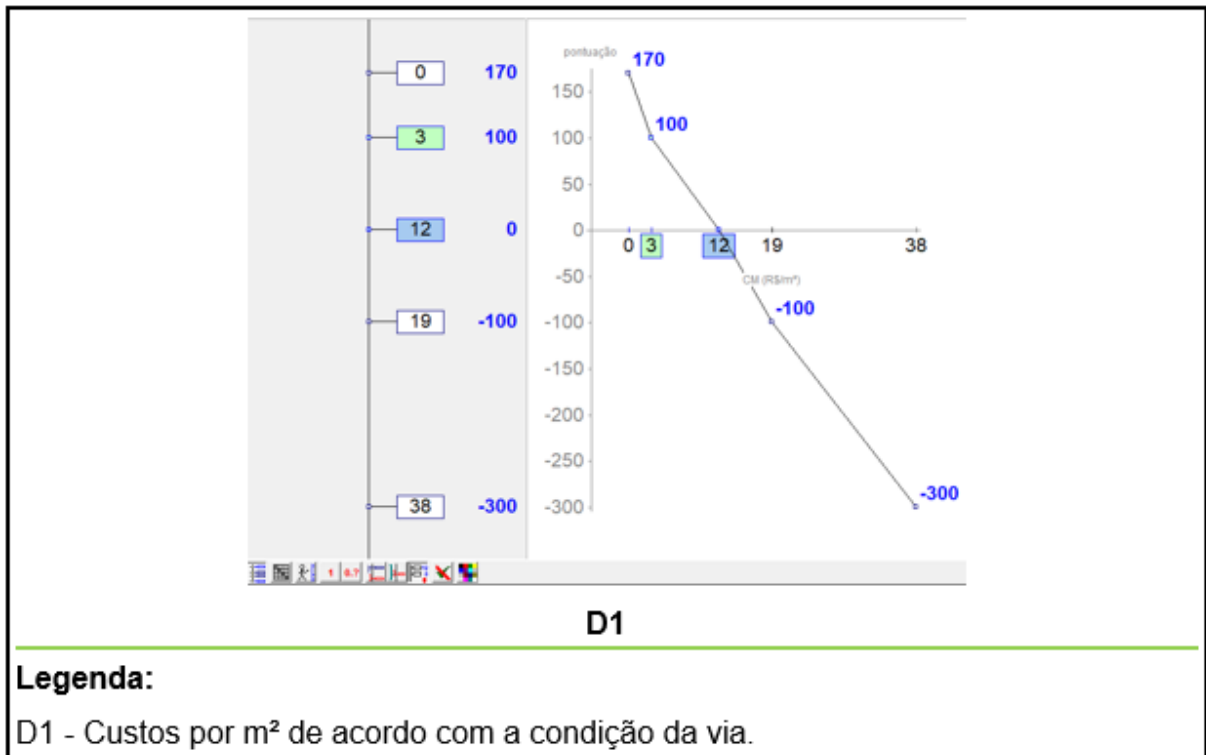


Fonte: o próprio autor (2020)

Quanto a área “D”, representada na Figura 28, nos níveis de desempenho do indicador “D1” ficaram estabelecidos como um valor igual a 170 para quando o trecho da via em análise apresentar um custo igual a R\$ 0,00/m², um valor igual a 100 quando o trecho apresentar um custo igual a R\$ 3,00/m², um valor igual a 0 quando o trecho apresentar um custo igual a R\$ 12,00/m², um valor igual a -100 quando o trecho apresentar um custo igual a R\$ 19,00/m² e um valor igual a -300 quando o trecho apresentar um custo igual a R\$ 38,00/m².

Deste modo, pode-se perceber que quanto maior for o custo por m² para as atividades de M&R dos trechos do pavimento analisado, menor será a pontuação e a prioridade do indicador “D1” para ser inserido no ISP.

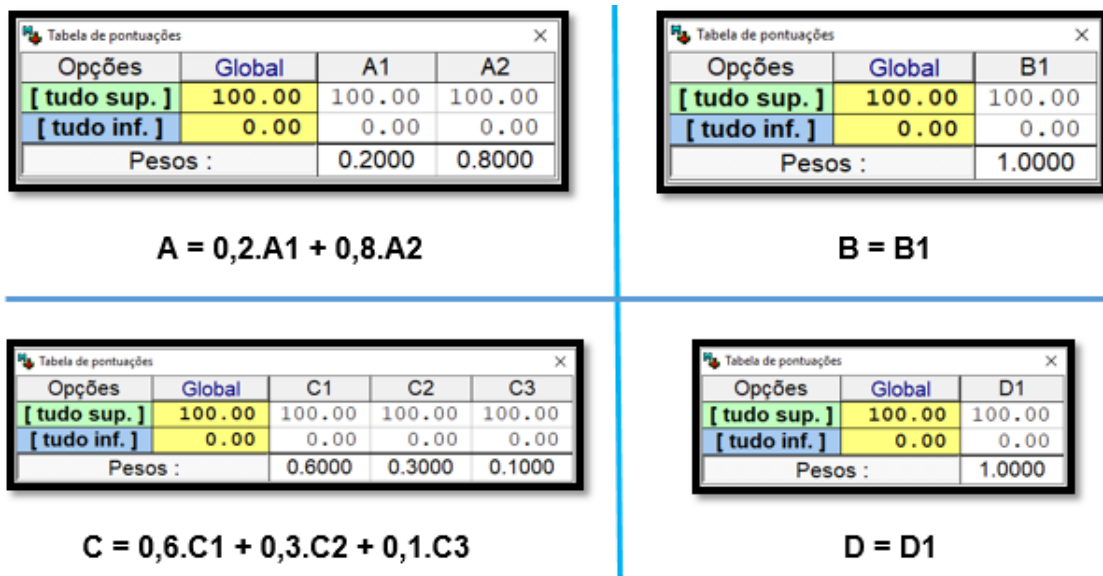
Figura 28 – Níveis de desempenho da área “D - Custos de M&R”.



Fonte: o próprio autor (2020)

Os pesos resultantes do software M-Macbeth para o ISP são apresentados na Figura 29 a partir das imagens das telas do M-Macbeth nas quais estão os pesos dos indicadores de cada área do índice.

Figura 29 – Pesos dos indicadores do ISP.



Fonte: o próprio autor (2020)

Por sua vez, as áreas também apresentaram resultados diferentes dentro do ISP, como é possível observar na Figura 30.

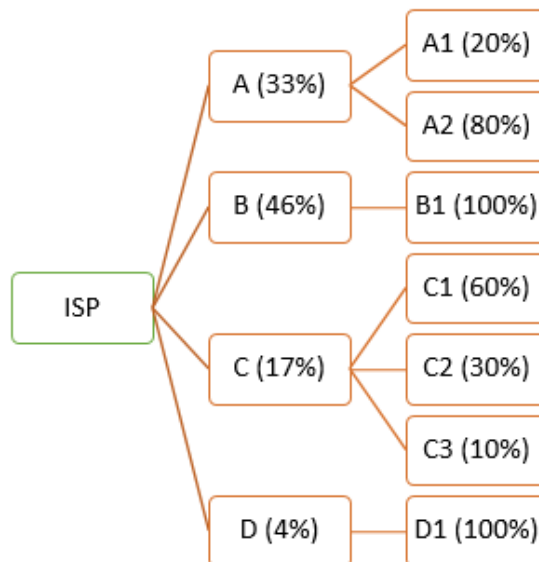
Figura 30 – Pesos das áreas do ISP.

Opções	Global	A	B	C	D
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.3300	0.4600	0.1700	0.0400

Fonte: o próprio autor (2020)

Com base nos resultados dos pesos das áreas e dos indicadores do ISP, apresenta-se na Figura 31, para fins de sintetização e fácil entendimento, um esquema em formato de arborização.

Figura 31 – Arborização dos pesos das áreas e dos indicadores do ISP.



$$\text{ISP} = 0,33.A + 0,46.B + 0,17.C + 0,04.D$$

Fonte: o próprio autor (2020)

O resultado do ISP precisou ser normalizado para variar de 0 a 100 e ser comparado de forma igualitária com os métodos de Tavakoli e PCI. O ISP originalmente, sem o processo de normalização, variava de -300 (valor ancorado em

0) a 196 (valor ancorado em 100). Sendo assim, apresentou uma amplitude igual a 496 pontos. Para normalizá-lo fez-se uma relação entre o valor desejado, igual a 100, sobre o valor da amplitude, dessa maneira chegou-se ao valor de 0,202. Desta forma, notou-se que a diferença de valor para o índice variar entre 0 e 100, considerando os valores de ancoragem para o caso do ISP, foi igual a 60,6. Logo, a equação para o índice final ficou igual a:

$$\text{ISP}_{\text{Final}} = 60,6 + 0,202.\text{ISP}_{\text{original}} \quad (\text{Equação 3})$$

Ou

$$\text{ISP}_{\text{Final}} = 60,6 + 0,202.[(0,33.(0,2.A1 + 0,8.A2)) + (0,46.B1) + (0,17.(0,6.C1 + 0,3.C2 + 0,1.C3)) + (0,04.D1)] \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$\text{ISP}_{\text{Final}}$ = índice simplificado de priorização normalizado;

A1 = classificação funcional da via;

A2 = VDM do trecho do pavimento (veículos/dia);

B1 = condição do pavimento;

C1 = quantidade de terminais próximo a via (unidades);

C2 = quantidade de instituições próximo a via (unidades);

C3 = quantidade de comércios próximo a via (unidades);

D1 = custos por m² para M&R (R\$).

Após a normalização, com a utilização da equação 3 e 4, fez-se o teste do ISP com base nos resultados obtidos das análises em campo. É importante destacar que a partir deste tópico do trabalho, os valores apresentados do ISP já estarão devidamente normalizados.

7.3 RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES EM CAMPO

A partir dos levantamentos realizados na malha viária da UEL por meio dos métodos objetivo e subjetivos, os respectivos resultados relativos aos ICPs dos trechos avaliados (obtidos em função da nota a eles atribuídas) estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – ICP dos trechos de acordo com as avaliações objetiva e subjetivas.

TRECHO	PCI	1º ICP_subj.		2º ICP_subj.	
		(Painel _{info_básica})	(Painel _{escala_visual})	(Painel _{info_básica})	(Painel _{escala_visual})
A	20,93	44,79	55,14	51,21	57,45
B	88,82	86,83	86,08	85,39	84,38
C	17,73	44,33	50,08	49,67	49,53
D	13,60	36,42	46,63	44,38	46,30
E	71,97	64,31	72,81	74,28	76,63
F	6,32	33,68	43,27	34,55	37,94
G	23,18	42,71	54,15	49,95	53,19
H	88,76	88,67	87,86	83,58	84,91
I	88,42	87,79	86,32	81,33	83,69
J	91,88	84,94	86,06	82,69	84,73
K	33,40	54,95	58,47	44,88	56,00
L	59,91	58,75	72,56	68,89	69,14
M	93,25	88,42	87,21	84,92	85,40
N	24,63	42,02	48,67	44,45	45,29

Fonte: o próprio autor (2020)

É possível notar que, no geral, os ICPs das duas avaliações subjetivas para cada trecho quando comparados entre os dois painéis não variaram muito. Em contrapartida, quando comparados com o índice objetivo, observa-se na maior parte dos casos uma maior variação. É importante destacar que o principal motivo por isso acontecer se deve pelo fato da avaliação objetiva levar em consideração aspectos mais técnicos, como por exemplo, a densidade e a severidade dos defeitos no pavimento, diferentemente da avaliação subjetiva que avalia apenas a superfície das vias. Sendo assim, estas diferenças avaliativas são notórias nos resultados dos índices.

7.4 TESTE DO ISP

Neste item do trabalho são abordados todos os parâmetros adotados nas áreas que compõe o índice gerado. É importante destacar que eles foram adotados de acordo com as avaliações em campo, gerando assim resultados que foram

incorporados no ISP e geraram as ordens de priorização conforme os diferentes métodos utilizados nesta pesquisa.

7.4.1 Parâmetros Adotados para a Área “A” do ISP

Com relação ao indicador “A1”, conforme procedimento abordado no item 6.5.2 deste trabalho, na Tabela 10 apresentam-se os trechos pertencentes a cada classe funcional de via no campus da UEL.

Tabela 10 – Divisões das classes funcionais dos trechos de vias da UEL.

TRECHOS DE VIAS ARTERIAIS	TRECHOS DE VIAS COLETORAS	TRECHOS DE VIAS LOCAIS
G, H, I e K	J e F	A, B, C, D, E, L, M e N

Fonte: o próprio autor (2020)

Durante o processo de estabelecimento da classe funcional algumas adaptações foram necessárias, pois, apesar de ter parâmetros semelhantes a uma mini-cidade, o campus tem suas especificidades o que impossibilita encaixar todas as características conforme exigido no plano diretor do município. Assim, algumas situações foram desconsideradas como, por exemplo, a largura das pistas, a presença de calçadas e suas larguras.

Com base em todos estes dados, conforme também descrito no item 6.5.2 deste trabalho, fez-se as contagens dos veículos em campo, calculou-se os valores dos volumes de hora pico e do VDM para cada trecho do campus da UEL. De acordo com a pesquisa de tráfego realizada, as máximas quantidades de veículos verificadas por dia e os correspondentes VDMs do tráfego que circulam em cada trecho de via no campus, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Máxima quantidade de veículos por dia e o VDM dos trechos da UEL.

TRECHOS	MÁXIMA QUANTIDADE DE VEÍCULOS NO DIA	VDM
A	414	4140
B	143	1430
C	133	1330
D	260	2600
E	75	750
F	153	1530
G	509	5090
H	286	2860
I	435	4350
J	229	2290
K	276	2760
L	22	220
M	282	2820
N	260	2600

Fonte: o próprio autor (2020)

Conforme o procedimento já descrito no item 6.5.2, os FHPs foram obtidos e são apresentados, juntamente com a correspondente classificação do tráfego e o tipo de tráfego de cada trecho analisado, na Tabela 12.

Tabela 12 – Características dos trechos de acordo com os valores de FHP.

TRECHO	VALOR DO FHP	CLASSIFICAÇÃO DO TRÁFEGO	TIPO DE FHP
A	0,93	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
B	0,89	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
C	0,92	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
D	0,93	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
E	0,85	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
F	0,89	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
G	0,98	Indica grande volume de tráfego (FHP > 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
H	1,13	Indica grande volume de tráfego (FHP > 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
I	1,05	Indica grande volume de tráfego (FHP > 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
J	0,94	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
K	1,22	Indica grande volume de tráfego (FHP > 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
L	0,92	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
M	0,93	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)
N	0,94	Não indica grande volume de tráfego (FHP < 0,95)	Urbano (FHP > 0,8)

Fonte: o próprio autor (2020)

Observa-se que os resultados do FHP demonstraram que os trechos com maior volume de tráfego foram os mesmos classificados como arteriais ao serem agrupados por meio do plano diretor municipal de Londrina – PR. Essa relação demonstra mais um indício de que a malha viária da UEL apresenta características semelhantes às de trechos urbanos.

7.4.2 Parâmetros Adotados para a Área “B” do ISP

Com relação ao indicador “B1”, que diz respeito à classificação da condição da superfície do pavimento analisado, afirma-se que esse critério do ISP variou de acordo com os resultados de cada método utilizado. Assim, cada uma das cinco

classificações consideradas neste trabalho tinham um peso correspondente a elas e que eram inseridos no ISP para gerar um valor final do índice.

Para um melhor entendimento, as classificações e as pontuações correspondentes, de acordo com cada método que foram utilizadas no ISP, estão expressas na Tabela 13.

Destaca-se que na mesma Tabela 13 o termo “ISP_1” significa que no indicador “B1” inserido dentro da área “B” do índice desenvolvido foram utilizados os dados do 1º ICP_subj_info_basica. Da mesma forma, os termos “ISP_2”, “ISP_3”, “ISP_4” e “ISP_5” indicam que em “B1” foram utilizados os dados do 2º ICP_subj_info_basica, 1º ICP_subj_esc_visual, 2º ICP_subj_esc_visual e avaliação objetiva (PCI), respectivamente.

Tabela 13 – Classificações dos trechos conforme o tipo de método usado.

TRECHO	ISP_1	ISP_2	ISP_3	ISP_4	ISP_5
A	R	REG	REG	REG	MR
B	B	B	B	B	B
C	R	R	REG	R	MR
D	R	R	R	R	MR
E	REG	REG	REG	B	REG
F	R	R	R	R	MR
G	R	R	REG	REG	MR
H	B	B	B	B	B
I	B	B	B	B	B
J	B	B	B	B	MB
K	REG	R	REG	REG	R
L	REG	REG	REG	REG	REG
M	B	B	B	B	MB
N	R	R	R	R	MR

Fonte: o próprio autor (2020)

Onde:

MR = classificação “muito ruim”;

R = classificação “ruim”;

REG = classificação “regular”;

B = classificação “bom”; e, MB = classificação “muito bom”.

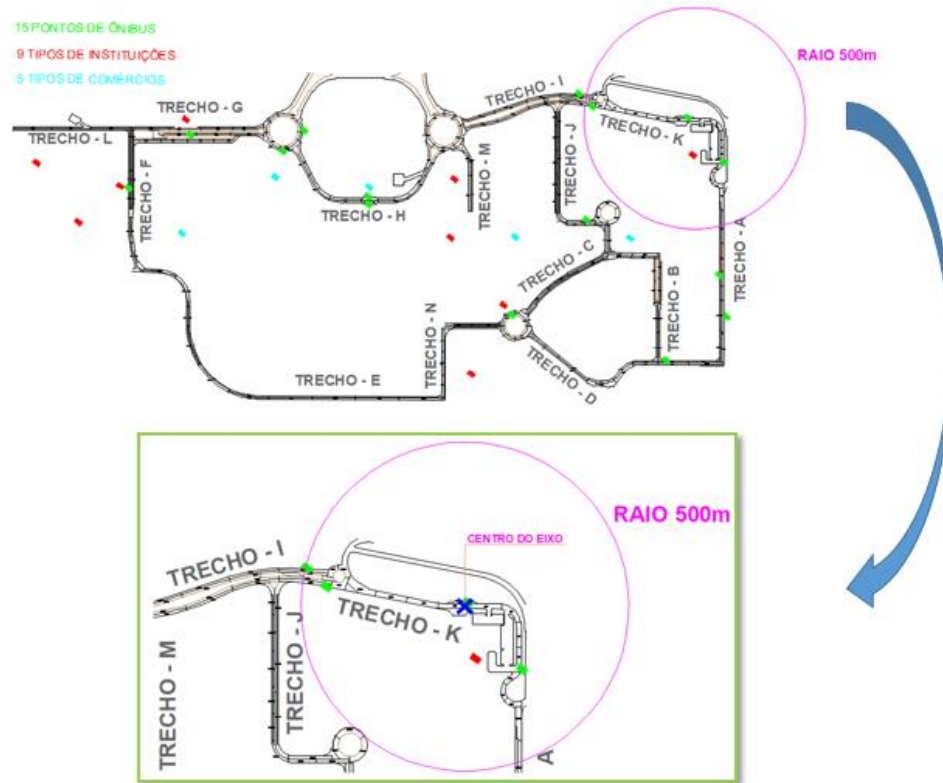
7.4.3 Parâmetros Adotados para a Área “C” do ISP

Os parâmetros adotados para os três indicadores da área “C”, sendo eles, os terminais, as instituições e os comércios próximos aos trechos das vias dentro do campus da UEL foram levantados ressaltando-se que para isso foi considerado um raio de abrangência de 500m a partir do centro do eixo de cada trecho, totalizando assim 15 pontos de ônibus, 9 tipos de instituições e 5 tipos de comércios dentro da UEL.

Afirma-se que, no caso deste trabalho, quanto ao número de terminais próximos a via, foi considerado apenas os pontos de ônibus, uma vez que dentro da UEL não há terminais. Quanto às instituições foram consideradas as existentes dentro da UEL, sendo elas, o banco, a escola, o museu, o ginásio, a biblioteca, o hospital, o hospital veterinário e a prefeitura. Com relação aos comércios, foram considerados também os existentes dentro da UEL, sendo eles, restaurantes e lanchonetes.

Na Figura 32 apresenta-se o mapa do campus com a localização dos locais observados, juntamente com um exemplo, do trecho “K”, demonstrando como quantificar esses elementos em um raio de 500m. É importante ressaltar que os pontos na cor verde indicam os terminais próximos ao trecho analisado, os pontos na cor vermelho indicam as instituições próximas ao trecho analisado e os pontos na cor azul indicam os comércios próximos ao trecho analisado.

Figura 32 – Mensuração do número de terminais, instituições e comércios.



Fonte: o próprio autor (2020)

Em resumo, na Tabela 14, são apresentadas as quantidades de terminais, instituições e comércios a um raio de proximidade igual a 500m a partir do centro do eixo de cada trecho analisado.

Tabela 14 – Número de terminais, instituições e comércios próximos.

TRECHO	Nº TERM. PRÓXIMOS	Nº INST. PRÓXIMAS	Nº COM. PRÓXIMOS
A	3	0	1
B	4	0	1
C	2	1	2
D	2	2	0
E	0	0	0
F	2	4	1
G	4	2	2
H	4	2	2
I	2	1	0
J	3	1	2
K	3	1	0
L	2	4	0
M	2	2	2
N	1	3	0

Fonte: o próprio autor (2020)

7.4.4 Parâmetros Adotados para a Área “D” do ISP

Os parâmetros adotados para a área “D” do ISP, relacionados aos custos, levaram em consideração os valores de manutenção atualizados pelo INCC que variaram de acordo com a condição dos trechos do pavimento analisado. Para cada método os resultados das notas e as classificações dos trechos foram diferentes, por isso, os custos acompanharam a condição da superfície da via de acordo com cada método em análise. Os custos variaram conforme demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Custos por m² adotados de acordo com a condição dos trechos.

CONDIÇÃO DO TRECHO	CUSTO EQUIVALENTE POR m ² (R\$)
Muito Bom	0
Bom	3
Regular	12
Ruim	19
Muito Ruim	38

Fonte: o próprio autor (2020)

Considerando estes custos como base para representar os valores de M&R dos trechos do pavimento da UEL de acordo com cada tipo de avaliação aplicada, fez-se a relação entre gastos, conforme pode-se observar na Tabela 16.

Tabela 16 – Custos (R\$) por m² dos trechos de acordo as avaliações.

TRECHO	PCI	1º ICP_	1º ICP_	2º ICP_	2º ICP_
		subj_info_basica	subj_esc_visual	subj_info_basica	subj_esc_visual
A	38	12	3	12	3
B	0	0	0	0	0
C	38	12	12	12	12
D	38	19	12	12	12
E	0	3	0	0	0
F	38	19	12	19	19
G	38	12	12	12	12
H	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0
K	19	12	3	12	3
L	3	3	0	3	3
M	0	0	0	0	0
N	38	12	12	12	12

Fonte: o próprio autor (2020)

7.4.5 Valores Correspondentes dos Níveis de Desempenho

Para testar o índice desenvolvido neste trabalho utilizou-se valores fixos resultantes do M-Macbeth para cada nível de desempenho em todas as áreas. É importante destacar que apenas o indicador “A2” relacionado ao VDM não possuiu valores fixos para seus níveis de desempenho visto que os números de veículos contabilizados variaram entre os níveis pré-estabelecidos. Desta forma, para encontrar os valores correspondentes dos níveis do indicador “A2” se fez necessário utilizar a equação já descrita no item 7.2.

Assim, os valores equivalentes para cada nível de desempenho de todos os indicadores do ISP são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores equivalentes dos níveis de desempenho dos indicadores.

INDICADOR	NÍVEL DE DESEMPENHO	VALOR EQUIVALENTE
A1	via arterial	100
	via coletora	0
	via local	-190
A2	5000	Usar a equação ($y = 0,04x + 20$), onde x = o valor de VDM
	2000	
	1000	
	500	
	100	
B1	muito ruim	120
	ruim	100
	regular	70
	bom	0
	muito bom	-30
C1	≥ 4	150
	3	100
	2	50
	1	0
	0	-200

	≥ 4	150
	3	100
C2	2	50
	1	0
	0	-350
	≥ 4	150
	3	100
C3	2	50
	1	0
	0	-350
	0	170
	3	100
D1	12	0
	19	-100
	38	-300

Fonte: o próprio autor (2020)

Sabe-se que na aplicação do ISP para a priorização dos trechos da UEL utilizou-se todos estes indicadores, logo, em todos os trechos analisados se obteve uma pontuação proveniente destes valores correspondentes dos níveis de desempenho. Ao resultado de cada trecho, então, fez-se a normalização do valor para o mesmo variar de 0 a 100.

Por exemplo, o trecho “A” que apresentou via do tipo local, VDM igual a 4140, condição de via ruim, 3 terminais, 0 instituições, 1 comércio e custo de manutenção igual a R\$ 19,00/m², resultou pelo ISP uma pontuação igual a 70,81 que ao ser normalizada passou a ter uma pontuação final de 74,90, logo, foi classificado como um trecho regular.

7.4.6 Ordem de Priorização e Valores Finais do ISP para Cada Trecho

Os parâmetros adotados para as quatro áreas do ISP deram embasamento para que o índice gerasse resultados. Desta maneira, os resultados provenientes destes dados, podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 18 – Pontuações dos trechos de acordo com cada tipo de avaliação.

Ordem de Prioridade	Pontuação	Pontuação	Pontuação	Pontuação	Pontuação (PCI)
	(1º ICP_subj_info_ basica)	(2º ICP_subj_info_ basica)	(1º ICP_subj_esc_ visual)	(2º ICP_subj_esc_ visual)	
1º	53,54	53,54	53,54	47,84	53,54
2º	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13
3º	60,65	60,65	60,65	60,65	60,65
4º	67,67	67,67	67,53	67,67	65,45
5º	69,51	69,51	67,67	69,51	67,37
6º	69,59	69,59	69,59	69,59	69,76
7º	72,92	72,92	72,92	72,92	72,92
8º	72,99	72,92	72,92	72,92	73,23
9º	73,51	72,99	72,99	72,99	73,69
10º	73,69	73,51	73,51	73,51	73,75
11º	74,49	73,69	73,69	73,69	74,73
12º	74,90	74,49	74,49	74,49	75,15
13º	76,25	78,23	76,25	76,25	78,23
14º	85,93	85,93	83,95	83,95	86,17

Fonte: o próprio autor (2020)

Para complementar as pontuações de acordo com cada tipo de avaliação realizada neste trabalho, é apresentado na Tabela 19 os respectivos trechos em ordem crescente de priorização.

Tabela 19 – Trechos em ordem de prioridade de acordo as avaliações.

Ordem de Prioridade	Pontuação	Pontuação	Pontuação	Pontuação	Pontuação (PCI)
	(1º ICP_subj_info_ basica)	(2º ICP_subj_info_ basica)	(1º ICP_subj_esc_ visual)	(2º ICP_subj_esc_ visual)	
1º	E	E	E	E	E
2º	L	L	L	L	L
3º	B	B	B	B	B
4º	M	M	C	M	M
5º	C	C	M	C	J
6º	J	J	J	J	C
7º	I	I	I	I	I
8º	N	A	A	A	N
9º	D	N	N	N	H
10º	H	D	D	D	D
11º	F	H	H	H	F
12º	A	F	F	F	A
13º	K	K	K	K	K
14º	G	G	G	G	G

Fonte: o próprio autor (2020)

7.5 VALIDAÇÃO DO ISP

Para validação do ISP foram comparadas trinta situações envolvendo este índice, sendo que no critério da condição da superfície dos trechos do pavimento da UEL foram alternadas as pontuações resultantes das avaliações subjetivas e objetiva (PCI). Na apresentação dos testes estatísticos realizados, pode-se observar, na Tabela 20, as comparações que foram feitas neste trabalho, bem como seus resultados do p-valor e suas respectivas decisões quanto a rejeição ou não de H0.

Tabela 20 – Resultados do teste de Mann-Whitney para as comparações.

Grupo	Nº da Comparação	Comparação	p-valor	Decisão de H0
G1	1	CT1 x CT3	0	Rejeita H0
	2	CT1 x CT4	0	Rejeita H0
	3	CT1 x CT5	0	Rejeita H0
	4	CT1 x CT6	0	Rejeita H0
	5	CT1 x CT7	0	Rejeita H0
	6	CT1 x CT8	0,03	Rejeita H0
G2	7	CT2 x CT3	0	Rejeita H0
	8	CT2 x CT4	0	Rejeita H0
	9	CT2 x CT5	0	Rejeita H0
	10	CT2 x CT6	0	Rejeita H0
	11	CT2 x CT7	0	Rejeita H0
	12	CT2 x CT8	0,03	Rejeita H0
G3	13	CT9 x CT3	0	Rejeita H0
	14	CT9 x CT4	0	Rejeita H0
	15	CT9 x CT5	0	Rejeita H0
	16	CT9 x CT6	0	Rejeita H0
	17	CT9 x CT7	0	Rejeita H0
	18	CT9 x CT8	0,03	Rejeita H0
G4	19	CT10 x CT3	0	Rejeita H0
	20	CT10 x CT4	0	Rejeita H0
	21	CT10 x CT5	0	Rejeita H0
	22	CT10 x CT6	0	Rejeita H0
	23	CT10 x CT7	0	Rejeita H0
	24	CT10 x CT8	0,03	Rejeita H0
G5	25	CT11 x CT3	0	Rejeita H0
	26	CT11 x CT4	0	Rejeita H0
	27	CT11 x CT5	0	Rejeita H0
	28	CT11 x CT6	0	Rejeita H0
	29	CT11 x CT7	0	Rejeita H0
	30	CT11 x CT8	0,03	Rejeita H0

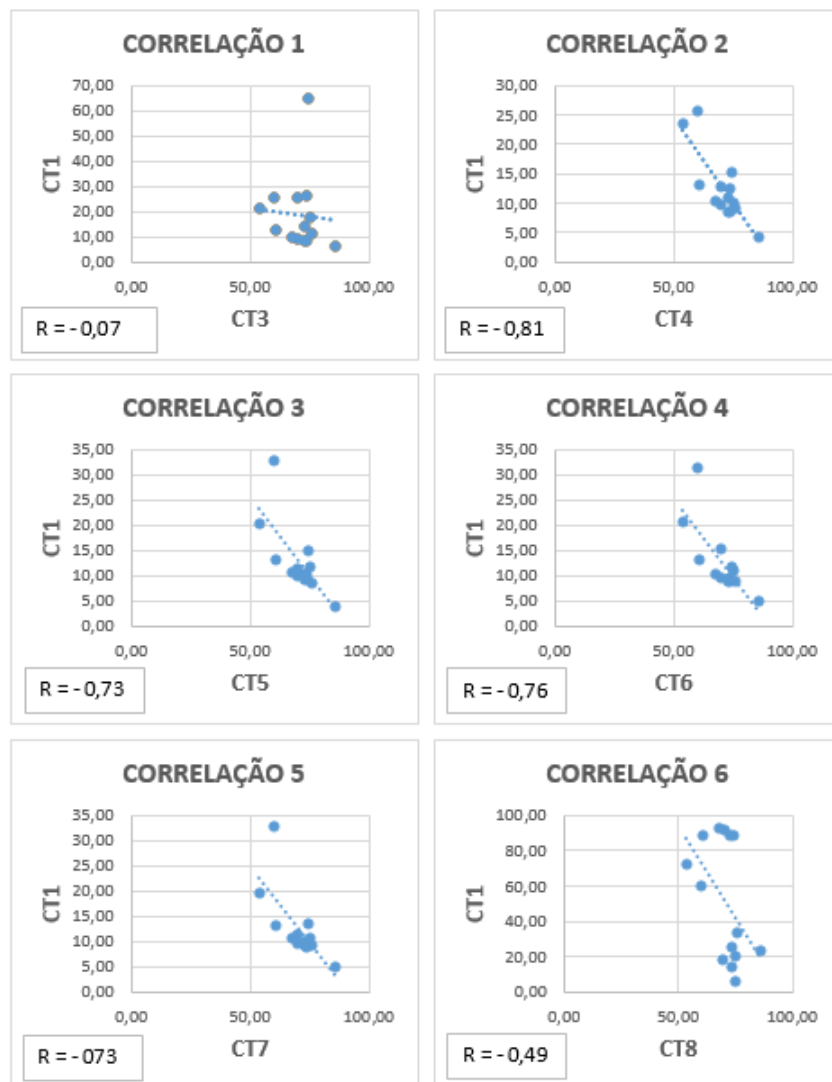
Fonte: o próprio autor (2020)

Nota-se que em todas as comparações realizadas a alternativa estatística, p-valor, resultou em um número menor que 0,05 provocando a rejeição de H0. Isso significa que, conforme já apresentado no item 6.5.2, todas as alternativas que a princípio foram consideradas como verdadeiras (H1), de fato demonstraram sua veracidade após aplicação do teste estatístico de Mann-Whitney.

Em outras palavras pode-se afirmar que o método do ISP é mais indicado para priorização de pavimentos do que o método do PCI, bem como o método ISP gera um valor numérico com mais precisão do que o de Tavakoli.

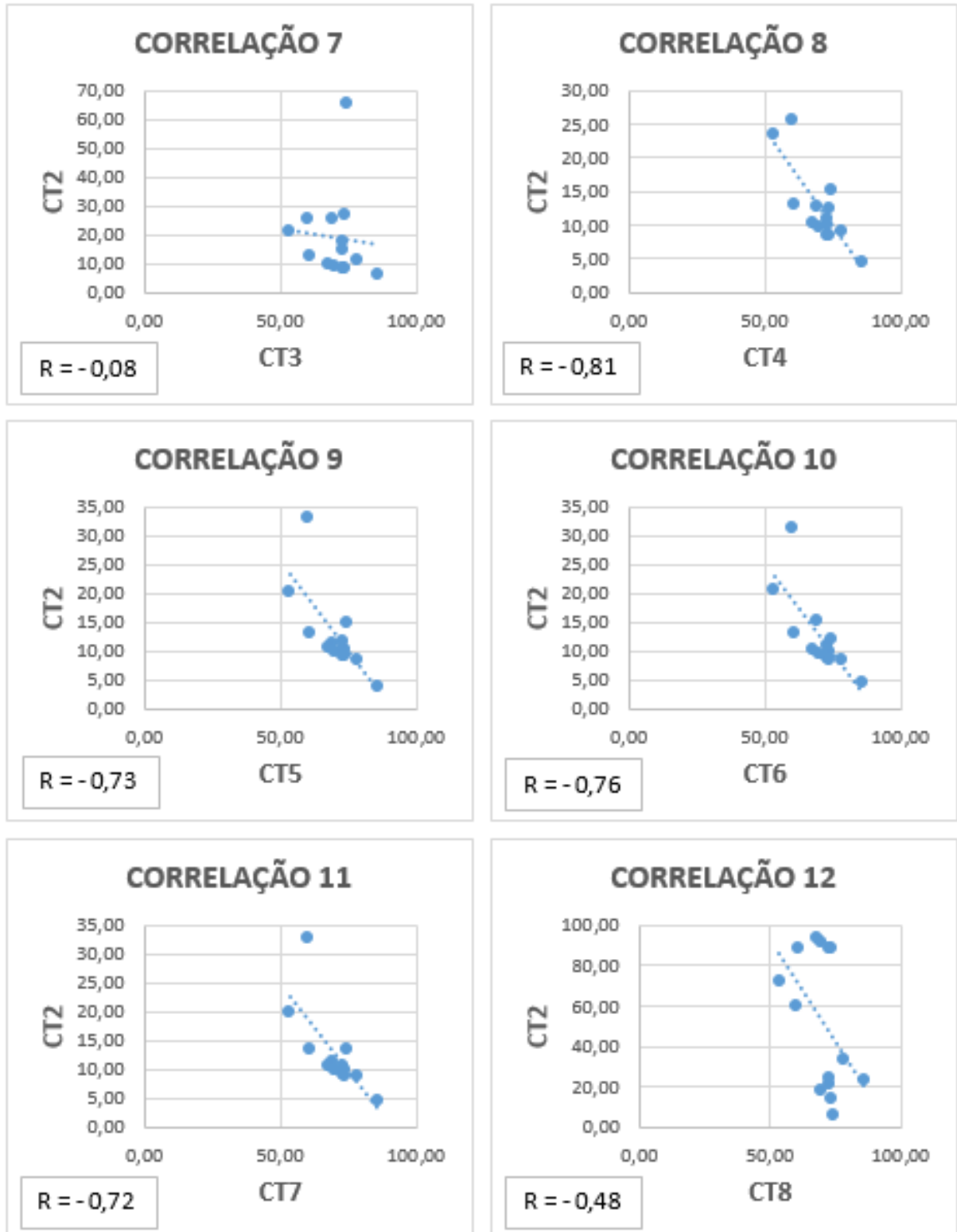
Para uma melhor representação das correlações que também foram realizadas nesta pesquisa, são apresentadas as Figuras 33 a 37 que demonstram a relação entre as pontuações resultantes das comparações feitas para cada grupo.

Figura 33 – Correlações das comparações do grupo 1.



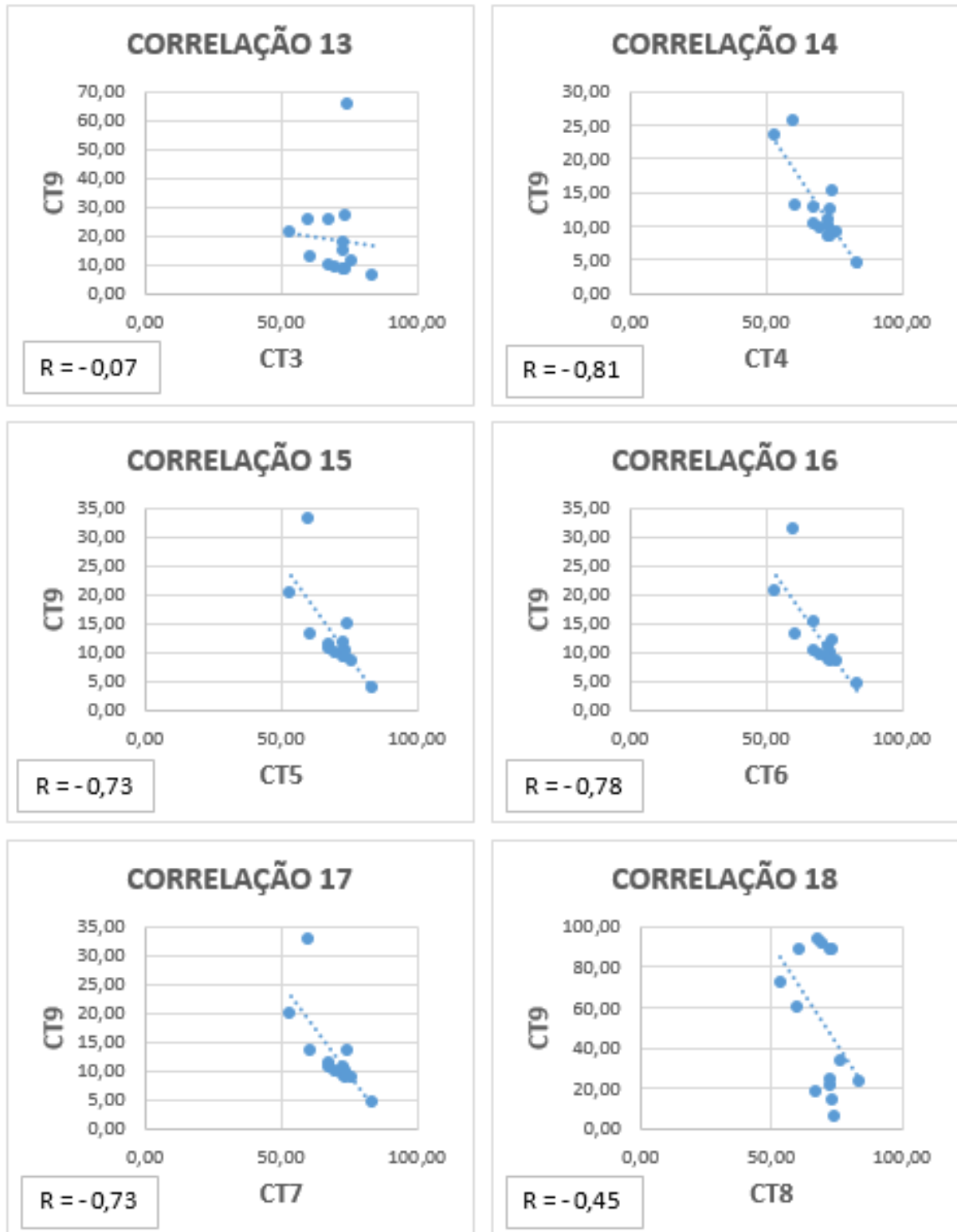
Fonte: o próprio autor (2020)

Figura 34 – Correlações das comparações do grupo 2.



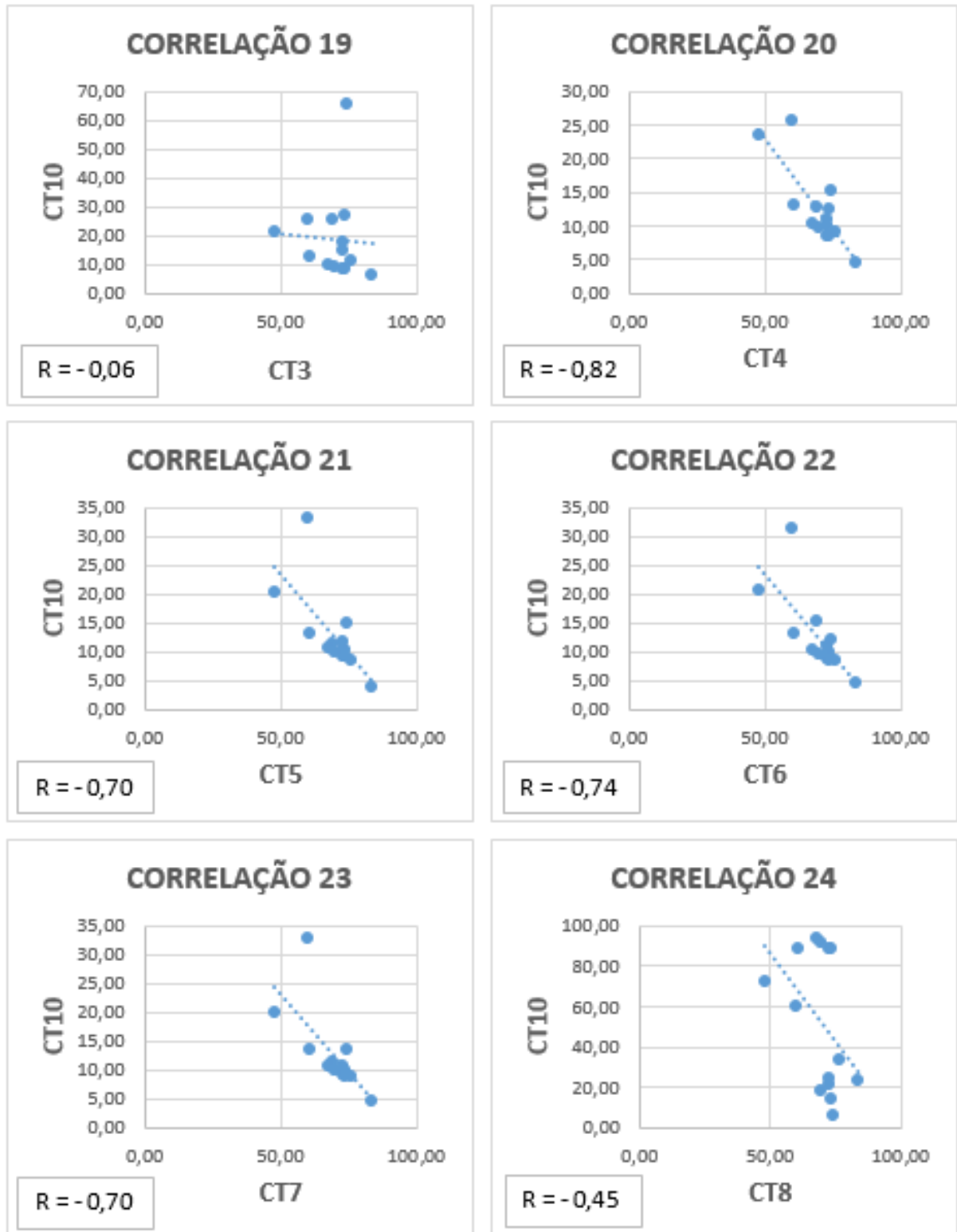
Fonte: o próprio autor (2020)

Figura 35 – Correlações das comparações do grupo 3.



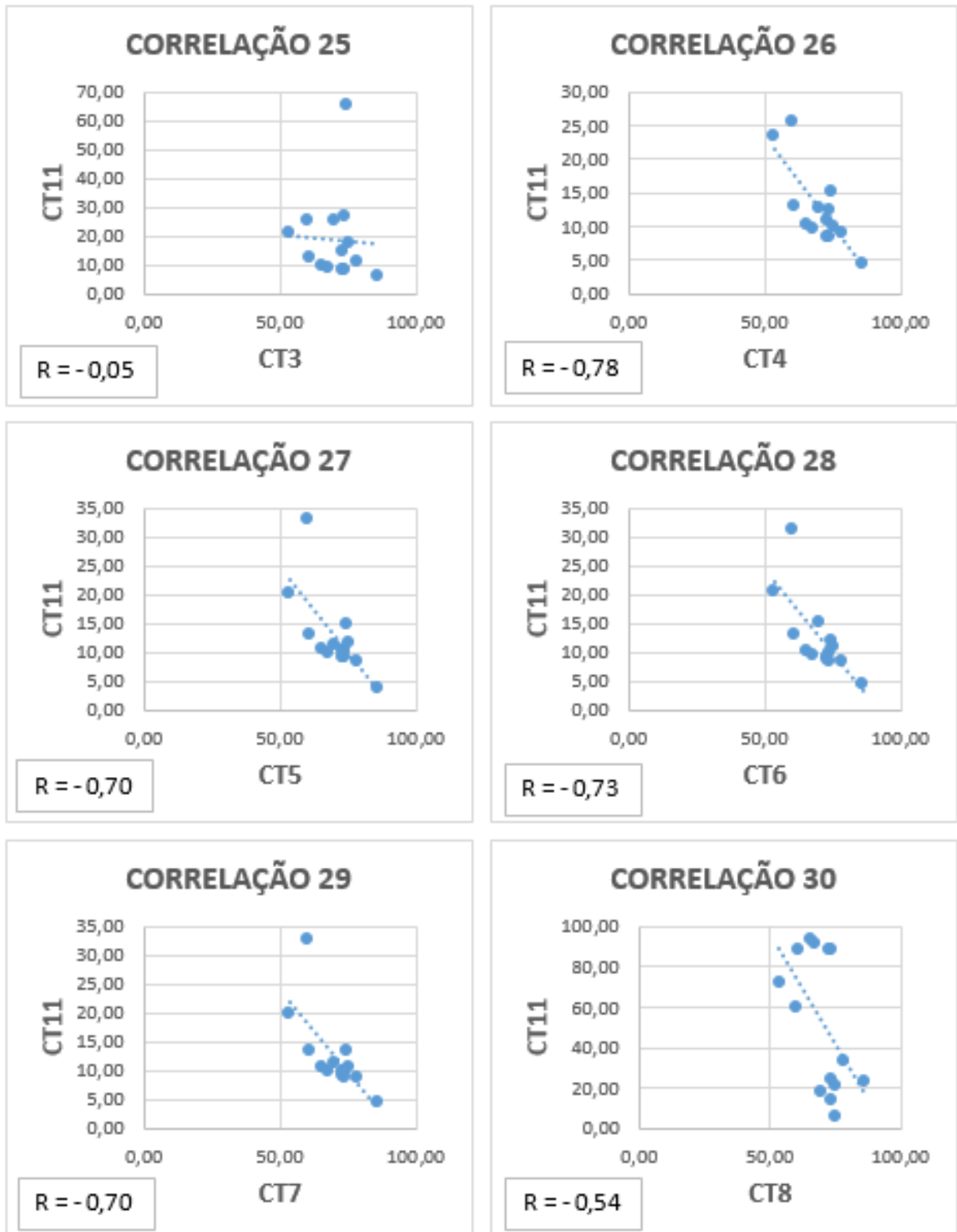
Fonte: o próprio autor (2020)

Figura 36 – Correlações das comparações do grupo 4.



Fonte: o próprio autor (2020)

Figura 37 – Correlações das comparações do grupo 5.



Fonte: o próprio autor (2020)

Com base nos resultados das correlações apresentados, nota-se que os valores entre os cinco grupos são semelhantes quando comparados entre si. Ainda é possível observar que todas as correlações geraram números negativos, significando que as variáveis são alternadas em sentidos opostos quando comparadas entre os dois grupos de priorização de vias para cada combinação ocorrida.

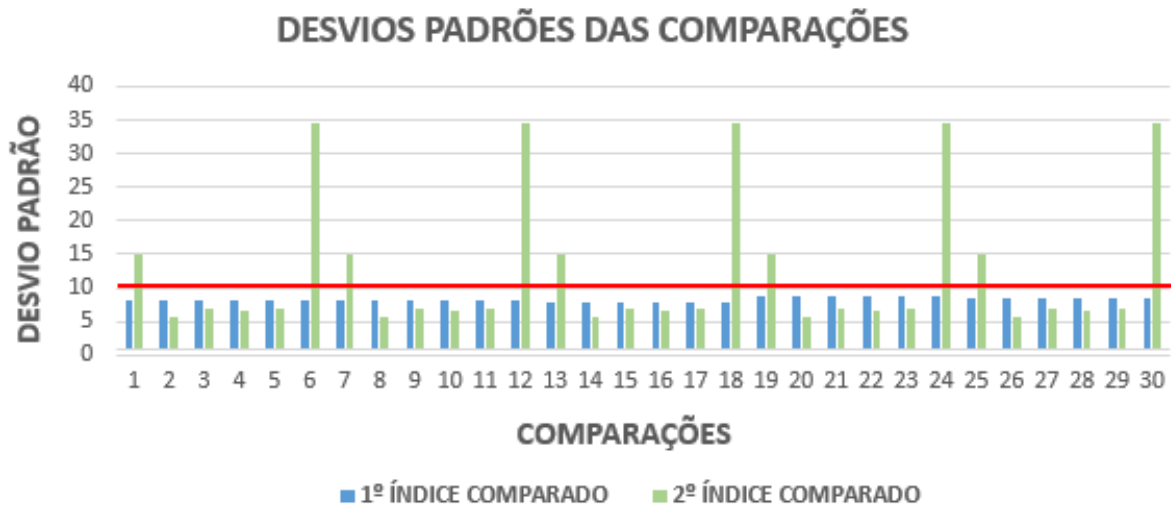
Ainda, seguindo as orientações de Callegari-Jacques (2003) afirmando que os valores de R inferiores a 0,3 indicam uma correlação fraca, valores de R igual ou acima de 0,3 e inferiores a 0,6 indicam uma correlação moderada e valores de R igual ou acima de 0,6 a 1,0 indicam uma correlação forte ou muito forte, é possível afirmar que 17% das combinações demonstraram correlação fraca, 17% indicaram correlação moderada e 66% indicaram correlação forte entre os métodos de priorização de vias ocorridos em cada comparação neste trabalho.

Com base nos resultados das correlações notou-se ainda que todas as comparações que apresentaram correlação fraca tinham em comum em cada comparação o método de Tavakoli utilizando dados do PCI. Da mesma maneira, todas as comparações que apresentaram correlação moderada tinham em comum em cada comparação o método do PCI. Assim, verificou-se que os resultados provenientes de alguma maneira dos dados relacionados com o PCI não geram melhores resultados para priorização de trechos do que quando se utiliza o ISP.

Em contrapartida, com base nos resultados das comparações que geraram correlações fortes, notou-se que elas tinham em comum em cada comparação a utilização da escala subjetiva. Ainda se destaca que as maiores correlações para priorização das vias ocorreram nas comparações que não tinham a escala visual nas avaliações subjetivas.

Complementando as análises estatísticas, fez-se os cálculos dos desvios padrões das trinta comparações realizadas, como demonstrado na Figura 38. É importante destacar que nesta análise foi levado em consideração, conforme recomendado por Fontenele, Silva Júnior e Piton (2007), Pereira *et al.* (2013) e Pereira (2019), que até uma linha de 10% é considerado aceitável para o valor do desvio padrão.

Figura 38 – Desvios padrões das comparações realizadas.



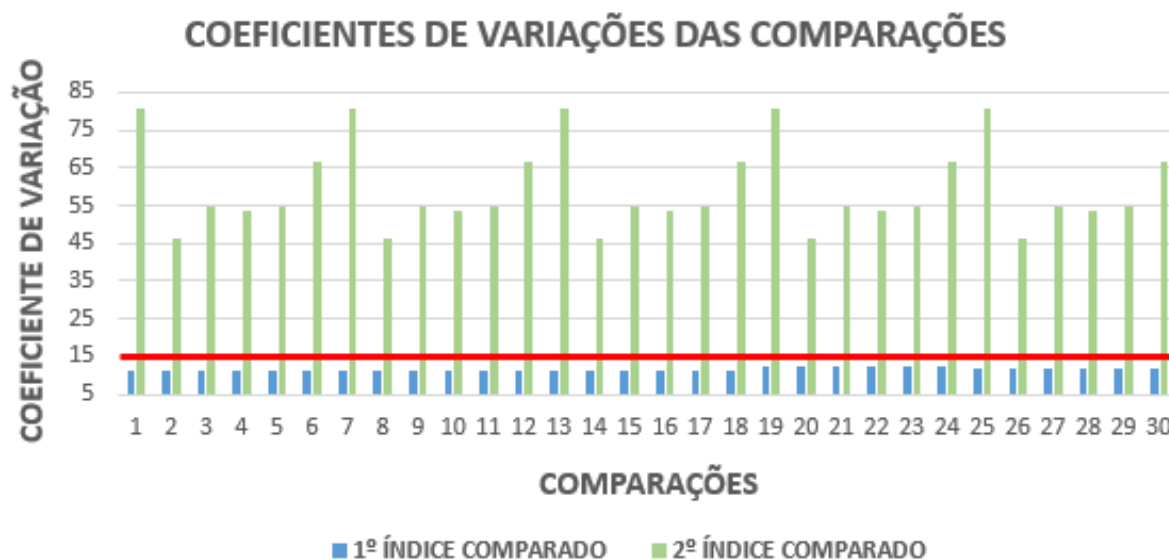
Fonte: o próprio autor (2020)

Levando em consideração o limite aceitável de 10% para o desvio padrão, pode-se afirmar que de forma isolada todos os resultados dos primeiros índices de priorização de vias (na cor azul), que foram provenientes do ISP utilizando dados de todos os tipos das avaliações subjetivas, resultaram em um valor de desvio padrão aceitável. Da mesma forma isolada de análise, ao comparar somente os resultados dos segundos índices (na cor verde), que foram provenientes dos métodos do PCI e de Tavakoli, é possível afirmar que 67% deles apresentaram um desvio padrão aceitável.

Enquanto que em uma análise pareada de cada uma das 30 comparações realizadas, notou-se que 33% ou dez das trinta comparações feitas, apresentaram pelo menos um dos índices de priorização resultando em um desvio padrão acima dos 10% aceitável. É importante destacar que os desvios padrões das comparações que apresentaram valores acima do aceitável tinham alguma relação com os dados provenientes do PCI.

De forma semelhante aos estudos realizados com o desvio padrão, fez-se as análises considerando os coeficientes de variações entre as comparações realizadas neste trabalho. As análises foram baseadas no que é representado na Figura 39.

Figura 39 – Coeficientes de variações das comparações realizadas.



Fonte: o próprio autor (2020)

Para analisar os dados dos coeficientes de variação das comparações realizadas neste trabalho é importante destacar primeiro que foi levado em conta a recomendação de Ferreira (1991), onde afirma-se que valores inferiores a 15% são considerados de baixa dispersão e apresentam dados homogêneos com uma ótima precisão quanto ao coeficiente de variação.

Levando em consideração o valor de ótima precisão inferior a 15% para o coeficiente de variação, pode-se afirmar que, de forma isolada todos os primeiros índices de priorização de vias (na cor azul) resultaram em um valor de coeficiente de variação com ótima precisão. Da mesma forma isolada de análise, ao comparar somente os valores dos segundos índices (na cor verde) é possível afirmar que todos eles apresentaram um coeficiente de variação acima do recomendado e indicado como sendo de ótima precisão.

Já em uma análise pareada considerando cada uma das trinta comparações, notou-se que novamente todas elas não resultaram em um coeficiente de variação com ótima precisão. Sendo assim, sabendo que os primeiros índices de priorização de todas as trinta comparações, na cor azul, são referentes aos resultados provenientes do ISP, pode-se afirmar que somente eles apresentaram uma ótima precisão. Enquanto os demais índices de priorização, na cor verde, sendo eles um conjunto de valores provenientes do método de Tavakoli e do método do PCI demonstraram não ter uma ótima precisão quanto ao coeficiente de variação.

7.6 RESULTADOS DAS PRIORIZAÇÕES DE ACORDO COM O MÉTODO APLICADO

Com base nas notas atribuídas, conforme observado no item 7.3, fez-se a priorização dos trechos considerando apenas os ICPs obtidos pelos procedimentos objetivo e subjetivo. Na Tabela 21 esta ordem de prioridades é apresentada.

Tabela 21 – Ordem de priorização dos trechos conforme o tipo de avaliação.

ORDEM	TRECHOS				
	PCI	1º ICP_subj.		2º ICP_subj.	
		(Painel _{info_básica})	(Painel _{escala_visual})	(Painel _{info_básica})	(Painel _{escala_visual})
1º	F	F	F	F	F
2º	D	D	D	D	N
3º	C	N	N	N	D
4º	A	G	C	K	C
5º	G	C	G	C	G
6º	N	A	A	G	K
7º	K	K	K	A	A
8º	L	L	L	L	L
9º	E	E	E	E	E
10º	I	J	J	I	I
11º	H	B	B	J	B
12º	B	I	I	H	J
13º	J	M	M	M	H
14º	M	H	H	B	M

Fonte: o próprio autor (2020)

Observando a ordem de priorização dos trechos de acordo com o tipo de avaliação objetiva e subjetivas (1ª e 2ª avaliação), pode-se notar que o ICP_{subj_esc_visual}, independentemente da ordem da avaliação, demonstrou ter um maior número de trechos na mesma posição de prioridade quando comparado com o método do PCI do que se comparar o PCI com o ICP_{subj_info_básica}.

Assim, é possível afirmar que o método da avaliação subjetiva pode ser uma maneira simplificada para conhecer a prioridade dos trechos de um pavimento tendo em vista a maior complexidade de obtenção pelo método objetivo. Porém, como pôde ser observado nos resultados, recomenda-se que essa avaliação subjetiva seja apoiada por uma escala visual de referência.

8 CONCLUSÕES

De modo geral, concluiu-se que a realização de um *brainstorming*, bem como a utilização de uma metodologia construtivista para desenvolver o ISP demonstraram que a opinião em consenso, por meio de diálogos entre diferentes especialistas da área que possuem diversas opiniões, gerou um índice válido. É importante destacar que ele abrangeu as principais considerações dos avaliadores criando assim um índice prático, econômico, eficiente e confiável para ser utilizado por gestores públicos na M&R das vias pavimentadas de qualquer cidade.

Com relação aos estudos bibliográficos sobre a priorização de vias pavimentadas urbanas, notou-se que existem diferentes métodos descritos e pesquisas já desenvolvidas sobre este tema. As pesquisas já desenvolvidas sobre esse assunto, tanto nacionais quanto internacionais aplicam normalmente um processo de priorização complexo, com muitos critérios e procedimentos que excluem a praticidade da atividade. Essa constatação, norteou e sustentou o objetivo principal desta pesquisa que foi alcançado por meio da criação do ISP.

Quanto à ordem de priorização dos trechos, pôde-se concluir que ao comparar as pontuações da avaliação objetiva (PCI) com as avaliações subjetivas, 43% dos trechos se mostraram na mesma ordem de prioridade ao comparar o PCI com o ICP_subj_esc_visual. Enquanto que, ao comparar o PCI com o ICP_subj_info_basica, a porcentagem de trechos na mesma ordem de prioridade foi menor. Isso demonstra a importância de se utilizar a escala visual nas avaliações subjetivas. Tendo em vista que quase metade dos trechos nesta comparação ficaram na mesma ordem de prioridade é importante ressaltar que o método subjetivo com escala visual pode ser uma alternativa válida e mais simples do que o PCI para se utilizar na priorização de trechos das vias urbanas.

Complementando estatisticamente a validade do índice gerado, o teste de Mann-Whitney mostrou que o método do ISP é mais indicado para priorizar trechos de vias urbanas do que o método do PCI. Da mesma forma, o teste demonstrou que o método do ISP gera valores com maior precisão do que quando utilizado o método de Tavakoli. Estes resultados demonstram que o PCI, apesar de poder ser utilizado como um método de priorização, foi primordialmente desenvolvido para determinar a condição do pavimento. Além disso, no método do PCI se leva em consideração apenas os defeitos na superfície do pavimento e não as demais características

relacionadas às vias (tipo, localização, entre outros fatores), deixando-o um método mais restrito. Da mesma maneira o método de Tavakoli não leva em consideração todos os critérios que o ISP considera.

Ainda relacionando estatisticamente os métodos do ISP, Tavakoli e PCI concluiu-se que ao compará-los foi possível notar uma alta correlação, porém, com valores negativos. Isso significa que a correlação é inversa ou, em outras palavras, os métodos comparados apresentam uma relação contrária quanto a forma de priorizarem os trechos. Este resultado se deve ao fato que o método de Tavakoli prioriza os trechos de forma que quanto maior o resultado numérico maior também será a prioridade do trecho. Já os métodos do ISP e do PCI priorizam de forma que quanto maior o resultado numérico menor será a prioridade do trecho.

As correlações entre estes métodos nas comparações realizadas, demonstraram ainda que as menores correlações apareceram onde o PCI estava de alguma forma presente, como por exemplo, ao comparar o ISP com o $IP_{Tavakoli_PCI}$ e IP_{PCI} . Uma das hipóteses para estas correlações serem baixas é o fato de que o PCI determina principalmente a condição da via, enquanto o ISP foi desenvolvido exclusivamente para priorizar as vias.

Por ter sido criado com esta finalidade, o ISP leva em consideração fatores além da avaliação superficial de um trecho de via, ou seja, considera também aspectos diretos ou indiretos relacionados ao seu entorno (tipo de via, locais próximos e custos de manutenção), por isso, o método do ISP, quando comparado com o PCI ou com o método de Tavakoli, representa melhor a importância e/ou a necessidade de M&R que um trecho de pavimento apresenta.

Apesar do PCI ser passível de priorizar trechos, ele mais uma vez demonstrou nas comparações, por meio do desvio padrão, que seus valores estão acima do considerado aceitável. Além disso, o coeficiente de variação, outro dado estatístico, mostrou que os resultados provindos do ISP, independentemente dos dados que a ele estavam inseridos no critério da condição do trecho, apresentaram valores com ótimas precisões. Enquanto os resultados provindos do IP_{PCI} e do $IP_{Tavakoli}$ não apresentaram valores com ótimas precisões.

Com base em todos estes resultados, pode-se afirmar que o ISP se mostrou válido e prático, sendo então indicado como uma ferramenta de priorização de vias urbanas nas atividades de M&R, bem como é indicado para ser utilizado por gestores públicos. Recomenda-se apenas que, para este índice gerar resultados de forma mais

fácil e ao mesmo tempo com eficácia, ele seja aplicado utilizando os dados provenientes de uma avaliação subjetiva com uso de escala visual de referência. Além disso, a equipe responsável por fazer a avaliação em campo deve ser composta por especialistas conhecedores do assunto e devidamente nivelados quanto ao que consideram como uma condição boa ou ruim dos trechos a serem avaliados.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Fernando Silva. **Sistema de gerência de pavimento para departamentos de estradas do nordeste brasileiro**. 2007.

ALBUQUERQUE, Tairone Paz. *et al.* Análise comparativa de índices para avaliação da condição de pavimento urbanos. In: **Anais** do XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte. 2017. p. 1176-1187.

ALMEIDA, Ricardo Venescau de Oliveira. **Concepção de modelos de avaliação de condições de rolamento e indicação de priorização de vias como etapas de um sistema de gerência de vias não pavimentadas**. 2006. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

ALVES, Karine da Rocha; SANTAREM, Luciano Moisés Sippert. Análise Técnica-Econômica com Aplicação do HDM-4 na Gestão da Manutenção Rodoviária. In: Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, 2015, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2015. p. 1-18.

ANDRADE, Gustavo Naciff. **Utilização do método multicritério Macbeth para agregar os outputs em análise envoltória de dados**. 98 f. 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal Fluminense, Niterói.

APS, Marcia; BALBO, José Tadeu; SEVERI, Andréa Arantes. **Avaliação superficial de pavimentos asfálticos em vias urbanas utilizando o método do PCI**. ABPv. REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. São Paulo, v. 31, 1998.

ARUEIRA, André de Brito. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Transportadores**. 2014. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D6433-18 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys**, 2018.

BECKER, Virgínia Esther Gueller. **Aplicação do modelo de Tavakoli para gerência de manutenção de pavimentos em cidade de médio porte**. 2008. 155 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BODI, Janos; BALBO, José Tadeu. Modelos para Priorização de Serviços de Manutenção de Pavimentos Urbanos. **31ª Reunião Anual de Pavimentação**, São Paulo, 1998.

BRASIL. **Lei nº 12.237**, de 29 de janeiro de 2015. Dispõe sobre o Sistema Viário Básico do Município de Londrina e dá outras providências. Disponível em: <<https://www1.cml.pr.gov.br/leis/2015/web/LE122372015consol.html>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

BORTOLUZZI, Sandro César; ENSSLIN, Sandra Rolin; ENSSLIN, Leonardo. A Contribuição da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista (MCDA-C) na Avaliação de Desempenho Econômico-financeiro da Empresa Seprol Computadores e Sistemas Ltda. In: Congresso Brasileiro de Custos, 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2009. p. 1-16.

CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: **Artemed**, 2003. 255p.

CAREY, W. Irick. The Pavement Serviceability Performance Concept. **Highway Research Bulletin**, v. 250, 1960.

COSTA, Carlos A. Bana; CORTE, Jean-Marie; VANSNICK, Jean-Claude. MACBETH. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 11, n. 2, p. 359-387, 2012.

COSTA, Carlos Antonio Bana; MEZA, Lidia Angulo; OLIVEIRA, Monica Duarte. O método MACBETH e aplicação no Brasil. **Engvista**, v. 15, n. 1, p. 3-27, abr. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Estudos de Tráfego**, Rio de Janeiro, 2006.

DURÁN, Jorge Braulio Cossío; FERNANDES JÚNIOR, José Leomar. **Avaliação do Método PCI e do Programa PAVEAIR para a Gerência de Pavimentos Aeroportuários**. In: Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, 2015, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2015. p. 1-18.

DUTRA, Ademar *et al.* O uso da metodologia multicritério de apoio à decisão construtivista–MCDA-C para a incorporação da dimensão integrativa nos processos de avaliação de desempenho organizacional. In: Encontro de Administração da Informação, v. 1, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2007.

ENSSLIN, Leonardo *et al.* Avaliação Do Desempenho De Empresas Terceirizadas Com O Uso Da Metodologia Multicritério De Apoio À Decisão – Construtivista. **Pesquisa Operacional**, v.30, n.1, p.125-152, 2010.

FEE - Fundação de Economia e Estatística – **Atualização de Valores**, 2020.

FERREIRA, P.V. **Estatística Experimental Aplicada à Agronomia**. Maceió. UDUFAL. 1991. 440p.

FERNANDES, Fernando Manuel Lopes da Silva; ODA, Sandra; GUERINI, Julia Furtado. Software de gerenciamento de pavimentos aplicado a vias urbanas de cidades de pequeno a médio porte. **Cadernos Zygmunt Bauman**, v. 8, n. 18, p. 232-351, 2018.

FERNANDES, Floriano Augusto de Toledo. **Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento para conservação do pavimento de vias urbanas, através de um sistema de informações geográficas (SIG)**. 2011. 99 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2011.

FIALHO, Paloma Cruz Gentil. **Validação de resultados do inventário funcional de pavimentos flexíveis com o emprego do equipamento pavement scanner**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FONTENELE, H. B.; SILVA JÚNIOR, C. A. P.; PITON, C. L. Análise De Coerência de Avaliações Subjetivas. **Synergismus Scientifica UTFPR**, v. 2, p. 12-18, 2007.

FONTENELE, H. B; FERNANDES JÚNIOR, J.L. Desenvolvimento de um Instrumento para Avaliação da Condição de Estradas não Pavimentadas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, n. 1, p. 11-21, 2013.

GOLROO, A.; TIGHE, S. L. Developing an Overall Combined Condition Index for Pervious Concrete Pavements Using a Specific Panel Rating Method. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board** nº 2153, p.40-48, 2010.

HANSEN, Aline. **Aplicação de um SIG em Sistema de Gerência de pavimentos para a cidade de Maringá**. Defesa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, 2008.

HARTGEN, D. T.; SHUFON, J.J.; PARRELLA, F. T.; KOEPPPEL, K. W. P. Visual Scales of Pavement Condition: Development, Validation, and Use. **Transportation Research Record** nº 893, p.1-6, 1982.

HORTA, Carlos Santinho *et al.* O Sistema de Gestão de Conservação de Pavimentos da Estradas de Portugal, SA–Balanço de uma Implementação Consolidada. **Proceedings of the 7th Portuguese Road Congress**, Lisbon, 2013.

IGNÁCIO, L. F. S.; PEREIRA, L. A.; PALMA, L. C. R.; SILVA JÚNIOR, C. A. P.; FONTENELE, H. B.. Análise da Estabilidade de uma Escala Visual na Avaliação de Pavimentos. In: XXXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (XXXII ANPET), 2018, Gramado - RS. **Anais** do XXXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - 2018. Rio de Janeiro - RJ: ANPET, 2018.

LIMA, Francisca Rogeria da Siva *et al.* Aplicação da Ferramenta M-Macbeth na Análise Multicritério do Reaproveitamento do Óleo de Cozinha. In: **Anais** do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). 2015.

LIMA, Josiane Palma. **Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos**. 2007. 234 f. Tese de Doutorado. (Engenharia Civil com Ênfase em Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

LIMA, Josiane Palma; RAMOS, Rui António Rodrigues; JÚNIOR, José Leomar Fernandes. Priorização de pavimentos com o uso da metodologia de análise multicritério e SIG. **Engevista**, v. 10, n. 2, 2008.

LIMA, Josiane Palma; RAMOS, Rui António Rodrigues; JÚNIOR, José Leomar Fernandes. Uma abordagem multicritério para a priorização de vias pavimentadas. **Transportes**, v. 17, n. 1, p. 27-38, jun. 2009.

LONGARAY, André Andrade; CAPRARIO, Guillermo Ney; ENSSLIN, Leonardo. **Análise de decisão multicritério: um caso empregando o MACBETH**. 2010.

MACHADO, Denise Maria Camargo. (2013). **Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de gerência de pavimentos flexíveis**. 126 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MACHADO, Tiago Pereira Santos de Oliveira; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolin. Desenvolvimento de produtos usando a abordagem MCDA-C. **Production**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 542-559, jul./set. 2015.

MARCELINO, Pedro *et al.* Development of a Multi Criteria Decision Analysis Model for Pavement Maintenance at the Network Level: Application of the MACBETH Approach. **Frontiers in Built Environment**, v. 5, 2019.

MIRANDOLA, Marco Aurelio; COELHO, Wladimir; OLIVEIRA, Ana Elisa Alencar Silva. GESTÃO DE MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EM VIAS URBANAS. **COGNITIO/PÓS-GRADUAÇÃO UNILINS**, Lins, v. 1, n. 7, p. 1-22, 2016.

MOAZAMI, Danial; BEHBAHANI, Hamid; MUNIANDY, Ratnasamy. Pavement rehabilitation and maintenance prioritization of urban roads using fuzzy logic. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 10, p. 12869-12879, 2011.

MOTA, Ítalo Ponte Der Hovannessian; DE OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda; DE AGUIAR, Marcos Fábio Porto. Verificação multicritério das condições físicas para a segurança operacional aeroportuária. **Transportes**, v. 24, n. 2, p. 21-26, maio 2016.

MUNIZ, Maria Águeda Pontes Caminha. **O Plano Diretor como Instrumento de Gestão da Cidade**: O caso da Cidade de Fortaleza/CE. 2006. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

Noções Básicas de Engenharia de Tráfego. Equipe Técnica Coordenada por Edson Paulo Filizzola. São Paulo, Companhia de Engenharia de Tráfego. 1977. 128 p. II. (Série: **Boletim Técnico da CET nº 5**).

NORMA DNIT-006/2003 – PRO – **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos**. Procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

NORMA DNIT-009/2003 – PRO – **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos**. Procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

NUNES, Diego Frinhani. **Procedimento para análise de sensibilidade do Programa HDM-4**. 2012. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

OLIVEIRA, Felipe Machado; DA SILVA JÚNIOR, Carlos Alberto Prado; FONTENELE, Heliana Barbosa. Desenvolvimento de escala visual para avaliação da condição da superfície de vias urbanas. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2013.

OLIVEIRA, Jemysson Jean de. **Experiência de implantação de sistema de gerência de pavimentos em cidade de médio porte-estudo de caso: Anápolis-GO.** 2013. 167 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

PÁEZ, Edgar Misael Arévalo; LOPES, Simone Becker; FERNANDES JR, J. L. Índice de Condição do Pavimento para Aplicação em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos. In: **Anais** do XXIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET). 2015. p. 101-112.

PALMA, Luana Cristina Romero. **Impacto do transporte público por ônibus na condição da superfície dos pavimentos flexíveis em vias urbanas.** 2019. 131 p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

PERDIGÃO, J. G. L.; FULGÊNCIO, E. V.; SOUSA, S. A. C.; MAGALHÃES NETO, J. B.; DORNELAS, J. S. Processo decisório: um estudo comparativo da tomada de decisão em organizações de segmentos distintos. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, SEGeT, 9, Resende. **Anais...** 2012. p. 1-17.

PEREIRA, L. A.; OLIVEIRA, F. M.; SILVA JÚNIOR, C. A. P.; FONTENELE, H. B. Utilização de Escala Visual para Avaliação das Vias Urbanas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.5, p.140 – 150, 2013.

PEREIRA, Lucas Aramayo. **Escala Visual: Uma Ferramenta para a Avaliação da Condição da Superfície de Pavimentos Urbanos.** 2019. 137 p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

PEREIRA, Lucas Aramayo; SILVA JUNIOR, Carlos Prado; FONTENELE, Heliana Barbosa. Visual scale for evaluating urban pavements: An office validation. **Revista Ingenieria de Construccion**, v. 34, n. 1, 2019.

PESCADOR JUNIOR, Antonio Carlos; DA SILVA JÚNIOR, Carlos Alberto Prado; FONTENELE, Heliana Barbosa. Comparação de métodos de avaliação da condição de pavimentos flexíveis com o auxílio de um SIG-T. **Revista CIATEC**, v. 10 (1), p.95-103, 2018.

PINTO, Paulo Ricardo Rodrigues *et al.* Aplicação de um Sistema de Gerência da Manutenção de Pavimentos para Elaboração do Projeto Básico do Lote 01 do Programa CREMA/RS. **ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA**, Natal, v. 9, p. 1-29, 2004.

PRAKASAN, Akash C. *et al.* Pavement maintenance prioritization of urban roads using analytical hierarchy process. **International Journal of Pavement Research and Technology**, v. 8, n. 2, p. 112-122, 2015.

RODRIGUES, Elena; VAZ, Leandro da Rocha. Avaliação Objetiva de Superfície Asfáltica pela Determinação do IGG na Rua Padre Egídio Carmelink, Belford-Roxo, RJ. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 1-6, 2017.

SEQUINEL, Luis Fernando *et al.* Modelo de priorização para auxílio à tomada de decisão em gerência de pavimentos. **Conbrepro**. 2018.

SONCIM, Sérgio Pacífico; FERNANDES JÚNIOR, José Leomar. Modelo de previsão do índice de condição dos pavimentos flexíveis. **Journal of Transport Literature**, v. 9, n. 3, p. 25-29, jul./set. 2015.

TAVAKOLI, Amir; LAPIN, Mitchell S.; FIGUEROA, J. Ludwig. PMSC: Pavement management system for small communities. **Journal of transportation engineering**, v. 118, n. 2, p. 270-280, 1992.

TORRES, Nilson Trevisan; ESPENCHITT, Dilson Godoi; LINS, Marcos P. Estellita. **Estudo de caso**: Metodologias M-Macbeth e SAD-Thor para a tomada de decisão– Escolha de um rebocador marítimo. Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro, 2010.

VIEIRA, Suyanne Alves *et al.* ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS ATRAVÉS DO IGG E PCI. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 3, p. 20-30, 2016.

VISCONTI, Tobias Stourdze. **O sistema gerencial de pavimentos do DNER**. Departamento Nacional De Estradas De Rodagem (DNER). Instituto De Pesquisas Rodoviárias (IPR) - Divisão De Apoio Tecnológico. Rio de Janeiro/RJ, 2000.

XAVIER, Carlos Guimarães. **MCDA – análise de decisão multicritério como ferramenta de avaliação de instalações portuárias**: o caso dos terminais de contêineres brasileiros. 2009. Tese de Doutorado.

ZANCHETTA, Fábio. **Sistema de gerência de pavimentos urbanos**: avaliação de campo, modelo de desempenho e análise econômica. 2017. 234 f. Tese de Doutorado (Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Guia de recomendações para retirada de dados em meios urbanos.

Os seguintes itens compõem o guia de recomendações criado para detalhar como se deve dividir as seções de um pavimento em meios urbanos com a finalidade de fazer a retirada de dados em campo e uma futura aplicação do ISP:

- **Área:** não deve ultrapassar o limite recomendado de 135 a 315 m², conforme determinado pela ASTM (2018). Recomenda-se, para fins de facilidade, dividir as seções do pavimento para análise em áreas retangulares;
- **Quarteirão:** todo pavimento ao ser analisado deve ser separado por seções que devem estar contidas no perímetro de apenas um quarteirão;
- **Cruzamento:** deve ser analisado de forma independente às demais unidades amostrais das vias pavimentadas, considerando a área já recomendada. Caso a área do cruzamento seja maior que a recomendada, a mesma deverá ser dividida em partes iguais para análise;
- **Rua:** a seção na rua analisada não poderá pertencer a um trecho entre dois quarteirões diferentes;
- **Eixo:** a seção analisada deve partir do centro do eixo da rua, limitada a um quarteirão e a área já descrita anteriormente.

Para fins de exemplificação sobre como dividir as seções de um quarteirão em meios urbanos de forma correta, ver a Figura 20.






ANEXOS

ANEXO A – Tipos de defeitos avaliados pelo PCI e suas causas.

Defeito	Ilustração	Causa
1 – Trincas por fadiga: conjunto de trincas muito próximas. São medida por área.		Colapso do revestimento asfáltico; Má execução; Solo pouco resistente; Fim da vida útil do pavimento.
2 – Exsudação: perda de aderência no pavimento. É medida por área.		Excessiva quantidade de ligante; Baixa quantidade de vazios na mistura asfáltica.
3 – Trincas em blocos: trincas que se encontram em formato de blocos. São medidas por área.		Contração do revestimento; Baixa resistência da mistura asfáltica.
4 – Saliências e deformações: formam “ondas” no pavimento. São medidas por área.		Má execução; Recalque do solo; Alto fluxo de tráfego na via.
5 – Corrugação: ondulação não uniforme. É medida por área.		Mistura asfáltica não estável; Muita umidade no subleito.

<p>6 – Depressão: grande afundamento no pavimento. É medida por área.</p>		<p>Má execução; Recalque da fundação da via.</p>
<p>7 – Trincas na borda: trincas entre o pavimento e sua borda. São medidas por metro.</p>		<p>Má execução e/ou compactação; Presença de água nas camadas inferiores do revestimento do pavimento; Largura insuficiente da pista.</p>
<p>8 – Trincas por propagação de juntas: ocorrem próximas às juntas de dilatação de um pavimento. São medidas por metro.</p>		<p>Movimentação da camada abaixo do revestimento da via.</p>
<p>9 – Desnível entre a pista e o acostamento: diferença de nível entre a pista e o acostamento da via. É medido por metro.</p>		<p>Recalque ou bombeamento do material sob o acostamento; Inchamento do solo no acostamento; Perca de material no acostamento; Má execução.</p>
<p>10 – Trincas longitudinal e transversal: trincas na direção paralela ou perpendicular ao eixo do pavimento. São medidas por metro.</p>		<p>Contração do asfalto; Má execução.</p>

<p>11 – Remendos: também conhecido como “tapa buracos”, é uma porção de revestimento colocada sobre buracos existentes na via. São medidos por área.</p>		<p>Má execução e uso de materiais de má qualidade.</p>
<p>12 – Agregado polido: perda de atrito no pavimento. É medido por área.</p>		<p>Desgaste dos agregados devido a passagem de veículos na via.</p>
<p>13 – Buracos: perda das camadas do pavimento. São medidos por unidade.</p>		<p>Danos no revestimento do pavimento (trincas por fadiga, desintegração e presença de umidade).</p>
<p>14 – Passagem de ferrovia: existência de ferrovias sobre o pavimento. É medida por área.</p>		<p>Ferrovias existentes sobre os pavimentos; Altas cargas dos trens que passam sobre os trilhos que estão nas vias.</p>
<p>15 – Afundamento de trilha de roda: afundamento da via no eixo dos pneus que trafegam pelo pavimento. É medida por área.</p>		<p>Compactação inadequada; Mistura asfáltica ruim; Camadas inferiores do pavimento fracas devido a presença de água.</p>

<p>16 – Deformação plástica do revestimento: escorregamento da massa do revestimento asfáltico. É medida por área.</p>		<p>Mistura pouco estável; Má ligação entre as camadas superiores do pavimento; Alta pressão exercida na via.</p>
<p>17 – Trincas parabólicas: fissuras em formato de meia lua. São medidas por área.</p>		<p>Baixa resistência da mistura asfáltica; Falta de união entre as camadas superiores do pavimento.</p>
<p>18 – Empolamento: inchamento nos trechos de uma via. É medida por área.</p>		<p>Inchamento do solo; Raízes de árvores.</p>
<p>19 – Desintegração: fragmentação do revestimento da via. É medida por área.</p>		<p>Uso de massa asfáltica dura e quadradiça; Entrada de água dentro do pavimento por meio de vazios presentes.</p>
<p>20 – Imtemperismo: corrosão do revestimento. É medido por área.</p>		<p>Má execução; Falta de compactação; Perda de ligante asfáltico.</p>

Fonte: Adaptado do MID (1993)