

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE APOIO MULTICRITÉRIO À
DECISÃO NA ESCOLHA DE PAVIMENTOS URBANOS:
ESTUDO DE CASO EM SÃO CARLOS/SP**

CAMILA FÁVERO LOSS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Antonio Garcia Ferreira.

São Carlos

2018

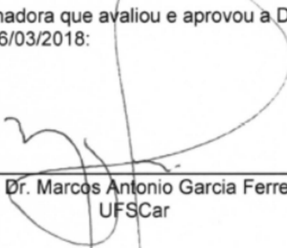


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

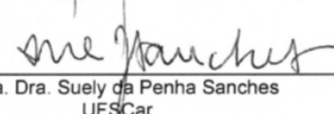
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Camila Fávero Loss, realizada em 06/03/2018:



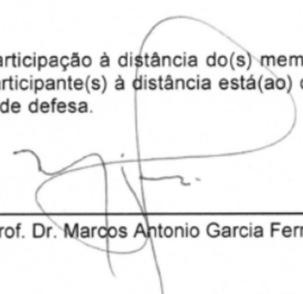
Prof. Dr. Marcos Antonio Garcia Ferreira
UFSCar



Profa. Dra. Suely da Penha Sanches
UFSCar

Profa. Dra. Maria Lucia Galves
UNICAMP

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Maria Lucia Galves e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.



Prof. Dr. Marcos Antonio Garcia Ferreira

À Nossa Senhora, Mãe do Amor, que com cuidado e ternura, me conduz pelo caminho do conhecimento e por toda vida. “Maria é a escada celeste pela qual Deus desceu a terra e os homens sobem a Deus” (São Fulgêncio).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que é a fonte de toda sabedoria e ciência, Criador inefável e quem dirige todo o percurso da minha vida, providenciando a oportunidade para o estudo e capacitação para os desafios de meu dia a dia.

Ao meu orientador, Prof. Marcos Antônio Garcia Ferreira, pelo acompanhamento durante a pesquisa, apoiando e encorajando nas discussões e recomendações, que muito agregaram a minha formação.

A Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Galves, pela solicitude, a qual esteve sempre a disposição, esclarecendo muitas dúvidas e fazendo importantes contribuições durante este processo.

Ao Departamento de Engenharia Civil, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade de São Carlos e também a Capes por proporcionar a oportunidade de formação e oferecer as condições necessárias para a realização da pesquisa.

Aos amigos do Núcleo de Estudos de Mobilidade Sustentável e de toda Pós-graduação pela amizade e apoio ao longo desse período de mestrado.

À Secretaria Municipal de Obras Públicas e à Coordenadoria de Meio Ambiente do município de São Carlos, por disponibilizarem seus representantes para acompanhar a pesquisa no que fossem necessários.

Aos pesquisadores da UFSCar e da USP e a todas as pessoas que contribuíram através de entrevistas, fornecendo suas opiniões e “valores”, que muito acrescentaram ao trabalho.

Aos meus irmãos do Grupo de Partilha de Profissionais Filhos do Amor e da Comunidade *Totus Mariae*, que foram minha família nesta fase tão importante.

Aos meus pais Lari e Maristela e ao meu irmão Paulo Henrique, por sempre acreditarem em mim, por todo amor dedicado e por serem a base da minha vida. Ao Jonas, que mesmo à distância, foi amoroso, companheiro e paciente.

RESUMO

Em decorrência da expansão das cidades, a necessidade de pavimentação urbana no país é muito expressiva. Este tipo de obra beneficia todos os cidadãos, promovendo uma circulação mais segura e confortável no espaço urbano. Contudo, a pavimentação associada a todo processo de urbanização, pode gerar alterações significativas no meio ambiente, com consequências a longo prazo. Ao prever uma obra desse porte, muitos fatores estão envolvidos, como os aspectos financeiros, as preocupações ambientais e que atenda aos requisitos técnicos pertinentes, como durabilidade, conforto, segurança, entre outros. Dessa forma, escolher uma alternativa que satisfaça a todos estes objetivos pode se tornar um tanto complexo. Ao pesquisar na literatura sobre estudos relacionados à pavimentação urbana, um problema de pesquisa constatado foi a escassez de estudos referentes à escolha destes tipos de pavimentos. Em vista disso, foi verificado que para tratar deste problema, poderia ser aplicada a abordagem de apoio multicritério à decisão (AMD), a qual vem sendo empregada na área de transportes. Deste modo, a pesquisa se propôs a construir um modelo que apoie a tomada de decisão na escolha de pavimentos urbanos, por meio de um estudo de caso no município de São Carlos/SP. Este estudo foi desenvolvido em três etapas principais, que corresponderam à estruturação do problema, a avaliação das alternativas de pavimentos urbanos e as recomendações sobre a alternativa mais adequada. Na primeira etapa, definiu-se o contexto de decisão e os atores envolvidos. Posteriormente, eles foram entrevistados para estruturar o problema de decisão. A fase de avaliação das alternativas foi realizada por meio de atributos, que foram elaborados em níveis de especificação. A estes atributos foram conferidos valores que representaram a subjetividade dos decisores. Com estes dados, por meio de uma função, foi calculado um valor numérico para cada alternativa, e a que apresentou melhor resultado foi a recomendada. Três tipos de pavimento foram avaliados: uma alternativa em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ), outra em Peças Pré-moldadas em Concreto (PPC) e um terceiro tipo em PPC dotado de uma estrutura que permite a infiltração e armazenamento das águas pluviais (PPC permeável). Foi realizada uma análise de sensibilidade para validar o resultado obtido e respaldar as recomendações. A aplicação do AMD neste trabalho forneceu uma visão abrangente para a escolha de pavimentos urbanos, incluindo uma variação considerável de atributos, que expressaram os objetivos dos atores consultados. Durante o processo de definição de atributos, foi possível obter melhor entendimento das dificuldades de avaliar estes objetivos e das potencialidades e limitações de cada alternativa. Ao consultar os decisores para ponderarem cada atributo, foi possível compreender quais atributos possuem maior relevância para a gestão do município. Como resultado do estudo de caso, foi recomendada a alternativa em CAUQ. O modelo pode ser replicado em outras realidades e em trabalhos futuros de transporte e planejamento.

Palavras-chave: escolha de pavimentos urbanos, tomada de decisão, apoio multicritério à decisão.

ABSTRACT

As a result of the expansion of cities, the need for urban pavement in Brazil is very significant. Urban pavement benefits all citizens by providing safe and accessible circulation in the urban space. However, pavement associated with urbanization may generate significant changes in the environment, with long-term consequences. During the designing of projects of this kind, one must consider that many factors are involved, such as: financial aspects, environmental concerns, and concerns that the project meets relevant technical requirements (durability, comfort, safety, among others). Therefore, choosing a pavement that satisfies all of these goals can become somewhat complex. When researching the literature on studies related to urban pavement, a common research problem was the lack of studies concerning the choice of pavement types. In this context, it was considered that an adequate approach to this issue would be to apply the Multicriteria Decision Analysis Approach (MCDA), which has been widely used in the transport field. Accordingly, this research proposed the creation of a model that can support the decision-making during the choice of urban pavements. The model was created by means of a case study in the city of São Carlos, Brazil, which was developed in three main stages: structuration of the problem, evaluation of different alternatives of urban pavement types, and the recommendations on the most appropriate type of pavement. In the first stage, the context of the decision and the actors involved were defined. Afterwards, interviews were made to establish the structure related to decision-making problem. The evaluation phase of the pavement choices was performed by analyzing their attributes, which were elaborated at various levels of specificity. These attributes were given values that represented the subjectivity of the decision makers. With this data, a numerical value was calculated for each type of pavement using a function where the one with the highest result was the one recommended. Three types of pavements were evaluated: Warm Mixed Asphalt (WMA), Precast Concrete Blocks for Paving (PCBP), and a PCBP type equipped with a structure that allows infiltration and storage of rainwater (permeable PCBP). A sensitivity analysis was performed to validate the results obtained and to support the recommendations. The application of MCDA in this research has provided an in-depth view about the choices of urban pavements, including several attributes, which also expressed the objectives of the actors consulted. During the process of defining the attributes, it was possible to obtain a better understanding of the difficulties in evaluating these objectives, and of the strengths and limitations of each pavement choice. When consulting the decision makers to evaluate each attribute, it was possible to understand which attributes were most relevant for the city managers. As a result of the case study, the WMA pavement was recommended. The model used for this study may be replicated in other realities, and in future transport and planning projects.

Keywords: choice of urban pavements, decision making, multicriteria support for decision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seção típica de um pavimento flexível	22
Figura 2 – Pavimento rígido: corte longitudinal.....	23
Figura 3 – Composição granulométrica bem-graduada.....	26
Figura 4 – Concreto asfáltico usinado a quente.....	27
Figura 5 – Seção transversal do pavimento com das peças pré-moldadas de concreto.....	28
Figura 6 – Movimentos de deslocamento.....	28
Figura 7 – Tipos de assentamento	29
Figura 8 – Formatos das peças	29
Figura 9 – Pavimento permeável: infiltração total, parcial e sem infiltração.....	31
Figura 10 – Concreto asfáltico poroso (corpo-de-prova), concreto poroso (estacionamento) e blocos vazados de concreto.	32
Figura 11 – Método da pesquisa.....	55
Figura 12 – Escala mostrando a ordem de preferência dos níveis de impacto.....	58
Figura 13 – Determinação do primeiro ponto da função de valor.....	59
Figura 14 – Função de valor construída	60
Figura 15 – Exemplo de interpolação linear.....	61
Figura 16 – Perímetro urbano e macrozona de expansão urbana.....	65
Figura 17 – Locais que ocorreram as entrevistas com os usuários.....	66
Figura 18 - Hierarquia de objetivos fundamentais	72
Figura 19 – Projeto de CAUQ	85
Figura 20 – Projeto de PPC.	85
Figura 21 – Detalhes da drenagem do pavimento	86
Figura 22 – Projeto em PPC Permeável	86
Figura 23 – Detalhes de drenagem do reservatório (seção transversal)	87
Figura 24 – Detalhes de drenagem do reservatório (ligação com drenagem convencional)....	87
Figura 25 – Perfis de impacto das alternativas de acordo com o engenheiro da CMA.....	91
Figura 26 – Perfis de impacto das alternativas de acordo com o engenheiro da SMOP.....	93
Figura 27 – Ábaco para determinação da espessura total básica do pavimento.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das bases	24
Tabela 2 – Classificação dos revestimentos	25
Tabela 3 – Exemplos de atributos.....	40
Tabela 4 – Índice de qualidade do ar.....	40
Tabela 5 – Aplicações de AMD em Transportes.....	47
Tabela 6 – Descrição e função de valor do atributo <i>aspectos de conforto de rolamento</i>	62
Tabela 7 – Áreas de pesquisa/UFSCar	67
Tabela 8 – Áreas (e subáreas) de pesquisa/USP	68
Tabela 9 – Objetivos gerais dos usuários	69
Tabela 10 – Objetivos gerais dos pesquisadores	69
Tabela 11 – Objetivos gerais dos decisores.....	70
Tabela 12 – Objetivos meios e influência nos objetivos fundamentais.....	71
Tabela 13 – Custos de implantação	73
Tabela 14 – Custos de implantação e de manutenção anual.....	74
Tabela 15 – Custo de manutenção anual	75
Tabela 16 – Potencialidades estéticas (atratividade visual).....	75
Tabela 17 – Materiais recicláveis aplicados ao revestimento.....	78
Tabela 18 – Materiais recicláveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço do subleito	78
Tabela 19 – Permeabilidade	79
Tabela 20 – Temperaturas superficiais nos pavimentos expostos ao sol e à sombra	80
Tabela 21 – Atributo <i>temperatura superficial</i>	80
Tabela 22 – Tipos de pavimentos e conforto.....	80
Tabela 23 – <i>Aspectos de conforto de rolamento</i>	80
Tabela 24 – Comparativo de distância de frenagem entre pavimentos flexíveis e peças pré-moldadas em concreto	81
Tabela 25 – Tipos de pavimentos e a distância de frenagem	81
Tabela 26 – Atributo <i>distância de frenagem</i>	82
Tabela 27 – Vida útil	82
Tabela 28 – Hierarquia viária x Tráfego x Pavimentos.....	83
Tabela 29 – Atributo <i>tipo de tráfego</i>	83

Tabela 30 – Atributos, escalas e intervalos	83
Tabela 31 – Parâmetros adotados	84
Tabela 32 – Matriz de decisão: atributos de 2. a 6.	88
Tabela 33 – Matriz de decisão: atributos de 7. a 11.	88
Tabela 34 – Constantes de escala	90
Tabela 35 – Alternativas de pavimento, nível de atributo e valores – (CMA).....	91
Tabela 36 – Alternativas de pavimento, nível de atributo e valores – (SMOP).....	92
Tabela 37 – Avaliação global das alternativas - CMA.....	94
Tabela 38 – Avaliações globais das alternativas - SMOP	94
Tabela 39 – Influência dos atributos na avaliação global.....	95
Tabela 40 – Análise de sensibilidade	96
Tabela 41 – Dados do tráfego.....	111
Tabela 42 – Materiais empregados.....	111
Tabela 43 – Componentes do pavimento	112
Tabela 44 – Espessura da base granular	113
Tabela 45 – Espessura e resistência dos blocos de revestimento	113
Tabela 46 – Componentes do pavimento	114
Tabela 47 – Componentes do pavimento	117
Tabela 48 – Planilha Orçamentária Sintética sobre a alternativa em CAUQ.....	118
Tabela 49 – Memória de Cálculo referente ao Orçamento Sintético da alternativa CAUQ ..	119
Tabela 50 – Planilha Orçamentária Sintética sobre a alternativa em PPC	120
Tabela 51 – Memória de Cálculo referente ao Orçamento Sintético da alternativa PPC.....	121
Tabela 52 – Planilha Orçamentária Sintética sobre a alternativa em PPC Permeável	123
Tabela 53 – Memória de Cálculo referente ao Orçamento Sintético da alternativa PPC Permeável	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*
- ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação
- AHP – *Analytic Hierarchy Process* (Processo de Hierarquia Analítico)
- AM – *Asphalt Mix* (Mistura Asfáltica)
- AMD – Apoio Multicritério à Decisão
- APP – Área de preservação permanente
- BDI – Benefícios e Despesas Indiretas
- BGS – Brita Graduada Simples
- CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo
- CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente
- CETESB - Companhia Estadual do Estado de São Paulo
- CBR – *California Bearing Ratio* (Índice de Suporte Califórnia)
- CCP – Concreto de Cimento *Portland*
- Cl – Cloro
- CMA – Coordenadoria do Meio Ambiente
- CO – Monóxido de Carbono
- CO₂ – Dióxido de Carbono
- DQO - Demanda química de oxigênio
- DECiv – Departamento de Engenharia Civil
- DER – Departamento de Estrada e Rodagem
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
- ELECTRE – *Elimination and Choice Translating Algorithm* (Algoritmo de Tradução de Eliminação e Escolha)
- ES – Especificação de Serviço
- HDM-4 - *Highway Development and Management System – Version 4* (Sistema de Gestão e Desenvolvimento Rodoviário – Versão 4)
- IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
- IP – Instrução de Projeto
- kN – Quilonewton
- MAUT – *Multiple Attribute Utility Function* (Função Utilidade de Atributos Múltiplos)
- MAVT – Multi-Attribute Value Theory (Teoria dos Valores de Multiatributos)
- MCDA – *Multiple Criteria Decision Analysis* (Análise Multicritério à Decisão)
- MH – Macadame Hidráulico
- MPa – Mega Pascal

MIVES – *Modelo Integrado de Valor para una Evaluación Sostenible* (Modelo Integrado de Valor para uma Avaliação Sustentável)

MTOPSIS - *Modified Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions* (Técnica Modificada para Preferência de Ordens por Similaridade a Soluções Ideais)

N – Nitrogênio

NBR – Norma Brasileira

NO_x – Óxidos de nitrogênio

OWA - *Ordered Weighted Average* (Média Ponderada Ordenada)

PCBP – Precast Concrete Blocks for Paving (Blocos de concreto pré-moldado para pavimentação)

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PIB – Produto Interno Bruto

PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo

PPC – Peças Pré-moldadas de Concreto

PPGEU – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana

PROMETHEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluation* (Método de Classificação de Classificação Preferencial para o Enriquecimento da Avaliação)

RAP – *Reclaimed Asphalt Pavement* (Pavimento de Asfalto Reconstruído)

RPU – Reunião de Pavimentação Urbana

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SMA – Secretaria do Meio Ambiente

SMART – *Simple Multicriteria-Attribute Rating Technique* (Técnica de Classificação Multicritério de Atributos)

SMOP – Secretaria Municipal de Obras Públicas

SO₂ – Dióxido de enxofre

SO₄ – Sulfatos

STT – Secretaria de Transportes e Topografia

TCPO – Tabela de Composição de Preços e Orçamentos

TOPSIS – *Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution* (Técnica para Ordenar Preferências por Similaridade à Solução Ideal)

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

USP – Universidade de São Paulo

VFT – *Value Focused Thinking*

VIKOR – *Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (Solução de Otimização e Compromisso de Critérios Vlse)

VOC – *Volatile Organic Compounds* (Compostos Orgânicos Voláteis)

WLC – *Weighted Linear Combination*

WMA – *Warm Mixes Asphalt* (Misturas Aquecidas de Asfalto)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	16
1.2	Justificativa	16
1.3	Estrutura do Trabalho.....	17
2	PAVIMENTOS	19
2.1	Histórico da Pavimentação.....	19
2.2	Pavimentação Urbana no Brasil	20
2.3	Definições e Classificações dos Pavimentos.....	21
2.3.1	Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ).....	25
2.3.2	Peças pré-moldadas de concreto (PPC).....	27
2.4	Pavimentos Permeáveis.....	30
3	APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO (AMD)	33
3.1	Tomada de Decisão	33
3.2	Estruturação do Problema	35
3.2.1	Caracterização do contexto de decisão	35
3.2.2	Identificação dos objetivos.....	36
3.2.3	Objetivos fundamentais e objetivos meios.....	37
3.2.4	Hierarquia dos objetivos fundamentais.....	38
3.2.5	Definição de atributos e seus níveis	39
3.2.6	Criação de alternativas	41
3.3	Avaliação de Alternativas	42
3.3.1	Função de valor multiatributo	43
3.4	Análise de Sensibilidade e Recomendações	45
3.5	Métodos Multicritérios Aplicados aos Transportes	46
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	54
4.1	Classificação e Desenvolvimento da Pesquisa.....	54
4.2	Revisão Bibliográfica.....	54
4.2.1	Estruturação do problema	55
4.2.2	Avaliação de alternativas	57
4.2.3	Análise de sensibilidade e recomendações	62
5	APLICAÇÃO	64

5.1	Estruturação do problema	64
5.1.1	Caracterização do contexto de decisão	64
5.1.2	Identificação dos objetivos.....	68
5.1.3	Objetivos fundamentais e meios	70
5.1.4	Hierarquia dos objetivos fundamentais.....	72
5.1.5	Definição de atributos	72
5.1.6	Alternativas de pavimentos	84
5.1.7	Avaliação das alternativas.....	89
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
	REFERÊNCIAS	100
	REFERÊNCIAS NÃO CITADAS	107
	APÊNDICE A – ROTEIRO PARA ENTREVISTAS.....	108
	APÊNDICE A.1 – AUXÍLIO DE IMAGEM.....	110
	APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS	111
	APÊNDICE C – PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS SINTÉTICAS E MEMÓRIAS DE CÁLCULO	118
	APÊNDICE D – FUNÇÕES DE VALOR.....	126
	APÊNDICE E – CONSTANTES DE ESCALAS.....	131

1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos originaram-se da necessidade de locomoção pela humanidade. À medida que os povos se deslocavam a diferentes regiões, percebeu-se que era necessário revestir o leito carroçável, conferindo-lhe estabilidade em qualquer estação do ano (SENÇO, 2007). As técnicas e materiais rudimentares utilizados nos primórdios foram sendo aperfeiçoados ao longo do tempo, até se consolidar nas estruturas de pavimento atualmente desenvolvidas, principalmente no âmbito rodoviário.

No país, as primeiras estradas foram executadas na região sudeste, no período das Capitâneas, principiando pela de São Vicente, e mais tarde outras foram implantadas por esse território. No meio urbano, as cidades migraram dos antigos métodos de calçamento das vias, até a aplicação da pavimentação asfáltica, dos blocos intertravados de concreto, e em escala menor, dos pavimentos rígidos. Porém, os maiores investimentos ocorreram a partir de 1988, com o aumento da cota de participação dos estados e municípios na verba federal, permitindo que as prefeituras se organizassem para aplicação de recursos para esta finalidade (PREGO, 2001; GOIÁS, 2016).

Com a expansão das cidades, a necessidade de investimentos na pavimentação e nos demais serviços de infraestrutura urbana tornou-se muito expressiva no país. A pavimentação urbana, além de proporcionar conforto e segurança para a circulação dos cidadãos, também dá suporte a outros elementos de infraestrutura que incluem o manejo de águas pluviais, as redes de água e esgoto, sistema de telefonia e meios de acessibilidade, contribuindo para o desenvolvimento local e para a qualidade de vida da população.

Por outro lado, todos os elementos intrínsecos à urbanização geram mudanças consideráveis no meio ambiente. A pavimentação pode acarretar prejuízos relacionados à geração de resíduos, à alteração no microclima urbano, à impermeabilização de grandes áreas e conseqüentes inundações. Existem locais muito povoados em que os sistemas viários e os estacionamentos ocupam 30% da área da bacia de drenagem (CARVALHO, 2011; BAPTISTA et al., 2015).

As obras de pavimentação, em geral, possuem um custo de implantação vultoso para a administração pública e abrangem outros custos envolvidos durante seu ciclo de vida. Além disso, as preocupações ambientais devem ser consideradas na previsão deste tipo de obra, bem como os benefícios que os cidadãos esperam dos pavimentos, sendo eles durabilidade, conforto, segurança, entre outros.

Neste contexto, surge o questionamento de como escolher um tipo de pavimento que atenda a todas essas condições. Além disso, trata-se de uma obra pública, em que há várias partes interessadas neste contexto, desde os decisores públicos, a comunidade científica, até a população em geral, a qual usufruirá dos benefícios ou sofrerá os impactos deste tipo de decisão de longo prazo. Dessa forma, como avaliar a melhor alternativa numa abordagem abrangente que incorpore e pondere os objetivos de todas as partes interessadas nesta decisão?

Na área de transportes, recentemente vem sendo aplicado a abordagem de Apoio Multicritério à Decisão (AMD). Ela consiste em um conjunto de métodos que visa facilitar e conduzir a avaliação das alternativas em ambientes de decisão complexa, com vários atores envolvidos. Os resultados deste processo são as recomendações de ações que apoiem os decisores em planejamentos e projetos (GOMES et al., 2002; BELTON; STERWART, 2002). Desta forma, com intuito de aplicar os métodos multicritérios na escolha de pavimentos urbanos, esta pesquisa realizou um estudo de caso sob esta perspectiva, no município de São Carlos/SP.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral propor um modelo que apoie a tomada de decisão na escolha de pavimentos urbanos por meio da aplicação do Apoio Multicritério à Decisão. E, como objetivos específicos, temos:

- Estruturar o problema de decisão a partir da identificação e mensuração dos objetivos dos atores envolvidos quanto à escolha de pavimentos urbanos;
- Avaliar as alternativas propostas de pavimentos urbanos;
- Realizar a análise de sensibilidade do modelo desenvolvido e apresentar as recomendações.

1.2 Justificativa

Sabe-se que por muito tempo, no âmbito dos transportes, os procedimentos para avaliação e priorização de investimentos desenvolveram-se a partir dos impactos medidos em unidades monetárias, como os custos de construção e por dados quantificáveis, como por exemplo, a economia de tempo. Contudo, estas abordagens podem não ser abrangentes a ponto de considerar dados qualitativos, inerentes aos contextos de transportes (DODGSON, 2009).

Devido à complexidade dos projetos relativos a esta área, vem crescendo a aplicação da abordagem AMD nas tomadas de decisão, pois os métodos multicritérios permitem associar uma série de impactos de alternativas de projetos, políticas ou programas em um único quadro, facilitando a compreensão do processo decisório por parte da administração pública e demais decisores, e apoiando-os nas medidas que devem ser tomadas (GALVES, 2005; DODGSON, 2009).

Com relação aos pavimentos, foi possível identificar na literatura que a maioria dos estudos realizados está associada à manutenção dos mesmos, a avaliação de seus desempenhos, à utilização de materiais alternativos na sua constituição e à criação de sistemas informatizados que apoiem o planejamento de futuros investimentos. Além disso, estas pesquisas estão mais focadas em pavimentos rodoviários do que a urbanos. Deste modo, um problema de pesquisa constatado foi a escassez de estudos que tratem da escolha dos tipos de pavimentos urbanos, principalmente, numa abordagem que envolva aspectos técnicos, ambientais e econômicos.

No Brasil, de um modo geral, as prefeituras executam seus pavimentos de um determinado tipo, com técnicas construtivas já conhecidas, apresentando resistência às inovações e ao emprego de outros processos. Nos médios e pequenos municípios a situação é mais agravante, pois as empresas que fazem este tipo de serviços são de pequeno porte e não têm condições de adaptação às inovações tecnológicas, realizando os trabalhos segundo suas próprias experiências (VILLIBOR et al., 2007).

Constatada a necessidade de escolha dos tipos de pavimentos urbanos de acordo com uma visão mais abrangente, associando este fato à possibilidade de aplicação da abordagem AMD, o estudo de caso no município de São Carlos/SP neste formato, pode contribuir com a temática, assim como, motivar trabalhos futuros.

1.3 Estrutura do Trabalho

Além dos elementos introdutórios contidos neste primeiro capítulo, esta pesquisa está estruturada da seguinte maneira:

- Os capítulos dois e três correspondem ao referencial teórico que explana sobre os pavimentos e o apoio multicritério à decisão, respectivamente;
- O quarto capítulo apresenta os procedimentos metodológicos;
- O quinto capítulo trata da aplicação do método da pesquisa, no qual é apresentado o estudo de caso;

- No último capítulo são contempladas as considerações finais do trabalho;
- E ao final são incluídos as referências e os apêndices.

2 PAVIMENTOS

Neste capítulo foi abordada brevemente a história da pavimentação, mencionando sua aplicação no âmbito rodoviário e no meio urbano, especialmente no país. Foram apresentadas as definições e classificações dos tipos de pavimentos, enfatizando as alternativas propostas para o estudo de caso.

2.1 Histórico da Pavimentação

O povoamento dos continentes, as conquistas territoriais, as permutas comerciais, religiosas e culturais entre os povos e o processo de urbanização, influenciaram e foram influenciados pela abertura de estradas e vias (BERNUCCI et al., 2006). À medida que o número de viagens para o transporte de cargas e o deslocamento de pessoas foi se tornando mais frequente, a mobilidade passou a ser imprescindível para a própria sobrevivência dos povos. Por consequência, as estradas foram sendo revestidas, para proporcionar um melhor deslocamento, principalmente nos períodos chuvosos (SENÇO, 2007).

Percorrendo brevemente a história sobre o assunto, há registros que as estradas pavimentadas mais antigas foram implantadas para a construção das pirâmides do Egito (2600-2400 a.C.). No Império Romano, por sua vez, a malha viária existe há mais de 2000 anos, e já era dotada de planejamento e manutenção. Com a queda deste Império, por volta do fim dos anos 700, foi a vez da França investir expressivamente em pavimentação e reconhecer a importância de estradas bem transitáveis como meio de desenvolvimento econômico, difundindo essa visão pela Europa. Na América Latina, destaca-se a pavimentação feita pelos Incas em regiões ocupadas na Colômbia, Chile e Argentina (BERNUCCI et al., 2006).

As primeiras estradas pavimentadas no Brasil surgiram no período das Capitânicas, na região sudeste. Essas vias foram usadas para o tráfego de veículos, para o transporte de ouro e de café. Durante o império houve pouco investimento em pavimentação no país, o grande impulso nesse setor ocorreu entre 1940 e 1950 com a criação do Fundo Rodoviário Nacional¹. (BERNUCCI et al., 2006).

Os fatores relevantes para fortalecimento da rodovia como modal de transporte no século XX foi a evolução tecnológica do automóvel e a melhoria do leito carroçável,

¹ Fundado em 1937, com intuito de financiar o setor rodoviário brasileiro, principalmente na ampliação e melhoria da malha então existente, assim como sua manutenção. Porém, a partir de 1975 os recursos desse fundo foram sendo destinados a outras finalidades, até sua extinção promovida pela Constituição de 1988 (RODOVIAS Federais: de pedagiadas a inteligentes, 2009).

principalmente em países como o Brasil, que tem o transporte rodoviário como modal responsável pela maior parte do deslocamento de carga e pessoas. Isto equivale a uma participação de mais de 61% na matriz de transporte de cargas e de 95% na de passageiros, além das rodovias serem as principais responsáveis pela integração de todo o sistema de transporte no país. (SENÇO, 2007; CNT, 2017).

A pavimentação não se restringiu apenas às estradas, mas foi implantada também no meio urbano, ambiente que herdou muito dos princípios e técnicas aplicadas às rodovias. Segue na próxima subseção uma breve discussão a respeito deste processo.

2.2 Pavimentação Urbana no Brasil

Os pavimentos urbanos, em geral, são executados em uma estrutura análoga aos pavimentos rodoviários. Esta semelhança pode acarretar em um superdimensionamento das vias com baixo volume de tráfego. Este fato ocorre devido à predileção, no país, por métodos pautados em experiências internacionais, para a escolha de materiais e para o dimensionamento do mesmo (SILVA JÚNIOR, 2005; VILLIBOR et al., 2007).

Há resistência das prefeituras em utilizar métodos alternativos em razão da falta de condições de adaptação tecnológica. Muitos conceitos aplicados no Brasil derivam do rodoviarismo norte-americano e europeu, exigindo que as diferenças em relação ao clima, ao volume de tráfego e dos solos do subleito, sejam consideradas no dimensionamento dos pavimentos urbanos (SILVA JÚNIOR, 2005; VILLIBOR et al., 2007).

Além disso, há outras circunstâncias que diferenciam as rodovias das vias urbanas, que devem ser analisadas ao projetar o pavimento urbano (PREGO, 2001):

- O tráfego é canalizado;
- A velocidade dos veículos é menor;
- Há necessidade de contenção lateral maior;
- Grande ocorrência de cargas estáticas;
- Intervalo menor de tempo entre as solicitações;
- Significativos vazamentos de derivados do petróleo;
- Soluções de drenagem mais complexas;
- Danos acentuados nas áreas de desaceleração, paradas e aceleração (sinaleiros, paradas obrigatórias e lombadas);
- Danos ocorridos em função da escavação do pavimento para implantação das redes de serviços públicos.

A pavimentação urbana no Brasil teve contribuições técnicas mais significativas a partir de 1978. Quando o presidente da Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) reuniu as informações referentes ao assunto e, a partir disso, foram criadas reuniões específicas (Reunião de Pavimentação Urbana – RPU) para essa discussão, que ainda acontecem regularmente (PREGO, 2001).

A ABPV desenvolveu o Manual de Pavimentação Urbana, que foi amplamente aderido pelas prefeituras e, posteriormente, revisado e utilizado para o desenvolvimento de outros (PREGO, 2001). Além disso, documentos de referências sobre este assunto foram desenvolvidos por órgãos públicos, como as Instruções de Projeto da Prefeitura de São Paulo e a Instrução Técnica do Estado de Goiás.

Este tipo de obra no Brasil teve um forte impulso econômico a partir de 1988, com o aumento da cota de participação dos estados e municípios na verba federal. Este fato possibilitou que as prefeituras pudessem se organizar melhor financeiramente para aplicar os recursos adequadamente (PREGO, 2001).

2.3 Definições e Classificações dos Pavimentos

O pavimento é uma estrutura de várias camadas, construída sobre a superfície final de terraplanagem da via, destinada a resistir aos esforços do tráfego e distribuí-los na sua estrutura, além de resistir aos esforços horizontais e às intempéries. Cabe a ele propiciar conforto e segurança aos usuários, e, sua estrutura pode variar quanto à espessura e aos materiais utilizados (BERNUCCI et al.,2006; SENÇO, 2007).

De modo geral, ele é composto pelas seguintes camadas: regularização e reforço do subleito, sub-base, base e revestimento. Todas essas camadas, dependendo do dimensionamento, podem ou não ser empregadas, sendo primordiais as camadas de base e revestimento. A fim de favorecer a compreensão sobre a estrutura do mesmo, uma seção transversal típica do pavimento flexível é apresentada na Figura 1 e, posteriormente, a descrição de suas camadas (SENÇO, 2007).

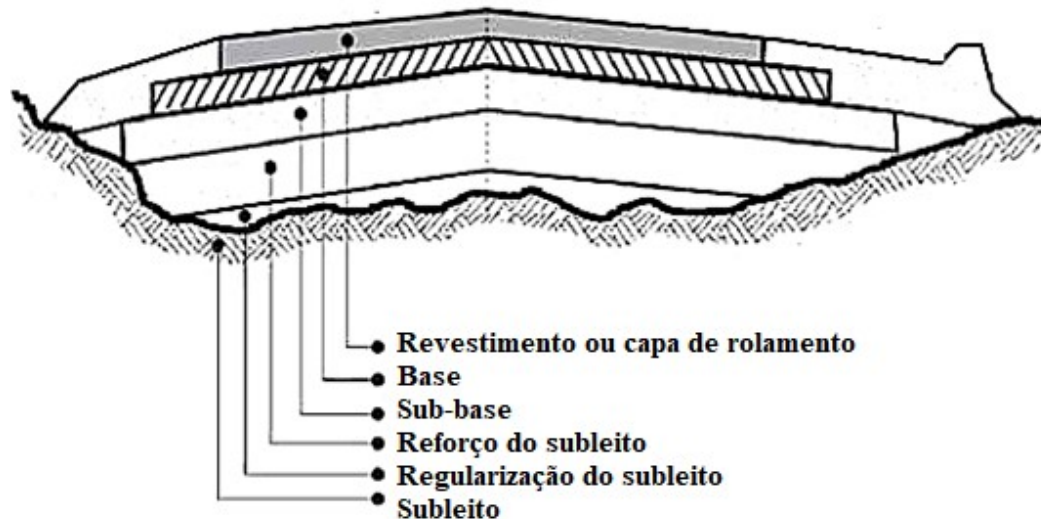


Figura 1 – Seção típica de um pavimento flexível
 Fonte: Adaptado Senço (2007).

- O subleito é o terreno de fundação do pavimento. Quando a terraplanagem é recente, o subleito oferece características geométricas definitivas. Quando a via está sendo usada por algum tempo e planeja-se pavimentá-la, sua superfície é irregular sendo necessário conformá-la de acordo com o projeto;
- O reforço do subleito é uma camada construída acima da regularização e tem a função de complementar a sub-base;
- A sub-base complementa a base e deve ser executada quando não é aconselhável a construção da base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. Suas propriedades são superiores às do reforço do subleito e inferiores às da base;
- A base tem como função resistir aos esforços verticais do tráfego e distribuí-los no terreno;
- O revestimento é o que recebe diretamente a ação do tráfego e é destinado a garantir uma boa superfície de rolamento, além de resistir ao desgaste por abrasão, conferindo durabilidade a toda estrutura.

Dependendo da tecnologia adotada e dos materiais empregados nas camadas que compõem os pavimentos, eles podem ser classificados em rígidos, semirrígidos e flexíveis (SENÇO, 2007):

Os pavimentos rígidos são revestidos por uma placa de concreto de cimento *Portland*. Suas espessuras são determinadas em função da resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes. As placas desempenham papel tanto de

revestimento como de base. A camada inferior à placa é designada como sub-base, uma vez que, à sua qualidade equivale à sub-base de pavimentos flexíveis, conforme Figura 2. Contudo, estes pavimentos são pouco deformáveis e rompem por tração na flexão, quando estão sujeitos a deformações (BERNUCCI et al., 2006; SENÇO, 2007).

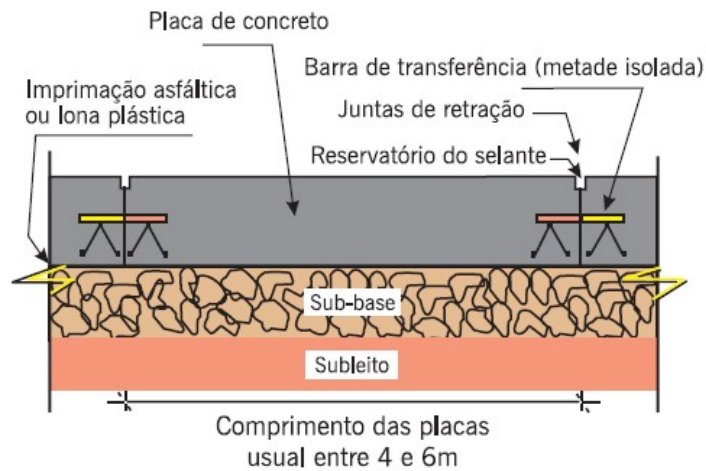


Figura 2 – Pavimento rígido: corte longitudinal
Fonte: Bernucci, et al. (2006).

As placas podem ser executadas pela pré-moldagem ou produção *in loco*, podendo ser dos tipos: concreto simples, concreto armado, concreto com armadura contínua, concreto protendido, concreto pré-moldado, *whitetopping* e *whitetopping* ultradelgado. Os tipos “*whitetopping*” correspondem a uma nova camada de revestimento de concreto sobre um antigo pavimento asfáltico ou de concreto (BALBO, 2009).

Pavimento semirrígido é constituído por revestimento asfáltico e camadas de base ou sub-base em material estabilizado com cimento. Pode ser do tipo direto quando a camada de revestimento asfáltico é executada sobre a camada de base cimentada e do tipo indireto, quando ela é aplicada sobre a base granular e sub-base cimentada. (DER/SP, 2006).

Nos pavimentos flexíveis todas as camadas sofrem deformação elástica significativa de acordo com carregamento aplicado, e essa carga se distribui em parcelas de proporções semelhantes entre as camadas (BRASIL, 2003).

Os pavimentos flexíveis sofrem deformações que até certo ponto não causam rompimento. Seu dimensionamento é feito à compressão e à tração na flexão, que geralmente provocam os afundamentos sob as rodas dos veículos, que levam à deformações permanentes e ao rompimento por fadiga (SENÇO, 2007).

Os pavimentos constituídos de peças pré-moldadas de concreto (PPC) também são definidos como pavimentos flexíveis. Sua composição é de uma camada de base ou base e sub-base, cujo revestimento é feito por peças de concreto justapostas sobre uma camada de

assentamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção. Esta contenção é formada por guias laterais que delimitam o pavimento intertravado e funcionam como marcadores de níveis e alinhamentos (NBR 9781, 2013).

Há varias técnicas para a execução das camadas do pavimento, assim como a possibilidade de adotar estruturas mistas, com bases de caráter rígido e revestimento flexível ou vice-versa, tornando a categorização em rígido e flexível restritiva, priorizando-se pela classificação das bases e revestimentos.

As bases podem ser constituídas de materiais granulares, solos, cimentados, com adição de asfaltos, entre outros, classificadas em rígidas e flexíveis, mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das bases

Bases	Rígidas	Concreto de cimento		
		Macadame de cimento		
		Solo-cimento		
	Flexíveis	Solo estabilizado	Granulometricamente - Solo Arenoso Fino Laterítico	
			Solo-betume / Solo-cal	
			Solo-brita	
		Macadame Hidráulico (MH)		
		Brita graduada com ou sem cimento		
		Macadame betuminoso		
		Alvenaria Poliédrica	Por aproveitamento	
		Paralelepípedos		

Fonte: Senço (2007).

Os revestimentos podem ser rígidos quando estão relacionados à utilização do concreto de cimento que lhe conferem elevada rigidez. E, quando flexíveis podem ser do tipo betuminoso (mistura de agregados e ligantes betuminosos) e do tipo calçamento articulado. Na Tabela 2, são apresentadas as classificações dos revestimentos de acordo com os materiais e as técnicas utilizadas.

Tabela 2 – Classificação dos revestimentos

Revestimentos	Rígidos	Concreto de cimento			
		Macadame de cimento			
		Paralelepípedos rejuntados com cimento			
	Flexíveis	Betuminosos	Concreto asfáltico		Usinados
			Pré-misturado a quente		
			Pré-misturado a frio		
		Trat. superficial	Penetração direta	Simples	
				Duplo	
			Penetração invertida	Triplo	
				Quádruplo	
Calçamento articulado	Alvenaria Poliédrica				
	Paralelepípedos				
	Peças pré-moldadas de concreto				

Fonte: Senço (2007).

Dentre os citados, os pavimentos abordados neste trabalho são os revestidos com Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) e com as Peças Pré-moldadas de Concreto (PPC).

O CAUQ foi escolhido por ser entre os tipos de pavimentos asfálticos, o que apresenta melhor qualidade devido ao seu controle rigoroso de execução, propicia maior conforto de rolamento e dentre os pavimentos urbanos é um dos mais utilizados (CARVALHO, 2011).

O revestimento de PPC foi considerado por apresentar os seguintes benefícios: possibilidade de reaproveitamento e reciclagem das peças na manutenção; propiciar abertura ao tráfego imediatamente após sua execução; facilidade de execução sem necessidade de pessoal qualificado para este serviço e proporcionar possibilidades de ordem estética devido às variações de forma e cor das peças (CARVALHO, 1998).

Na subseção seguinte, são apresentados conceitos gerais os revestimentos de CAUQ e PPC.

2.3.1 Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ)

Para Senço (2007, p. 27), o CAUQ:

É o mais nobre dos revestimentos flexíveis. Consiste na mistura íntima de agregado, satisfazendo rigorosas especificações, e betume devidamente dosado. A mistura é feita em usina, com rigoroso controle de granulometria, teor de betume, temperaturas do agregado e do betume, transporte, aplicação e compressão, sendo mesmo o serviço de mais acurado controle dos que compõem as etapas da pavimentação.

Em consonância a essa definição, a Norma DNIT 031/2006 – Especificação de Serviço apresenta o concreto asfáltico como “mistura executada a quente, em usina

apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (*filler*) se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada quente” (pág.3). Em relação à execução deste revestimento, todos os materiais que compõe este serviço devem seguir as especificações desta Norma.

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) é o ligante desta mistura asfáltica, isto é, o que proporciona forte união entre os agregados. O CAP é um asfalto que possui determinadas propriedades físicas que asseguram seu bom desempenho na obra, pois se trata de um produto semissólido a baixas temperaturas, viscoelástico na temperatura ambiente, líquido em altas temperaturas e se encaixa em limites de consistência em temperaturas estabelecidas (BERNUCCI et al., 2006).

Normalmente, como agregado graúdo são utilizados, pedra britada, escória, seixo rolado ou outro material que atenda a norma. O agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos, em que suas partículas devem ser resistentes, livres de torrões de argila e substâncias nocivas. Quando utilizado material de enchimento, este deve ser aplicado seco e isento de grumos e ser composto de materiais minerais finamente divididos, como cimento *Portland*, cal extinta, pó-calcário, cinza volante. Quando não houver boa adesividade entre ligantes e agregados, deve-se também adicionar melhorador (aditivo) de adesividade (DNIT, 2006).

Em relação aos agregados, Bernucci, et al. (2006) destaca que sua graduação deve ser do tipo densa, ou seja, sua curva granulométrica ser contínua e bem-graduada, a qual resulta num mineral com poucos vazios, onde os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores (Figura 3).

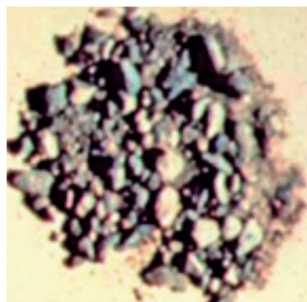


Figura 3 – Composição granulométrica bem-graduada
Fonte: Bernucci, et al. (2006).

Os equipamentos necessários para a execução deste tipo de revestimento são: depósito para ligante asfáltico (com dispositivos capazes de aquecer o ligante); silos para agregados; usina para mistura asfáltica; caminhões basculantes para transporte da mistura;

equipamento para espalhamento e acabamento; e equipamento para compactação (DNIT, 2006).

De maneira geral, inicia-se o serviço aquecendo o ligante e os agregados em temperaturas pré-determinadas, efetua-se a mistura dos materiais em usina e, em seguida o concreto asfáltico é transportado ao local de aplicação. Assim, é feita a distribuição do material na pista e, posteriormente sua compactação por meio de rolo pneumático, de metal liso tipo tandem ou vibratório. Após resfriamento total do concreto asfáltico, a via é liberada para o tráfego (DNIT, 2006).

Na Figura 4 é apresentado um corpo-de-prova retirado de um revestimento de concreto asfáltico. Pelo material extraído é possível visualizar o produto final de todo o processo de fabricação do CAUQ.



Figura 4 – Concreto asfáltico usinado a quente
Fonte: Bernucci, et al. (2006)

Nesta pesquisa, uma das alternativas propostas para o estudo de caso, é o pavimento revestido com CAUQ, dotado de base de brita graduada simples e reforço do subleito de solo melhorado com 50% de brita em volume, com maiores detalhes de projeto, abordados no capítulo 5.

2.3.2 Peças pré-moldadas de concreto (PPC)

As peças pré-moldadas de concreto são o resultado da evolução do uso de pedras talhadas e de paralelepípedos. Elas foram feitas em virtude das dificuldades encontradas para a produção de peças artesanais e à falta de conforto na rolagem dos paralelepípedos, sendo uma versão moderna e aperfeiçoada deles. Ademais, pode-se perceber a melhorias no formato, nos blocos e no seu processo de fabricação. (ABCP, 2010; SÃO PAULO, 2004). Este pavimento é composto de peças de concreto, assentadas sobre camada de areia e travadas por contenção lateral, assim como é mostrado na Figura 5.

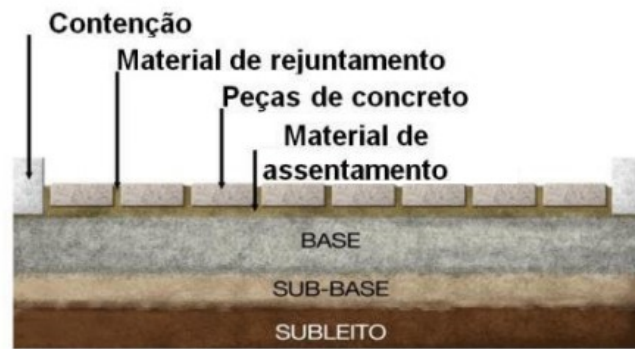


Figura 5 – Seção transversal do pavimento com das peças pré-moldadas de concreto
Fonte: Maschio (2015).

Os formatos das peças foram desenvolvidos de modo a produzir boa transferência de carga entre a peça que estiver sendo solicitada e as adjacentes. Pode-se dizer que é pelo contato entre as faces (intertravamento) que a estrutura irá trabalhar satisfatoriamente, onde se confere um alívio de tensões transmitidas às camadas do pavimento e ao subleito (SÃO PAULO, 2004).

O intertravamento é a capacidade que as peças têm de resistir a movimentos de deslocamento individual, podendo ser verticais, horizontais ou de rotação, conforme Figura 6. Ele possibilita o bom desempenho da estrutura e a durabilidade do pavimento. Para que tudo ocorra da forma correta é importante que se tenha contenção lateral, a qual impede o deslocamento das peças (ABCP, 2010).



Figura 6 – Movimentos de deslocamento
Fonte: ABCP (2010).

O pavimento intertravado possibilita vários tipos de paginação, em função da variação de suas cores, formas e tipos de assentamento, que podem ser observadas nas Figuras 7 e 8. A NBR 9781: 2013 que estabelece quatro tipos específicos de peças: as que variam entre formato próximo ao retangular; único diferente do retangular e que só pode ser assentado em fileira; outros como trapézios, hexágono e triedros; e também um conjunto de peças de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento. Em relação à espessura, pode haver também variações, cuja medida nominal deve ter no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm.



Figura 7 – Tipos de assentamento
Fonte: ABCP (2010).



Figura 8 – Formatos das peças
Fonte: ABCP (2010).

A execução deste tipo de revestimento, geralmente, é manual e os equipamentos utilizados são parte do ferramental básico da construção civil, acrescido de placas vibratórias para compactação.

O assentamento das peças de concreto é feito após a conclusão dos serviços de drenagem e das camadas subjacentes, assim como o nivelamento do terreno e os caimentos necessários conforme projeto. Inicialmente é preparado um colchão de areia com espessura entre 3 a 5 cm, que deverá ser sarrafeado e nivelado em altura especificada (ABCP, 1998).

As peças devem ser assentadas a partir de um meio-fio lateral e em ângulos retos, em relação ao eixo da pista, colocados o mais próximo um do outro, para garantir o intertravamento, ressaltando que as juntas entre as peças não devem ser maiores que 2 a 3 mm. Para fins de acabamento junto às guias ou interrupções (bueiros, caixas etc.) no pavimento, as peças devem ser serradas ou cortadas, dispo-ndo-as de maneira que fiquem levemente mais elevadas que as interrupções, em torno de 3 mm (ABCP, 1998).

Após o assentamento, o pavimento é submetido à ação de placa vibratória, para adensamento da areia e eliminação de eventuais desníveis. Durante este processo é espalhada sobre a superfície uma camada de areia fina ou pó-de-pedra para o preenchimento das juntas. Os pequenos espaços entre as peças e os bordos de acabamento devem ser preenchidos com argamassa de cimento e areia, que após a cura o tráfego pode ser liberado (ABCP, 1998).

Como alternativa de pavimento abordada para este trabalho, considerou-se aquele revestido de PPC, dotado de base de brita graduada simples, com maiores detalhes de projeto, também apresentados no capítulo 5.

Além das duas alternativas de revestimentos flexíveis apresentadas, esta pesquisa também considera um tipo de pavimento permeável, com intuito de contemplar os critérios relacionados às questões ambientais. Na subseção seguinte, são apresentados conceitos gerais sobre pavimentos permeáveis, e de modo sucinto, sendo esta alternativa abordada neste trabalho.

2.4 Pavimentos Permeáveis

As técnicas de pavimentação foram se aperfeiçoando e sendo orientadas pelo princípio da impermeabilização, a fim de evitar que a água que percolasse na estrutura do pavimento alterasse suas propriedades e, dessa forma, comprometesse seu desempenho e durabilidade. Porém, nas últimas décadas, com o crescente processo de urbanização, é possível perceber, que parte considerável da impermeabilização nas cidades é decorrente da pavimentação (BAPTISTA et al., 2015).

Pode-se afirmar que a urbanização provocou alterações significativas no ambiente urbano e, conseqüentemente no ciclo hidrológico. Essas mudanças estão associadas ao aumento no volume do escoamento superficial das águas de chuva, às recorrentes inundações, à redução da umidade do solo e dos lençóis subterrâneos e ao carreamento de poluentes nos sistemas de drenagem convencionais. Para neutralizar esses efeitos, foram desenvolvidas as técnicas compensatórias, que consistem no controle das águas pluviais na fonte do escoamento, evitando ou retardando sua rápida passagem para jusante. Dentre essas técnicas, existem os pavimentos permeáveis, que visam deter e/ou armazenar uma parcela significativa das águas pluviais. (BAPTISTA et al., 2015).

O pavimento permeável possui porosidade e permeabilidade consideravelmente elevada para influenciar a hidrologia e causar efeito positivo ao meio ambiente. As suas superfícies possibilitam a infiltração de parte do escoamento superficial, para uma camada reservatório situada sob o terreno, composta por agregados de

granulometria diferenciada, que deve ser adequadamente protegida do efeito de colmatção (entupimento) (VIRGILIIS, 2009; COSTA JUNIOR; BARBASSA, 2006).

Os pavimentos permeáveis que podem ser concebidos em três níveis de infiltração (CORSINI; 2014):

- Total - em que toda a água da chuva é direcionada para o subleito;
- Parcial - são instalados tubos de drenagem como complemento;
- Sem infiltração - em que um tubo de drenagem direciona a água para um sistema convencional de drenagem e uma manta impermeável garante a estanqueidade da estrutura.

A Figura 9 elucida a configuração dos pavimentos permeáveis, dotados de revestimento permeável e com possibilidade de infiltração total, parcial ou somente para detenção, respectivamente.

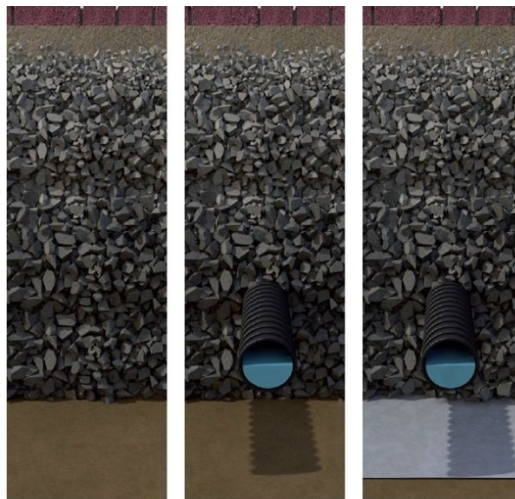


Figura 9 – Pavimento permeável: infiltração total, parcial e sem infiltração.
Fonte: Corsini (2014).

Para a implantação desse pavimento, processo de execução é análogo ao pavimento convencional, exigindo apenas maior controle de materiais e sedimentos para evitar colmatção precoce do reservatório e do revestimento. A estrutura subjacente ao revestimento é formada usualmente por brita, onde o volume de vazios determina a capacidade de reservação. A sua interface com o solo do subleito é realizada por geomembranas que garantem estanqueidade, quando função da estrutura é de apenas reservação (ALCIOLI, 2005; BAPTISTA et al., 2015).

Os revestimentos podem ser de asfalto poroso, concreto poroso, peças pré-moldadas de concreto, conforme mostrado na Figura 10. Além de algumas variações como concreto poroso modificado com polímero (SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2006; BAPTISTA et al., 2015).

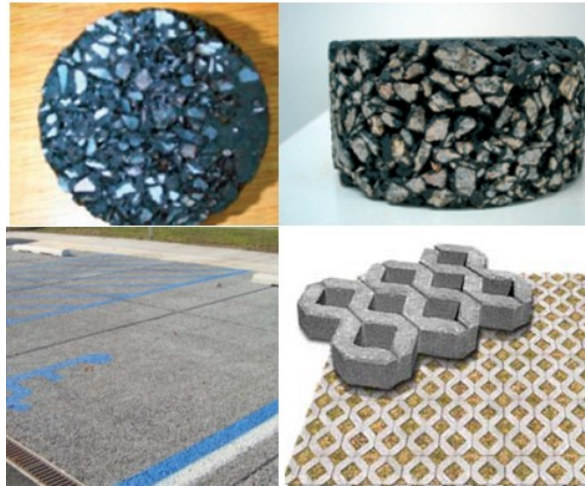


Figura 10 – Concreto asfáltico poroso (corpo-de-prova), concreto poroso (estacionamento) e blocos vazados de concreto.

Fontes: Bernucci et al. (2006), Marchioni e Silva (2011) e Alcioli (2005).

As peças pré-moldadas de concreto podem ser utilizadas como pavimento intertravado permeável. Esse tipo de revestimento permite a infiltração da água por aberturas específicas para essa finalidade, podendo ser por meio das juntas de assentamento ou pelas próprias peças quando confeccionadas em concreto poroso (MARCHIONI; SILVA, 2010).

Os pavimentos permeáveis podem ser aplicados em estacionamentos, praças, ruas, avenidas, vias de pedestres, passeios, terrenos de esportes, entre outros locais. Porém apresentam algumas limitações no seu emprego, que estão ligadas à colmatação (entupimento dos vazios do pavimento) e a poluição do aquífero. Esse entupimento pode inviabilizar a sua função hidrológica do mesmo, o qual requer boas práticas de manutenção, com a utilização de jatos d'água de alta pressão e equipamentos especiais de aspiração. Em casos mais extremos de colmatação, é necessária a implantação de drenos e até a reconstrução do pavimento. Dependendo da susceptibilidade das águas subterrâneas e das características do solo, pode ocorrer a contaminação dos lençóis subterrâneos. (BAPTISTA et al., 2015).

Dentre as tipologias de pavimento permeável mencionadas, foi considerada como alternativa a ser avaliado nesta pesquisa, aquele revestido de peças pré-moldadas de concreto com uma estrutura reservatório sem infiltração (estanque). O revestimento PPC em é assentado sobre camada de areia, seguido de base de brita graduada simples, sub-base de macadame hidráulico, camada de pó de pedra (proteção da geomembrana) e geomembrana. Maiores detalhes de projeto também constam no capítulo 5.

3 APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO (AMD)

Este capítulo apresenta as definições sobre a tomada de decisão e a utilização do AMD. São explanadas as três fases principais do apoio multicritério à decisão que são: estruturação do problema, avaliação e recomendações. E, então, são descritos os métodos que foram utilizados na pesquisa bem como os estudos realizados na área de transportes com a utilização do AMD.

3.1 Tomada de Decisão

Tomar uma decisão é um ato frequente do cotidiano das pessoas e das organizações. Apesar de muito comum, dependendo do contexto que o decisor está inserido, isto não é tão simples e pode exigir de quem decide que analise o problema com coerência para que todo o processo inerente à decisão seja direcionado corretamente. Na maioria das vezes, no processo decisório há um conjunto de alternativas em que a escolha de uma delas está associada a ganhos ou perdas por parte do desse decisor e de todos os envolvidos no contexto (GOMES et al., 2002).

De modo habitual, o ambiente onde as decisões são tomadas é complexo, sendo caracterizado pelos seguintes fatores (KEENEY, 1982; GOMES et al., 2002):

- Alto risco: a diferença entre alternativas pode envolver milhões de dólares ou grandes impactos ambientais, por exemplo;
- Estrutura complexa: vários fatores tornam difícil avaliar as alternativas de maneira informal corretamente;
- Nenhum especialista global: O processo de tomada de decisão não pode ser feito apenas por uma pessoa, pois são necessários diferentes indivíduos das áreas de economia, engenharia e outras que devem ser incorporadas no processo;
- Necessidade de justificar decisões: para autoridades reguladoras, acionistas, empregadores, o público e outros;
- Os interesses para a solução do problema são conflitantes;
- Existência de objetivos e alternativas que não são claramente definidos, bem como possíveis consequências não compreendidas nitidamente;
- Alguns objetivos são qualitativos e só podem ser mensurados por meio de julgamentos de valor, elaborados a partir de uma escala.

Foi na década de 70 que surgiram os primeiros métodos multicritérios, que auxiliaram na resolução de problemas complexos. Eles foram se aperfeiçoando e consolidando nos métodos AMD empregados atualmente. Essa abordagem emergiu de várias escolas com pensamentos diferentes, que de um modo geral desenvolveram métodos formais que consideram vários critérios para ajudar os indivíduos ou grupos a explorar decisões importantes (GOMES et al., 2002; BELTON; STERWART, 2002).

O conjunto de métodos AMD visa clarificar o processo de decisão, buscando incorporar os julgamentos de valores dos atores envolvidos no processo. Ele modela a maneira como se apresentam as preferências dos atores, esclarecendo-lhes que o processo decisório é na realidade uma forma de aprendizagem do problema. A abordagem não pretende mostrar aos decisores que a alternativa selecionada deve entendida como uma verdade única de solução, mas sim apoiar o processo decisório, por meio de recomendações de cursos de ações (GOMES et al., 2002).

De modo geral, os métodos multicritérios implicam em (BELTON; STERWART, 2002):

- Considerar explicitamente os critérios múltiplos conflitantes;
- Estruturar o problema;
- Promover foco e linguagem para discussão, favorecendo a integração e comunicação entre as partes interessadas;
- Auxiliar na compreensão sobre a situação do problema por parte dos atores, com base nos seus próprios juízos de valor; e por meio da organização e apresentação adequada de informações, guiá-los na identificação de alternativas;
- Conduzir a decisões que foram consideradas, justificáveis e explicáveis da melhor forma;
- Utilizar abordagens conceitualmente simples e transparentes.

Assim sendo, pode-se afirmar que a aplicação dos métodos AMD consiste em estabelecer preferências entre as alternativas de um problema, a partir de um conjunto de objetivos a ser alcançado com a decisão, os quais são elencados por todos os envolvidos no processo. Para esses objetivos são instituídos atributos que mensura o quanto eles podem ser atingidos (DODGSON, 2009).

Com os atributos determinados, identifica-se o desempenho esperado das alternativas em relação a eles. São conferidos pesos para cada um dos atributos que reflitam a

importância relativa para a decisão, e então, são combinados os pesos e pontuações para cada uma das alternativas para derivar o seu desempenho global. Após análise dos resultados e são feitas recomendações aos decisores (DODGSON, 2009).

Em geral, os métodos multicritérios possuem três fases principais: estruturação, avaliação e recomendações (GALVES; 2005), que são apresentados nas próximas subseções.

3.2 Estruturação do Problema

A estruturação do problema tem por finalidade apresentar o contexto em que o problema está inserido. Para desenvolver este processo, são determinados os atores envolvidos na decisão. Eles são consultados para identificar os objetivos que pretendem alcançar com a decisão, os quais serão organizados e mensurados (ENSSLIN et al., 2013).

A estruturação fornece aos atores uma linguagem comum de debate e um cenário dos possíveis impactos das alternativas potenciais nos seus objetivos e valores. Esta etapa promove embasamento para reconhecer oportunidades de decisão e geração de novas alternativas (BANA E COSTA et al., 1997).

Para a essa fase, foi proposto o método *Pensamento Focado em Valores* ou *Value Focused Thinking* (VFT). Esse método visa compreender os valores dos atores envolvidos e a partir disso, identificar oportunidades de decisão e alternativas para alcançá-los. (KEENEY, 1992; ALMEIDA et al., 2012)

O processo inicia-se pela definição do contexto decisório, seguido do reconhecimento dos objetivos fundamentais (dos atores), posteriormente a identificação dos mecanismos (atributos) para mensurá-los. Por fim, são estabelecidas alternativas, que são avaliadas por cada atributo (KEENEY, 1992).

3.2.1 Caracterização do contexto de decisão

O contexto de decisão está relacionado com a atividade que será analisada e envolve todas as estruturas administrativas, políticas e sociais que envolvem a decisão a ser tomada (KEENEY, 1992; DODGSON, 2009).

Definir esse contexto é especificar os seus componentes e compreender de que forma eles interagem. É neste momento que se determina o nível de decisão (objetivo geral central), os limites geográficos e temporais do estudo e os atores envolvidos. (DELOSPITAL, 2016; GALVEZ, 2005).

O nível de decisão pode ser um projeto específico ou temas mais abrangentes, como políticas, planos e programas referentes ao objetivo de estudo. Os limites temporais

estão atrelados ao nível de decisão e os limites geográficos se referem à delimitação da região que contempla a situação de decisão (DELOSPITAL, 2016; BILBAO, 2014).

Os envolvidos são todas as pessoas e/ou grupos que estão envolvidos, direta ou indiretamente, no contexto de decisão. As relações entre eles se fazem sob a forma de alianças quando os seus interesses forem idênticos ou complementares. Porém se os valores defendidos por eles se contrariam, a sua relação se dá sob a forma de conflitos. Os atores que condicionam diretamente a tomada de decisão se caracterizam por decisores. O ator que possui uma posição neutra neste processo é chamado de facilitador. O mesmo não interveem no julgamento dos decisores e o seu objetivo é esclarecer e conduzir toda a análise decisória (BANA E COSTA et al., 1993; GOMES et al., 2002).

Os atores a serem consultados representam vários grupos dentro deste contexto de decisão e envolvem o equilíbrio de várias implicações, como o tempo, a qualidade do conjunto de objetivos e a contribuição de cada ator para a legitimidade do processo. Para selecionar estes participantes, o intuito de ser abrangente indica que muitos grupos devam participar. Porém é necessário limitar o esforço do processo a um nível razoável. A quantidade de grupos depende do problema, e em termos práticos, a escolha criteriosa de 3 a 5 grupos que representem diferentes perspectivas em um problema de decisão proverá uma lista ampla de objetivos (KEENEY, 1992).

3.2.2 Identificação dos objetivos

De acordo com o método VFT, os valores dos atores são especificados por objetivos. Eles, por sua vez, são declaração de algo que se deseja alcançar, caracterizado por três aspectos: um contexto de decisão, um objeto e um sentido de preferência. Para identificá-los, em geral, conta-se com o auxílio de um facilitador, o qual em contato com os atores deve contextualizá-los sobre todo processo que será desenvolvido, coletar os seus objetivos e orientar todo o processo (KEENEY, 1992).

Nesta fase, por meio de entrevistas, são coletadas as opiniões relativas a valores, expectativas e vontades pessoais das partes interessadas no **contexto** de decisão (ENSSLIN et al.; 2013).

A catalogação dos objetivos ocorre por meio de consulta aos atores envolvidos. Para estimular a identificação dos possíveis objetivos durante as entrevistas, outros mecanismos podem auxiliar neste processo, os quais estão relacionados aos questionamentos que serão realizados com os atores. Ao entrevistá-los, deve-se incentivá-los a explorarem alternativas; a citar problemas, deficiências, restrições, diretrizes e objetivos genéricos

inerentes à decisão; bem como devem ser estimulados a pensar a partir de perspectivas diferentes da sua, como por exemplo, um usuário a pensar no problema de decisão como se ele fosse o responsável por resolvê-lo (KEENEY, 1992).

No fim de cada entrevista, cada ator fornece uma relação de objetivos, que serão analisados e estruturados posteriormente.

3.2.3 Objetivos fundamentais e objetivos meios

Quanto aos objetivos, eles são classificados em dois tipos: fundamentais e meios. Os primeiros são essenciais para a situação de decisão, ou seja, estão orientados para os “fins”. Enquanto que o outro tipo fornece “os meios” para que os objetivos fundamentais sejam alcançados. Os objetivos meios podem ser muito úteis para analisar os problemas, ao passo que os fundamentais são necessários para orientar todo o processo de avaliação das alternativas (KEENEY; MCDANIELS, 1992).

Para a determinação de quais serão fundamentais ou meios, coletam-se os objetivos, questionam-se os participantes a cerca de cada um dos objetivos da seguinte forma: “Por que esse objetivo é importante no contexto da decisão?” Se a resposta for de que é essencial para a circunstância ou simplesmente: “Porque ele é importante”, trata-se de um objetivo fundamental. Caso a resposta seja que ele é importante porque ao ser alcançado implicará em algum outro objetivo, é classificado como objetivo meio (KEENEY, 1992).

Os objetivos fundamentais devem possuir as seguintes propriedades (KEENEY, 1992):

- Essencial: indicar as consequências em termos das razões fundamentais para o interesse na situação de decisão;
- Controlável: abordar as consequências que são influenciadas apenas pela escolha de alternativas no contexto da decisão;
- Completo: incluir todos os aspectos fundamentais das consequências das alternativas de decisão;
- Mensurável: especificar os graus a que os objetivos podem ser alcançados;
- Operacional: permitir a coleta de informação necessária para uma análise razoável considerando o tempo e o esforço disponíveis.
- Decomponível: permitir o tratamento separado de diferentes objetivos na análise;

- Não redundante: evitar dupla contagem de possíveis consequências.
- Conciso: reduzir o número de objetivos necessários para a análise de uma decisão;
- Compreensível: facilitar a geração e comunicação de pontos de vistas para orientar o processo de tomada de decisão.

Após a determinar os objetivos fundamentais, eles devem ser organizados hierarquicamente.

3.2.4 Hierarquia dos objetivos fundamentais

A organização hierárquica dos objetivos fundamentais fornece um panorama geral dos interesses dos atores em vários níveis de especificação (DELOSPITAL, 2016). Essa hierarquia, também denominada árvore de valor, implica nos seguintes benefícios que apoiam o ordenamento dos valores, tais como (KEENEY, 1992):

- Os níveis mais elevados de uma hierarquia apontam as preocupações gerais e podem ser identificados com relativa facilidade, sendo uma base para a especificação dos objetivos de nível mais baixo;
- Ajuda a identificar objetivos em falta;
- As diferenças entre os objetivos meios e fundamentais ficam mais claras conforme a hierarquia dos objetivos é estruturada;
- Auxilia a identificar a redundância ou a dupla contagem de objetivos;
- É mais simples determinar atributos para medir objetivos de nível inferior do que de nível mais alto;
- O conjunto de atributos para os objetivos de nível inferior indicam o grau em que o objetivo de nível superior associado é alcançado;
- Os atributos de nível mais baixo propiciam uma base para descrever as consequências do problema e para avaliar uma função objetiva apropriada ao problema.

Em relação aos benefícios da construção da hierarquia, nessa etapa podem-se ainda identificar conflitos entre os objetivos, o que contribui para refinar as suas definições (DODGSON; 2009).

No estágio estrutural, não se deseja ponderar nenhum dos objetivos fundamentais de acordo com algum índice de importância. Essa ponderação será realizada em etapa seguinte. Dessa forma, a hierarquia construída deve ser simples, para que os decisores a

compreendam e julguem se os objetivos estão apropriados. Se eles se manifestarem de acordo com a hierarquia de objetivos fundamentais significa que concordam com o contexto da decisão (KEENEY, 1992).

Dessa forma fica clara a importância da figura do facilitador, que conhece os objetivos de todas as partes interessadas e integra-os de modo a desenvolver uma hierarquia global (KEENEY, 1992).

3.2.5 Definição de atributos e seus níveis

Para medir os objetivos fundamentais é necessário determinar atributos para cada um deles. Estes devem ser mensuráveis e precisam ter uma forma de medir, como massa, comprimento, unidades monetárias, entre outras. São eles que fazem ligação entre a tangibilidade das alternativas e abstração dos objetivos (KEENEY, 1992; GOMES et al. 2002).

Podem ser utilizados os atributos naturais, construídos e *proxy*. O atributo natural é aquele que pode ser medido diretamente e que possui uma interpretação comum a todos. Quando não é possível identificar o tipo de atributo para medir o objetivo, podem ser usadas as outras duas maneiras. Os construídos são elaborados especificamente para um determinado contexto de decisão. Neles está a descrição de vários níveis de impacto, os quais indicam diretamente o grau em que o objetivo é alcançado. Além de avaliar os objetivos, os atributos ajudam a definir o que se pretende expressar com o objetivo (KEENEY, 1992; ALMEIDA et al., 2014).

Em casos onde não são possíveis nem o atributo natural e nem o construído, utiliza-se de uma medida indireta, o atributo *proxy*. Nesta situação, um atributo *proxy* (ou indireto) para um objetivo fundamental pode ser um atributo direto para um objetivo meio. Este tipo de atributo une um evento ou propriedade fortemente relacionada ao objetivo fundamental (KEENEY, 1992; BILBAO, 2014).

Como exemplo dos tipos de atributos, Delospital (2016) em seu estudo, intitulado “Aplicação do auxílio multicritério à decisão ao projeto de travessia entre Santos e Guarujá”, utilizou os demonstrados na Tabela 3:

Tabela 3 – Exemplos de atributos

Tipo de atributo	Objetivo fundamental	Atributo	Escala	Intervalo de variação
Direto	Atender à demanda urbana por transporte coletivo	Passageiros transportados	mil viagens/dia	0 a 40
Construído	Reduzir o impacto na qualidade do ar	Índice de qualidade do ar	construída	N1 a N5
<i>Proxy</i>	Reduzir os impactos na comunidade aquática	Quantidade de material dragado do canal	milhões de m ³	0 a 2

Fonte: Delospital (2016).

No primeiro é possível notar que ele é de fácil compreensão geral, no segundo tipo foi necessário construir um atributo específico para aquela realidade, o qual está descrito pela Tabela 4. No último foi aplicada uma medição indireta.

Tabela 4 – Índice de qualidade do ar

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 - 50	Praticamente não há risco à saúde.
Regular	51 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 - 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 - 299	Toda população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	> 299	Toda população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: Companhia Estadual do Estado de São Paulo - CETESB (2014) apud Delospital (2016).

Eles ainda devem possuir as seguintes propriedades desejáveis e que estão diretamente relacionadas com as propriedades que se espera dos objetivos fundamentais (KEENEY, 1992):

- **Mensurabilidade:** os níveis dos atributos devem ser claramente definidos para evitar ambiguidade em sua utilização;
- **Operacionalidade:** as avaliações sobre possíveis consequências e valores dos atributos, devem ser realizadas individualmente para cada um, ou seja, um atributo operacional admite que o objetivo seja mensurado independentemente dos outros objetivos;
- **Compreensibilidade:** a descrição das consequências dos atributos, bem como a interpretação dessas consequências não deve ser ambígua, ou

seja, todas as pessoas que tiverem acesso ao processo decisório, devem compreender todos os níveis de atributo.

De acordo com ENSSLIN et al. (2001), os atributos podem ainda ser classificados em quantitativo, qualitativo, discreto e contínuo. O quantitativo descreve os objetivos fundamentais somente em números. O qualitativo descreve os objetivos através de expressões semânticas e/ou representações pictóricas, já o discreto é formado por níveis finitos de impacto. O contínuo, por sua vez, é composto de uma função matemática contínua.

3.2.6 Criação de alternativas

Depois de realizar uma coleta de um conjunto completo de objetivos para uma situação de decisão, deve-se pensar em alternativas que venham ao seu encontro. Em um cenário ideal, a melhor seria aquela que utilizasse a menor quantidade de tempo, esforços e recursos. Todavia, na realidade de situações complexas, dificilmente todas essas condições são alcançadas (KEENEY, 1992).

Ainda, o autor assegura que o processo de geração de alternativas, origina-se dos objetivos identificados. Logo, ele inicia-se de um objetivo de por vez e, também, em se pensar em soluções desejáveis caso exista um único objetivo. Em seguida, podem-se considerar dois objetivos de cada vez para a tentativa de criar alternativas que seriam boas para ambos. Pode-se dizer que essas soluções são um refinamento ou combinações das alternativas geradas num primeiro momento. Repete-se este processo com três objetivos de cada vez e, assim, sucessivamente, até que todos os objetivos sejam contemplados em conjunto. Após este processo, as alternativas podem ser examinadas para observar se é possível combinar qualquer uma delas em uma única alternativa.

Além dos objetivos, este processo pode ser feito ao se analisar os atributos e a própria função de valor multiatributo, diretamente ou em conjunto com os objetivos. O autor ainda menciona que pode ser analisado o próprio contexto da decisão e das alternativas, e, fazer descrições desejáveis das consequências das decisões, para estimular o surgimento de novas alternativas.

Neste sentido, afirma-se que as alternativas são concebidas ao longo do processo de decisão e, depois de um conjunto de alternativas ter sido analisado pela primeira vez, pode-se estimular o pensamento criativo para gerar alternativas novas ou melhorá-las. Ao se desenvolver esse processo formal e iterativo, é possível estimular a inovação e obter um conjunto promissor de boas alternativas para serem avaliadas (KEENEY, 1992).

3.3 Avaliação de Alternativas

Há uma variedade de métodos multicritérios que podem ser aplicados para avaliar alternativas em um contexto decisório. Vincke (1992) e Roy (1996) apud Guarnieri (2015) apresentam três categorias dessas abordagens: *Critério único de síntese*; *Abordagem de Sobreclassificação ou Superação* e *Métodos Interativos*.

Na abordagem do *Critério único de síntese*, as preferências do decisor por uma delas, são avaliadas por um conjunto de atributos e agregadas em um único valor. Em outras palavras, é gerado um valor numérico para cada uma e que representa seu desempenho nos atributos, dessa forma as mais adequadas são aquelas que apresentarem melhor valor (ALMEIDA, 2011 apud GUARNIERI, 2015).

Os métodos da categoria *Critério único de síntese* são os seguintes: *Multiple Attribute Utility Function* (MAUT), *Simple Multicriteria-Attribute Rating Technique* (SMART), *Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution* (TOPSIS), *Multi-Attribute Value Theory* (MAVT) e *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (GUARNIERI, 2015).

O segundo grupo de métodos é baseado na comparação par a par das alternativas em cada atributo, instituindo uma relação de superação no confronto entre duas alternativas. Desta maneira, a alternativa melhor avaliada é que indica superioridade na maioria dos critérios (ALMEIDA, 2011 apud GUARNIERI, 2015). *Elimination and Choice Translating Algorithm* (ELECTRE) e *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) compõe os métodos classificados neste grupo (GUARNIERI, 2015).

Na terceira categoria, os métodos são aplicados em sistemas computacionais interativos, onde a agregação das preferências dos decisores é progressiva, implicando em uma sucessão de fases de cálculos e diálogo. A cada etapa de cálculo é proposta uma solução ao mesmo. Neste momento, se ele fornecer uma informação necessária para uma nova fase de cálculo a análise é prosseguida, caso contrário finaliza-se o processo (GOMES et al., 2002; CLÍMACO, 2003).

Para se avaliar alternativas referentes a um problema estruturado a partir de um modelo de valor, como o VFT, é essencial utilizar-se de um método que possibilite a combinação dos vários atributos identificados. Esta avaliação pode ser mais representativa por meio das funções objetivas, expressas pela função de valor multiatributo e a de utilidade multiatributo (KEENEY, 1992).

Uma função de valor é construída para um decisor ou para um grupo de decisor, com o intuito de avaliar as alternativas de acordo com um determinado ponto de vista (ENSSLIN et. al, 2001).

O conceito de função de valor é diferente do de utilidade. A função de valor quantifica a preferência dos decisores quando não há incerteza sobre o desempenho das alternativas (DYER; SARIN, 1979; LARICHEV; MOSHKOVICH, 1997 apud ENSSLIN et. al, 2001). Com relação a de utilidade, essa pode ser compreendida como uma extensão da função de valor, pois usa probabilidades e expectativas para modelar as incertezas no processo de decisão (BELTON; STERWART, 2002), ou seja, associa as preferências dos decisores perante as incertezas, incorporando suas atitudes frente aos riscos (von WINTERFELD; EDWARDS, 1986 apud por ENSSLIN et. al, 2001).

Nesta pesquisa foi aplicada a função de valor multiatributo. Este método consiste em construir um mecanismo que associa um número real a cada alternativa, produzindo uma ordem de preferência nelas, de acordo com os juízos de valor expressos pelos decisores (BELTON; STERWART, 2002).

3.3.1 Função de valor multiatributo

Este método foi utilizado na forma de agregação aditiva, pois é a maneira mais facilmente explicável e compreendida pelos decisores em vários contextos. Além disso, essa forma não implica em restrições maiores sobre as estruturas de preferência como outras fórmulas de agregação mais complexas (BELTON; STERWART, 2002).

No entanto, para utilizar essa função aditiva, é necessário cumprir o seguinte pressuposto: independência preferencial entre os atributos, isto é, que as ordenações de preferência de um atributo não dependam dos níveis de desempenho de outros atributos, de modo que o decisor expresse realmente preferências em um atributo, sem referir-se aos demais (BELTON; STERWART, 2002; GOMES et al., 2002).

A função na forma aditiva é representada pela Equação 1 (GOMES et al., 2002):

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(a) \quad (1)$$

Em que:

$V(a)$ = Valor global da alternativa a ;

w_i = **Constantes de escala** dos atributos 1, 2,..., n ;

$v_i(a)$ = Valor local da alternativa a nos atributos 1, 2,..., n ;

n = Número de atributos do modelo.

3.3.1.1 Funções de valor

Os primeiros componentes a desenvolver-se por este método são funções de valor. Elas transformam o modelo qualitativo em quantitativo, sendo ferramentas que auxiliam os decisores a expressar numericamente suas preferências, diferenciando os níveis de atratividade de cada atributo a partir de suas percepções (ENSSLIN, 2001; ENSSLIN et al., 2013).

3.3.1.2 Constante de escala

As constantes de escala são parâmetros que permitem que a mudança de desempenho de um atributo possa ser comparada com a dos outros atributos, isto é, permite ordenar em valores a preferência dos decisores em relação aos atributos. Essas constantes quando combinadas com as funções de valor, levam a avaliação global (ENSSLIN et al., 2013; BELTON; STERWART, 2002).

Tais parâmetros são fundamentais porque raramente em um modelo multicritério uma alternativa é melhor que as demais em todos os atributos. Desse modo, com a utilização destas constantes é possível agregar todas as dimensões de avaliação, transformando as locais (avaliadas em cada atributo), em valores globais, que, por sua vez, possibilitam a melhor comparação das alternativas disponíveis (ENSSLIN et al.;2001).

3.3.1.3 Avaliação local das alternativas

Com todas as funções de valor obtidas, devem-se fazer as avaliações locais das alternativas. Esta fase consiste em transformar o nível de cada atributo conferido a cada alternativa, em um valor de preferência por meio da função de valor (DELOSPITAL, 2016).

3.3.1.4 Avaliação global das alternativas

A avaliação global é realizada pela soma ponderada dos valores parciais obtidos de uma determinada alternativa nos vários atributos, em que a ponderação é feita pelas constantes de escala. Isto é, em cada alternativa serão multiplicados os valores identificados nas avaliações locais pelas constantes de escalas para em seguida, somar todas essas parcelas, transformando as unidades de atratividade local em unidades globais. Esse procedimento é feito pela aplicação da equação de agregação aditiva, apresentada na seção 3.3.1 (BELTON; STERWART, 2002; ENSSLIN et al., 2001).

3.4 Análise de Sensibilidade e Recomendações

A análise de sensibilidade é realizada para averiguar se os resultados são robustos ou sensíveis às mudanças em aspectos de modelo. O procedimento consiste em fazer mudanças no modelo para investigar se faltam informações, para verificar o efeito de incerteza de um decisor sobre seus valores ou para oferecer uma visão diferente do problema. Ela pode ser testada a partir de três possibilidades, descritas a seguir (BELTON; STERWART, 2002):

- **Perspectiva técnica:** É a análise do efeito sobre o resultado a partir de mudanças nos parâmetros de entrada do modelo. Essas entradas constituem as funções de valor, as constantes de escala e os níveis de atributos. Logo, as saídas dessa análise podem apontar qualquer modificação na avaliação geral das alternativas. Desta forma é possível identificar quais parâmetros de entrada podem influenciar criticamente a avaliação global ou afetar a ordem preferencial geral;
- **Perspectiva individual:** Apresentar aos decisores o modelo para sua análise individual, para que possam testar se estão seguros com os resultados, ou se algum objetivo importante foi negligenciado do modelo e sua compreensão do problema;
- **Perspectiva em grupo:** Neste aspecto, a análise se desenvolve com intuito de explorar perspectivas alternativas sobre o problema, obtidas por diferentes conjuntos de pesos dos atributos. Pode ser feita a partir da percepção de pessoas qualificadas na área da decisão do problema com diferentes tipos de especialidades.

Há ainda a possibilidade de consulta aos grupos de interesses para garantir que os objetivos incluídos no modelo sejam de interesse de todos os atores envolvidos, pois os pontos de vistas deles diferem na importância relativa dos objetivos e em algumas pontuações. Desse modo, aplicando o modelo com esses atores, haverá mudanças nos parâmetros de entrada, o que pode resultar em duas ou três alternativas que serão sempre preferíveis, embora o ordenamento delas possa mudar. Se essas diferenças forem pequenas, pode-se aceitar que uma segunda alternativa melhor está associada a pouca perda de benefício geral. Essa análise pode revelar formas como as alternativas podem ser melhoradas e ajudar a resolver desacordos entre grupos de interesse (DODGSON; 2009).

Após os resultados serem obtidos na avaliação global e análise de sensibilidade serão realizadas as recomendações.

3.5 Métodos Multicritérios Aplicados aos Transportes

Com intuito de elucidar a aplicação do AMD no ramo de transportes, são apresentados na Tabela 5 estudos referentes a essa área.

Tabela 5 – Aplicações de AMD em Transportes

Autores/ano	Título	Objetivos do estudo	Métodos	Critérios	Conclusões
Cafiso et al. (2002).	Método de análise multicritério para manutenção de pavimentos	Desenvolver um método que forneça uma estrutura AMD nas ferramentas do programa computacional "Sistema de Gestão e Desenvolvimento Rodoviário", Versão 4 (HDM-4).	AHP.	Conforto; meio ambiente; segurança; custos de agências rodoviárias e custos dos usuários das estradas.	Os resultados indicaram que a utilização do AMD propiciou uma melhor distribuição orçamentária na priorização de vias para manutenção. O modelo pode ser aplicado também em vários níveis de programa e projeto, com notável flexibilidade na escolha de critérios e alternativas. Este fato permite ao tomador de decisão poder alterar os pesos dos critérios de acordo com requisitos particulares, como exemplo, limite orçamentário severo, aumento da percepção do usuário da estrada de conforto, entre outros.
Filippo et al. (2007).	Um modelo <i>fuzzy</i> multicritério aplicado à gestão da restauração ambiental de rodovias pavimentadas	Apresentar um procedimento para a classificação de prioridade de restauração ambiental de estradas.	Modelo Fuzzy e AHP.	Risco de acidentes; importância econômica e estratégica; degradação ambiental e risco de erosão; e deslizamentos de terra ao longo da rodovia.	Este estudo propiciou um tratamento mais sistemático das incertezas e dos aspectos subjetivos da decisão, integrando conhecimentos especializados rodoviários e ambientais no processo. A estruturação hierárquica dos critérios estabelecidas neste estudo permite ao decisor analisar o problema de forma abrangente e verificar como os critérios e seus pesos atribuídos podem influenciar as decisões tomadas.
Lima et al. (2009).	Uma abordagem multicritério para a priorização de vias pavimentadas	Apresentar um modelo de priorização de vias para manutenção que integra métodos de avaliação multicritério e Sistema de Informação Geográfica (SIG).	WLC, OWA e AHP.	Hierarquia viária; questões técnicas e operacionais; localização das seções de pavimentos e custos.	Por meio da integração de conceitos importantes de priorização de vias e de uma ferramenta de análise espacial, gerou-se um modelo operacional para administradores públicos planejarem as intervenções em vias urbanas pavimentadas de maneira sustentável.

Continua.

Autores/ano	Título	Objetivos do estudo	Métodos	Critérios	Conclusões
Van Leest (2009).	Modelo de suporte à decisão para pavimentos rodoviários com base em custos de vida inteira, avaliação do ciclo de vida e análise multicritério	Desenvolver um modelo de apoio à decisão que considera fatores econômicos, técnicos, ambientais e outros ao selecionar um pavimento rodoviário, utilizando materiais tradicionais e alternativos.	Método da soma ponderada e na padronização usando a pontuação máxima gerada, integrado ao <i>software</i> CROW.	Aspectos ambientais: perturbação ou incômodo devido à produção de ruído; cheiro leve ou desagradável; uso da terra; esgotamento das matérias-primas e dos recursos energéticos; emissões para o ar durante a produção; transporte; construção e utilização dos pavimentos. Custos: construção; manutenção; reabilitação e demolição. Outros fatores: englobam os efeitos sobre a construção, manutenção, incômodo e segurança do usuário rodoviário.	O uso do modelo desenvolvido permite aos decisores escolherem o tipo de pavimento de forma transparente, e também, mostra às autoridades rodoviárias que além do investimento de construção ser importante, devem ser considerados os "custos totais de propriedade" durante o tempo de vida do pavimento rodoviário. Foi possível verificar que, os fatores com maior impacto são: a vida estrutural de dos pavimentos rodoviários e os seus regimes de manutenção associados; os períodos de vida atribuídos; e, os preços unitários de construção e manutenção.
Santhanam e Gopalakrishnan (2013).	Avaliação e interpretação da sustentabilidade do ciclo de vida do pavimento usando um novo procedimento de decisão qualitativa	Introduzir um novo procedimento de decisão qualitativa, que permitirá fácil identificação de melhores projetos relacionados às preferências de sustentabilidade, expressas pelas partes interessadas.	Procedimento desenvolvido por Santhanam et al. (2010a). ¹	Consumo de materiais naturais; consumo de combustível; consumo de energia; resíduos comuns; CO ₂ para atmosfera; NO _x para atmosfera; uso da terra; Cl ao solo; SO ₂ ao ar; SO ₄ ao solo; partículas na atmosfera; Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) para atmosfera; N efluentes; Demanda Química de Oxigênio (DQO) efluentes; CO para atmosfera; resíduos inertes; uso de água; barulho; metais pesados para o solo e poeira.	Os resultados mostraram que as alternativas FA3 (construção de cinzas volantes sem cimento), R1 (construção de referência construída com agregado mineral natural) e BFS (construção com escória triturada de alto forno e areia) são as mais preferidas em relação à percepção dos atores. Também foi demonstrado como uma explicação ou prova pode ser gerada automaticamente em apoio ao domínio de um resultado sobre o outro. Isso contribui para atores envolvidos, na tomada de decisão sobre a escolha da alternativa mais sustentável para o pavimento.

Continua.

¹ SANTHANAM, Ganesh Ram; BASU, Samik; HONAVAR, Vasant. **Dominance Testing via Model Checking**. In: AAAI. 2010. P. 357-362.

Autores/ano	Título	Objetivos do estudo	Métodos	Critérios	Conclusões
Heravi; Esmaceli (2013).	Abordagem fuzzy de tomada de decisão multicritério para a avaliação do projeto de pavimento utilizando a análise custo /desempenho do ciclo de vida	Apresentar um método multicritério para avaliação de projeto de pavimento que utiliza a teoria de conjuntos fuzzy; considera os custos suplementares do usuário devido à condição inadequada do pavimento; e como critério, considera o desempenho do pavimento no seu ciclo de vida.	Teoria de conjuntos fuzzy	Custo de agência de ciclo de vida; custo de usuário de ciclo de vida e valor de custo de desempenho de pavimento.	Os resultados mostraram que considerar os custos em longo prazo, diminui os custos totais dos projetos, e que, considerar os efeitos do desempenho do pavimento na análise auxilia no cálculo dos custos reais dos projetos. O autor ainda ressalta que a técnica de cálculo do desempenho do ciclo de vida utilizada e fundamentada nas equações AASHTO, fornece uma abordagem adequada para estimar a condição de desempenho do pavimento. Todavia, a aplicação bem sucedida do método apresentado depende do uso da estimativa real das incertezas associadas ao problema.
Bilbao (2014)	Avaliação de desempenho do sistema BRT da cidade de Lima utilizando o auxílio multicritério à decisão	Avaliar o desempenho do sistema BRT (Bus Rapid Transit) da cidade de Lima, no Peru, especificamente no Corredor Central ou Corredor Segregado de Alta Capacidade (COSAC I) utilizando a metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão.	<i>Value Focused Thinking</i> e função de valor multiatributo.	Demanda; acidentes; atropelamentos; custo da tarifa; emissão de dióxido de carbono; tempo; acessibilidade e valor de conforto.	Com a aplicação do método AMD foi possível avaliar o desempenho de um sistema BRT, utilizando critérios que representam subjetividade dos atores. Além disso, dentre os objetivos no processo final de implantação do sistema e do projeto inicial, foi verificado que o objetivo atingido, foi somente a redução do tempo de viagem. Foi ainda sugerida a aplicação do método em contextos diversos, bem como de outros tipos de sistema de transporte urbano.

Continua.

Autores/ano	Título	Objetivos do estudo	Métodos	Critérios	Conclusões
Jato-Espino et al. (2014)	Um modelo estocástico multicritério fuzzy para a seleção de pavimentos urbanos permeáveis	Apresentar uma abordagem multicritério baseada no método MIVES para a seleção de calçadas permeáveis. A pesquisa desenvolveu um estudo de caso, em que foram avaliados os três principais tipos de pavimentos permeáveis: asfalto poroso, concreto poroso e blocos de concreto.	Método de Monte Carlo e AHP combinado com conjuntos Fuzzy.	Econômicos: custos; flexibilidade e tempo. Ambientais: consumos; emissões e reciclabilidade. Sociais: estética; conforto e segurança.	Os autores afirmam que a importância deste estudo se deve ao fato de que não há nenhuma aplicação semelhante à seleção dessas estruturas. A partir deste estudo, está sendo desenvolvida uma linha de pesquisa para implementar este método na reabilitação de pavimentos de cidades inteiras. O intuito é melhorar a eficiência hidrológica destes locais propondo o pavimento mais adequado para ser instalado em cada seção atual da infraestrutura viária a ser reabilitada.
Santos et al. (2016).	Avaliação ambiental e econômica de construção de pavimentos e práticas de manejo para melhorar a sustentabilidade do pavimento	Investigar sob uma perspectiva de ciclo de vida do pavimento, em que nível, vários tipos de pavimentos, como misturas de reciclagem em fábrica, WMA, reciclagem central fria e tratamentos preventivos são eficazes na construção e gestão de do pavimento rodoviário. Além disso, o trabalho procurou promover a conscientização sobre a importância de ampliar os limites de avaliações ambientais e econômicas do ciclo de vida, com a inclusão de materiais e processos alternativos.	TOPSIS	Custos da agência rodoviária; custos de usuários de estradas e impactos ambientais.	Dentre as soluções analisadas, destacaram-se com potenciais benefícios ambientais e econômicos, as misturas de asfalto de tipo a quente contendo 30% de materiais de pavimentos de asfalto recuperados. No desempenho geral, essa solução se revelou superior em relação aos benefícios das agências rodoviárias, dos usuários da rodovia e do meio ambiente. De outro modo, no tocante ao desempenho ambiental exclusivo, a manutenção preventiva baseada em revestimento de concreto asfáltico de mistura fina e quente, provou ser a solução mais adequada. O modelo apresentado neste artigo possui uma formulação matemática clara e bem definida, que pode ser facilmente disponibilizado para os produtores de misturas de asfalto e engenheiros do departamento de transporte em uma ferramenta de software.

Continua.

Autores/ano	Título	Objetivos do estudo	Métodos	Critérios	Conclusões
Aceves e Fuamba (2016).	Metodologia para seleção de melhores práticas de gestão integrando múltiplas partes interessadas e critérios. Parte 2: estudo de caso	Selecionar as melhores práticas de gestão de manejo de águas pluviais por meio da aplicação de quatro métodos AMD na rede residencial de águas pluviais na região de Montreal. Este estudo de caso adotou para avaliação as seguintes práticas: os telhados verdes, os jardins de chuva, os barris de chuva e os pavimentos permeáveis.	ELECTRE III, AHP, PROMETHEE II MTOPSIS.	Desempenho técnico (controle de quantidade de água); controle de qualidade da água; custo econômico e desempenho social.	O modelo proposto consistiu em seis etapas: definição do problema; análise preliminar do local; análise de alternativas; análise das partes interessadas; aplicação dos métodos AMD e a análise e recomendações finais. O estudo sugeriu que o ELECTRE III seria o método mais adequado para este estudo, pois apresenta certa flexibilidade nos valores limiares, nos pesos dos critérios e o foi único método que mostrou as principais escolhas compartilhadas entre as partes interessadas (jardins de chuva e jardins de chuva com pavimento permeável). Os autores mencionam que esse modelo pode ser adaptado para outros estudos de casos, sendo essa a principal contribuição do trabalho.
Deslospital (2016)	Aplicação do auxílio multicritério à decisão ao projeto de travessia entre Santos e Guarujá	Aplicar a metodologia de auxílio multicritério à decisão ao projeto de infraestrutura para a transposição do canal do porto de Santos.	<i>Value Focused Thinking</i> e função de valor multiatributo.	Passageiros transportados; redução do tempo de viagem; conforto da travessia; tarifa de pedágio; quantidade de acidentes; custo de construção; índice de qualidade da água; Área de Preservação Permanente (APP) com interferência; número de empregos gerados; número de empregos gerados. Estes são os critérios que se desdobram em subcritérios.	O resultado do modelo aponta o túnel em Vicente de Carvalho, com a melhor avaliação global. Notou-se que as melhores alternativas são as que estão relacionadas ao atendimento da demanda urbana. Além disso, os túneis submersos destacaram-se nas primeiras colocações na tabela de avaliação. Isto se deve aos seguintes fatores: menor impacto urbano, custos de construção compatíveis e a menores volumes de escavação, principalmente, se comparado à tecnologia de túneis escavados, que obteve o último lugar dentre as alternativas.

Continua.

Autores/ano	Título	Objetivos do estudo	Métodos	Critérios	Conclusões
Babashamsi et al. (2016)	Processo de hierarquia analítica fuzzy integrada e método VIKOR na priorização de atividades de manutenção de pavimentos	Abordar a priorização de alternativas de manutenção de pavimentos através da aplicação de AMD pela integração do método fuzzy AHP com o método VIKOR. O estudo de caso foi realizado em três ruas principais dentro da mesma região em Teerã/Irã.	Fuzzy-AHP e método VIKOR.	Índice de condição do pavimento (PCI); congestionamento de tráfego; largura do pavimento; custos de melhoria e manutenção e o tempo necessário para operar.	O peso de cada critério foi determinado pelo método Fuzzy AHP. Após a ponderação dos principais critérios, os pesos obtidos foram dispostos no modelo VIKOR e a melhor alternativa foi determinada. O método VIKOR é adequado para situações em que o tomador de decisões quer alcançar o máximo de lucro e o risco da decisão é menos importante. Neste estudo de caso, após comparar os valores dos índices de prioridades das alternativas, a Rua Delavaran Blvd teve maior prioridade em termos de manutenção e atividades de reabilitação na rede de calçadas do Distrito 4, Município de Teerã, seguida da Avenida Farjam e Rua Hengam, respectivamente.

Fonte: Autora (2017).

Por meio dessa tabela é possível verificar que o método mais utilizado para avaliação de alternativas na área de transportes é o AHP. Tanto esse quanto o da função de valor multiatributo, proposto neste trabalho, são decorrentes da Escola Americana e são classificados na categoria *Critério único de síntese* (como já mencionado na seção 3.3). Assim sendo, pode-se verificar que ambos avaliam as alternativas a partir de um conjunto de atributos, agregando todos eles num único valor. Todavia, nesta pesquisa optou-se pelo método de função de valor multiatributo, porque ele é um método transparente que permite que o processo de apoio à decisão seja construído junto com os atores. Além disso, ele possui uma formulação matemática simples que facilita a compreensão por parte das pessoas que serão consultadas e a replicação do modelo aplicado em outras realidades.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo descreve como a pesquisa foi classificada e desenvolvida. Posteriormente, são apresentados os métodos multicritérios que foram aplicados no estudo de caso em São Carlos/SP.

4.1 Classificação e Desenvolvimento da Pesquisa

Do ponto de vista de sua natureza, este trabalho foi desenvolvido através de uma pesquisa aplicada, visando gerar conhecimento para aplicação prática voltada à solução de problemas específicos e interesses locais. Ela possui uma abordagem mista, pois envolve a catalogação de objetivos que expressam a subjetividade dos envolvidos (dados qualitativos), e, a sua tradução em valores numéricos para análise e tratamento dos dados (SILVA; MENEZES, 2005).

Segundo os objetivos específicos o presente trabalho se classifica como pesquisa exploratória, pois ele discute um tema ainda pouco abordado e tem por objetivo proporcionar uma visão geral sobre o problema, tornando-o mais explícito. Além disso, ela envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que possuem conhecimento relativo ao problema estudado no estudo de caso (GIL, 2008).

Quanto ao delineamento da pesquisa, o procedimento técnico adotado foi um estudo de caso. Isto porque foi aplicado à realidade do município de São Carlos/SP, envolvendo uma pesquisa detalhista deste objeto, com intuito de promover o seu conhecimento (DA COSTA; DA COSTA, 2009; GIL, 2008).

4.2 Revisão Bibliográfica

Num primeiro momento foi revisado através de literatura o conteúdo disponível sobre os tipos de pavimentos e, em especial, as alternativas propostas para o trabalho. Posteriormente, prosseguiu-se com a revisão sobre a abordagem AMD para adquirir melhor compreensão do assunto e escolha dos métodos que melhor se aplicariam a este estudo.

Os bancos de dados consultados durante esta etapa foram: *Web of Science*, *Scopus* e *Engineering Village*. A partir de todo levantamento bibliográfico, foi elaborado o método desta pesquisa, mostrado na Figura 11.

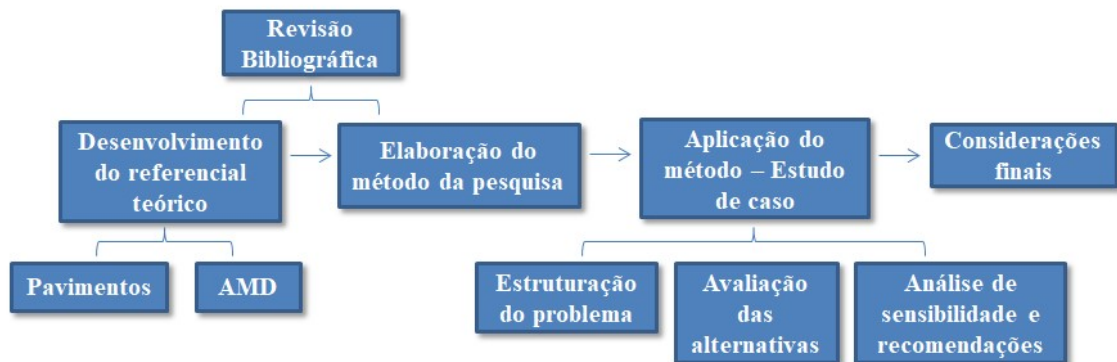


Figura 11 – Método da pesquisa
Fonte: Autora (2017).

Os problemas que surgem no momento das decisões em nível de gestão pública se caracterizam por possuírem natureza complexa, conflituosa e que refletem diferentes pontos de vista. Neste sentido, a abordagem AMD pode auxiliar os decisores na organização e sintetização de todos os fatores que envolvem o problema de decisão, propiciando maior segurança para tomada de decisão. Por estes motivos, foram adotados os métodos multicritérios neste trabalho (BELTON; STERWART 2002).

A pesquisa foi desenvolvida de acordo com as três fases principais que constituem a abordagem AMD que são: estruturação do problema, avaliação de alternativas e recomendações (ENSSLIN et al., 2013; GALVES, 2005).

4.2.1 Estruturação do problema

A estruturação proporciona a compreensão da situação de decisão. Ela foi desenvolvida com base no método VFT (*Value Focused Thinking*), composta das seguintes etapas fundamentais (KENEY, 1992):

- Caracterização do contexto de decisão;
- Identificação e estruturação dos objetivos;
- Objetivos meios e fundamentais;
- Hierarquia dos objetivos fundamentais;
- Definição dos atributos;
- Proposição de alternativas;
- Definição de níveis de atributos.

4.2.1.1 Caracterização do contexto de decisão

O contexto de decisão foi determinado pelo nível de decisão, pela determinação dos limites geográficos e temporais do objeto de estudo, por conseguinte pela identificação dos atores envolvidos nesse contexto (DELOSPITAL, 2016).

Os atores selecionados fazem parte de três grupos: decisores, pesquisadores e usuários das vias. Os decisores foram determinados após a verificação das atribuições dos órgãos municipais. Os pesquisadores foram de diversas áreas relacionadas à temática da pesquisa e os usuários foram os que se encontravam no centro da cidade.

Em relação aos decisores, somente os representantes dos órgãos indicados foram entrevistados. Com os demais atores, o parâmetro adotado para determinar o número de entrevistados, foi o mesmo que Delospital (2016) utilizou, isto é, as entrevistas foram feitas até o momento em que os objetivos coletados começaram a se repetir.

4.2.1.2 Identificação dos objetivos

Durante as entrevistas com os atores, era abordado brevemente o problema de decisão, esclarecia-se o motivo de envolvê-los na pesquisa, e quando possível, como seriam utilizados os dados fornecidos por eles (KENEY, 1992).

Eles eram questionados de acordo com o roteiro apresentado no Apêndice A, conforme orientações de Keeney (1992) (subseção 3.2.2), explicando sempre que se desejava uma lista qualitativa de objetivos sem classificação ou prioridades.

4.2.1.3 Objetivos fundamentais e objetivos meios

Os objetivos coletados foram classificados em objetivos fundamentais e meios, isto é, durante as entrevistas para cada um deles, e a pergunta feita aos atores era: "Por que esse objetivo é importante no contexto da decisão?" Se a resposta fosse que o objetivo é uma das razões essenciais para o interesse na situação, classificaria o mesmo como objetivo fundamental. No caso de afirmarem que é importante por implicar em outro objetivo, teríamos o objetivo meio (KENEY, 1992).

Em função da limitação de tempo, as entrevistas para coleta de dados e identificação dos objetivos, foram realizadas de uma única vez. Após a apresentação dos objetivos por parte dos respondentes, foi feito o questionamento mencionado para determinar os objetivos fundamentais.

4.2.1.4 Hierarquia dos objetivos fundamentais

Após a análise dos dados coletados, os objetivos foram classificados em meios e fundamentais. Os fundamentais foram organizados em uma hierarquia, em que o objetivo principal foi posicionado no maior nível e os demais foram posicionados em um nível inferior. Este tipo de estruturação auxiliou a identificar os objetivos que se repetiam, e retirá-los para formalizar a estrutura hierárquica (KENEEY, 1992).

4.2.1.5 Definição de atributos

Após a concepção da hierarquia, foram determinados atributos para cada objetivo, para mensurar o grau que os eles poderiam ser alcançados pelas alternativas (KENEEY, 1992).

Cada atributo apresentou um nome, uma escala de medida (quantitativa ou qualitativa), e um intervalo de variação onde se concentram o melhor nível viável e o pior nível aceitável (DELOSPITAL, 2016). Dependendo de suas características, os atributos foram classificados em natural, construído ou *proxy* (KENEEY, 1992).

4.2.1.6 Proposição de alternativas

As alternativas para pavimentos urbanos propostas para este modelo são os aqueles com revestimento de CAUQ, com PPC e o pavimento PPC com estrutura para reservar águas pluviais (PPC permeável). Essa etapa compreendeu o dimensionamento e a descrição das alternativas.

4.2.1.7 Definição dos níveis de atributos para cada alternativa

Durante a revisão bibliográfica para a elaboração dos atributos, alguns níveis foram identificados nesse processo, os demais foram definidos por meio de nova revisão na literatura em trabalhos relacionados a pavimentos. Após a definição, eles foram dispostos em uma tabela, onde ficaram organizados para a fase seguinte, que corresponde à avaliação de alternativas.

4.2.2 Avaliação de alternativas

A avaliação das alternativas foi desenvolvida pelo método multicritério *função de valor multiatributo* na forma aditiva, conforme Equação 1 (subseção 3.3.1).

Para a construção dessa função foi necessário determinar as funções de valor e as constantes de escala, obtidas por intermédio de uma segunda rodada de entrevistas com os

decisores. Com a determinação destes valores, foram realizadas as avaliações locais e a avaliação global das alternativas.

4.2.2.1 Funções de valor

São definidas como mecanismos utilizados pelos decisores para auxiliá-los na articulação das suas preferências (ENSSLIN, 2001). Para a definição desses valores foram utilizados os métodos da Pontuação Direta (*Directing Rating*) e da Bissecção.

4.2.2.1.1 Método da pontuação direta

Para utilizá-lo, os atributos foram elaborados em um conjunto de níveis de impacto, ordenados preferencialmente, no sentido do pior ao melhor. Ao pior nível foi aplicado o valor de 0 e ao melhor nível a pontuação mais alta (em geral 100). Esses dois níveis serviram de âncora para a escala, pois todos os intermediários são posicionados em relação a estes dois pontos de referência. Posteriormente, os decisores foram estimulados a expressar numericamente a atratividade dos níveis em relação às âncoras (ENSSLIN et al., 2001; GOMES et al., 2002).

Na Figura 12 é apresentado um exemplo de aplicação deste método para um atributo construído. Nesta escala, o N3 representa o melhor nível correspondendo ao valor de 100 e o N1 o pior nível (com valor de 0). Em relação a estes valores, foi solicitado ao decisor que definisse o nível intermediário N2.

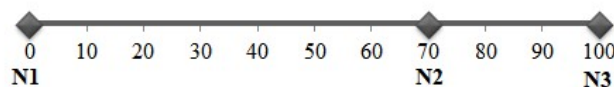


Figura 12 – Escala mostrando a ordem de preferência dos níveis de impacto
Fonte: Autora (2017).

4.2.2.1.2 Método da Bissecção

Assim como o método anterior, esse método é utilizado largamente para construção de funções de valor, especialmente, para atributos quantitativos contínuos. Para o pior e o melhor nível de impacto também foram conferidos os valores de 0 e 100, respectivamente (ENSSLIN et al., 2001).

Foi solicitado aos decisores que identificassem um nível de atributo que correspondesse à metade dos valores extremos, ou seja, 50 pontos. E, a função de valor foi

refinada por meio de subdivisões adicionais. Foram definidos três pontos além do melhor e do pior, por ser suficiente para a construção da função de valor (ENSSLIN et al., 2001).

Para ilustrar este método, foi apresentado o atributo *custo de implantação* (desenvolvido neste trabalho). Este custo variou entre 70,00 e 155,00 R\$/m². Ao menor valor foi atribuído 100 pontos (melhor nível) e para o maior valor foi atribuído 0 (pior nível). Então, foi solicitado ao decisor que expressasse qual seria o custo que na opinião dele valeria 50 pontos, conforme Figura 13.

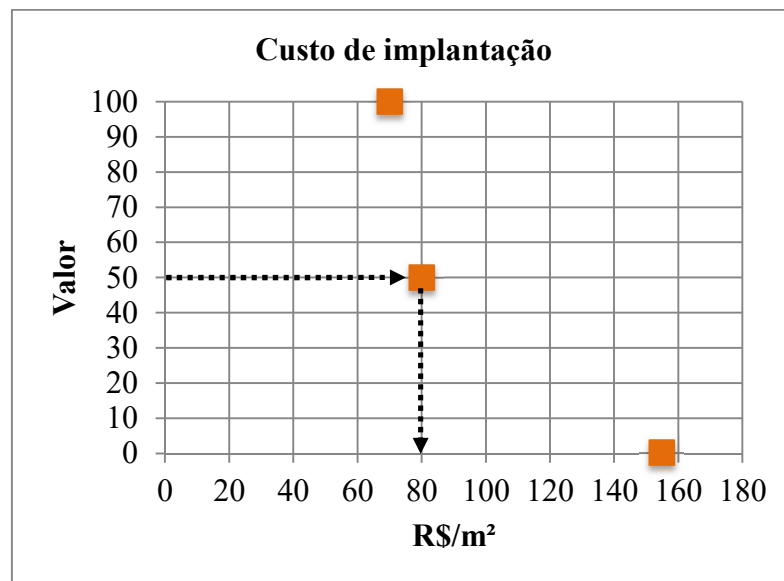


Figura 13 – Determinação do primeiro ponto da função de valor
Fonte: Autora (2017).

Posteriormente, foi solicitado que definissem os custos correspondentes a 25 pontos e a 75 pontos. Com a definição de valores, obteve-se a função de valor, de acordo com a Figura 14.

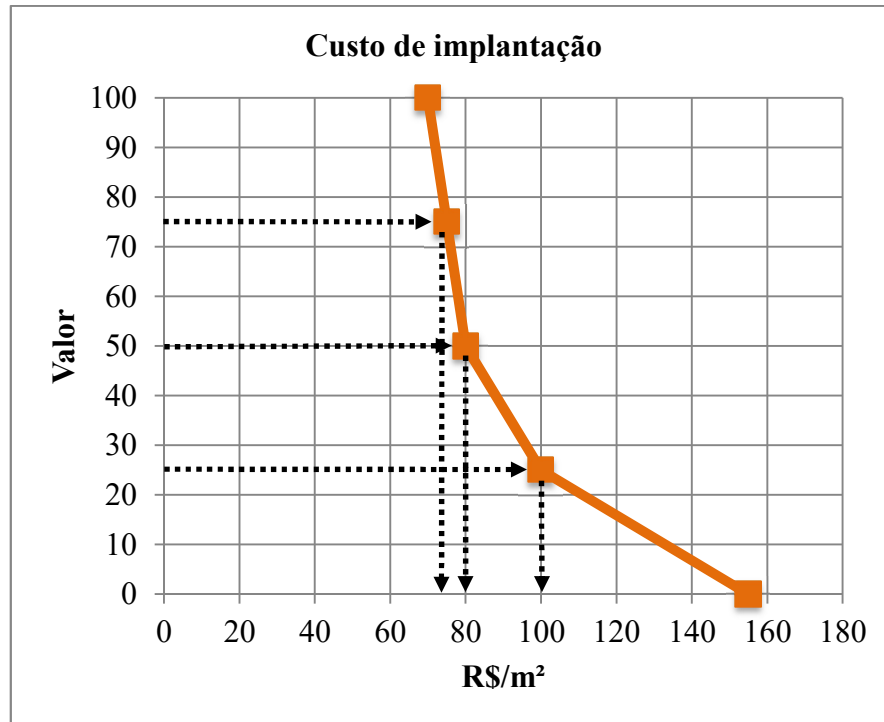


Figura 14 – Função de valor construída
Fonte: Autora (2017).

Nesta pesquisa foram empregados os dois tipos de métodos, o da bissecção para atributos que variavam dentro de um intervalo numérico e, para os demais, o método da pontuação direta.

4.2.2.2 Constantes de escala

As constantes de escalas são parâmetros que os decisores julgaram adequados para agregar, de forma compensatória, desempenhos locais (nos atributos) em um global (ENSSLIN et al.;2001). Para a determinação deste parâmetros foi empregado o método *swing weighting*.

4.2.2.2.1 Método *swing weighting*

Este método consiste em consultar os decisores e solicitar que considerem, mediante uma situação hipotética, uma alternativa que possua o pior nível em todos os atributos no modelo. Isto proporciona a eles a oportunidade de escolher aquele em que o desempenho da alternativa evoluísse para o melhor nível. A este salto atribuíram-se 100 pontos. Este atributo foi eliminado do processo e trabalhou-se com os demais, repetindo-se o mesmo questionamento e, definindo qual deles seria elevado, conferindo-lhe um valor inferior a 100 pontos. Desta forma foi feito com todos os atributos, até que eles definissem a ordem de todas as passagens do pior para o melhor nível (ENSSLIN et al., 2001;GOMES et al., 2002).

Para determinar as constantes de escala, cada pontuação definida foi dividida pelo somatório de todas as pontuações. Estas constantes variaram entre 0 e 1 e a soma de todas elas totalizaram 1 (ENSSLIN et al., 2001).

4.2.2.3 Avaliação local das alternativas

A determinação das funções de valores possibilitou fazer a avaliação local de cada alternativa. Nos atributos quantitativos, que possuem uma função de valor contínua, foi possível encontrar no gráfico qual era o correspondente ao desempenho da alternativa naquele atributo. Nas ocasiões em que o desempenho da alternativa em um atributo não se encontrou exatamente em pontos referentes aos níveis utilizados para a construção de valor, mas sim entre dois destes níveis, foi encontrada a atratividade local por meio da interpolação linear, como na Figura 15, em que foi necessário determinar a função de valor para um custo de R\$ 77,87, que correspondeu a um valor de 60,65. (ENSSLIN et al., 2001).

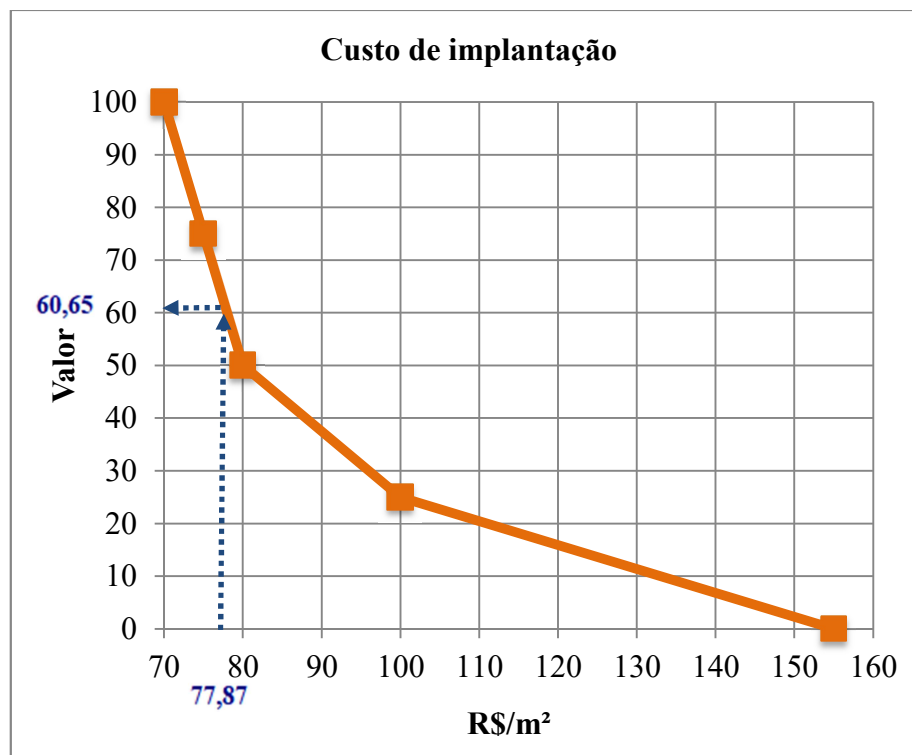


Figura 15 – Exemplo de interpolação linear
Fonte: Autora (2017).

Naqueles em que as funções de valor foram determinadas pelo método da pontuação direta, foi substituído o nível de cada atributo definido para cada alternativa, pelo seu respectivo valor de preferência (DELOSPITAL, 2016). Este procedimento pode ser verificado na Tabela 6. Neste caso, foi avaliado a alternativa CAUQ, de acordo com o atributo *aspectos de conforto de rolamento*.

Tabela 6 – Descrição e função de valor do atributo *aspectos de conforto de rolamento*.

Nível	Descrição	Função de valor
3	Superfície homogênea e regular, confortável ao tráfego rodoviário.	100
2	Superfície texturizada e regular, porém mesmo com um número reduzido de juntas, pode gerar leve desconforto rodoviário.	60
1	Este pavimento proporciona conforto rodoviário médio por apresentar um número significativo de juntas.	0

Fonte: Autora (2017).

Neste caso, a alternativa CAUQ apresentou um desempenho de nível 3, com avaliação local em 100 pontos .

Após a realização de todas as avaliações locais, elas foram mostradas em tabelas bem como traçados seus perfis de impacto (gráficos), para melhor compreensão e visualização do desempenho de cada alternativa (ENSSLIN et al., 2001).

4.2.2.4 Avaliação global das alternativas

Depois de realizadas as avaliações locais, foram aplicadas as constantes de escalas às funções de valor identificadas para cada alternativa e todas essas parcelas foram somadas, resultando em um único valor que representa o desempenho global de cada alternativa. Esse cálculo foi realizado pela aplicação da Equação 1 (subseção 3.3.1), cujo o resultado da avaliação global proporcionou um ordenamento das alternativas (BELTON; STERWART, 2002).

4.2.3 Análise de sensibilidade e recomendações

A análise de sensibilidade foi desenvolvida sob uma perspectiva técnica. Ela poderia ser realizada pela apreciação dos resultados do modelo com mudanças nas constantes de escalas ou, ainda em algum nível de atributo ou utilização de dois níveis (dentro de um intervalo) para uma alternativa que, porventura, provocasse alguma imprecisão (BELTON; STERWART, 2002; ENSSLIN et al., 2001). Porém, como foi possível perceber, as constantes de escala tiveram maior influência na avaliação global, então se optou pela variação destes parâmetros.

4.2.3.1 Análise técnica por meio da substituição das constantes de escala

Ela foi feita pela substituição das constantes de escalas, em que é recomendado que o modelo fosse estável a pequenas variações destas constantes, em torno de 10%. Se houvesse grandes alterações, significaria que o modelo não era robusto em relação a estes parâmetros (ENSSLIN et al., 2001).

Foram definidas as constantes que se pretendia modificar, realizando-se duas análises de sensibilidade. Porém, vale ressaltar que esta alteração implicou na mudança de todas as constantes de escala, pois o somatório de todas deve ser igual a um. Em função disso, as demais foram recalculadas de modo que as proporções entre elas não mudassem. Para isto foi utilizado a Equação 2 (ENSSLIN et al., 2001).

$$w_n' = \frac{w_n(1 - w_i')}{(1 - w_i)} \quad (2)$$

Em que:

w_i =constante de escala original do atributo i ;

w_i' =constante de escala modificada do atributo i ;

w_n =constante de escala original do atributo n ;

w_n' =constante de escala recalculada do atributo n .

Então com as novas constantes, o modelo foi recalculado e os resultados finais permitiram avaliar se ele poderia ser considerado consistente.

4.2.3.2 Recomendações

A partir dos resultados obtidos, foi realizada uma análise sobre eles e recomendada a alternativa que apresentou a melhor avaliação global.

5 APLICAÇÃO

Este capítulo descreve a aplicação do método da pesquisa para o estudo de caso na cidade de São Carlos/SP, contemplando as fases de estruturação do problema, avaliação de alternativas e recomendações.

5.1 Estruturação do problema

Esta fase teve por finalidade estruturar o problema, caracterizando o contexto de decisão, identificando os objetivos dos atores e organizando-os de forma que fosse possível mensurá-los.

5.1.1 Caracterização do contexto de decisão

A caracterização do contexto de decisão definiu-se pelo nível de decisão e pelos limites temporais e geográficos. O nível de decisão consiste em fornecer subsídios ao município de São Carlos, para concepção de projetos e implantação de pavimentos urbanos.

A cidade é localizada no centro geográfico do Estado de São Paulo, possui um clima ameno, com temperatura média anual de 19,6° C e altitudes médias entre 800 e 1000 metros, onde a vegetação predominante é o cerrado. Do ponto de vista econômico, acadêmico e industrial é intitulada a Capital da Tecnologia, devido às universidades locais e centros de pesquisas, às empresas de alta tecnologia e às indústrias do município (SÃO CARLOS, 2017).

A população de São Carlos no último censo (2010) era de 221.950 pessoas, com uma densidade demográfica de 195,15 hab/km² e uma população estimada para 2017 de 246.088 habitantes. Em termos de economia e desenvolvimento, o município apresentou em 2010 um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,805, e um Produto Interno Bruto (PIB) per capita de R\$ 40.435,49 em 2015 (IBGE, 2017).

A área de unidade territorial do município compreende 1.136,907 km² (em 2016) e a área urbana corresponde a 67,25 km², que equivale a 6% do seu território total. Deste espaço urbano, 33 km² são ocupados (SÃO CARLOS, 2017).

No espaço urbano consolidado, a maioria das vias urbana está pavimentada. Porém de acordo com o Plano Diretor de São Carlos, já é prevista uma macrozona para possível expansão urbana.

Por meio de consulta à legislação vigente do município e entrevista ao engenheiro da SMOP, foi constatada a carência em relação a diretrizes para o planejamento e implantação de pavimentação urbana. Como no espaço urbano consolidado, a maioria das vias urbana está pavimentada e é previsto no Plano Diretor uma macrozona de expansão urbana, o estudo de caso foi desenvolvido em São Carlos, com intuito de apoiar projetos e decisões em futuras aberturas de vias urbanas.

Desta forma, o contexto de decisão da pesquisa contempla as vias coletoras de mão dupla a serem implantadas no perímetro urbano de São Carlos, na área de expansão urbana. A Figura 16 mostra a localização do município em nível estadual e nacional, e a macrozona de expansão urbana que representa os limites geográficos do contexto de decisão (SÃO CARLOS, 2017).

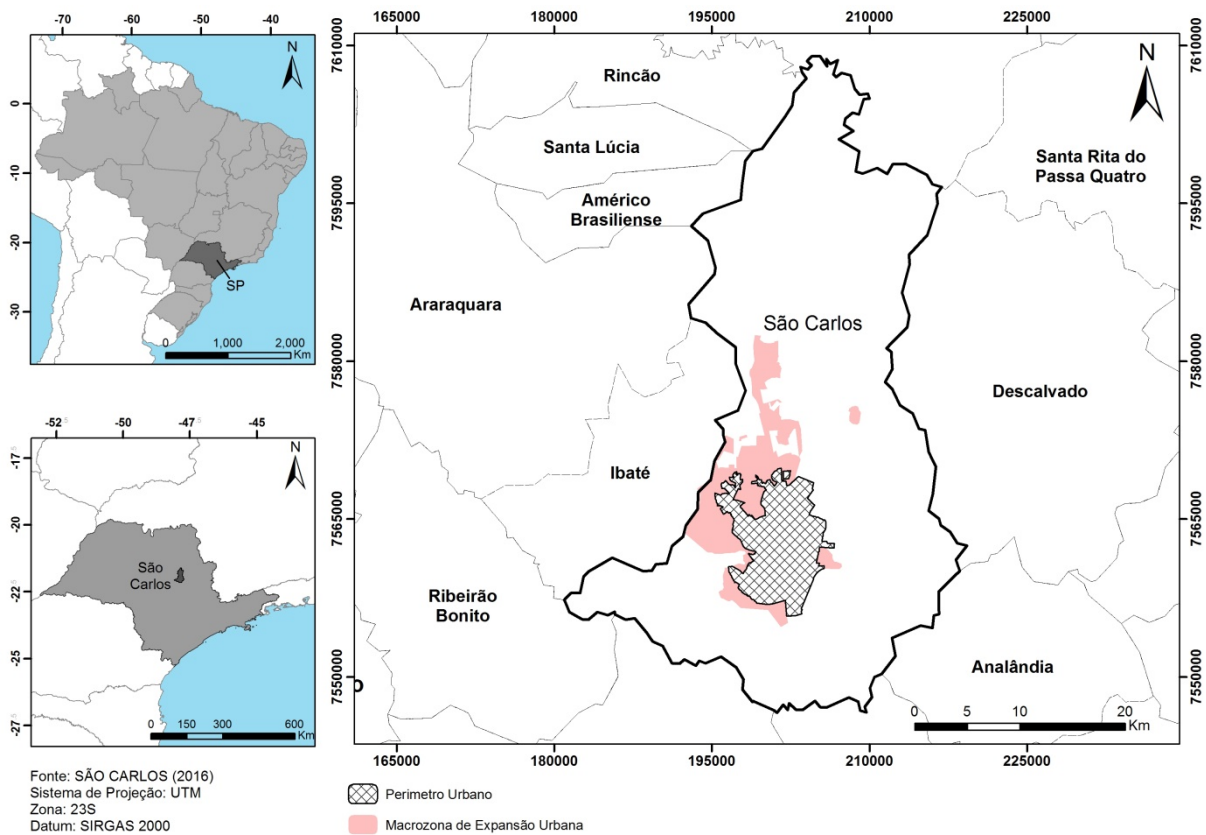


Figura 16 – Perímetro urbano e macrozona de expansão urbana
 Fonte: Autora (2017).

Quanto aos limites temporais, a pesquisa foi desenvolvida para subsidiar o planejamento de implantação de pavimentação urbana em médio prazo, a contar a partir da próxima revisão do Plano Diretor do município.

5.1.1.1 Atores consultados

Para obter uma lista de objetivos mais abrangentes possível, os atores consultados foram os usuários, os decisores públicos e pesquisadores. Os usuários entrevistados foram escolhidos aleatoriamente no espaço urbano tais como motoristas de caminhão e de ônibus, taxista, condutor comum (automóvel privado), motociclista, ciclista e pedestre/usuário de transporte público.

Eles foram entrevistados na área central da cidade, porque os cidadãos que circulam nessa região são usuários que trafegam por várias vias da cidade, que ao serem indagados podem fornecer informações relativas a todo município. Entrevistas feitas em diferentes dias da semana, durante o período diurno. A Figura 17 mostra os locais onde os usuários foram entrevistados.

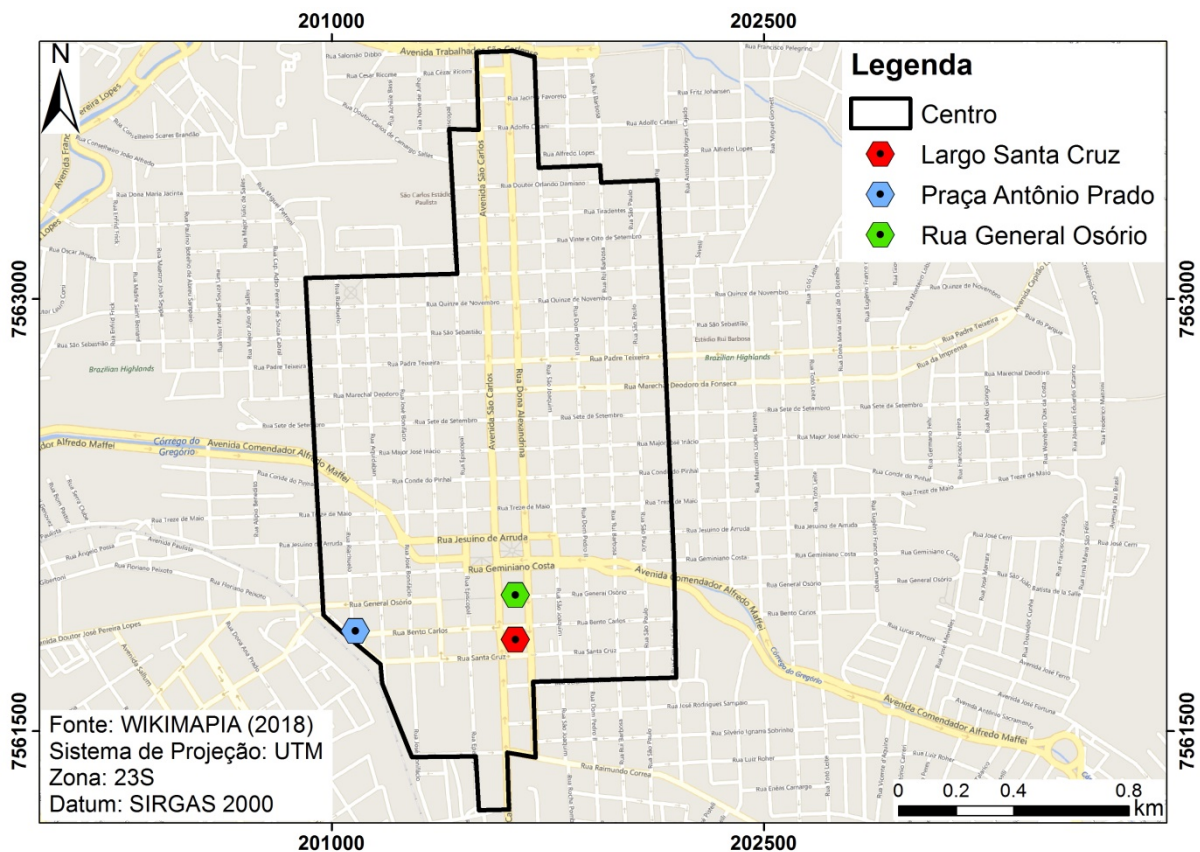


Figura 17 – Locais que ocorreram as entrevistas com os usuários
Fonte: Autora (2017).

Os decisores públicos foram os representantes da Secretaria Municipal de Obras Públicas (SMOP) e da Coordenadoria do Meio Ambiente (CMA). Essa Secretaria foi determinada para o estudo em função das suas competências, pois tem como atribuições: planejar, desenvolver, controlar e executar as atividades inerentes à construção de obras públicas. Ela é ainda responsável também pelos serviços intrínsecos à abertura e

pavimentação de vias públicas, pontes, viadutos, canais e redes de drenagem (SÃO CARLOS, 2017).

Como se sabe a pavimentação urbana pode acarretar impactos ambientais significativos no meio urbano, a escolha e cooperação da CMA foram pertinentes para indicar e ponderar critérios ambientais que envolvam este tipo de decisão.

Ao entrar em contato com a Secretaria do Meio Ambiente (SMA), foi designado um engenheiro civil da equipe técnica para ser entrevistado. Este técnico possui dez anos de experiência na área de Engenharia, sendo sete dos quais na área pública, especificamente na Prefeitura Municipal.

O Coordenador Municipal do Meio Ambiente Prof. Dr. José Galizia Tundisi, também indicou um representante, que é um engenheiro civil que presta serviços para a Coordenadoria. Este técnico, por sua vez, possui trinta anos de experiência na Prefeitura Municipal de São Carlos e já trabalhou em empresas de pavimentação. Atualmente, ele continua se qualificando, fazendo a graduação em Engenharia Ambiental.

Os pesquisadores da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) também foram considerados como atores. Os entrevistados foram os docentes do Departamento de Engenharia Civil/UFSCar (DECiv) e pós-graduandos do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana (PPGEU). Na Universidade Federal, foram selecionados pesquisadores de várias áreas que tinham algum tipo de relação com pavimentos urbanos. Ainda foram consultados os pesquisadores de Engenharia de Transportes (Departamento de Transportes/Sistema de Transporte e Topografia - STT), da Universidade de São Paulo no *Campus* de São Carlos (USP/São Carlos), tratando-se de docentes e pós-graduandos das áreas de Infraestrutura de Transportes e Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes. A Tabela 7 apresenta as áreas contempladas referentes aos pesquisadores da UFSCar e Tabela 8 mostra as áreas subáreas dos pesquisadores da USP/ São Carlos.

Tabela 7 – Áreas de pesquisa/UFSCar

DECiv e PPGEU	
Conforto Térmico	Recursos Hídricos (gestão de águas pluviais)
Construção Civil	Resiliência Hídrica
Geotecnia	Saneamento (águas pluviais e resíduos sólidos)
Hidrologia	Segurança Viária
Mobilidade Urbana	Segurança no Trânsito/Transporte Público/Eng. de Tráfego
Pavimentação	Transportes Sustentáveis
Planejamento de transporte	Urbanismo

Fonte: Autora (2017).

Tabela 8 – Áreas (e subáreas) de pesquisa/USP

STT/USP
Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes
Infraestrutura de transportes – Misturas asfálticas
Infraestrutura de transportes – Misturas asfálticas recicláveis - RAP
Infraestrutura dos transportes – Parte fina da mistura asfáltica completa – MAF
Infraestrutura de transportes – Pavimentação/gerência de pavimentos
Infraestrutura de transportes – Geomática

Fonte: Autora (2017).

5.1.2 Identificação dos objetivos

Esta etapa teve o intuito de identificar quais os objetivos que se pretendia atingir ao determinar alternativas para os pavimentos urbanos. Para isso, foram aplicadas entrevistas que seguiram o roteiro que consta no Apêndice A.

Os usuários foram abordados no centro do município, enquanto que os decisores e pesquisadores nas dependências das instituições às quais estão vinculados. As entrevistas iniciaram no dia 19/08/2017 e se estenderam até 12/09/2017. Foi entrevistado um total de 53 pessoas e sempre que havia dificuldade por parte dos entrevistados em indicar os tipos de pavimentos, foi utilizado como auxílio as imagens relativas ao assunto (Apêndice A.1).

Ao abordar os usuários, era explicado a cada um que se tratava de uma pesquisa sobre escolha de pavimentos urbanos para o município de São Carlos, por meio do PPGEU da UFSCar. Aos decisores e pesquisadores, tinha-se o cuidado de esclarecer o objetivo geral da pesquisa, explanando brevemente como seria desenvolvido o método AMD para escolha de pavimentos urbanos. Além disso, nesta primeira rodada de entrevista, já foi explicado aos decisores como seria a próxima entrevista e a importância de ser mantido o contato com eles para o êxito da pesquisa.

O resultado gerou um banco de dados com os objetivos gerais dos entrevistados. A Tabela 9 mostra os objetivos obtidos com os usuários e o número de vezes que eles foram mencionados.

Tabela 9 – Objetivos gerais dos usuários

Objetivos	Nº de vezes mencionado
Considerar custos de implantação e manutenção.	6
Facilitar a limpeza do pavimento.	1
Facilitar a manutenção do pavimento.	5
Possibilitar absorção de água pluvial.	2
Promover aderência para que haja o atrito pneu-pavimento.	6
Promover conforto térmico.	3
Proporcionar conforto de rolamento.	14
Proporcionar segurança.	13
Ser durável.	27
Utilizar segundo a hierarquia viária.	9

Fonte: Autora (2017).

De acordo com a Tabela 9, é possível perceber que os objetivos relacionados à trafegabilidade foram os mais mencionados pelos usuários, seguidos de objetivos referentes à hierarquia viária, custos, estabilidade e manutenção.

A Tabela 10 apresenta os objetivos coletados nas entrevistas com os pesquisadores.

Tabela 10 – Objetivos gerais dos pesquisadores

Objetivos gerais	Nº de vezes mencionado
Absorver água pluvial. /Evitar que a água escoe mais rapidamente./ Ser permeável.	13
Considerar a estética.	3
Considerar a qualidade do subleito.	1
Considerar custos de implantação e manutenção.	27
Considerar impacto de frenagem.	1
Diminuir/evitar ruídos.	2
Evitar deterioração dos veículos./ Não dar prejuízos aos veículos.	2
Evitar que a água infiltre no pavimento para não comprometer a estrutura.	1
Facilitar a integração das instalações de redes de infraestrutura.	6
Facilitar a manutenção do pavimento.	8
Utilização de materiais sustentáveis.	4
Promover aderência para que haja o atrito pneu-pavimento.	2
Promover conforto térmico.	6
Promover integração com o meio: áreas verdes, arquitetura e a identidade do local.	4
Proporcionar conforto.	28
Proporcionar segurança.	14
Reaproveitar Resíduos de Construção e Demolição.	1
Seguir as diretrizes municipais.	1
Ser durável./Considerar vida útil do pavimento.	20
Ter mão-de-obra disponível./ Valorizar mão-de-obra local.	8
Uso como controlador de velocidade.	2
Uso sustentável de materiais.	2
Utilizar materiais disponíveis.	4
Utilizar segundo a hierarquia viária.	17
Utilizar tecnologia disponível.	1

Fonte: Autora (2017).

Como os pesquisadores consultados eram de várias áreas correlatas à pavimentação urbana, muitos objetivos foram coletados nessas entrevistas em consonância com suas visões de pesquisa.

A Tabela 11 mostra os objetivos mencionados pelos decisores.

Tabela 11 – Objetivos gerais dos decisores

Objetivos gerais	Nº de vezes mencionado
Considerar custos de implantação e manutenção.	2
Facilitar a integração das instalações de redes de infraestrutura.	1
Facilitar a manutenção do pavimento.	1
Possibilitar absorção de água pluvial.	1
Proporcionar conforto de rolamento.	2
Proporcionar segurança.	2
Reaproveitar Resíduos de Construção e Demolição.	1
Seguir as diretrizes do órgão que disponibiliza o recurso financeiro.	1
Ser durável.	2
Utilizar materiais disponíveis.	1
Utilizar segundo a hierarquia viária.	2

Fonte: Autora (2017).

Na Tabela 11, além de objetivos já mencionados por outros atores, são observados outros relacionados à visão administrativa. Pelas informações coletadas nas entrevistas, é possível perceber que há objetivos que são unânimes entre todos os grupos, bem como outros que são específicos de cada grupo de ator, gerando uma lista abrangente para ser avaliada.

5.1.3 Objetivos fundamentais e meios

Com a coleta dos objetivos e as respostas dos entrevistados quanto à pergunta: “Por que este objetivo é importante no contexto de decisão?”, foi possível fazer a separação entre os fundamentais e os meios. A relação de objetivos fundamentais obtida é a seguinte:

- Considerar custos de implantação;
- Considerar custos de manutenção;
- Promover conforto térmico;
- Promover integração com o meio urbano;
- Proporcionar conforto de rolamento;
- Proporcionar segurança;
- Ser durável;
- Uso sustentável de materiais;

- Possibilitar absorção de água pluvial;
- Utilizar segundo a hierarquia viária.

Durante a análise dos dados, houve certa dificuldade na interpretação das respostas dos entrevistados quanto à pergunta sobre o porquê daquele objetivo ser importante. Por esse motivo, além da apreciação dessas respostas, para selecionar os objetivos fundamentais, foi necessário analisar cada um separadamente, para verificar se havia dependência entre eles.

Com relação ao objetivo “uso sustentável de materiais”, notou-se que havia diferença entre o uso sustentável de materiais no revestimento e nas demais camadas do pavimento, e esse uso, poderia acontecer de forma independente. Por esta razão este objetivo foi substituído pelos dois seguintes: “uso sustentável de materiais no revestimento” e “uso sustentável de materiais nas camadas de base, sub-base e reforço do subleito”.

Os objetivos meios foram identificados por apresentarem alguma correlação com os fundamentais, e por serem “meios” para alcançá-los. Na Tabela 12 eles são apresentados e suas relações de dependência com os objetivos fundamentais.

Tabela 12 – Objetivos meios e influência nos objetivos fundamentais

Objetivos meios	Influência em/ Meio para alcançar
Promover aderência para que haja o atrito pneu-pavimento.	Proporcionar segurança.
Facilitar a integração das instalações de redes de infraestrutura.	Considerar custos de manutenção do pavimento./Promover integração com o meio urbano.
Facilitar a manutenção do pavimento.	Considerar custos de manutenção do pavimento.
Facilitar a limpeza do pavimento.	Considerar custos de manutenção do pavimento e proporcionar segurança
Considerar impacto de frenagem.	Considerar custos de manutenção do pavimento.
Uso como controlador de velocidade.	Proporcionar segurança.
Ter mão-de-obra, materiais e tecnologia disponíveis.	Considerar custos de implantação e manutenção.
Evitar que a água infiltre no pavimento para não comprometer a estrutura.	Ser durável e considerar custos de manutenção.
Considerar a qualidade do subleito.	Considerar custos de implantação.
Diminuir/evitar ruídos.	Proporcionar conforto de rolamento.
Evitar deterioração dos veículos./ Não dar prejuízos aos veículos.	Proporcionar conforto de rolamento.
Seguir as diretrizes municipais.	Utilizar segundo a hierarquia viária.
Considerar a estética.	Promover integração com o meio urbano.
Considerar vida útil do pavimento.	Ser durável.

Fonte: Autora (2017).

Ao analisar os objetivos meios é possível notar que estão praticamente relacionados aos aspectos de custos, segurança, conforto de rolamento e integração com o

meio urbano. Na etapa de definição de atributos, alguns deles foram utilizados na elaboração de atributos para mensurar os objetivos fundamentais aos quais estavam correlacionados.

5.1.4 Hierarquia dos objetivos fundamentais

Determinados os objetivos fundamentais, eles foram formalizados em uma hierarquia, que resultou na estrutura representada pela Figura 18.

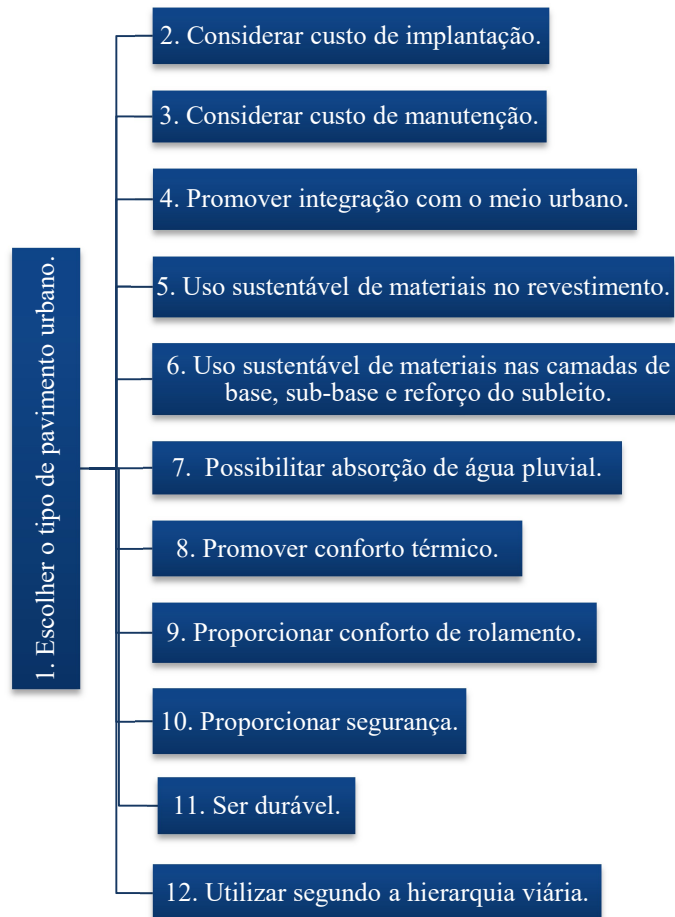


Figura 18 - Hierarquia de objetivos fundamentais
Fonte: Autora (2017).

5.1.5 Definição de atributos

Após análise dos dados e revisão bibliográfica, os atributos foram definidos. A maioria deles foi elaborada e estruturada em três níveis de impacto, exceto os de *custo de implantação*, *custo de manutenção* e *vida útil*.

Como as alternativas consideradas neste trabalho foram apenas três e estão relacionadas à pista de rolamento, os atributos foram elaborados de forma que pudessem abranger os três tipos de pavimentos adotados. Como em alguns a alternativa em PPC e PPC permeável se enquadram no mesmo nível, por possuírem características de revestimento

idênticas, utilizou-se das propriedades do pavimento Concreto de Cimento *Portland*, para completar a caracterização do atributo na ordem de três níveis.

5.1.5.1 Considerar custo de implantação

O atributo para avaliar este objetivo foi denominado de *custo de implantação* e classificado como natural, quantitativo e contínuo. Para determiná-lo foi elaborada uma planilha orçamentária sintética para cada alternativa de pavimento. Para compor o custo foi utilizada a Tabela de Composição de Custos Unitários de Infraestrutura Urbana sem desoneração da Prefeitura de São Paulo de Janeiro/2017 (SÃO PAULO, 2017).

O custo foi determinado em metros quadrados (m²) e não foram considerados os serviços de limpeza do terreno e escavação mecânica da via, pois eles são executados igualmente para todos os tipos de pavimentos. O transporte dos materiais do revestimento também não foi considerado porque geraria muitas simulações, dependendo da localização das jazidas e fábricas.

As despesas indiretas que um construtor poderia ter, o risco do empreendimento, as despesas financeiras incorridas, os encargos fiscais na operação, possíveis custos de comercialização e os benefícios (lucro) associados à execução da obra, são parcelas que compõe o cálculo dos Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), e que não foram incluídas no orçamento dos pavimentos (TCPO, 2008).

Foram considerados somente os custos unitários diretos, ou seja, compostos de materiais, equipamentos e mão-de-obra, utilizados na obra, acrescidos de seus encargos sociais (TCPO, 2008). Como foi utilizada a Tabela de Custos Unitários da Prefeitura do Município de São Paulo, em cada serviço utilizado, já estão embutidos todos os insumos necessários e os encargos devidos.

As Planilhas Orçamentárias Sintéticas e as Memórias de Cálculo referentes a cada tipo de pavimento estão no Apêndice C.

Com os custos de implantação calculados, determinou-se o atributo *custo de implantação*, representado dentro de um intervalo entre 70,00 e 155,00 R\$/m². Estes valores correspondem ao menor custo calculado (77,87 R\$/m²) subtraído de 10% e, o maior valor calculado (140,30 R\$/m²) acrescido de aproximadamente 10%, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Custos de implantação

Escala	Intervalo
R\$/m ²	70,00 – 155,00

Fonte: Autora (2017).

5.1.5.2 Considerar custo de manutenção

Para mensurar este objetivo foi utilizado um atributo natural, quantitativo e contínuo, denominado *custo de manutenção anual*. Ele foi considerado durante a vida útil do projeto, decorrente de ações sofridas devido ao tráfego e intempéries neste período, as quais tornam os pavimentos suscetíveis às intervenções em suas superfícies, na maioria das vezes. Desta forma, para efeito comparativo, foram determinados os percentuais do custo anual de manutenção em relação ao de implantação de cada revestimento.

Para determinar esses percentuais, foram utilizados os valores apresentados por Moura (2004) para os revestimentos de CAUQ, de PPC e de pavimentos permeáveis. Isto é, com os custos de implantação e de manutenção apresentados pela autora em R\$, foram calculados o percentual do custo de manutenção em relação ao custo de implantação.

Quando trata do PPC permeável, Moura (2004) afirma que as estruturas de reservação revestidas de asfalto e concreto não podem ser obtidas para o caso brasileiro, pelo fato de que o equipamento utilizado na manutenção que faz a lavagem e aspiração do pavimento, o qual possui alta pressão, não ser fabricado no Brasil. Assim sendo, foi estimado o custo deste tipo de serviço segundo dados relatados na literatura, em que a autora afirma que não deverá superestimar o custo de manutenção no Brasil, devido ao baixo custo de mão de obra, que será compensado pelo alto custo do equipamento (MOURA, 2004).

Desta forma, além da manutenção própria do revestimento de PPC, neste caso, acrescentou-se o custo para lavagem e aspiração deste revestimento, que é de R\$ 1,00/m². Este tipo de serviço é necessário para evitar a colmatação da estrutura permeável. A Tabela 14 apresenta como foram determinados os percentuais utilizados nesta pesquisa.

Tabela 14 – Custos de implantação e de manutenção anual

Tipo de pavimento	Custo de implantação	Custo de manutenção anual	Custo de manutenção anual (% do custo de implantação)
CAUQ	R\$ 6,60/m ²	R\$ 0,61/m ²	9,24%
PPC	R\$ 18,34/m ²	R\$ 4,80/m ²	26,17%
PPC Permeável	R\$ 18,34/m ²	R\$ 5,80/m ²	31,62%

Fonte: Moura (2004).

A partir dos valores acima obtidos, foi construído o atributo *custo de manutenção anual*, determinado dentro de um intervalo entre 9 e 32%, conforme consta na Tabela 15.

Tabela 15 – Custo de manutenção anual

Escala	Intervalo
%	9 - 32

Fonte: Moura (2004).

5.1.5.3 Promover integração com o meio urbano

Este objetivo foi avaliado por um atributo *proxy* e qualitativo, ou seja, utilizou-se de um atributo direto para mensurar um objetivo meio. Neste caso o objetivo meio se trata de *considerar a estética* e o atributo que o avalia é *potencialidades estéticas (atratividade visual)*.

As *potencialidades estéticas (atratividade visual)* classificam a possibilidade de, com o mesmo material, se obter diferentes efeitos visuais, permitindo a integração do pavimento, a diferentes ambientes do meio urbano (FERREIRA, 2007).

Este atributo foi baseado por Ferreira (2007) e é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 – Potencialidades estéticas (atratividade visual)

Nível	Descrição
03	As peças de concreto estão disponíveis numa grande variedade de formas, cores e acabamentos. Os elementos podem ser combinados em diversas disposições. Permitindo um grande leque de potencialidades estéticas.
02	A coloração do pavimento pode variar com corantes, escolha de cimento e inertes. Devido aos tratamentos superficiais que alteram as suas características estéticas, é classificado com potencialidades estéticas médias.
01	Normalmente negro, mas admite colorações por meio da adição de pigmentos ao ligante ou por pinturas superficiais.

Fonte: Adaptado de Ferreira (2007).

5.1.5.4 Uso de materiais sustentáveis no revestimento e nas camadas de base, sub-base e reforço do subleito

Ao buscar na literatura informações sobre os materiais sustentáveis aplicados à pavimentação, é possível encontrar várias tecnologias sendo estudadas e outras potencialmente já aplicadas, principalmente no âmbito rodoviário. Mas para limitar este estudo entre as possibilidades mais recorrentes, foram determinadas as alternativas: *reciclagem das misturas asfálticas, uso de borracha de pneus descartados, resíduos de construção e demolição e reciclagem das camadas inferiores ao revestimento pela adição de materiais betuminosos e outros aditivos*. Cada uma das alternativas é conceituada a seguir e representam os níveis dos atributos que avaliam este objetivo.

5.1.5.4.1 Reciclagem das misturas asfálticas – material asfáltico fresado (*Reclaimed Asphalt Pavement* – RAP)

A reciclagem de misturas asfálticas surgiu com objetivo de proteger o meio ambiente pela economia de recursos naturais, a fim de diminuir o consumo energético e reduzir os gases de efeito estufa. Ela consiste na reutilização dos materiais oriundos dos pavimentos no fim da sua vida útil ou cujas propriedades se almejam melhorar. O processo de reciclagem é feito por meio de um equipamento especial denominado fresadora, que remove o revestimento asfáltico existente e, posteriormente, o mistura com novos agregados e um novo ligante asfáltico. Isto quer dizer que, o material asfáltico fresado (RAP) pode ser incorporado à fabricação de um novo revestimento (GENNESSAUX, 2015).

Há diversas técnicas de reciclagem com RAP, variando em relação à temperatura na fase de execução do pavimento, podendo ser a quente, a frio ou por meio de misturas mornas. E ainda, pode haver variação de técnica em relação ao local onde se produz o material, que pode ser em usina ou *in loco*. Essas condições dependerão do material a ser reutilizado e do destino final do produto (GENNESSAUX, 2015).

5.1.5.4.2 Uso de borracha de pneus descartados

Os processos para adição de borracha de pneus aos materiais betuminosos podem ser por via seca ou úmida. No modo seco, a borracha é incorporada como agregado, porém a transferência das propriedades da borracha para a mistura é prejudicada. Por outro lado, por via úmida, a borracha é misturada ao ligante, onde ocorre a transferência das propriedades de elasticidade e maior resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original (CARVALHO, 2011).

Em relação ao uso de borracha reciclada em concreto de cimento *Portland*, não se constata um procedimento bem sucedido, devido à incompatibilidade causada pela composição química e pela rigidez do cimento, requerendo mais esforços de pesquisa para que haja melhorias significativas nas propriedades e no desempenho do concreto modificado com borracha (SHU; HUANG, 2014).

Nesse mesmo contexto, um estudo desenvolvido para verificar a viabilidade técnica na fabricação de compósito utilizando fibra de pneu na fabricação de peças pré-moldadas em concreto, foram desenvolvidas várias formulações estudadas com diferentes proporções de brita, areia, cimento e fibra de borracha, para avaliar a resistência mecânica desse material. Foi constatado que nenhuma das formulações estudadas atingiram resistência

de 35 MPa (Mega Pascal), exigida pela NBR 9781:2013 (Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio) para pavimentação de vias com trânsito leve a moderado. Este resultado pode ter sido causado pelo fato da fibra de borracha não possuir boa aderência com a pasta de cimento e produzir o aparecimento de poros que torna o compósito frágil (VIEIRA, 2014).

Por outro lado já foi atingida a resistência máxima de 20 MPa para as peças pré-moldadas de concreto, que podem ser empregadas em praças, calçadas, entre outros, porém para utilizar em pistas de rolamento, são necessários mais estudos para que a resistência mecânica seja aumentada (VIEIRA, 2014).

5.1.5.4.3 Resíduos de construção e demolição (RCD)

A NBR 15115:2004 intitulada “Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos”, utiliza a definição de resíduos sólidos da construção civil classe “A”, como sendo:

Resíduos provenientes de construções, reformas, reparos ou demolições de obras de construção civil, definidos como classe “A” pela resolução CONAMA nº 307/2002, na qual se incluem tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, agregados pétreos, argamassas, telhas, camadas asfálticas de pavimentos e outros, adequados à execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base, bem como camada de revestimento primário (p.06).

A NBR 115:2004 ainda estabelece vários critérios para determinar o uso devido dos agregados reciclados. Inclusive ela aborda os valores de Índice de Suporte Califórnia (*California Bearing Ratio* – CBR) que os materiais devem atingir para serem utilizados como reforço de subleito, sub-base e bases. Enfatizado que para a utilização como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$, sendo o parâmetro N, o número de solicitações equivalentes ao eixo-padrão de 80 kN que a via receberá no período de projeto.

É importante observar que há possibilidade de se utilizar agregado reciclado na confecção de peças pré-moldados de concreto, porém a NBR 15116 (Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização empavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos), relata que o agregado reciclado (desde que proveniente de material de classe A) seja utilizado somente em concreto sem função estrutural. Ao passo que, a NBR 7211:2005 (Agregados para concreto – Especificação) nem considera em suas especificações os agregados obtidos por materiais reciclados.

Vale ressaltar que neste trabalho, foi considerado como RCD, somente os resíduos de construção civil. Restringindo os resíduos de camadas asfálticas como material fresado para a técnica “Reciclagem de mistura asfálticas” (conceituada no início da subseção).

5.1.5.4.4 Reciclagem das camadas inferiores ao revestimento pela adição de materiais betuminosos e outros aditivos

Este tipo de reciclagem é feito com a remoção da estrutura do pavimento (revestimento e base), ou parte dela, e o material retirado é reduzido em dimensões adequadas para depois ser misturado a frio no próprio local ou em usina. Podem ser adicionados materiais betuminosos, agregados e agentes rejuvenescedores, resultando em uma camada de base estabilizada com betume. Ou ainda podem ser adicionados a essa mistura outros aditivos, tais como cal hidratada, cimento, polímeros e fibras sintéticas, dentre outros. Também resultará numa nova camada de base estabilizada, que deverá receber um revestimento, antes de ser liberada ao tráfego (BRASIL, 2005; GENNESSAUX, 2015).

A partir das técnicas apresentadas, foram construídos atributos qualitativos referentes ao uso de materiais sustentáveis no revestimento e nas outras camadas estruturais do pavimento. Estes atributos estão descritos nas Tabelas 17 e 18.

5.1.5.4.5 Atributo materiais recicláveis aplicados ao revestimento

Tabela 17 – Materiais recicláveis aplicados ao revestimento

Nível	Descrição
03	Recomendam-se reciclagens com material asfáltico fresado (RAP) e uso de borracha de pneus descartados.
02	Recomenda-se o uso de agregado proveniente de RCD, somente em concreto sem função estrutural.
01	Não se recomenda o uso de material reciclável proveniente de borracha de pneus descartados.

Fonte: Autora (2017).

5.1.5.4.6 Atributo materiais recicláveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço *do subleito*

Tabela 18 – Materiais recicláveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço do subleito

Nível	Descrição
03	Recomenda-se a reciclagem de bases/sub-bases e reforço do pavimento pela adição de materiais betuminosos (material fresado) e outros aditivos. Além disso, é possível utilizar agregado proveniente de RCD para sub-bases e reforço do pavimento.
02	É recomendada a utilização do agregado proveniente de RCD para base em pavimentos com tráfego previsto de $N \leq 10^6$ (tráfego médio).
01	Não é possível utilizar material reciclável, devido à porosidade que a estrutura necessita para desempenhar sua função hidráulica.

Fonte: Autora (2017).

5.1.5.5 Possibilitar a absorção de água pluvial

O atributo deste objetivo é do tipo construído e qualitativo, e é denominado *permeabilidade*. Ele foi elaborado a partir das propriedades que cada alternativa de pavimento apresenta em relação à permeabilidade e está representado na Tabela 19.

Tabela 19 – Permeabilidade

Nível	Descrição
03	O revestimento permite a passagem de água através das juntas e a base é dimensionada para armazenar as águas pluviais.
02	O revestimento permite a passagem de água através das juntas, porém a camada de base é impermeabilizada e não é dimensionada para armazenar as águas pluviais.
01	O revestimento é impermeável, a camada de base é impermeabilizada e não é dimensionada para armazenar as águas pluviais.

Fonte: Autora (2017).

5.1.5.6 Promover conforto térmico

Para avaliar este objetivo, foi utilizada a temperatura superficial dos pavimentos. Trata-se de um atributo direto, quantitativo e discreto.

Os dados usados para compor este atributo são provenientes de uma pesquisa realizada, na cidade de Recife/PE sobre a temperatura superficial dos materiais de pavimentação, coletadas em 4 pontos específicos do 1º Jardim do Bairro da Boa Viagem. Os pontos foram determinados em função da decorrência da diversidade de materiais, do uso e ocupação do solo e da forma urbana (MACEDO NETO; 2016).

O autor relata que para as medições das temperaturas foram utilizados os seguintes equipamentos: Termo-Anemômetro digital portátil, modelo TAD-500, marca *Instrutherm* e Termo-Higrômetro digital portátil, modelo HT-300, também marca *Instrutherm*.

Optou-se por utilizar nesta pesquisa, os dados do Ponto 3, pois refere-se a uma via com edifícios de média e baixa altura, com pequenos afastamentos entre eles e predominância do uso comercial, e também por representar um importante corredor de transportes urbanos, sendo uma realidade que pode ser “comparada” ao município de São Carlos (MACEDO NETO; 2016).

É importante ressaltar que há diferenças expressivas entre as temperaturas médias em todas as estações do ano nos municípios de São Carlos e Recife, cujos valores adotados são altos para a realidade de São Carlos. Porém, eles foram utilizados em função da dificuldade de se encontrar aqueles que balizam as temperaturas superficiais dos pavimentos no país.

Na Tabela 20 são mostrados os dados utilizados para elaborar o atributo e na Tabela 21 os níveis que o compõem (com medidas de temperatura arredondadas). Os abaixo correspondem às médias encontradas nas medições que ocorreram em dias ensolarados, no horário de 15h, em pavimentos expostos ao sol.

Tabela 20 – Temperaturas superficiais nos pavimentos expostos ao sol e à sombra

Descrição	
Tipo de pavimento	Sol – (°C)
Intertravado (cinza)	46,1
Concreto	48,9
Asfalto	50,6

Fonte: Macedo Neto (2016).

Tabela 21 – Atributo *temperatura superficial*

Nível	Descrição
03	46° C
02	49° C
01	51° C

Fonte: Adaptado de Macedo Neto (2016).

5.1.5.7 Proporcionar conforto de rolamento

Para mensurar o conforto de rolamento, foi utilizado o atributo construído e qualitativo *aspectos de conforto de rolamento*, adaptado de Ferreira (2007), que considera o conforto rodoviário proporcionado pelo pavimento. Na Tabela 22 são apresentados os tipos e descrições, ao passo que, na Tabela 23 o atributo construído.

Tabela 22 – Tipos de pavimentos e conforto

Pavimentos	Descrição
CAUQ	Superfície homogênea e regular, confortável ao tráfego rodoviário.
Concreto de Cimento Portland	Superfície regular, porém mesmo com um número reduzido de juntas, pode gerar leve desconforto rodoviário.
PPC	Este pavimento proporciona conforto médio para o rodoviário por ter um número significativo de juntas.

Fonte: Adaptado de Ferreira (2007).

Tabela 23 – *Aspectos de conforto de rolamento*

Nível	Descrição
03	Superfície homogênea e regular, confortável ao tráfego rodoviário.
02	Superfície texturizada e regular, porém mesmo com um número reduzido de juntas, pode gerar leve desconforto rodoviário.
01	Este pavimento proporciona conforto rodoviário médio por apresentar um número significativo de juntas.

Fonte: Adaptado de Ferreira (2007).

5.1.5.8 Proporcionar segurança

Este objetivo foi mensurado por um atributo *proxy*, isto é, também foi utilizado um atributo direto para avaliar um objetivo meio. Neste caso, a finalidade do meio é *promover aderência pneu-pavimento*, e o atributo que o mensura é *distância de frenagem*.

Os estudos que referenciam os parâmetros adotados para elaborar este atributo, consideravam a superfície do pavimento seca e a úmida. Foi priorizada a úmida, porque nos períodos chuvosos é que se constata o maior risco em relação à segurança dos usuários das vias.

Os dados utilizados para o revestimento betuminoso e para as peças pré-moldadas de concreto são de um estudo realizado na cidade de *Ichihara*, Japão, para velocidades diferentes, e são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Comparativo de distância de frenagem entre pavimentos flexíveis e peças pré-moldadas em concreto

	Distância de frenagem					
	20 km/h Superfície seca	20 km/h Superfície úmida	40 km/h Superfície seca	40 km/h Superfície úmida	60 km/h Superfície seca	60 km/h Superfície úmida
Revestimentos Betuminosos	1,70	3,20	5,85	9,60	14,20	26,70
Peças Pré-moldadas de Concreto	1,68	2,50	5,23	8,15	13,60	21,30

Fonte: ABCP (2008).

Foi então adotada a velocidade de 60 km/h, e com superfície úmida para priorizar a segurança. Para compor o atributo, foi então determinada a distância de frenagem do pavimento rígido. Moschetti (2015) relata em seu trabalho, citado Ruhl, R.L. (s/d), em seu estudo intitulado *Safety Considerations of Rutted and Washboarded Asphalt Road*, que numa superfície úmida e nivelada, o pavimento rígido possui uma distância de frenagem em torno de 14% inferior ao revestimento asfáltico. Portanto, considerando a distância de frenagem de 26,70 m do revestimento asfáltico (Tabela 20), o pavimento rígido possuiria em torno 23,00 m. A Tabela 25 resume todos os dados utilizados no atributo, e a Tabela 26 apresenta os seus níveis.

Tabela 25 – Tipos de pavimentos e a distância de frenagem

Tipo de revestimento	Distância de frenagem (m)
PPC**	21,30
Concreto de Cimento <i>Portland</i> *	23,00
CAUQ**	26,70

Fonte: **ABCP (2008); *Moschetti (2015).

Tabela 26 – Atributo *distância de frenagem*

Nível	Descrição (m)
03	21,30
02	23,00
01	26,70

Fonte: ABCP (2008); Moschetti (2015).

5.1.5.9 Ser durável

Este objetivo também foi mensurado por um atributo *proxy*, quantitativo e discreto. Neste caso o objetivo meio se trata de *considerar a vida útil do pavimento* e o atributo que o mensura é *vida útil*. Para compor os níveis deste atributo (mostrados na Tabela 27), foi utilizado um intervalo de tempo em que se enquadram os períodos de vida útil dos pavimentos utilizados em pistas de rolamento, conforme estipulados pela literatura, que são em torno de 10 a 15 anos para os flexíveis e 20 anos para os rígidos (SENÇO, 2007; BALBO; 2009).

Tabela 27 – Vida útil

Escala	Intervalo
Anos	10 a 20

Fonte: Senço (2007); Balbo (2009).

5.1.5.10 Utilizar segundo a hierarquia viária

O atributo utilizado para mensurar este objetivo é do tipo construído e foi determinado pelo tipo de tráfego que cada categoria de via pode receber. Para a sua construção foram utilizadas as Instruções de Projeto da Prefeitura do Município de São Paulo (SÃO PAULO; 2004a, 2004b, 2004c, 2004d) e o Plano Diretor de São Carlos.

Essas Instruções de Projeto (IP) dizem respeito ao dimensionamento de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), Peças Pré-moldadas de Concreto (PPC) e Concreto de Cimento *Portland* (CCP). Desta maneira a classificação hierárquica foi realizada pelo Plano Diretor de São Carlos, baseado nas definições de tráfego e recomendações das Instruções de Projetos mencionadas. Na Tabela 28, consta o resultado dessa análise e na Tabela 29 é apresentado o atributo construído.

Tabela 28 – Hierarquia viária x Tráfego x Pavimentos

Classificação das vias	Classificação equivalente - PMSP	Tipo de tráfego	Pavimentos recomendados
Arterial Tipo 1	Vias Coletoras e Estruturais	Meio pesado	CCP/ PPC /CAUQ
Arterial Tipo 2	Vias Coletoras e Estruturais	Meio pesado	CCP/ PPC /CAUQ
Arterial Tipo Urbana (Projetada)	Vias Coletoras	Meio Pesado	CCP/ PPC /CAUQ
Vias marginais	Vias Coletoras e Estruturais	Meio pesado	CCP/ PPC /CAUQ
Vias Coletoras (mão única)	Vias locais e Coletoras	Médio/Meio pesado	CCP/ PPC/CAUQ
Vias Coletoras (mão dupla)	Vias locais e Coletoras	Médio/Meio pesado	CCP/PPC/CAUQ
Vias locais	Vias Locais	Tráfego leve	CCP/ PPC
Vias privativas locais	Vias Locais	Tráfego leve	CCP/ PPC
Itinerário de ônibus	Vias Coletoras e Estruturais	Médio/Meio pesado	CCP/ CAUQ.

Fonte: São Paulo (2004a; 2004b; 2004c; 2004d) e São Carlos (2016).

Tabela 29 – Atributo *tipo de tráfego*

Nível	Descrição
03	Recomendado para todos os tipos de tráfego.
02	Recomendado para tráfego médio, meio pesado e vias que contemplem o itinerário de ônibus.
01	Recomendado para tráfego leve, médio e meio pesado.

Fonte: São Paulo (2004a; 2004b; 2004c; 2004d) e São Carlos (2016).

5.1.5.11 Atributos, escalas e intervalos

Após a definição de todos os atributos deste trabalho, eles são mostrados na Tabela 30, com suas respectivas escalas e intervalos.

Tabela 30 – Atributos, escalas e intervalos

Nº	Objetivo fundamental	Atributo	Escala	Intervalo de variação
2.	Considerar custo de implantação	Custo de implantação	R\$/ m ²	70,00 – 155,00
3.	Considerar custo de manutenção	Custo de manutenção anual	%	9,24 – 31,62
4.	Promover integração com o meio urbano.	Potencialidades estéticas	Construída	N1 a N3
5.	Uso sustentável de materiais no revestimento	Materiais reciclados aplicados ao revestimento	Construída	N1 a N3
6.	Uso sustentável de materiais nas camadas de base, sub-base e reforço do subleito.	Materiais reciclados aplicados às camadas de base/sub-base/reforço do subleito.	Construída	N1 a N3
7.	Possibilitar absorção de água pluvial.	Permeabilidade	Construída	N1 a N3
8.	Promover conforto térmico.	Temperatura Superficial	Construída	N1 a N3
9.	Proporcionar conforto de rolamento.	Aspectos de conforto de rolamento	Construída	N1 a N3
10.	Proporcionar segurança.	Distância de frenagem	Construída	N1 a N3
11.	Ser durável.	Vida útil	Anos	10 - 20.
12.	Utilizar segunda a hierarquia viária.	Tipo de Tráfego	Construída	N1 a N3

Fonte: Autora (2017).

5.1.6 Alternativas de pavimentos

Foram abordadas, neste trabalho, três alternativas de pavimentos. Dentre elas, duas são comumente utilizadas no meio urbano e a outra no pavimento permeável, que é uma alternativa promissora, por favorecer os aspectos ambientais. Foram dimensionadas conforme Instruções de Projeto da Prefeitura do Município de São Paulo (SÃO PAULO; 2004b, 2004c, 2004 d) e foram consideradas as seguintes condições:

- Os mesmos serviços de regularização e compactação do subleito para os três pavimentos;
- Apenas os serviços necessários para a execução local dos pavimentos;
- CBR= 12% (FERREIRA, 2013);
- Guia de Concreto padrão Prefeitura Municipal de São Paulo ou conhecida como Guia Concreto PMSP, com dimensões específicas 100x30x15cm na base e 100x30x13cm no topo (IND. COM. REPRES. E SERVIÇOS ECOPIOS, 2017);
- Dimensões da sarjeta são 0,40 x 0,08 x 1,00 m;
- Inclinação transversal de 2% (SÃO PAULO, 1999).

Foram ainda, adotados os parâmetros referentes à Tabela 31, determinados pelo Plano Diretor de São Carlos, e pela Instrução de Projeto de São Paulo – IP-2 (SÃO PAULO; 2004a).

Tabela 31 – Parâmetros adotados

Tipo de via	Via coletora de mão dupla
Largura da Via (m)	12 m
Tipo de Tráfego	Meio Pesado
Tráfego previsto (N característico)	2.000.000

Fonte: São Carlos (2016) e São Paulo (2004a).

Os dimensionamentos dos pavimentos estão no Apêndice B. A alternativa com revestimento em CAUQ foi dimensionada sobre uma base de brita graduada simples com os serviços de imprimadura, assentado sobre uma camada de reforço do subleito de solo melhorado com brita 50% em volume. A Figura 19 apresenta os detalhes deste dimensionamento.

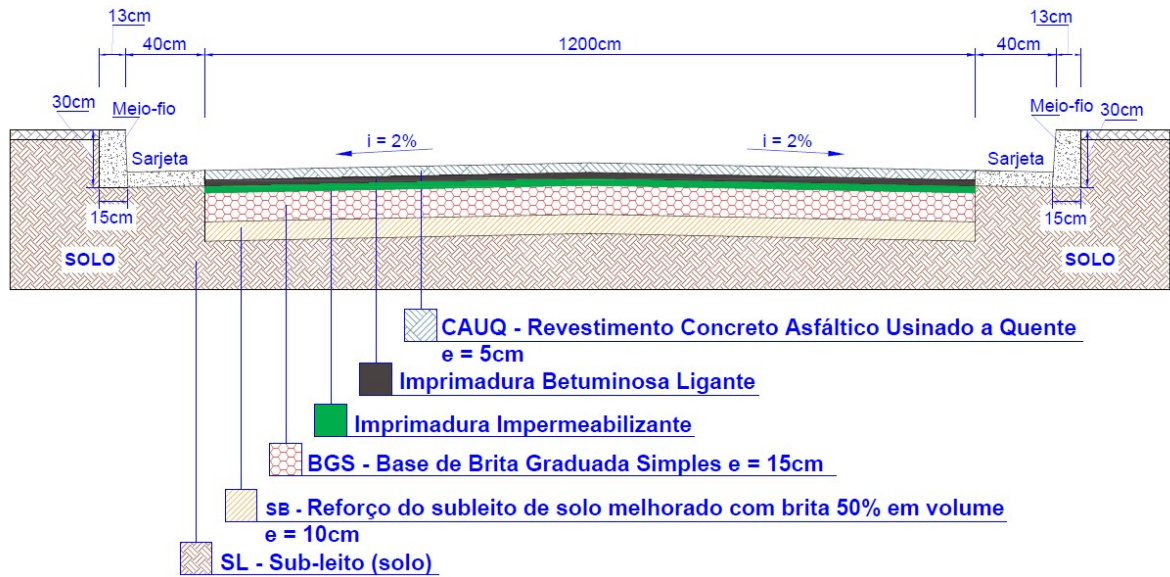


Figura 19 – Projeto de CAUQ
 Fonte: Autora (2017).

O pavimento em PPC foi dimensionado em base de brita graduada simples com imprimadura impermeabilizante. A Figura 20 mostra a seção transversal deste dimensionamento.

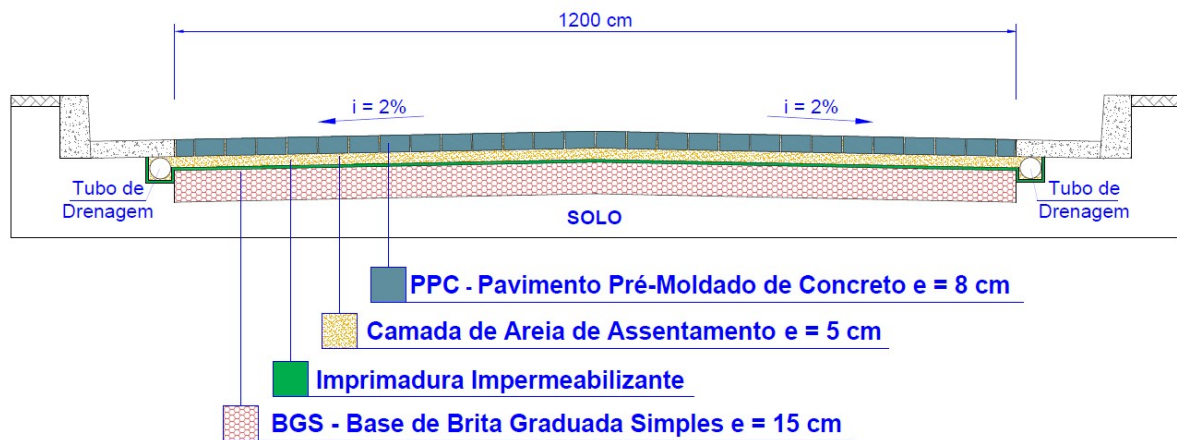


Figura 20 – Projeto de PPC.
 Fonte: Autora (2017).

A drenagem do pavimento é realizada por tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) perfurados e envolvidos por manta geotêxtil, implantado abaixo da sarjeta, conforme especificado no detalhe seguinte (Figura 21).

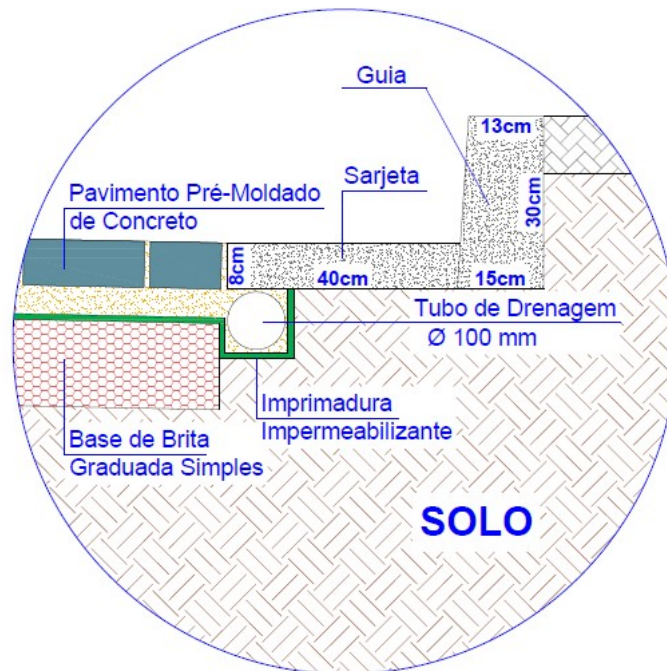


Figura 21 – Detalhes da drenagem do pavimento
Fonte: Autora (2017).

A terceira alternativa foi dimensionada em PPC, sem o preenchimento das juntas com areia para promover a infiltração de águas pluviais. É assentada sobre uma camada de areia, base de brita graduada simples (sem finos), sub-base de macadame hidráulico, camada de proteção de pó de pedra e geomembrana (que garantir que a estrutura seja impermeável). O projeto é na Figura 22.

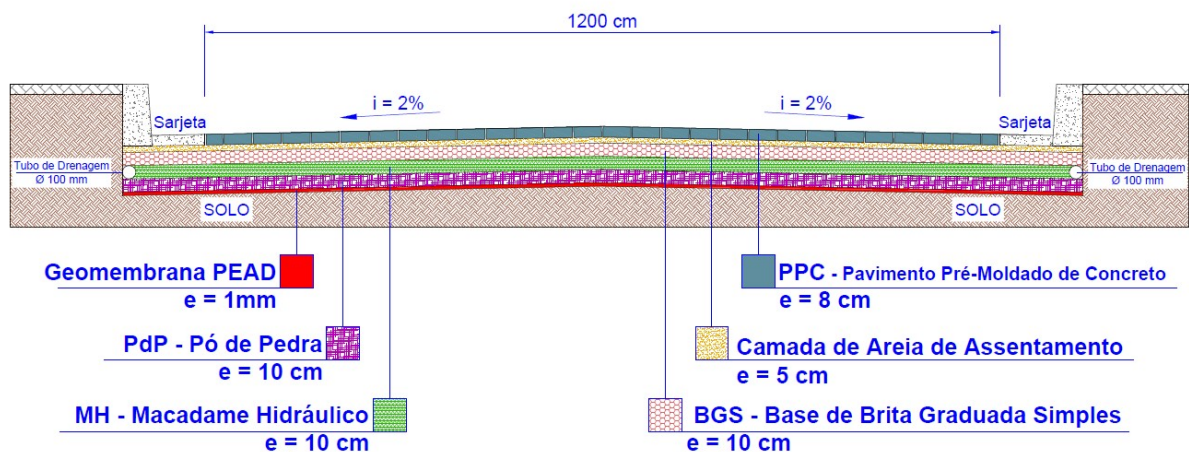


Figura 22 – Projeto em PPC Permeável
Fonte: Autora (2017).

A drenagem do reservatório é realizada por tubos de PEAD perfurados e envolvidos em manta geotêxtil, assentados nas bordas inferiores do reservatório. Esses são acoplados a outros sem furos próximos às paredes das bocas de lobo, que coletam as águas e

encaminham para o sistema de drenagem convencional. Os detalhes seguem na Figura 23 e 24.

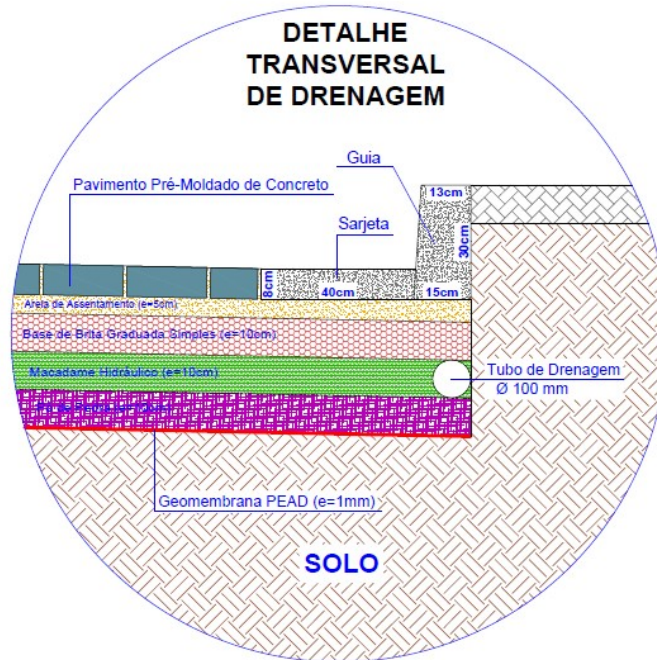


Figura 23 – Detalhes de drenagem do reservatório (seção transversal)
Fonte: Autora (2017).

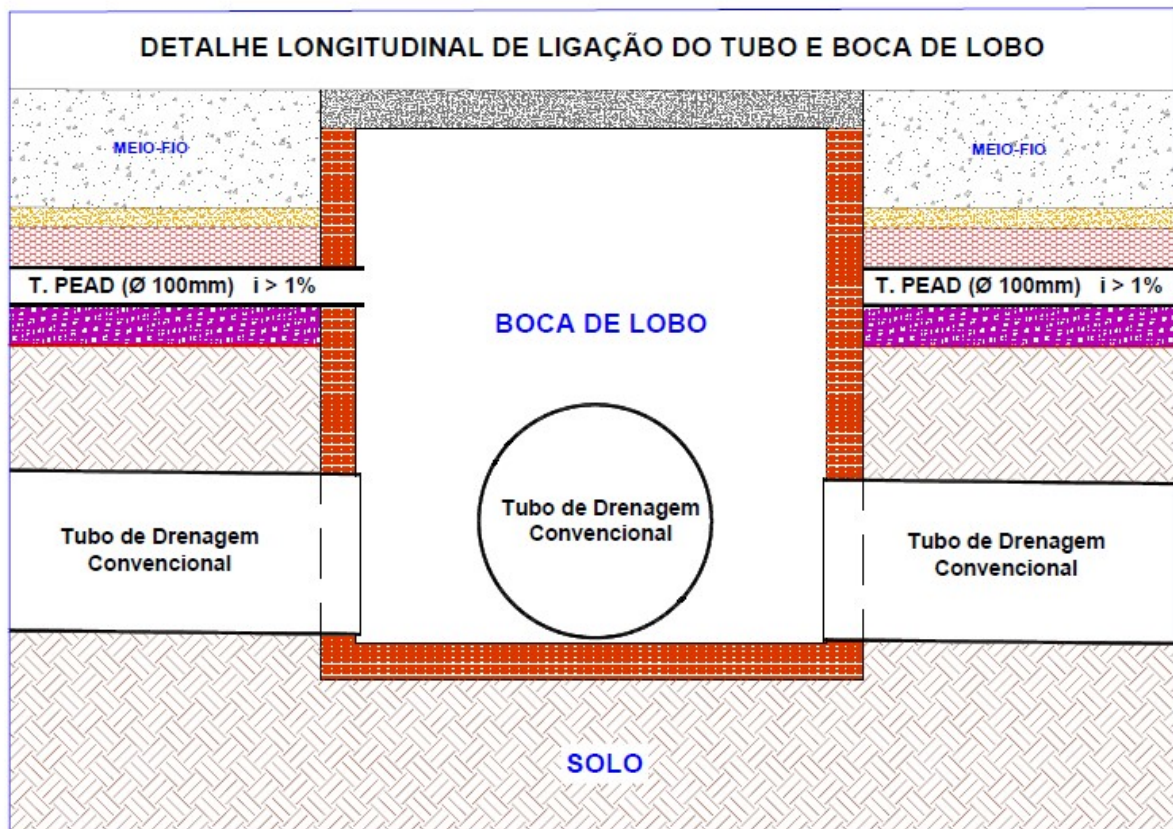


Figura 24 – Detalhes de drenagem do reservatório (ligação com drenagem convencional)
Fonte: Autora (2017).

5.1.6.1 Definição dos níveis de atributo para cada alternativa

Com as alternativas propostas e a definição de todos os atributos, foi elaborada a matriz de decisão, que é uma tabela na qual estão dispostas as alternativas e suas avaliações pelos níveis dos atributos. As Tabelas 32 e 33 compõem a matriz de decisão.

Tabela 32 – Matriz de decisão: atributos de 2. a 6.

Alternativas	Atributos				
	2.	3.	4.	5.	6.
	Custo de implantação	Custo de manutenção	Potencialidades estéticas (atratividade visual)	Materiais reciclados aplicados ao revestimento	Materiais reciclados aplicados às camadas de base/sub-base/reforço do subleito.
	70,00 – 155,00	9 – 32	N1 a N3	N1 a N3	N1 a N3
CAUQ	77,87	9,24	N1	N3	N3
PPC	100,10	26,17	N3	N1	N3
PPC permeável	140,30	31,62	N3	N1	N1

Fonte: Autora (2017).

Tabela 33 – Matriz de decisão: atributos de 7. a 11.

Alternativas	Atributos					
	7.	8.	9.	10.	11.	12.
	Permeabilidade	Temperatura Superficial	Aspectos de conforto de rolamento	Distância de frenagem	Vida útil	Tipo de Tráfego
	N1 a N3	N1 a N3	N1 a N3	N1 a N3	10 - 20	N1 a N3
CAUQ	N1	N1	N3	N3	10	N2
PPC	N2	N3	N1	N1	15	N1
PPC permeável	N3	N3	N1	N1	10	N1

Fonte: Autora (2017).

A determinação dos atributos 3., 8., 9., 10. e 12., foi realizada segundo as próprias descrições contidas nas subseções que os descrevem. O atributo 2., por sua vez, foi determinado pelas planilhas orçamentárias do Apêndice C. Já o 4. é um indicador adaptado de Ferreira (2007), onde o nível 3 diz respeito aos pavimentos revestido de PPC e o nível 1 de revestimentos betuminosos.

Nos atributos 5. e 6. os níveis foram determinados pela correlação dos pavimentos com os conceitos de uso de materiais sustentáveis apresentados na seção 6.1.5.4. O atributo 7. foi definido relacionando a tipologia dos pavimentos com a descrição dos níveis. E, em relação ao 11, a literatura apresenta várias estimativas de vida útil para os pavimentos, mas considerou-se para o CAUQ uma vida útil de 10 anos, que é a durabilidade em geral mencionada para este tipo de pavimento e 15 anos para o PPC, em função de sua maior durabilidade. Para o PPC permeável, foi adotado um período de 10 anos, pois devido à

possibilidade de colmatação dos vazios, pode comprometer o desempenho hidráulico do mesmo (SENÇO, 2007; MARCHIONI, 2010).

5.1.7 Avaliação das alternativas

Nesta etapa foram determinadas as funções de valor e as constantes de escala, por meio de entrevistas com os decisores. A partir destes valores, foi possível realizar a avaliação local e a avaliação global.

5.1.7.1 Funções de valor

Para determinar as funções de valor, foi consultado o representante da Coordenadoria de Meio Ambiente (CMA) e o da Secretaria Municipal de Obras Públicas (SMOP).

Num primeiro momento, foi explicado aos decisores todo o processo em que a pesquisa estava sendo desenvolvida, desde os outros atores que foram entrevistados até a apresentação da hierarquia de objetivos fundamentais desenvolvida.

A partir disso, para que pudesse definir as funções de valores dos atributos, foi explicado a cada um deles o método da bissecção e o método da pontuação direta, conforme a seção 4.2.2.1. O roteiro da segunda rodada de entrevistas e os valores atribuídos pelos decisores constam no Apêndice D deste trabalho.

Durante esta entrevista, foi utilizado o *software Microsoft Excel*. O formulário foi elaborado neste *software* de modo que conforme o decisor respondesse, o mesmo ia percebendo na escala de valores o quanto aquele atribuído por ele se aproximava do melhor nível (correspondente ao valor de 100) ou do pior nível (0), propiciando-lhe uma maior clareza, ou seja, se o valor designado por ele correspondia de fato ao seu próprio juízo de valor. Este *software* foi tanto utilizado para atribuição de valores para o método da pontuação direta quanto da bissecção. Com uma diferença, no método da bissecção, à medida que o decisor atribuía valores, o gráfico da função de valor era construído.

5.1.7.2 Definição das constantes de escala

Para a definição das constantes, foi explicado aos decisores método *swing weighting*, conforme seção 4.2.2.2.1. a fim de que pudessem aplicar valores aos atributos, segundo a sua ordem de preferência. Nesta etapa também foi utilizado o *software Microsoft Excel*.

No Apêndice E é apresentado o roteiro de entrevista desta etapa e os valores propostos por eles. A Tabela 34 mostra as constantes de escala determinadas por cada decisor.

Tabela 34 – Constantes de escala

Atributo	Decisor – CMA	Decisor – SMOP
Custo de implantação	0,115	0,155
Custo de manutenção anual	0,085	0,147
Potencialidades estéticas (atratividade visual)	0,061	0,062
Materiais reciclados aplicados ao revestimento	0,091	0,031
Materiais reciclados aplicados às camadas de base/sub-base/reforço do subleito.	0,109	0,039
Permeabilidade	0,079	0,132
Temperatura Superficial	0,073	0,047
Aspectos de conforto de rolamento	0,067	0,078
Distância de frenagem	0,103	0,054
Vida útil	0,121	0,140
Tipo de Tráfego	0,097	0,116

Fonte: Autora (2017).

Por meio das constantes de escala nota-se que os atributos *custo de implantação* e *vida útil*, receberam pontuações altas de ambos os respondentes. Sendo que para o engenheiro da CMA, o atributo *materiais sustentáveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço do subleito*, também recebeu pontuação alta, seguido de *distância de frenagem*, ao passo que, os atributos *temperatura superficial*, *aspectos de conforto de rolamento* e *potencialidades estéticas* foram os que tiveram menores pontuações.

Para o engenheiro da SMOP, aos atributos relacionados a *custos* e *vida útil* foi atribuído um valor elevado e na quarta posição foi pontuado o atributo *permeabilidade*. *Temperatura superficial*, *materiais recicláveis aplicados ao revestimento* e *materiais recicláveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço do subleito* receberam as menores pontuações de acordo com este decisor.

5.1.7.3 Avaliação local das alternativas

A avaliação local das alternativas consistiu em adotar as funções de valor para cada nível de atributo determinado na seção 5.1.6.1. A Tabela 35 mostra as funções de valor definidas pelo engenheiro civil da Coordenadoria do Meio Ambiente (CMA) e a Figura 25 apresenta os perfis de impactos de cada alternativa segundo a percepção deste decisor.

Tabela 35 – Alternativas de pavimento, nível de atributo e valores – (CMA)

Atributo	Alternativas					
	CAUQ		PPC		PPC Permeável	
	Nível	Função de valor	Nível	Função de valor	Nível	Função de valor
Custo de implantação	77,87	90,16	100,10	62,38	140,30	14,07
Custo de manutenção anual	9,24	98,88	26,17	24,29	31,62	1,58
Potencialidades estéticas (atratividade visual)	N1	0	N3	100	N3	100
Materiais recicláveis aplicados ao revestimento	N3	100	N1	0	N1	0
Materiais recicláveis aplicados às camadas de base/sub-base/reforço do subleito.	N3	100	N3	100	N1	0
Permeabilidade	N1	0	N2	90	N3	100
Temperatura Superficial	N1	0	N3	100	N3	100
Aspectos de conforto.	N3	100	N1	0	N1	0
Distância de frenagem	N1	0	N3	100	N3	100
Vida útil	10	0	15	50	10	0
Tipo de Tráfego	N2	90	N1	0	N1	0

Fonte: Autora (2017).

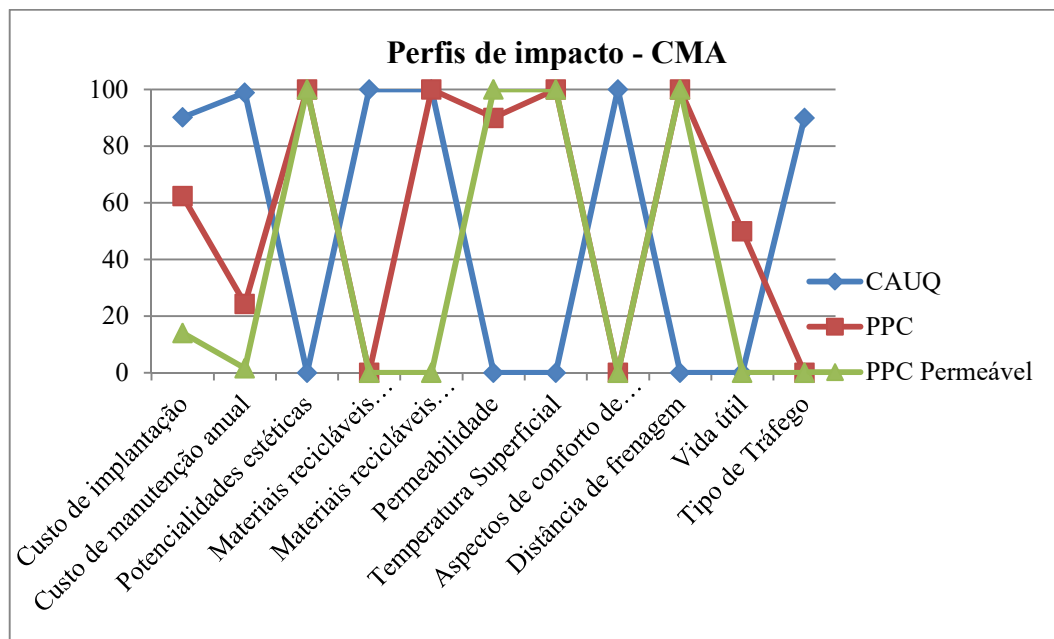


Figura 25 – Perfis de impacto das alternativas de acordo com o engenheiro da CMA

Fonte: Autora (2017).

Pelo gráfico acima, é possível notar diferenças de desempenho em alguns atributos. Ao se analisar o *custo de implantação*, observa-se o CAUQ teve nota próxima dos 100 pontos, caracterizando-se próximo do melhor nível, enquanto que o PPC ficou acima dos 50 pontos e o PPC permeável abaixo dos 20 pontos, mostrando diferença significativa na avaliação local entre as alternativas. Em relação ao *custo de manutenção anual*, o CAUQ também teve nota muito próxima do melhor nível, enquanto que o PPC teve um desempenho abaixo dos 25 pontos e o PPC permeável muito próximo de zero. Neste caso as alternativas

em PPC tiveram uma discrepância maior em relação à alternativa em CAUQ que no atributo anterior.

Ao analisar o atributo *permeabilidade*, previamente já era esperado que o CAUQ estaria no pior nível e a PPC permeável no melhor. Porém, o interessante é que este decisor avaliou a alternativa PPC, com um desempenho próximo dos 100 pontos, mesmo não tendo uma estrutura para armazenar águas pluviais. Observando a *vida útil*, verifica-se que o CAUQ e o PPC permeável se enquadraram no pior nível, porém o PPC apresentou uma vantagem em relação aos demais, ponderada em 50 pontos de atratividade.

A última constatação relevante, é que em relação *tipo de tráfego*, as alternativas em PPC tiveram desempenho no pior nível por atenderem o mesmo tipo de tráfego, enquanto o CAUQ tem um desempenho de 90 pontos.

Na Tabela 36, seguem as funções de valor definidas pelo engenheiro civil da Secretaria Municipal de Obras Públicas (SMOP), e a Figura 26 os perfis de impacto gerados sobre cada alternativa.

Tabela 36 – Alternativas de pavimento, nível de atributo e valores – (SMOP)

Atributo	Alternativas					
	CAUQ		PPC		PPC Permeável	
	Nível	Função de valor	Nível	Função de valor	Nível	Função de valor
Custo de implantação	77,87	60,65	100,10	24,95	140,30	6,68
Custo de manutenção anual	9,24	98,88	26,17	20,82	31,62	1,36
Potencialidades estéticas (atratividade visual)	N1	0	N3	100	N3	100
Materiais recicláveis aplicados ao revestimento	N3	100	N1	0	N1	0
Materiais recicláveis aplicados às camadas de base/sub-base/reforço do subleito.	N3	100	N3	100	N1	0
Permeabilidade	N1	0	N2	25	N3	100
Temperatura Superficial	N1	0	N3	100	N3	100
Aspectos de conforto.	N3	100	N1	0	N1	0
Distância de frenagem	N1	0	N3	100	N3	100
Vida útil	10	0	15	25	10	0
Tipo de Tráfego	N2	75	N1	0	N1	0

Fonte: Autora (2017).

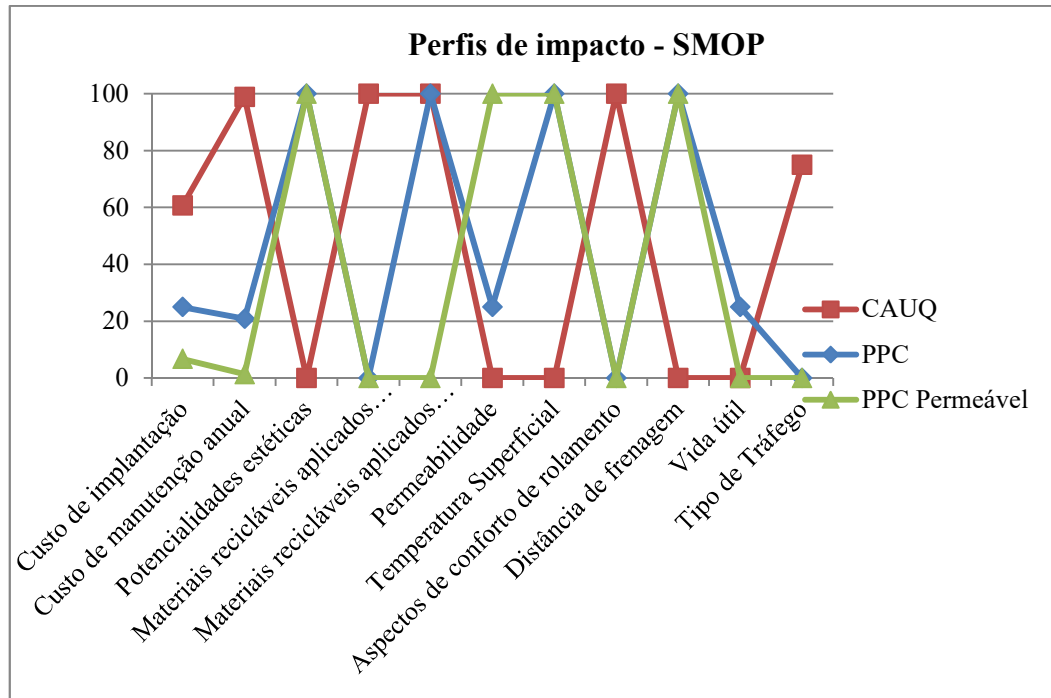


Figura 26 – Perfis de impacto das alternativas de acordo com o engenheiro da SMOP
Fonte: Autora (2017).

Verificando o gráfico acima, e analisando os mesmos atributos utilizados para o decisor anterior, pode-se perceber que em relação ao *custo de implantação*, houve decréscimo no desempenho para as três alternativas, apresentando-se os seguintes valores aproximados de atratividade: CAUQ com 60 pontos, o PPC com 25 pontos e o PPC permeável com 7 pontos. Embora o CAUQ permaneça com melhor desempenho, é possível compreender que na avaliação do decisor da SMOP, está um pouco aquém do melhor nível.

No tocante ao atributo *custo de manutenção anual*, o desempenho das alternativas foi muito próximo ao decisor anterior. Em relação à *permeabilidade*, o PPC, teve um desempenho de 25 pontos, mostrando que, na visão deste decisor, essa alternativa pouco contribuiu para o aspecto ambiental. Ao analisar a *vida útil*, a aquela em PPC foi avaliada localmente com 25 pontos, mostrando que apesar de sua maior durabilidade, o tempo em anos, que é superior às outras, não teve uma considerável relevância nesta avaliação. Por fim, em relação ao *tipo de tráfego*, o CAUQ permaneceu em vantagem em relação aos pavimentos em PPC, porém numa atratividade pouco menor, com 75 pontos.

5.1.7.4 Avaliação global das alternativas

A avaliação global consistiu em determinar o valor global que representa cada alternativa. Este valor é calculado através da fórmula de agregação aditiva apresentada na seção 4.2.2.

Na Tabela 37 indica a avaliação global do representante da CMA, enquanto que na Tabela 38 a do representante da SMOP. Com estes resultados pode-se observar a preferência de cada decisor em relação às alternativas propostas.

Tabela 37 – Avaliação global das alternativas - CMA

Alternativas	Avaliações globais
PPC	57
CAUQ	54
PPC Permeável	33

Fonte: Autora (2017).

Tabela 38 – Avaliações globais das alternativas - SMOP

Alternativas	Avaliações globais
CAUQ	47
PPC	34
PPC Permeável	31

Fonte: Autora (2017).

Com os resultados obtidos, pode-se constatar que na visão do engenheiro da CMA, o PPC é o pavimento mais recomendado, enquanto que para o engenheiro da SMOP é o CAUQ. Ao analisar os dados fornecidos por eles na construção das funções de valor e na definição de constantes de escalas, é possível notar que os valores dos níveis intermediários das funções de valor foram elevados na atribuição do engenheiro da CMA. Ao passo que, ao se analisar as suas constantes de escala, atributos como *vida útil, materiais recicláveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço do subleito; distância de frenagem*, que favoreceram a alternativa em PPC, também receberam valores elevados.

Em relação ao resultado do engenheiro SMOP, percebeu-se que além dos níveis intermediários das funções de valores receberem pontuações mais baixas, na definição das constantes de escalas, ao se determinar os atributos relacionados a *custos* como os mais importantes, favoreceu a alternativa em CAUQ. Além disso, atributos como *potencialidades estéticas, distância de frenagem, temperatura superficial e materiais recicláveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço do subleito* que contribuiriam para um melhor desempenho da alternativa em PPC, tiveram as menores pontuações.

Após a realização da avaliação global, de acordo com a visão de cada engenheiro, foram utilizados os dados fornecidos pelo representante da SMOP para prosseguir com as etapas posteriores, pois esta Secretaria tem como atribuição as atividades de pavimentação e drenagem de vias públicas, e por consequência o poder de tomada de decisão. De acordo com os resultados da sua avaliação global, constata-se que o pavimento revestido em CAUQ apresentou o melhor resultado.

Ao analisar as parcelas que compunham a função de valor multiatributo para cada alternativa, isto é, os valores obtidos da multiplicação das funções de valores pelas respectivas constantes de escala, percebeu-se os atributos que mais tiveram influência na avaliação global, que são expressos na Tabela 39.

Tabela 39 – Influência dos atributos na avaliação global

CAUQ	PPC	PPC Permeável
Custos de manutenção anual: 31%	Potencialidades estéticas: 18%	Permeabilidade: 43%
Custo de implantação: 20%	Distância de frenagem: 16%	Potencialidades estéticas: 20%
Tipo de tráfego: 18%	Temperatura superficial: 14%	Distância de frenagem: 18%
Aspectos de conforto de rolamento: 16%	Materiais recicláveis aplicados às camadas de base/sub-base/reforço do subleito e Custo de Implantação: 11%	Temperatura superficial: 15%

Fonte: Autora (2017).

Ao verificar os resultados da Tabela 39 para o pavimento em CAUQ, constatou-se que os atributos referentes a *custos*, a capacidade de resistir a diferentes *tipos de tráfego* e ao *conforto de rolamento*, foram os que tiveram maior influência no resultado final, tratando-se de aspectos técnicos desejáveis do ponto de vista da administração pública.

Analisando a influência dos atributos nos resultados da alternativa revestida em PPC, foi possível perceber que os percentuais não foram elevados e nem muito discrepantes, revelando uma razoável distribuição dos valores conferidos aos atributos para compor o resultado global. O atributo com maior relevância foi *potencialidades estéticas*, seguidos de *distância de frenagem* e *temperatura superficial*, que tratam de propriedades que favorecem esta alternativa. Os atributos *materiais recicláveis aplicados às camadas de base/sub-base e reforço do subleito* e *custo de implantação* tiveram uma influência equivalente de 11%.

Na alternativa em PPC permeável houve grande influência do atributo *permeabilidade*, por referir-se à propriedade mais relevante deste pavimento. Esse atributo foi seguido de *potencialidades estéticas*, *distância de frenagem* e *temperatura superficial*, na mesma ordem da alternativa anterior devido à similaridade de revestimentos.

5.1.7.5 Análise de sensibilidade

Para realizar a análise de sensibilidade, optou-se por mudar as constantes de escala do modelo desenvolvido. Essa escolha foi definida, a partir da verificação dos níveis dos atributos e da avaliação global. Em relação aos atributos, a maioria deles contém somente três níveis, e as alternativas se enquadram entre os extremos (no melhor ou no pior nível), portanto mudar as funções de valor referente ao nível intermediário poderia não provocar

alterações significativas no modelo, tornando-se um procedimento pouco relevante para avaliar a consistência daquele que foi desenvolvido.

Após análise dos resultados obtidos na avaliação global, verificou-se que as constantes de escala são os parâmetros que mais influenciaram nessa avaliação. Portanto, para a análise de sensibilidade, foram utilizadas duas constantes em uma variação de $\pm 10\%$. As constantes escolhidas foram referentes à *permeabilidade* e a *custo de implantação*. A *permeabilidade* por se tratar de um parâmetro crítico em relação às questões ambientais e de urbanização, e o *custo de implantação* por ser um atributo que teve pontuações altas para ambos os decisores. O resultado das avaliações globais com as alterações determinadas é apresentado na Tabela 40.

Tabela 40 – Análise de sensibilidade

Alternativas	Alterações - <i>Permeabilidade</i>		Alterações - <i>Custo de implantação</i>	
	+10%	- 10%	+10%	- 10%
CAUQ	47	48	48	47
PPC	34	34	34	34
PPC Permeável	32	30	30	31

Fonte: Autora (2017).

De acordo com os resultados apresentados na análise de sensibilidade, observou-se que não houve mudança na ordem das alternativas, reforçando os resultados obtidos anteriormente e atestando que o modelo é consistente.

5.1.7.6 Recomendações

As três alternativas de pavimentos para este trabalho foram avaliadas pelo método multicritério, a partir de atributos determinados para mensurar os objetivos definidos pelos atores envolvidos neste contexto de decisão. Por meio das avaliações globais e da análise de sensibilidade, constatou-se que a alternativa em CAUQ é a mais recomendada para este estudo de caso, pois foi a que atingiu melhor resultado.

É válido ressaltar que este resultado não se trata de possibilidade única e concluída, mas sua recomendação pode apoiar a tomada de decisão dos órgãos públicos, pois dentro de um panorama multicritério, o pavimento revestido em CAUQ é mais indicado para uma via coletora de mão dupla do município de São Carlos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa apresentou uma aplicação do apoio multicritério à decisão na área de engenharia e planejamento de transportes. Teve como intuito recomendar o tipo de pavimento urbano mais adequado para o estudo de caso no município de São Carlos. Num primeiro momento foi definido o contexto de decisão, para posteriormente, entrevistar todos os atores (usuários, pesquisadores e decisores) envolvidos nesse contexto, e dessas entrevistas foram coletados os objetivos que se pretendiam alcançar com essa decisão, para posteriormente, definir atributos que os mensurassem.

Por meio de novas consultas aos decisores e aplicação do método de função de valor multiatributo, foi possível obter um valor numérico para cada tipo de pavimento abordado neste trabalho (CAUQ, PPC e PPC permeável) e a partir desses valores, inferir qual seria o mais recomendado.

A utilização do AMD proporcionou uma visão holística para a escolha de pavimentos urbanos, abrangendo uma variação considerável de atributos referentes a aspectos técnicos que caracterizaram o objeto específico da área de transporte definido para o estudo. Essa perspectiva mais abrangente foi possível por meio da construção do modelo baseada nos valores dos atores envolvidos.

O contato com os envolvidos possibilitou uma lista satisfatória de objetivos, os quais foram relevantes para avaliar as alternativas. Quanto às entrevistas, as pessoas se mostraram bastantes solícitas em responder e compreenderam o que as questões abordavam. Quando ocorriam dificuldades de entendimento por parte dos usuários, utilizou-se uma linguagem mais simples nos questionamentos. Como a entrevista era constituída por questões abertas e a abordagem foi realizada nas calçadas e praças, exigiu-se de quem estava entrevistando certo dinamismo para que esse diálogo não se tornasse tão cansativo.

Durante o processo de revisão bibliográfica para determinar os atributos, foi possível adquirir um melhor entendimento das dificuldades de mensurar os valores expressos pelos atores e do quão conflitante poderiam ser alguns objetivos. Porém ao finalizar essa etapa e determinar em quais níveis de atributo cada alternativa se enquadrava, pode-se perceber com maior clareza as potencialidades e as limitações de cada alternativa, possibilitando por meio desse processo, a aprendizagem sobre o problema e maior compreensão da importância da tomada de decisão.

Ao entrar em contato com os decisores para a definição das funções de valor e das constantes de escala, foi possível compreender de forma sistematizada, a subjetividade de

cada um. Com os dados fornecidos por eles, foram calculados os desempenhos globais de cada alternativa e determinado o pavimento a ser recomendado. Essa recomendação foi corroborada pela análise de sensibilidade, que assegurou que o modelo desenvolvido é consistente. Dessa forma, pode-se compreender que o AMD para essa aplicação foi satisfatória, pois permitiu de maneira construtivista estruturar o problema, avaliar as alternativas e desenvolver recomendações plausíveis para o problema de pesquisa.

Em relação ao estudo de caso, a pesquisa foi desenvolvida para aplicação numa via coletora de mão dupla a ser implantada no município de São Carlos. A participação dos atores envolvidos e a posterior análise das entrevistas permitiram determinar quais eram os anseios desses cidadãos referentes aos pavimentos urbanos. De forma geral, os usuários levantaram objetivos relacionados à trafegabilidade das vias, enquanto que os pesquisadores trouxeram um olhar mais técnico e apurado no tocante aos critérios a serem abordados, e os decisores, por sua vez, contribuíram com uma visão mais administrativa, resultando em objetivos que eram importantes serem avaliados para o município.

Quanto às alternativas abordadas neste trabalho, encontrou-se dificuldades em localizar referências bibliográficas e aplicações do pavimento permeável, principalmente no país. Essa situação refletiu-se tanto na elaboração do referencial teórico, como na determinação dos atributos, pois eles precisavam ser construídos de forma que este tipo de pavimento pudesse ser encaixado em alguns de seus níveis. Sendo assim priorizou-se uma estrutura mais próxima do PPC convencional.

Ao desenvolver os atributos, explorar as alternativas e definir os níveis, foi possível perceber que a alternativa em PPC possui propriedades que favorecem os atributos: potencialidades estéticas, permeabilidade, temperatura superficial, distância de frenagem, vida útil e uso de materiais recicláveis em bases, sub-bases e reforços do subleito.

Em relação ao tipo permeável, ele tem como melhor contribuição a permeabilidade, porém é desfavorecido em relação aos custos de implantação, manutenção anual e durabilidade. Como neste estudo, foram considerados apenas os custos do pavimento, não foi possível avaliar o quanto financeiramente ele poderia impactar no sistema de drenagem convencional, pois pela sua capacidade de retardar o volume de escoamento poderia aliviar estes sistemas.

O pavimento revestido em CAUQ, por sua vez, apresentou melhor desempenho local nos atributos: custo de implantação, custo de manutenção anual, aspectos de conforto de rolamento, tipo de tráfego e apresenta possibilidades de uso de materiais recicláveis no revestimento e nas demais camadas.

Quando foram consultados os engenheiros da CMA e da SMOP, na definição das constantes de escala, ambos deram maior importância aos atributos relacionados a custo de implantação e durabilidade, devido à percepção comum do bom uso do dinheiro público e da responsabilidade fiscal. Sendo que o representante da CMA atrelou a uso de materiais recicláveis significativa importância, enquanto que na consulta ao engenheiro da SMOP, os atributos relacionados a aspectos técnicos e orçamentários foram preponderantes.

Na avaliação global de acordo com os dados fornecidos pelo engenheiro da CMA, a alternativa em PPC foi a mais recomendada. Este resultado deu-se em virtude dos valores elevados atribuídos aos níveis intermediários das funções de valor e a algumas constantes de escala dos atributos que favoreciam esta alternativa. Por outro lado, de acordo com os valores arbitrados pelo engenheiro da SMOP, na avaliação global, a alternativa em CAUQ teve o melhor resultado. Neste caso, as funções de valor dos níveis intermediários receberam valores mais baixos em relação ao decisor anterior e foram conferidas pontuações mais altas aos atributos relacionados aos custos.

O pavimento mais recomendado foi a alternativa em CAUQ. Analisando as parcelas que compuseram essa equação (funções de valor multiplicadas pelas respectivas constantes de escala), pode-se perceber que os atributos que mais influenciaram neste resultado, foi o custo de manutenção anual, custo de implantação, tipo de tráfego e conforto, que além de um bom desempenho local, receberam relativa importância na definição das constantes. A partir disso pode-se inferir que estes atributos somados à vida útil, podem apontar valores que são relevantes para a gestão pública do município.

Para trabalhos futuros, sugere-se que a hierarquia de objetivos seja mais aperfeiçoada, utilizando-se mais níveis de especificação e agrupando objetivos que estão relacionados. Como é o caso de “considerar custo de implantação” e “considerar custo de manutenção”, que poderiam estar num objetivo custos e então serem subdivididos nos dois objetivos. Para este trabalho optou-se por uma hierarquia mais simples para facilitar a compreensão dos decisores e o desenvolvimento dos atributos, mas essa organização pode ainda ser mais detalhada e os objetivos serem melhor explorados.

Como houve certa dificuldade de análise com a participação de dois decisores, sugere-se que se aplique este método com apenas um gestor público que tenha poder de tomada de decisão.

O método utilizado nesta pesquisa pode ainda ser aplicado a outras realidades e em outras questões na área de transporte e planejamento.

REFERÊNCIAS

ACEVES, M. C.; FUAMBA, M.. **Methodology for Selecting Best Management Practices Integrating Multiple Stakeholders and Criteria. Part 2: Case Study.** Water, v. 8, n. 2, p.56, fev. 2016.

ALCIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte.** 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ALMEIDA, A.T. de et al. **Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações.** São Paulo: Atlas, 2012.

ALMEIDA, S. de; MORAISB, Danielle Costa; ALMEIDA, Adiel Teixeira. **Agregação de pontos de vista de stakeholders utilizando o Value-Focused Thinking associado a mapeamento cognitivo.** Produção, v. 24, n. 1, p.144-159, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Assentamento de blocos pré-moldados de concreto em pavimentação: prática recomendada.** 2.ed. São Paulo: ABCP, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público.** São Paulo: ABCP, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Pavimentos intertravados: Um caminho de vantagens com baixo custo.** 2008. Disponível em: <<https://maski.com.br/cartilha-abcp-de-pavimentos-intertravados/>>. Acesso em: 28 nov.2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.** Rio de Janeiro: 2004. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Procedimentos.** Rio de Janeiro: 2004. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** 2 ed. Rio de Janeiro: 2005. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio.** 2 ed. Rio de Janeiro: 2013. 21 p.

BABASHAMSI, P. et al. **Integrated fuzzy analytic hierarchy process and VIKOR method in the prioritization of pavement maintenance activities.** International Journal Of Pavement Research And Technology. v. 9, n. 3, p. 112-120, Mar. 2016.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BANA E COSTA, Carlos A. **Processo de apoio à decisão: problemáticas, actores e acções.** CESUR n° 618, Lisboa, 1993.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015. 318p.

BARBASSA, A. P. **Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial da cidade de São Carlos – SP.** 1991. 327 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

BELTON, Valerie; STEWART, Theodor. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach.** Springer US, 2002.

BERNUCCI, L. B., et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros** – Rio de Janeiro: Petrobrás-ABEDA, 2006. 504 p.

BILBAO, N. M. E. **Avaliação de desempenho do sistema BRT da cidade de Lima utilizando o auxílio multicritério à decisão.** 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

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

CAFISO, S. et al. **Multicriteria analysis method for pavement maintenance management.** Transportation Research Record. n. 1816, p. 73-84. 2002.

CARVALHO, D. B. A. **Considerações sobre a utilização de pavimentos intertravados e betuminosos.** 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

CARVALHO, M. D. **Pavimentação com Peças Pré-moldadas de Concreto, ET-27.** Associação Brasileira de Cimento Portland-ABCP, São Paulo, Brasil, 1998.

CLÍMACO, J. N.; ANTUNES, C. H.; ALVES, M. J. G. **Programação linear multiobjetivo: do modelo de programação linear clássico à consideração explícita de várias funções objetivo.** Portugal: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2003.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2017: Relatório Gerencial.** Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2017. 403 p. Disponível em: <[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio Gerencial/Pesquisa CNT \(2017\) - ALTA.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2017)%20-%20ALTA.pdf)>. Acesso em: 05 dez. 2017.

CORSINI, Rodnei. **Pavimento Permeável: Sistema revestido com peças intertravadas de concreto poroso promovem a infiltração da água.** Infraestrutura Urbana: projetos, custos e construção, São Paulo, n. 37, mar. 2014. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/37/pavimento-permeavel-308773-1.aspx>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

COSTA JUNIOR, L. L; BARBASSA, A. P. **Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v.11 n. 1, p.46-54, jan/mar. 2006.

COSTA, M. A. F. da; DA COSTA, M. de F. B. **Metodologia da pesquisa: conceitos e técnicas.** Interciência, 2009.

DELOSPITAL, F. R. **Aplicação do auxílio multicritério à decisão ao projeto de travessia entre Santos e Guarujá.** 2016. 234 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

DEPARTAMENTO DE ESTRADA E RODAGEM DE SÃO PAULO (DER/SP). **IP-DE-P00/001: PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO.** São Paulo: DER/SP, 2006. 53 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT-ES 031: Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço.** 2006.

DODGSON, J. S et al. **Multi-criteria analysis: a manual.** London: Communities And Local Government, 2009.

FERREIRA, J. M. A. I. **Pavimentos em espaços públicos urbanos: Contribuição para a análise e concepção de soluções.** 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Território, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137463234/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

ENSSLIN, L. et al. Modelo multicritério de apoio à decisão construtivista no processo de avaliação de fornecedores. **Produção**, v. 23, n. 2, p. 402-421, abr/jun 2013.

ENSSLIN, L.; NETO, G. M.r; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas.** Insular, 2001.

ENSSLIN, S. R. A. **Incorporação da Perspectiva Sistêmico-Sinérgica na Metodologia MCDA-Construtivista: uma ilustração de implementação.** 2002. 478 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FERREIRA, M. A. G. **PROJETO DO PAVIMENTO:** Convênio FAI/UFSCar/DECiv - Processo nº 23112.002466/2013-19. Via de acesso ao Condomínio Parque Faber III, São Carlos/SP, 2013.

FILIPPO, S.; RIBEIRO, P. C. M.; RIBEIRO, S. K. **A Fuzzy Multi-Criteria Model applied to the management of the environmental restoration of paved highways.** Transportation Research Part D. p. 423-436. 2007.

GALVES, M. L. **Supporting Decision Processes Related to Transport: from Cost-Benefit Analysis to Multiple Criteria Decision Analysis.** In: The Association for European Transport. Proceedings of European Transport Conference. 2005.

GENNESSAUX, M. de M. L. **Avaliação da durabilidade de misturas asfálticas a quente e morna contendo material asfáltico fresado.** 2015. 195 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOIÁS. Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas. Gerência de Estudos e Projetos Especiais. **Instrução Técnica-02: manual de pavimentação.** Goiás, 2016.

GOMES, L.F. A. M.; GOMES, C.F. S; ALMEIDA A. T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério.** São Paulo: Atlas, 2002.

GUARNIERI, P. **Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério.** Revista de Administração Contemporânea, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p.1-25, jan/fev. 2015.

HERAVI, G.; ESMAEELI, A. N. **Fuzzy multicriteria decision-making approach for pavement project evaluation using life-cycle cost/performance analysis.** Journal Of Infrastructure Systems. v. 20, n. 2, p. 04014002. 2013.

IND.COM.REPRES. E SERVIÇOS ECOPIPOS. **GUIAS (Meio-fio): GUIAS DE CONCRETO - Guia Padrão PMSP, Guia Chapéu - Boca de Lobo, Guia Leve - Jardim.** 2017. Disponível em: <<http://www.ecopisos.com.br/5485.html>>. Acesso em: 10 out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Brasil/São Paulo/São Carlos: Panorama.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/sp/sao-carlos/panorama>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

JATO-ESPINO, Daniel et al. **A fuzzy stochastic multi-criteria model for the selection of urban pervious pavements.** Expert Systems With Applications. v. 41, n. 15p. 6807-6817. 2014.

KEENEY, R. L. **Decision analysis: an overview.** Operations Research. p. 803-838. set. 1982.

KEENEY, Ralph L. **Value-focused thinking: A path to creative decisionmaking.** Harvard University Press, 1992.

KEENEY, Ralph L.; MCDANIELS, Timothy L. **Value-focused thinking about strategic decisions at BC Hydro.** Interfaces, v. 22, n. 6, p. 94-109, 1992.

LIMA, J. P.; RAMOS, R. A. R.; FERNANDES JÚNIOR, J. L.. **Uma abordagem multicritério para a priorização de vias pavimentadas**. Transportes, v. 17, n. 1, p.27-38, jun. 2009.

MACEDO NETO, Raul Xavier de. **Temperatura da superfície nos materiais de pavimentação: uma contribuição ao desenvolvimento urbano**. 2016. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo: ABCP, 2010. 24p.

MASCHIO, A. **Pavimento Intertravado: Como executar bem**. Concrete Show South America (Concrespaço), 9., 2015, São Paulo. São Paulo: ABCP, 2015.

MATTOS, J. R. G.; ROZEK, T.M.; HIRSCH, F.; NÚÑEZ, W. P. **Análise da aderência pneu-pavimento para diferentes tipos de camadas de rolamento da BR-290/RS**. V GEORS Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul, 2009.

MOSCHETTI, Ricardo. **Seminário Pavimento de Concreto: O pavimento de concreto é uma realidade nacional. Por quê?** Vídeo, 2015. 81 slides, color. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/cms/wp-content/files_mf/pav_concreto_ricardo_moschetti.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2017.

MOURA, P. M. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. 2004. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

PASQUET, A. **Campagne nationale de glissance 1967 em France**. In: Colloque international sur la glissance et la sécuritté de la circulation sur routes moullées. **Anais**. Berlin: [s.n.]. 1968.p.717-732.

PREGO, A. S. da S. **A memória da pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001.

RODOVIAS FEDERAIS: DE PEDAGIADAS A INTELIGENTES. Revista ANTT, 2009. Disponível em: <http://appweb2.antt.gov.br/revistaantt/ed1/_asp/reportagem.asp>. Acesso em: 07 jun. 2017.

SANTHANAM, G. R.; GOPALAKRISHNAN, K.. **Pavement Life-Cycle Sustainability Assessment and Interpretation Using a Novel Qualitative Decision Procedure**. Journal Of Computing In Civil Engineering. v. 27, n. 5, p. 544-554. set./out. 2013.

SANTOS, J.; FLINTSCH, G.; FERREIRA, A. **Environmental and economic assessment of pavement construction and management practices for enhancing pavement sustainability**. Resources, Conservation And Recycling. v.116, p. 15-31. 2017.

SÃO CARLOS. Câmara Municipal. **Lei nº 18.053 de 19 de dezembro de 2016.: Estabelece o plano diretor de São Carlos e dá outras providências**. 2016. Disponível em:

<<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-carlos/lei-ordinaria/2016/1805/18053/lei-ordinaria-n-18053-2016-estabelece-o-plano-diretor-do-municipio-de-sao-carlos-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 03 out. 2017.

SÃO CARLOS. Prefeitura Municipal de São Carlos. **A cidade de São Carlos**. Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/conheca-sao-carlos/115268-a-cidade-de-sao-carlos.html>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

SÃO CARLOS. Prefeitura Municipal de São Carlos. **Secretaria Municipal de Obras Públicas: O que fazemos**. Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/secretarias-municipais/115261-secretaria-municipal-de-obras-publicas.html>>. Acesso em: 21 set. 2017.

SÃO CARLOS. Prefeitura Municipal de São Carlos. **Dados da Cidade (Geográfico e Demográfico)** Disponível em: < <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/conheca-sao-carlos/115442-dados-da-cidade-geografico-e-demografico.html>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

SÃO PAULO. Prefeitura do município de São Paulo. **IP-02/2004: Classificação das vias**. São Paulo: 2004a. 18 p.

SÃO PAULO. Prefeitura do município de São Paulo. **IP-05/2004: Instrução de projeto para dimensionamento de pavimentos flexíveis tráfego meio pesado, pesado, muito pesado e faixa exclusiva de ônibus**. São Paulo: 2004b. 19 p.

SÃO PAULO. Prefeitura do município de São Paulo. **IP-06/2004: Instrução de projeto para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto**. São Paulo: 2004c. 16 p.

SÃO PAULO. Prefeitura do município de São Paulo. **IP-07/2004: Instrução de projeto para dimensionamento de pavimentos de concreto**. São Paulo: 2004d. 39 p.

SÃO PAULO. Prefeitura do município de São Paulo. **DP-H10: Diretrizes de projeto para escoamento nas ruas e sarjetas**. São Paulo: 1999. 39 p.

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo. Secretaria Municipal de Serviços e Obras. **Tabela de Composição de Custos Unitários de Infraestrutura Urbana sem desoneração da Prefeitura de São Paulo de Janeiro/2017: Tabelas de Custos**. 2017. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/tabelas_de_custos/index.php?p=242786>. Acesso em: 15 set. 2017.

SCHOLZ, M.; GRABOWIECKI, P. **Review of permeable pavement systems**. Building And Environment. Scotland, p. 3830-3836. nov. 2006.

SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 1 v.

SHU, X.; HUANG, B. **Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview**. Construction And Building Materials, Knoxville, v. 67, p.217-224, 2014.

SILVA JÚNIOR, F. A. **Cone de penetração dinâmica (DCP): uma alternativa ao dimensionamento de pavimentos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M.. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.

TABELAS DE COMPOSIÇÃO DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS (TCPO). –13.ed. – São Paulo: PINI, 2008.

VAN LEEST, A.J.; VAN HARSTKAMP, S.B.; MEIJER, J.P.R.. **Decision support model for road pavements based on whole life costing, life cycle assessment and multi-criteria analysis**. In: 9th International Conference on Concrete Pavements. San Francisco, 2008.

VASCONCELOS, K. **Sustentabilidade e reciclagem de materiais em pavimentação**: São Paulo: 2016. 82 slides, color. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/624044/mod_resource/content/3/PTR_2388_Reciclagem_14Abr2016.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2017.

VIEIRA, A. P. N. B. **Viabilidade técnica da fabricação de compósito utilizando fibra de pneu na fabricação de blocos intertravados**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/19474>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S.; CINCERRE, J.R.; SERRA, P.R.M.; NETO, A.Z. **Pavimentos de Baixo Custo para Vias Urbanas – Bases Alternativas com Solos Lateríticos**. São Paulo: Arte e Ciência, 2007.

VIRGILIIS, A. L.C. de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

WIKIMAPIA. **Limites dos bairros do Município de São Carlos**: Centro. 2018. Disponível em: <<http://wikimapia.org/>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

REFERÊNCIAS NÃO CITADAS

DUPAS, M. A. Pesquisando e normalizando: Noções básicas e recomendações úteis para a elaboração de trabalhos científicos. São Carlos: EdUFSCar, 2013. 89 p

BANA e COSTA, C. A.; STEWART, T. J.; VANSNICK, J.. Multicriteria decision analysis: Some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings. European Journal Of Operational Research. v. 99, n. 1, p. 28-37. 1997.

APÊNDICE A – ROTEIRO PARA ENTREVISTAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana	Nº: _____
<p>Este formulário é um instrumento de coleta de dados, que visa identificar entre os atores do contexto de decisão desta pesquisa, os objetivos que pretendem alcançar com a escolha dos tipos de pavimentos urbanos.</p>	
Abordar o entrevistado e contextualizá-lo sobre o objetivo da pesquisa.	
Dados temporais	
Data de aplicação: _____	
Identificação do respondente	
<input type="checkbox"/> Usuário <input type="checkbox"/> S.M.O.P. <input type="checkbox"/> C.M.A. <input type="checkbox"/> Docente <input type="checkbox"/> Pós-graduando	
<p>Somente para os usuários:</p> Tipo de veículo que dirige: _____ Tipo de usuário: <input type="checkbox"/> Pedestre/ T. público <input type="checkbox"/> Ciclista <input type="checkbox"/> Motociclista <input type="checkbox"/> Condutor comum <input type="checkbox"/> Taxista <input type="checkbox"/> Motorista de ônibus <input type="checkbox"/> Motorista de caminhão	
<p>Somente para os responsáveis pelas secretarias:</p> Função que desempenha: _____ Experiência na área: _____	
<p>Somente para os docentes e pós-graduandos:</p> Pesquisadores: <input type="checkbox"/> Pós-graduandos <input type="checkbox"/> Docentes	
Área de pesquisa: _____	

Continua.

Questões a serem aplicadas a todos:	
1)	Ao circular por um pavimento urbano, o que o(a) senhor(a) deseja que ele te proporcione?
2)	Quais tipos de pavimentos o(a) senhor(a) conhece? Entre elas, qual é o melhor? Quais são os motivos que te levam a considerar um tipo melhor que o outro? (Apresentar auxílio de imagem se houver necessidade).
3)	Entre esses tipos que o(a) senhor(a) citou, quais apresentam falhas? Que falhas são essas?
4)	Qual o tipo que o (a) senhor (a) considera inaceitável? Por quê?
5)	O(a) senhor(a) acredita que algum tipo de pavimento, possa trazer algum prejuízo? Quais?
6)	Quais são as preocupações que devem ser consideradas ao se escolher um pavimento urbano?
7)	Se (a) senhor (a) fosse um gestor (administrador) público, quais seriam as suas considerações importantes ao se escolher um pavimento urbano?
8)	Dentre tudo que conversamos, há ainda mais algum fator a mais que gostaria de acrescentar?
Além das questões gerais, para os responsáveis das secretarias, pergunta-se:	
9)	Há algum tipo de legislação/diretriz ambiental/municipal ou dos órgãos financiadores que restringem ou determinam algum tipo de pavimento? Se há, quais são? O que elas recomendam?
Além das questões gerais, para os pesquisadores, pergunta-se:	
12)	Do ponto de vista científico, quais são os fatores mais relevantes para balizar essa escolha?
Observação para entrevistador: Após identificar os objetivos, fazer a pergunta: "Por que esse objetivo é importante no contexto da decisão"?	
Agradecimento pela disponibilidade.	

APÊNDICE A.1 – AUXÍLIO DE IMAGEM

Tipos de pavimentos

Asfalto– CAUQ



Bloco intertravado de concreto



Pavimento de concreto



Paralelepípedo



Pavimentos permeáveis



APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS

Para o dimensionamento dos três pavimentos, além das considerações adotadas na seção 5.1.6, foram aplicados os parâmetros de tráfego apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 – Dados do tráfego

Tráfego previsto	Período de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		N característico
		Veículo leve	Caminhão e ônibus	
Meio pesado	10	1500 a 5000	101 a 300	2×10^6

Fonte: São Paulo (2004a).

1. Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ)

a. Espessura total do pavimento

Os materiais empregados no dimensionamento e seus coeficientes estruturais constam na Tabela 42.

Tabela 42 – Materiais empregados

Tipos de materiais	Coefficiente estrutural (Kr)
Revestimento de Concreto Asfáltico - CAUQ	2,00
Base de Brita Graduada Simples	1,00
Reforço de subleito/sub-base de solo melhorado com brita 50% em volume	1,00

Fonte: Brasil (2006).

Com a solicitação de tráfego $N = 2 \times 10^6$ e CB12%, utilizando o ábaco (Figura 27), determinou-se a espessura total básica do pavimento (H_{ST}).

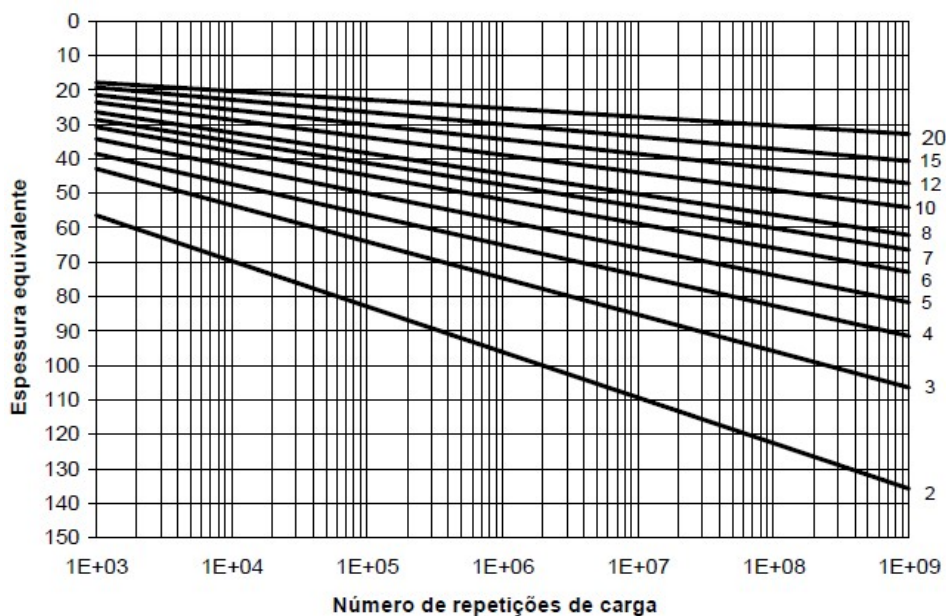


Figura 27 – Ábaco para determinação da espessura total básica do pavimento

Fonte: São Paulo (2014b).

Essa espessura corresponde a:

$$H_{Sl} = 35 \text{ cm.}$$

Considerando a camada de reforço do subleito comum CBR=20%, e utilizando novamente a Figura 28, obtêm-se a seguinte espessura fornecida pelo ábaco para esta camada:

$$H_{Sl} = 25 \text{ cm.}$$

A espessura recomendada do revestimento do Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ) para o tipo de tráfego considerado é de 5 cm (SÃO PAULO, 2004b).

Com as espessuras obtidas e aplicando as Inequações 3 e 4, determina-se as espessuras de projeto para cada camada do pavimento, expressas na Tabela 43.

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{Ref} \times K_{Ref} \geq H_{Sl}. \quad (3)$$

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{Ref}. \quad (4)$$

Em que:

R : Espessura do revestimento;

K_R : Coeficiente estrutural do revestimento;

B : Espessura da base;

K_B : Coeficiente estrutural da base;

H_{Ref} : Espessura do ábaco do reforço do subleito;

h_{Ref} : Espessura do reforço do subleito;

K_{Ref} : Coeficiente estrutural do reforço do subleito;

H_{Sl} : Espessura total básica do pavimento.

Tabela 43 – Componentes do pavimento

Camadas	Espessuras
1. Revestimento de Concreto Asfáltico Usinado a Quente	5 cm
2. Imprimadura ligante	-----
3. Imprimadura impermeabilizante	-----
4. Base de Brita Graduada Simples	15 cm
5. Reforço de subleito/sub-base de solo melhorado com brita 50% em volume	10 cm

Fonte: Autora (2017).

2. Peças pré-moldadas de concreto (PPC)

a. Espessura total do pavimento

Para determinar as camadas do pavimento, seguiu-se o procedimento preconizado por São Paulo (2004c).

Para determinar a camada de base foi consultada a Tabela 44, que fornece a espessura necessária de base granular para tráfego, de acordo com o número (N) de solicitações equivalentes do eixo padrão de 80 kN especificado e o CBR de projeto.

Tabela 44 – Espessura da base granular

Nº de Solicitações equivalentes do eixo padrão de 8,2 t (kN)	Espessura da Base															
	Valor do Índice Suporte Califórnia do Subleito (ISC ou CBR)															
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20					
10 ³	27	21	17	Mínimo 15												
2 x 10 ³	29	24	20									17				
4 x 10 ³	33	27	23									19	17			
8 x 10 ³	36	30	25									22	19			
10 ⁴	37	31	26									23	20			
2 x 10 ⁴	41	34	29									25	22	17		
4 x 10 ⁴	44	37	32									28	24	19		
8 x 10 ⁴	48	40	35									30	27	21	17	
10 ⁵	49	41	36									31	28	22	18	
2 x 10 ⁵	52	44	38									34	30	24	19	
4 x 10 ⁵	56	47	41									36	32	26	21	
8 x 10 ⁵	59	51	44									39	34	28	23	
10 ⁶	60	52	45									40	35	29	23	16
2 x 10 ⁶	64	55	47									42	38	30	25	17
4 x 10 ⁶	68	58	50									45	40	33	27	19
8 x 10 ⁶	71	61	53									47	42	34	29	20
10 ⁷	72	62	54									48	43	35	30	21

Fonte: São Paulo (2014c).

A espessura da base granular é definida com 15 cm. O revestimento, por sua vez, tem espessura determinada pela Tabela 45.

Tabela 45 – Espessura e resistência dos blocos de revestimento

Tráfego	Espessura do revestimento	Resistência à compressão simples
$N \leq 5 \times 10^5$	6,0 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 5 \times 10^7$	8,0 cm	35 a 50 MPa
$N \geq 10^7$	10,0 cm	50 MPa

Fonte: São Paulo (2014c).

Portanto a espessura do revestimento será de 8,0 cm, assentado sobre uma camada de areia com 5,0 cm de espessura. Com todas as camadas definida, a espessura total do pavimento é apresentada na Tabela 46.

Tabela 46 – Componentes do pavimento

Camadas	Espessuras
1. Revestimento de blocos pré-moldados de concreto (35 Mpa)	8 cm
2. Camada de areia de assentamento	5 cm
3. Imprimadura ligante	-----
4. Base de Brita Graduada Simples	15 cm

Fonte: Autora (2017).

b. Drenagem do pavimento

Toda água que infiltra pelo revestimento e fica retida na camada de areia, é coletada por um dispositivo de drenagem constituído por tubos PEAD perfurados com diâmetro de 100 mm, envoltos por manta geotêxtil, assentados a sarjeta. Estes tubos são conectados a tubos sem furos antes das paredes das bocas de lobo, para que o volume de água seja captado e dado um destino final a ele.

3. Pavimento permeável com peças pré-moldadas de concreto (PPC Permeável)

a. Dimensionamento Mecânico

O dimensionamento mecânico deste pavimento é semelhante ao do pavimento anterior (item 3). Mas como se trata de um pavimento permeável, é necessário que a camada estrutural que vai deter a água, seja dimensionada em termos hidráulicos.

b. Dimensionamento Hidráulico – Estudos hidrológicos e hidráulicos

A estrutura de pavimento concebida é do tipo sem infiltração no solo e a evacuação da água ocorre por meio de drenos acoplados ao sistema de drenagem a jusante. Para determinar a altura do reservatório, ou seja, para dimensionar as espessuras das camadas do pavimento em relação aos aspectos hidráulicos, empregou-se o método de cálculo adotado por Virgiliis (2009).

A chuva de projeto foi estimada por meio da equação de chuva (Equação 5) desenvolvida por Barbassa (1991), para o município de São Carlos/SP, que pode ser usada conforme Equação 6, com mudança de unidade de medida para mm/h.

$$i = \frac{28,03 \cdot T_R^{0,199}}{(t + 16)^{0,936}} \quad (5)$$

Em que:

i = Intensidade da chuva (mm/min);

T_R = Tempo de retorno (anos);

t = Tempo de chuva (min).

$$i = \frac{1681,8 \cdot T_R^{0,199}}{(t + 16)^{0,936}}. \quad (5)$$

Adotando-se um tempo de retorno de 5 anos, um tempo de chuva de 15 minutos e utilizando a Equação 6, é obtida a intensidade de chuva.

$$i = \frac{1681,8 \cdot 5^{0,199}}{(15 + 16)^{0,936}} = 93,10 \frac{mm}{h}.$$

Considerando que 1/3 da intensidade precipitada escorre sobre o pavimento e que 2/3 desta intensidade infiltra no pavimento tem-se então uma altura de chuva precipitada equivalente a (VIRGILIIS, 2009):

$$V_r = 62,07 \frac{mm}{h}. \quad (6)$$

c. Profundidade do reservatório

A profundidade do reservatório de camadas granulares é definida pela Equação 7 (VIRGILIIS, 2009).

$$H = \frac{V_r}{n}. \quad (7)$$

Em que:

H = Profundidade do reservatório de material granular (mm);

V_r = Altura total precipitada e infiltrada;

n = Porosidade do material.

Adotando-se uma camada de base de Brita Graduada Simples (BGS) e uma camada de sub-base de Macadame Hidráulico (MH), a porosidade adotada, para o cálculo da profundidade do reservatório deve ser a porosidade média que pé calculada pela Equação 8 (VIRGILIIS, 2009).

$$n_m = \frac{(n_b \cdot h_b) + (n_{sb} \cdot h_{sb})}{h_b + h_{sb}}. \quad (8)$$

Em que:

n_m = Porosidade média das camadas granulares;

n_b = Porosidade da camada de base de BGS;

n_{sb} = Porosidade da camada de sub-base de MH;

h_b = Espessura da camada de base de BGS;

h_{sb} = Espessura da camada de sub-base de MH.

Assim, considerando os valores de porosidade para a BGS igual a 0,18% e para o MH igual a 0,45% (VIRGILIIS, 2009) e, adotando a camada de BGS com 10 cm de espessura e a de MH com 15 cm, obtém-se a porosidade média das camadas granulares.

$$n_m = 0,342\% .$$

Admitindo o armazenamento do reservatório pelo período de 1 hora e o volume de vazios do material em torno de 34,2%, a profundidade do reservatório, para a chuva estimada é calculada conforme Equação 7 (VIRGILIIS, 2009):

$$H = \frac{V_r}{n} = \frac{62,07}{0,342} = 181,48 \text{ mm} .$$

Assim, a profundidade do reservatório adotada foi de 20,00 cm.

d. Espessura total do pavimento

Em relação ao revestimento, utilizou-se das mesmas considerações realizadas para a alternativa em PPC, ou seja, ele terá uma espessura de 8,0 cm, assentada sobre camada de areia com 5,0 de espessura.

A profundidade requerida para o reservatório foi de 20,0 cm, então adotou-se uma camada de base e brita graduada com espessura de 10 cm e sub-base de macadame hidráulico também com 10 cm. Mas como se pretende obter um reservatório estanque, não deve haver interface entre a estrutura com o subleito, sendo necessária a utilização de uma geomembrana que impeça a infiltração da água. E, que ainda, as camadas de BGS e MH sejam assentadas sobre uma camada de pó-de-pedra, com o intuito de proteger a geomembrana (VIRGILIS, 2009). Mediante todas essas considerações, a espessura total do pavimento é apresentada na Tabela 47.

Tabela 47 – Componentes do pavimento

Camadas	Espessuras
1. Revestimento de blocos pré-moldados de concreto (35 Mpa)	8 cm
2. Camada de areia de assentamento	5 cm
3. Base de Brita Graduado Simples	10 cm
4. Sub Base de Macadame Hidráulico	10 cm
5. Camada de pó de pedra (proteção da membrana impermeável)	10 cm
6. Membrana impermeável de PEAD (polietileno de alta densidade)	-----

Fonte: Autora (2017).

e. Drenagem do reservatório

A evacuação da água que infiltra e fica retida na estrutura do pavimento deve ser executada por um mecanismo de drenagem compostos de tubos PEAD perfurados com diâmetro de 100 mm, envoltos por manta geotêxtil, assentados nas bordas inferiores do reservatório, sobre a geomembrana, para coletar toda água que infiltra. Os tubos PEAD também devem ser acoplados a tubos sem furos próximos das paredes da boca de lobo, conforme descrito para a alternativa em PPC.

APÊNDICE C – PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS SINTÉTICAS E MEMÓRIAS DE CÁLCULO

Os custos de implantação das alternativas foram calculados para uma seção transversal com largura de 12 m e comprimento de 1 m, compreendidos nos campo “Total”, em cada planilha orçamentária. Estes valores foram então divididos por 12 m, para se determinar o valor do metro quadrado de cada pavimento. Este custo é apresentado no campo “R\$/m²” de cada planilha.

É importante salientar que em todos os pavimentos foi adotado o serviço “Regularização e compactação de ruas de terra”. Ele foi utilizado pela necessidade de se considerar a regularização e conformação geométrica do subleito para o assentamento das camadas estruturais do pavimento. E, dentre os serviços que compunham a Tabela de Composição de Custos Unitários de INFRA Sem Desoneração de JAN 2017 da Prefeitura de São Paulo, este era o que mais se enquadrava para esta finalidade.

1. Pavimento revestido de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ)

Tabela 48 – Planilha Orçamentária Sintética sobre a alternativa em CAUQ

Item	Códigos	Discriminação de serviços	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Valor total
1.0		PAVIMENTAÇÃO				
1.1		Pavimentação com Revestimento Asfáltico				
1.1.1	05-07-00	Regularização e compactação de ruas de terra	m ²	13,10	R\$ 1,89	R\$ 24,76
1.1.2	05-65-00	Reforço de subleito de solo melhorado com brita 50% em volume	m ³	1,31	R\$ 58,17	R\$ 76,20
1.1.3	05-48-00	Base de Brita Graduada	m ³	1,97	R\$ 121,39	R\$ 239,13
1.1.4	05-27-00	Imprimação betuminosa impermeabilizante	m ²	12,00	R\$ 7,11	R\$ 85,34
1.1.5	05-26-00	Imprimação betuminosa ligante	m ²	12,00	R\$ 3,41	R\$ 40,88
1.1.6	05-28-00	Revestimento de concreto asfáltico (sem transporte)	m ³	0,60	R\$ 705,19	R\$ 423,11
					Subtotal do item 1.0	889,42
2.0		DRENAGEM E OBRAS DE ARTE CORRENTE				
2.1	05-14-01	Fornecimento e assentamento de guias tipo PMSP 100, inclusive encostamento de terra - Fck = 20 MPa	m	1,00	R\$ 33,94	R\$ 33,94
2.2	05-19-02	Construção de sarjeta ou sarjetão de concreto - Fck = 20,0 MPa	m ³	0,03	R\$ 367,19	R\$ 11,02
					Subtotal do item 2.0	44,96
Custos unitários: Tabela de Composição de Custos Unitários de INFRA Sem Desoneração de JAN 2017, da Prefeitura de São Paulo.					Total	934,38
					R\$/m²	<u>77,87</u>

Fonte: Autora (2017).

Tabela 49 – Memória de Cálculo referente ao Orçamento Sintético da alternativa CAUQ

PAVIMENTAÇÃO						
Largura de pista de rolamento	→	12,00				m
Largura da sarjeta	→	0,40				m
Espessura da base do meio-fio	→	0,15				m
DRENAGEM						
Extensão de Meio-fio	→	1,00				m
Extensão de Sarjeta	→	1,00				m
1.0 PAVIMENTAÇÃO						
1.1 Pavimentação com Revestimento Asfáltico						
1.1.1 Regularização e compactação de ruas de terra						
Após a escavação, o subleito deverá ser regularizado antes da execução da camada de reforço ou sub-base. Considerando a largura da capa asfáltica + sarjeta + meio-fio, têm-se:						
Extensão		Largura				
1,00	x	13,10	=	13,10		m ²
				Total=	13,10	m²
1.1.2 Reforço de subleito de solo melhorado com brita 50% em volume						
A largura do reforço do subleito corresponde à mesma largura da regularização do subleito.						
Extensão		Largura		Espessura		
1,00	x	13,10	x	0,10	=	1,31
				Total=	13,10	m³
1.1.3 Base de Brita Graduada						
A largura da base corresponde à mesma largura da regularização do subleito.						
Extensão		Largura		Espessura		
1,00	x	13,10	x	0,15	=	1,97
				Total=	1,97	m³
1.1.4 Imprimação betuminosa impermeabilizante						
A largura da imprimação impermeabilizante corresponde à largura da pista de rolamento.						
Extensão		Largura				
1,00	x	12,00	=	12,00		
				Total=	12,00	m²
1.1.5 Imprimação betuminosa ligante						
A largura da imprimação ligante corresponde à largura da pista de rolamento.						
Extensão		Largura				
1,00	x	12,00	=	12,00		
				Total=	12,00	m²

Continua.

1.1.6 Revestimento de concreto asfáltico (sem transporte)						
A largura do revestimento corresponde à largura da pista de rolamento.						
Extensão		Largura		Espessura		
1,00	x	12,00	x	0,05	=	0,60
					Total=	0,60 m³
2.0 DRENAGEM E OBRAS DE ARTE CORRENTE						
2.1 Fornecimento e assentamento de guias tipo PMSP 100, inclusive encostamento de terra - Fck = 20 MPa						
					Extensão	= 1,00 m
2.2 Construção de sarjeta ou sarjetão de concreto - Fck = 20,0 MPa						
Adotando-se uma espessura de 8 cm e uma largura de 40 cm, têm-se:						
Extensão	X	Largura	X	Espessura		
1,00		0,40		0,08	Total=	0,03 m³

Fonte: Autora (2017).

2. Pavimento revestido com Peças Pré-moldadas de Concreto (PPC)

Tabela 50 – Planilha Orçamentária Sintética sobre a alternativa em PPC

Item	Códigos	Discriminação de Serviços	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Valor total	
1.0		PAVIMENTAÇÃO					
1.1		Pavimentação com Peças Pré-moldadas de concreto					
1.1.1	05-07-00	Regularização e compactação de ruas de terra	m²	13,10	R\$ 1,89	R\$ 24,76	
1.1.2	05-48-00	Base de Brita Graduada	m³	1,97	R\$ 121,39	R\$ 239,13	
1.1.3	05-27-00	Imprimação betuminosa impermeabilizante	m²	12,30	R\$ 7,11	R\$ 87,47	
1.1.4	05-86-02	Fornecimento e assentamento de blocos de concreto sobre areia	m²	12,00	R\$ 63,04	R\$ 756,48	
						Subtotal do item 1.0	1.107,84
2.0		DRENAGEM E OBRAS DE ARTE CORRENTE					
2.1	05-14-01	Fornecimento e assentamento de guias tipo PMSP 100, inclusive encostamento de terra - Fck = 20 MPa	m	1,00	R\$ 33,94	R\$ 33,94	
2.2	05-19-02	Construção de sarjeta ou sarjetão de concreto - Fck = 20,0 MPa	m³	0,03	R\$ 367,19	R\$ 11,02	
2.3	Composição	Fornecimento e instalação de Tubo PEAD - Diâmetro=4,0", revestido com manta geotêxtil	m	2,00	24,18	R\$ 48,36	
						Subtotal do item 2.0	93,32
						Total	1.201,16
						R\$/m²	<u>100,10</u>

Custos unitários: Tabela de Composição de Custos Unitários de INFRA Sem Desoneração de JAN 2017, da Prefeitura de São Paulo.

Fonte: Autora (2017).

Tabela 51 – Memória de Cálculo referente ao Orçamento Sintético da alternativa PPC

PAVIMENTAÇÃO					
Largura de pista de rolamento	→	12,00		m	
Largura da sarjeta	→	0,40		m	
Espessura da base do meio-fio	→	0,15		m	
DRENAGEM					
Extensão de Meio-fio	→	1,00		m	
Extensão de Sarjeta	→	1,00		m	
1.0 PAVIMENTAÇÃO					
1.1 Pavimentação com Peças Pré-moldadas de concreto					
1.1.1 Regularização e compactação de ruas de terra					
Após a escavação, o subleito deverá ser regularizado antes da execução da camada de reforço ou sub-base. Considerando a largura da capa asfáltica + sarjeta + meio-fio, têm-se:					
Extensão		Largura			
1,00	x	13,10	=	13,10	m ²
				Total=	13,10 m²
1.1.2 Base de Brita Graduada					
A largura da base corresponde à mesma largura da regularização do subleito.					
Extensão		Largura		Espessura	
1,00	x	13,10	x	0,15	= 1,97
				Total=	1,97 m³
1.1.3 Imprimação betuminosa impermeabilizante					
A largura da imprimação impermeabilizante corresponde à largura da pista de rolamento.					
Extensão		Largura			
1,00	x	12,00	=	12,00	
Extensão da vala (dreno)*		Largura da vala (dreno)*			
1,00	x	0,30	=	0,30	
Pista (m ²)		Dreno (m ²)			
12,00	+	0,30	=	12,30	
				Total=	12,30 m²
*A vala que receberá o dreno envolto em manta asfáltica será impermeabilizada, o qual possui medida de extensão da vala de 1,00 m e a largura a 0,30 m. Esta largura por se tratar das três faces que devem ser impermeabilizadas, cada qual com 0,10 m.					

Continua.

1.1.4 Fornecimento e assentamento de blocos de concreto sobre areia						
A largura do revestimento corresponde à largura da pista de rolamento.						
Extensão		Largura				
1,00	x	12,00	=	12,00		
				Total=	12,00	m²
2.0 DRENAGEM E OBRAS DE ARTE CORRENTE						
2.1 Fornecimento e assentamento de guias tipo PMSP 100, inclusive encostamento de terra - Fck = 20 MPa						
		Extensão	=	1,00	m	
2.2 Construção de sarjeta ou sarjetão de concreto - Fck = 20,0 MPa						
Adotando-se uma espessura de 8 cm e uma largura de 40 cm, têm-se:						
Extensão	X	Largura	X	Espessura		
1,00		0,40		0,08	Total=	0,03 m³
2.3 Fornecimento e instalação de Tubo PEAD - Diâmetro=4,0", revestido com manta geotêxtil						
Como se trata de implantar o tubo em ambos os bordos, são 2,00m de extensão.						
		Extensão	=	2,00	m	

Fonte: Autora (2017).

3. Pavimento permeável revestido com Peças Pré-moldadas de Concreto (PPC Permeável)

Tabela 52 – Planilha Orçamentária Sintética sobre a alternativa em PPC Permeável

Item	Códigos	DISCRIMINAÇÃO DE SERVIÇOS	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Valor total
1.0		PAVIMENTAÇÃO				
1.1		Pavimentação com Peças Pré-moldadas de concreto				
1.1.1	05-07-00	Regularização e compactação de ruas de terra	m ²	13,10	R\$ 1,89	R\$ 24,76
1.1.2	06-70-01	Fornecimento e aplicação de geomembrana de PEAD - 1 mm de espessura	m ²	13,10	R\$ 23,20	R\$ 303,89
1.1.3	Composição 1	Camada de Pó de Pedra (proteção da membrana impermeável)	m ³	1,31	R\$ 106,92	R\$ 140,07
1.1.4	Composição 2	Sub-base de Macadame Hidráulico	m ³	1,31	R\$ 157,31	R\$ 206,08
1.1.5	05-48-00	Base de Brita Graduada	m ³	1,31	R\$ 121,39	R\$ 159,02
1.1.6	05-86-02	Fornecimento e assentamento de blocos de concreto sobre areia	m ²	12,00	R\$ 63,04	R\$ 756,48
						Subtotal do item 1.0
						1.590,30
2.0		DRENAGEM E OBRAS DE ARTE CORRENTE				
2.1	05-14-01	Fornecimento e assentamento de guias tipo PMSP 100, inclusive encostamento de terra - Fck = 20 MPa	m	1,00	R\$ 33,94	R\$ 33,94
2.2	05-19-02	Construção de sarjeta ou sarjetão de concreto - Fck = 20,0 MPa	m ³	0,03	R\$ 367,19	R\$ 11,02
2.3	Composição 3	Fornecimento e instalação de Tubo PEAD - Diâmetro=4,0", revestido com manta geotêxtil	m	2,00	24,18	R\$ 48,36
						Subtotal do item 2.0
						93,32
Custos unitários: Tabela de Composição de Custos Unitários de INFRA Sem Desoneração de JAN 2017, da Prefeitura de São Paulo.						
						Total
						1.683,62
						R\$/m²
						<u>140,30</u>

Fonte: Autora (2017).

Tabela 53 – Memória de Cálculo referente ao Orçamento Sintético da alternativa PPC Permeável

PAVIMENTAÇÃO						
Largura de pista de rolamento		→	12,00			m
Largura da sarjeta		→	0,40			m
Espessura da base do meio-fio		→	0,15			m
DRENAGEM						
Extensão de Meio-fio		→	1,00			m
Extensão de Sarjeta		→	1,00			m
1.0 PAVIMENTAÇÃO						
1.1 Pavimentação com Peças Pré-moldadas de concreto						
1.1.1 Regularização e compactação de ruas de terra						
Após a escavação, o subleito deverá ser regularizado antes da execução da camada de reforço ou sub-base. Considerando a largura da capa asfáltica + sarjeta + meio-fio, têm-se:						
Extensão			Largura			
1,00	x		13,10	=	13,10	m ²
				Total=	13,10	m²
1.1.2 Fornecimento e aplicação de geomembrana de PEAD - 1 mm de espessura						
Extensão			Largura			
1,00	x		13,10	=	13,10	m ²
				Total=	13,10	m²
1.1.3 Camada de Pó de Pedra (proteção da membrana impermeável)						
A largura da imprimção impermeabilizante corresponde à largura da pista de rolamento.						
Extensão			Largura		Espessura	
1,00	x		12,00	x	0,10	
				Total=	1,31	m³
1.1.4 Sub-base de Macadame Hidráulico						
Extensão			Largura		Espessura	
1,00	x		12,00	x	0,10	
				Total=	1,31	m³

Continua.

1.1.4 Base de Brita Graduada						
Extensão		Largura		Espessura		
1,00	x	12,00	x	0,10		
					Total=	1,31 m³
1.1.6 Fornecimento e assentamento de blocos de concreto sobre areia						
A largura do revestimento corresponde à largura da pista de rolamento.						
Extensão		Largura				
1,00	x	12,00	=	12,00		
					Total=	12,00 m²
2.0 DRENAGEM E OBRAS DE ARTE CORRENTE						
2.1 Fornecimento e assentamento de guias tipo PMSP 100, inclusive encostamento de terra - Fck = 20 MPa						
			Extensão	=	1,00	m
2.2 Construção de sarjeta ou sarjetão de concreto - Fck = 20,0 MPa						
Adotando-se uma espessura de 8 cm e uma largura de 40 cm, têm-se:						
Extensão	X	Largura	X	Espessura		
1,00		0,40		0,08	Total=	0,03 m³
2.3 Fornecimento e instalação de Tubo PEAD - Diâmetro=4,0", revestido com manta geotêxtil						
Como se trata de implantar o tubo em ambos os bordos, são 2,00m de extensão.						
			Extensão	=	2,00	m

Fonte: Autora (2017).

APÊNDICE D – FUNÇÕES DE VALOR

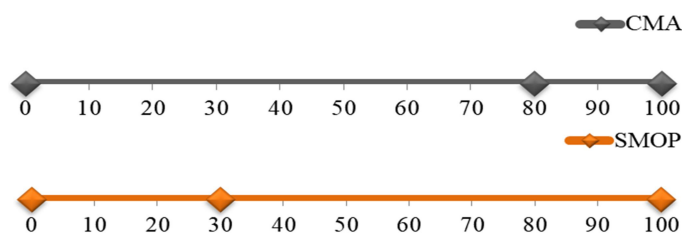
Segunda etapa de entrevistas: definição das funções de valores.

Identificação dos respondentes: Engenheiros Civis – CMA/SMOP. Datas de aplicação das entrevistas: 29/11/2017 e 01/12/2017. Aplicação do método da *pontuação direta*.

4 Potencialidades estéticas

Nível	Descrição	Valor atribuído - CMA	Valor atribuído - SMOP
3	As peças de concreto estão disponíveis numa grande variedade de formas, cores e acabamentos. Os elementos podem ser combinados em diversas disposições. Permitindo um grande leque de potencialidades estéticas.	100	100
2	A coloração do pavimento pode variar com corantes, escolha de cimento e por pinturas superficiais. Devido aos tratamentos de texturização que alteram as suas características estéticas, é classificado com potencialidades estéticas médias.	80	30
1	Normalmente negro, mas admite colorações por meio da adição de pigmentos ao ligante e por pinturas superficiais.	0	0

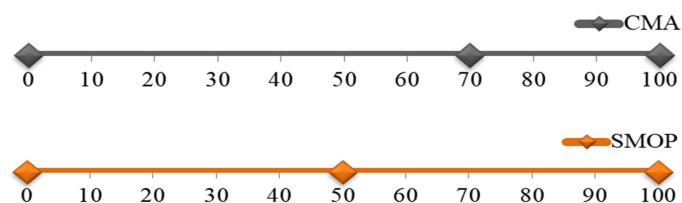
Escalas:



5. Materiais recicláveis aplicados ao revestimento

Nível	Descrição	Valor atribuído - CMA	Valor atribuído - SMOP
3	Recomendam-se reciclagens com material asfáltico fresado (RAP) e uso de borracha de pneus descartados.	100	100
2	Recomenda-se o uso de agregado proveniente de RCD, somente em concreto sem função estrutural.	70	50
1	Não se recomenda o uso de material reciclável proveniente de borracha de pneus descartados.	0	0

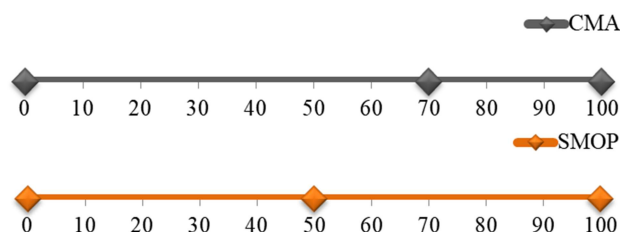
Escalas:



6. Materiais recicláveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço do subleito

Nível	Descrição	Valor atribuído - CMA	Valor atribuído - SMOP
3	Recomenda-se a reciclagem de bases/sub-bases e reforço do pavimento pela adição de materiais betuminosos (material fresado) e outros aditivos. Além disso, é possível utilizar agregado proveniente de RCD para sub-bases e reforço do pavimento.	100	100
2	É recomendada a utilização do agregado proveniente de RCD para base em pavimentos com tráfego previsto de $N \leq 10^6$ (tráfego médio).	70	50
1	Não é possível utilizar material reciclável, devido à porosidade que a estrutura necessita para desempenhar sua função hidráulica.	0	0

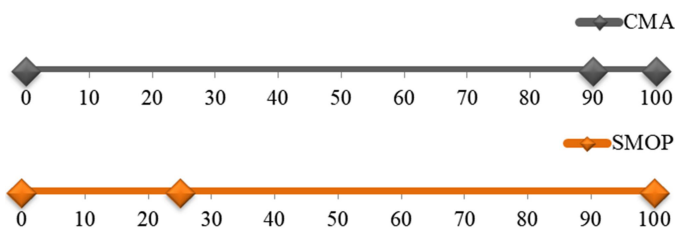
Escalas:



7. Permeabilidade

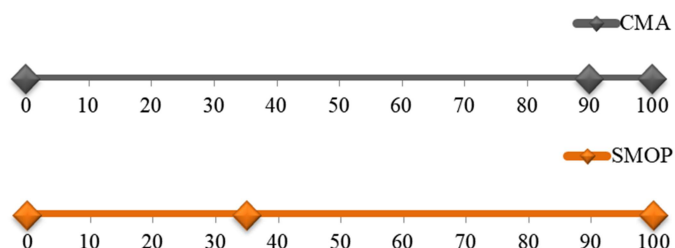
Nível	Descrição	Valor atribuído - CMA	Valor atribuído - SMOP
3	O revestimento permite a passagem de água através das juntas e a base é dimensionada para armazenar as águas pluviais.	100	100
2	O revestimento permite a passagem de água através das juntas, porém a camada de base é impermeabilizada e não é dimensionada para armazenar as águas pluviais.	90	25
1	O revestimento é impermeável, a camada de base é impermeabilizada e não é dimensionada para armazenar as águas pluviais.	0	0

Escalas:

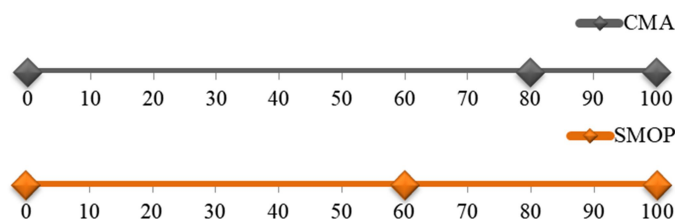


8. Temperatura superficial

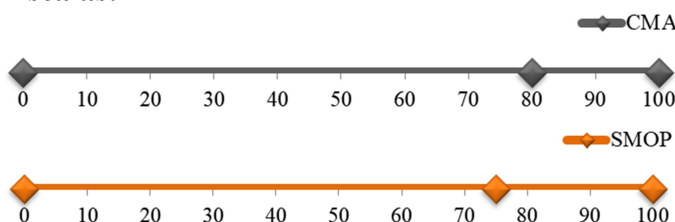
Nível	Descrição	Valor atribuído - CMA	Valor atribuído - SMOP
3	46° C	100	100
2	49° C	90	35
1	51° C	0	0

Escalas:**9. Aspectos de conforto**

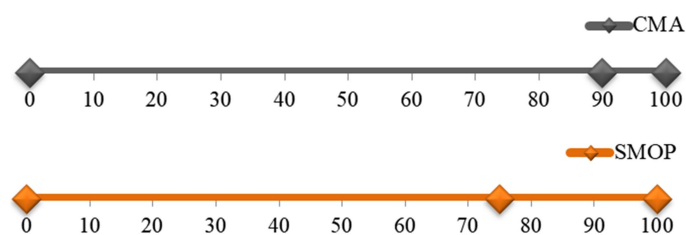
Nível	Descrição	Valor atribuído - CMA	Valor atribuído - SMOP
3	Superfície homogênea e regular, confortável ao tráfego rodoviário.	100	100
2	Superfície texturizada e regular, porém mesmo com um número reduzido de juntas, pode gerar leve desconforto rodoviário.	80	60
1	Este pavimento proporciona conforto rodoviário médio por apresentar um número significativo de juntas.	0	0

Escalas:**10. Distância de frenagem – 60 km/h com superfície úmida (m)**

Nível	Descrição	Valor atribuído - CMA	Valor atribuído - SMOP
3	21,30	100	100
2	23,00	80	75
1	26,70	0	0

Escalas:**12. Tipo de tráfego**

Nível	Descrição	Valor atribuído - CMA	Valor atribuído - SMOP
3	Recomendado para todos os tipos de tráfego.	100	100
2	Recomendado para tráfego médio, meio pesado e vias que contemplem o itinerário de ônibus.	90	75
1	Recomendado para tráfego leve, médio e meio pesado.	0	0

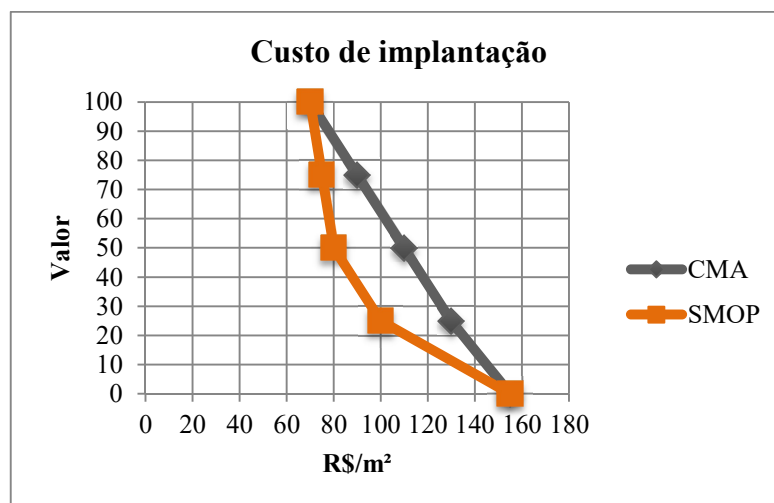
Escalas:

Aplicação do método da *bissecção*.

2. Custo de implantação

Escala	Intervalo	Atributo - CMA	Atributo - SMOP	Níveis
R\$/m ²	70,00 a 155,00	70	70	100
		90	75	75
		110	80	50
		130	100	25
		155	155	0

Gráfico:

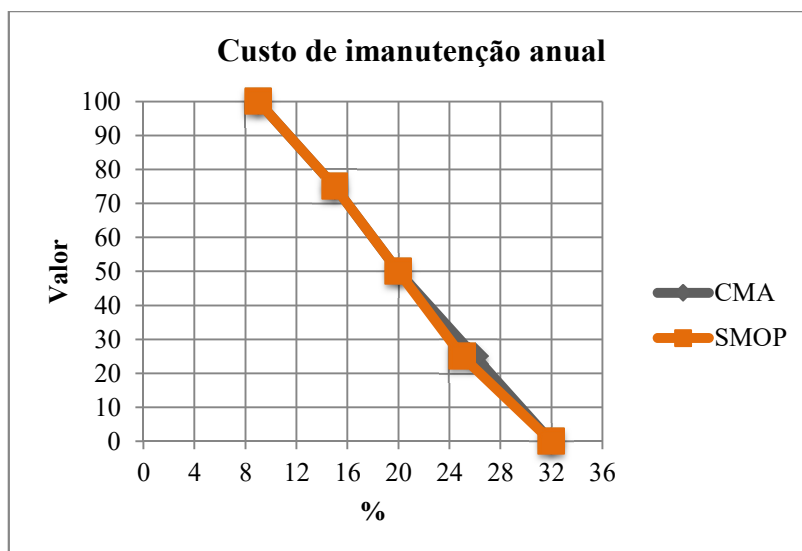


3. Custo de manutenção anual

Escala	Intervalo
%	9 a 32

Atributo - CMA	Atributo - SMOP	Níveis
9	9	100
15	15	75
20	20	50
26	25	25
32	32	0

Gráfico:

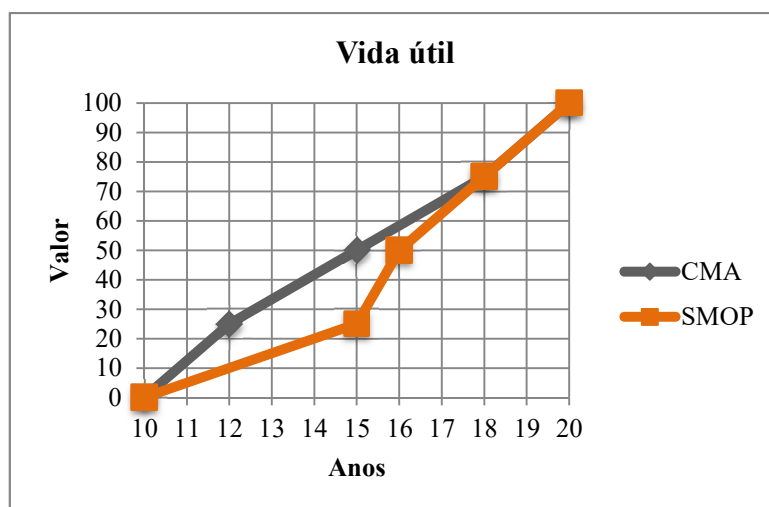


11. Vida útil

Escala	Intervalo
Anos	10 a 20

Atributo - CMA	Atributo - SMOP	Níveis
20	20	100
18	18	75
15	16	50
12	15	25
10	10	0

Gráfico:



APÊNDICE E – CONSTANTES DE ESCALAS

Terceira etapa de entrevistas: definição das constantes de escala.

Identificação do responde: Engenheiros Cíveis – CMA/SMOP. Data: 29/11/2017 e 01/12/2017.

Aplicação do método *swing weights*.

Atributo	Pontuação - CMA	W (Constantes de escala)
Vida útil	100	0,121
Custo de implantação	95	0,115
Materiais recicláveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço do subleito	90	0,109
Distância de frenagem	85	0,103
Tipo de Tráfego	80	0,097
Materiais recicláveis aplicados ao revestimento	75	0,091
Custo de manutenção anual	70	0,085
Permeabilidade	65	0,079
Temperatura Superficial	60	0,073
Aspectos de conforto	55	0,067
Potencialidades estéticas (atratividade visual)	50	0,061

Atributo	Pontuação - SMOP	W (Constantes de escala)
Custo de implantação	100	0,155
Custo de manutenção anual	95	0,147
Vida útil	90	0,140
Permeabilidade	85	0,132
Tipo de Tráfego	75	0,116
Aspectos de conforto	50	0,078
Potencialidades estéticas (atratividade visual)	40	0,062
Distância de frenagem	35	0,054
Temperatura Superficial	30	0,047
Materiais recicláveis aplicados ao revestimento	25	0,039
Materiais recicláveis aplicados às camadas de bases/sub-bases e reforço do subleito	20	0,031