



Aplicação do Apoio Multicritério à Decisão no Planejamento Urbano: Estudo de caso na escolha de pavimentos urbanos, em São Carlos/SP

Application of Multicriteria Support to Decision in Urban Planning: Case of study in the choice of urban pavements, in São Carlos / SP

Aplicación del apoyo multicriterio a la decisión en la planificación urbana: caso de estudio en la elección de pavimentos urbanos, en São Carlos / SP

LOSS, Camila Fávero¹
FERREIRA, Marcos Antonio Garcia²

^{1 2} PPGEU - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

camilafaveroloss@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-1042-7708
dmag@ufscar.br
ORCID ID: 0000-0003-0144-5645

Recebido em 10/09/2019 Aceito em 23/07/2020



Resumo

Os contextos relacionados a planejamentos e transportes apresentam complexidade para a tomada de decisão, por envolver vários atores e objetivos conflitantes. Neste sentido, foi proposta uma aplicação do Apoio Multicritério à Decisão, na área de planejamento urbano, especificamente, em um estudo para a escolha de pavimentos em uma cidade brasileira de porte médio. Foi desenvolvido em três etapas principais: estruturação do problema, avaliação das alternativas e recomendações. Avaliou-se alternativas em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ), em Peças Pré-moldadas de Concreto (PPC) e uma terceira em PPC dotada de estrutura para infiltração e armazenamento de águas pluviais. Como resultado, recomendou-se a alternativa em CAUQ. A aplicação do AMD proporcionou uma visão abrangente para a escolha de pavimentos urbanos, embasada no juízo de valores dos atores envolvidos; possibilitou a identificação das potencialidades e as limitações de cada pavimento; identificou valores que determinaram o melhor desempenho global do CAUQ e que se revelaram relevantes para a gestão pública. O modelo desenvolvido pode ser aplicado em outras áreas de transporte e planejamento urbano.

Palavras-Chave: Planejamento Urbano; Escolha de pavimentos urbanos; Tomada de decisão; Apoio Multicritério à Decisão.

Abstract

The contexts related to transport and planning have complexity for the decision making, because there are several actors involved and conflicting objectives. In this sense, it was proposed an application of Multicriteria Decision Analysis, in the area of urban planning, specifically in a study for the choice of pavements in a medium Brazilian city. It was developed in three main stages: structuring the problem, evaluating alternatives and recommendations. Alternatives in Warm Mixed Asphalt (WMA), Precast Concrete Blocks for Paving (PCBP) and a third in PCBP equipped with a structure for infiltration and rainwater storage were evaluated. As a result, the alternative in WMA was recommended. The application of the AMD provided a comprehensive view for the choice of urban pavements, based on the value judgment of the involved actors; made it possible to identify the potentialities and limitations of each pavement; identified values that determined the best overall performance of the CAUQ and which were relevant for public management. The developed model can be applied in other areas of transportation and urban planning.

Key-Words: Urban Planning; Choice of urban pavements; Decision making; Multicriteria Decision Analyses.

Resumen

Los contextos relacionados con el transporte y la planificación tienen complejidad para la toma de decisiones, porque hay varios actores involucrados y objetivos en conflicto. En este sentido, se propuso una aplicación de Análisis de Decisión Multicriterio, en el área de planificación urbana, específicamente en un estudio para la elección de pavimentos en una ciudad mediana de Brasil. Se desarrolló en tres etapas principales: estructurar el problema, evaluar alternativas y recomendaciones. Se evaluaron alternativas en asfalto mixto caliente (WMA), bloques de concreto prefabricados para pavimentación (PCBP) y un tercero en PCBP equipado con una estructura para infiltración y almacenamiento de agua de lluvia. Como resultado, se recomendó la alternativa en WMA. La aplicación de la AMD proporcionó una visión integral para la elección de pavimentos urbanos, basada en el juicio de valor de los actores involucrados; hizo posible identificar las potencialidades y limitaciones de cada pavimento; identificaron valores que determinaron el mejor desempeño general de la CAUQ y que fueron relevantes para la gestión pública. El modelo desarrollado se puede aplicar en otras áreas de transporte y planificación urbana.

Palabras-clave: Planificación urbana; Elección de pavimentos urbanos; Toma de decisiones; Soporte de decisiones multicriterios.

1. Introdução

Em função da complexidade dos cenários relativos a transportes e planejamentos, há um aumento na aplicação do Apoio Multicritério à Decisão (AMD) em processos de tomada de decisão. Posto que, este método permite 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).

No planejamento urbano, notadamente na área de pavimentação urbana, definir e dimensionar um pavimento que pondere vários fatores numa perspectiva abrangente, como custos, durabilidade, conforto, segurança, critérios ambientais, entre outros, pode se tornar uma tarefa complexa e conflituosa.

Belton e Sterwart (2002), mencionam que em problemas de decisões em nível de gestão pública, com características conflitantes e que reflitam diferentes opiniões, a aplicação da abordagem AMD, pode auxiliar os decisores na organização de todos os fatores que envolvem o problema, propiciando maior segurança para tomada de decisão.

No município de São Carlos, cidade brasileira de porte médio onde desenvolveu-se este estudo, foi constatada a carência de diretrizes para o planejamento e implantação de pavimentação urbana, de acordo com dados obtidos por meio de consulta à legislação vigente e à Secretaria Municipal de Obras Públicas. Este fato aliado à notória relevância de explorar a escolha de pavimentos urbanos por meio da aplicação da abordagem do AMD, motivou a proposição de um estudo de caso sob esta perspectiva.

Ademais, no espaço urbano consolidado do município, a maioria das vias urbanas está pavimentada e é previsto no Plano Diretor uma macrozona de expansão urbana. Deste modo, este estudo de caso tem o intuito de apoiar decisões em relação ao planejamento urbano, sobretudo, em futuras aberturas de vias na área de expansão urbana do município.

2. Referência Bibliográfica

O conjunto de métodos AMD propõe-se a elucidar o processo de decisão, incorporando os juízos de valores dos atores envolvidos no processo, modelando como se exprimem as preferências dos mesmos e recomendando a alternativa que apresente o melhor desempenho. De um modo geral, os métodos multicritérios possuem três fases principais: estruturação, avaliação e recomendações (GALVES, 2005; GOMES et al., 2002).

Na estruturação é caracterizado o contexto de decisão e definidos os atores envolvidos. Estes são consultados, e a partir dos dados fornecidos, são identificados os objetivos que se pretendem alcançar com a decisão, os quais são organizados hierarquicamente e mensurados por meio de atributos (ENSSLIN et al., 2013).

Na avaliação das alternativas de um problema estruturado pode ser utilizado o método da função de valor multiatributo, pois ele possibilita construir uma ferramenta que combina diversos atributos e associa um número real a cada alternativa, gerando uma ordem de preferência entre elas, instituída pelo juízo de valor expresso pelo decisor (BELTON e STERWART, 2002; KEENEY, 1992).

Para averiguar se a ordem de preferência obtida apresentou um resultado consistente ou se é sensível às mudanças em termos de modelo, é realizada a análise de sensibilidade. Esta consiste em fazer

mudanças nos parâmetros do modelo para avaliar a sua robustez. Com o resultado dessa verificação pode-se corroborar a recomendação da alternativa que teve o melhor desempenho, ou investigar quais informações precisam ser acrescentadas ou aperfeiçoadas para o êxito do modelo (BELTON e STERWART, 2002).

3. Materiais e Métodos

O estudo desenvolvido se classifica como pesquisa aplicada, com uma abordagem mista (qualiquantitativa), com caráter exploratório e com procedimento técnico do tipo estudo de caso (SILVA; MENEZES, 2005; GIL, 2008; COSTA; COSTA, 2009).

A pesquisa iniciou-se pelo levantamento bibliográfico sobre o conjunto de métodos de AMD e as alternativas de pavimentos urbanos. A partir dessa revisão, o método de estudo foi desenvolvido e organizado nas fases de estruturação do problema, avaliação de alternativas e fase de recomendações.

2.1. Estruturação do problema

A estruturação do problema foi realizada pelo o método Value Focused Thinking (VFT). Esta fase foi composta das seguintes etapas: caracterização do contexto de decisão; identificação e estruturação dos objetivos; objetivos meios e fundamentais; hierarquia dos objetivos fundamentais; definição dos atributos; proposição de alternativas e definição de níveis de atributos (KENEY, 1992).

Na caracterização do contexto de decisão, foi definido o nível de decisão, os limites geográficos e temporais do objeto de estudo e identificados os atores envolvidos (DELOSPITAL, 2016).

Para identificar e estruturar os objetivos, foram realizadas entrevistas semiestruturadas e questionados os atores sobre o que gostariam de alcançar na situação de decisão. As indagações incentivavam os entrevistados a explorar alternativas; a citar problemas, deficiências e restrições, assim como a pensar a partir de diferentes perspectivas, com o intuito de ao final se obter uma lista abrangente de objetivos (KENEY, 1992).

Após análise dos dados coletados, os objetivos foram identificados e formalizados em uma hierarquia, na qual o objetivo principal foi posicionado no maior nível, e os demais em níveis inferiores (KENEY e MCDANIELS, 1992).

Depois de concebida a hierarquia, foram determinados atributos por meio de revisão bibliográfica para mensurar cada objetivo. Cada um deles apresentou um nome, uma escala de medida (quantitativa ou qualitativa) e níveis de impacto contidos num intervalo de variação entre o melhor nível viável e o pior nível aceitável (DELOSPITAL, 2016).

Prosseguiu-se para a proposição de alternativas revestidas em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ), em Peças Pré-moldadas de Concreto (PPC) e o pavimento PPC com estrutura para reservar águas pluviais (PPC permeável). Então, por meio de consulta bibliográfica, foram definidos os níveis dos atributos em que cada alternativa se adequava e estes dados foram tabelados e organizados para a fase de avaliação das mesmas.

2.2. Avaliação das alternativas

Nesta fase foi utilizada a função de valor multiatributo, na forma aditiva, conforme Equação 1. Para a sua construção foi necessário determinar as funções de valor e as constantes de escala, obtidas por entrevista com o decisor. Determinados estes valores, foram realizadas as avaliações locais e a avaliação global das alternativas (BELTON e STERWART, 2002).

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

Onde:

$V_{(a)}$ = Valor global da alternativa a;

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

v_{i_a} = Valor local da alternativa a nos atributos 1, 2,...,;

n = Número de atributos do modelo.

Para definir as funções de valores foram empregados os métodos da pontuação direta e da bissecção (ENSSLIN et al.,2001). O método da bissecção foi aplicado para os atributos que variavam em um intervalo numérico e, para os demais, o método da pontuação direta. As constantes de escala, por sua vez, foram definidas pelo método swing weighting.

A avaliação local das alternativas consistiu em transformar o nível de todo atributo conferido a cada alternativa, em um valor de preferência por meio da função de valor (DELOSPITAL, 2016).

Com as avaliações locais realizadas e as constantes de escalas definidas, foi aplicada a Equação 1 para cada alternativa, para se obter seu desempenho global. Os resultados forneceram a alternativa que atingiu melhor valor e proporcionaram um ordenamento delas (BELTON e STERWART, 2002).

2.3. Recomendações

A análise de sensibilidade foi realizada com variações nas constantes de escala, pois estes parâmetros tiveram maior influência na avaliação global e o modelo foi recalculado (BELTON e STERWART, 2002). Ela corroborou com os resultados da avaliação global e reforçou a alternativa recomendada.

4. Estudo de caso: Município de São Carlos/SP

4.1. Estruturação do Problema

O município de São Carlos é localizado no centro geográfico do Estado de São Paulo e é intitulado a capital da tecnologia, pois possui universidades, centros de pesquisas, empresas de alta tecnologia e indústrias (A CIDADE, 2017). Tem uma população estimada de 246.088 habitantes e densidade demográfica de 195,15 hab/km² (BRASIL, 2017).

São Carlos apresentou em 2010 um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,805, e um PIB per capita de R\$ 40.435,49 em 2015 (BRASIL, 2017). A sua unidade territorial é de 1.136,907 km² e a área urbana 67,25 km². Essa área é equivalente a 6% do seu território total, dos quais 33 km² estão ocupados (DADOS, 2017).

A maior parte das vias urbanas é pavimentada, por este motivo os limites geográficos do contexto de decisão contemplaram as vias coletoras de mão dupla a serem implantadas na área de expansão urbana. A Figura 1 mostra a localização do município em nível nacional, estadual e a macrozona de expansão urbana (SÃO CARLOS, 2016).

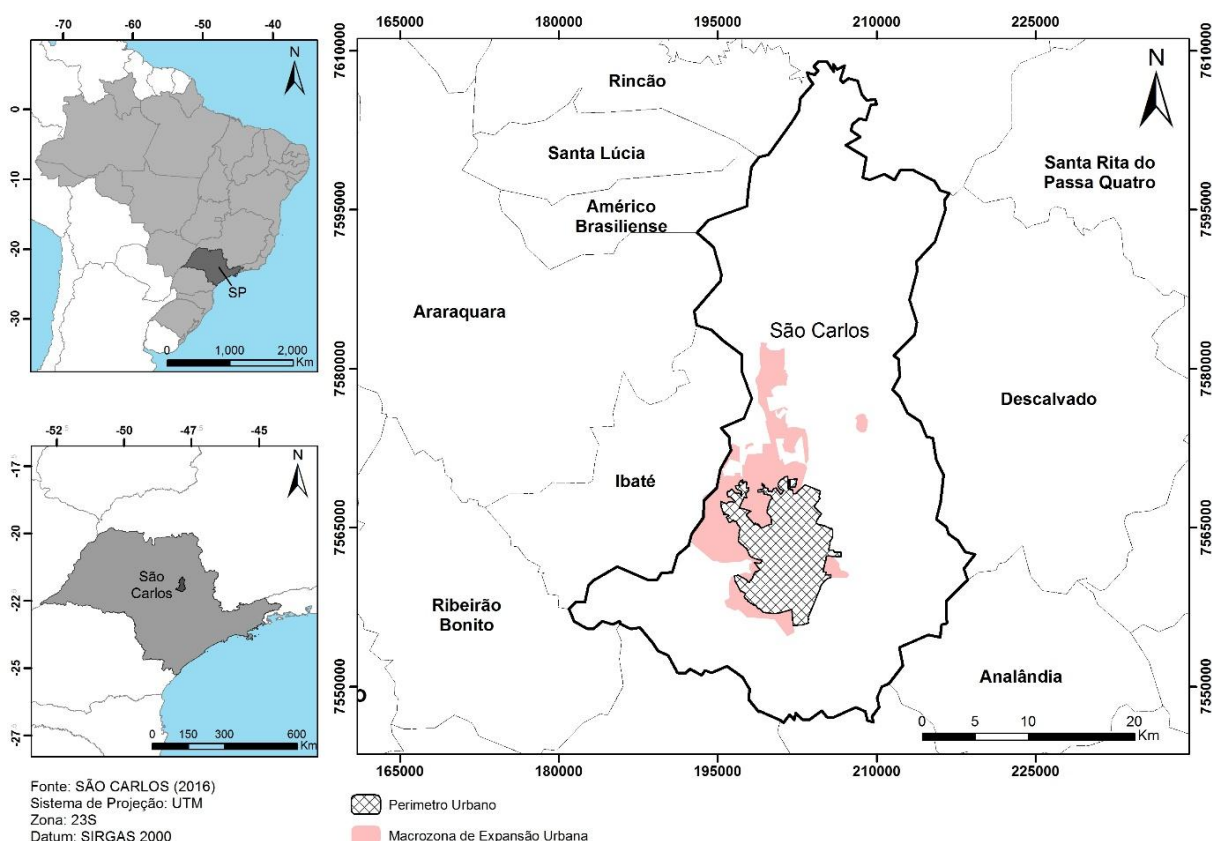
O nível de decisão consistiu em prover subsídios ao município para a elaboração de projetos e dimensionamento de pavimentos urbanos em vias futuras. Quanto aos limites temporais, a pesquisa foi desenvolvida para auxiliar no planejamento urbano de médio prazo, a partir da próxima revisão do seu Plano Diretor.

Os atores considerados no contexto de decisão formaram três grupos distintos, que são o decisor

público, os pesquisadores do município e os usuários, conforme relação:

- a. Decisor: Secretaria Municipal de Obras Públicas – engenheiro civil indicado pela chefia. A Secretaria foi selecionada em função das suas atribuições, relacionadas aos serviços essenciais de abertura e pavimentação de vias públicas (SECRETARIA, 2017).
- b. Usuários das vias: motoristas de todos os tipos de veículos, pedestres e usuários do transporte público;
- c. Pesquisadores: Pós-graduandos do Programa de Engenharia Urbana da UFSCar e do Programa em Transportes da USP/São Carlos, e, docentes do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar e do Departamento de Engenharia de Transportes da USP/São Carlos.

Figura 1: Perímetro urbano e macrozona de expansão urbana.



Fonte: SÃO CARLOS (2016), mapeamento elaborado via geoprocessamento desenvolvido pela autora

Os usuários foram entrevistados na área central da cidade, pois os cidadãos que circulam nessa região, trafegam por várias vias da cidade, os quais fornecem informações relativas a todo município. Os pesquisadores UFSCar e da USP, por sua vez, eram de várias áreas correlatas à pavimentação e planejamento urbano.

Tanto o decisor quanto os pesquisadores foram entrevistados nas dependências das instituições a qual estavam vinculados. As entrevistas ocorreram entre 19/08/2017 e 12/09/2017. Foram entrevistadas 53 pessoas, que geraram 23 objetivos gerais. Os pesquisadores e usuários foram entrevistados até o momento que os objetivos coletados começaram a se repetir. Essa condição limitou o número de atores consultados (DELOSPITAL, 2016).

4.1.1 Identificação de objetivos fundamentais e organização hierárquica

Os objetivos mencionados pelos usuários foram mais relacionados à trafegabilidade, ao uso de acordo com a hierarquia viária, aos custos, à estabilidade e manutenção do pavimento. Os pesquisadores por sua vez, apontaram objetivos conforme suas visões de pesquisa. O decisor, além de questões técnicas, também indicou objetivos voltadas à visão administrativa. Foram determinados os objetivos fundamentais e estruturados na hierarquia representada pela Figura 2.

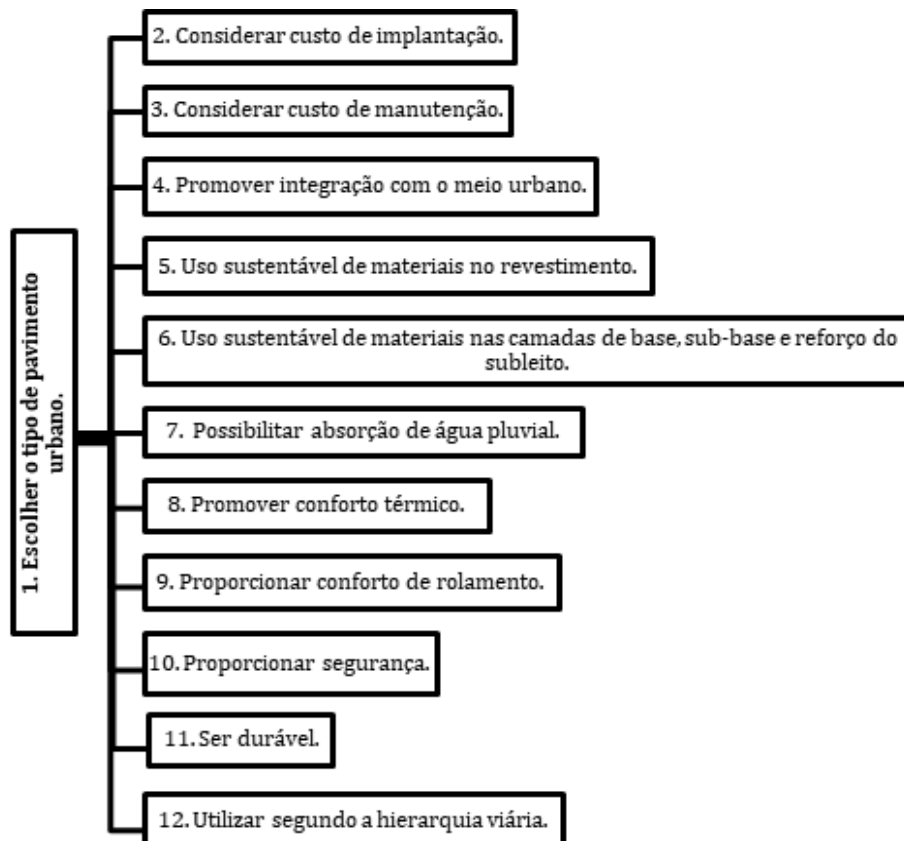


Figura 2: Hierarquia dos objetivos fundamentais.

Fonte: Diagrama de etapas elaborado pela Autora

4.1.2 Definição de atributos

Com as informações da Figura 2, foi realizada nova revisão bibliográfica e definidos atributos para cada objetivo. A maioria deles foi elaborado e estruturado em três níveis de impacto (nível 1 a nível 3), com exceção dos atributos custo de implantação, custo de manutenção e vida útil, os quais foram considerados em um intervalo numérico.

A Tabela 1 apresenta os atributos definidos para cada objetivo fundamental, as suas escalas, os intervalos de variação e os autores utilizados na sua elaboração.

Tabela 1: Atributos, escalas, intervalos e autores.

| Objetivo fundamental | Atributo | Escala | Varição | Autores |
|---|---|---------------------|----------------|---|
| Considerar custo de implantação | Custo de implantação | R\$/ m ² | 70,00 – 168,25 | São Paulo (2004 a, 2004b, 2004c, 2004d; 2017).; Virgiliis (2009). |
| Considerar custo de manutenção | Custo de manutenção anual | % | 9,24 – 31,62 | Moura (2004). |
| Promover integração com o meio urbano. | Potencialidades estéticas | Construída | N1 a N3 | Ferreira (2007). |
| Uso sustentável de materiais no revestimento | Materiais reciclados aplicados ao revestimento | Construída | N1 a N3 | ABNT (2004a, 2004b, 2005, 2013); Carvalho (2010); Gennessaux (2015); Shu e Huang, (2014); Vieira, (2014). |
| 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 | |
| Objetivo fundamental | Atributo | Escala | Varição | Autores |
| Possibilitar absorção de água pluvial. | Permeabilidade | Construída | N1 a N3 | Autora (2017). |
| Promover conforto térmico. | Temperatura Superficial | Construída | N1 a N3 | Macedo Neto (2016). |
| Proporcionar conforto de rolamento. | Funcionalidade | Construída | N1 a N3 | Ferreira (2007). |
| Proporcionar segurança. | Distância de frenagem | Construída | N1 a N3 | ABCP (2008); Moschetti (2015). |
| Ser durável. | Vida útil | Anos | 10 - 20. | Senço (2007); Balbo (2009). |
| Utilizar segunda a hierarquia viária. | Tipo de Tráfego | Construída | N1 a N3 | São Paulo (2004a, 2004b, 2004c, 2004d); São Carlos (2016). |

Fonte: Tabela elaborada pela Autora

4.1.3 Alternativas de pavimentos

As alternativas propostas foram pavimentos revestidos de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) e de Peças Pré-moldadas de Concreto (PPC). O CAUQ foi adotado por ser o que possui melhor qualidade dentre os pavimentos asfálticos, propiciar maior conforto de rolamento e ser um dos pavimentos mais empregados nas vias urbanas (CARVALHO, 2010).

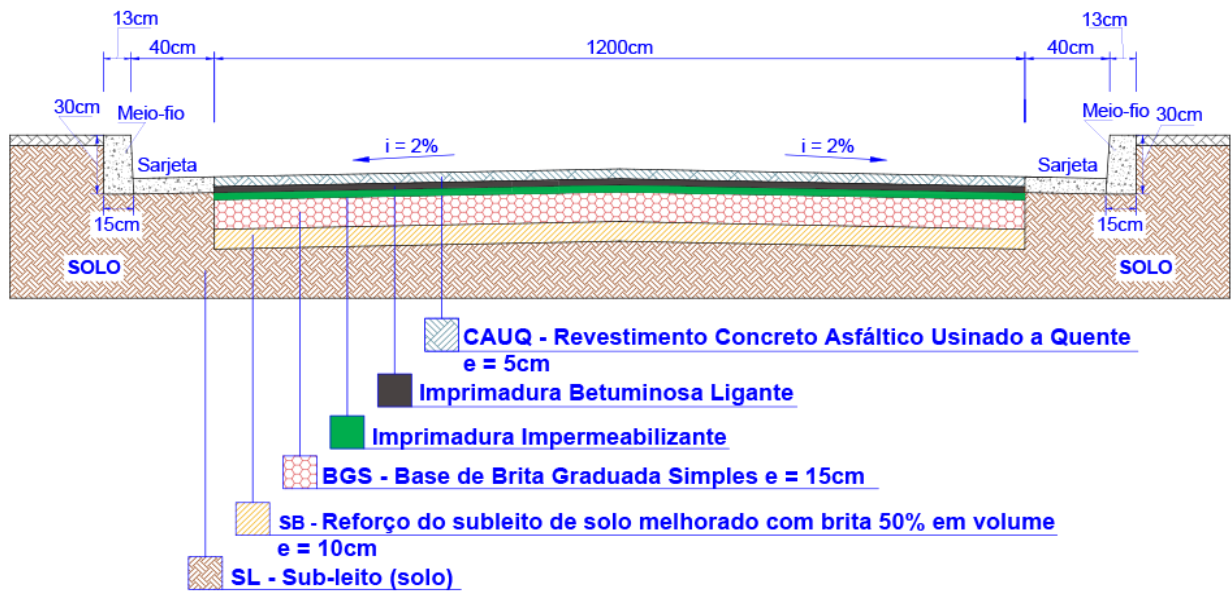
As Peças Pré-moldadas de Concreto foram propostas porque apresentam a possibilidade de serem reaproveitadas na manutenção, proporcionam abertura ao tráfego imediatamente após sua execução, apresentam facilidade de execução e possibilidades de cunho estético em razão das variações de forma e cor das peças (CARVALHO, 1998).

Também foi adotado um tipo de pavimento permeável por aspectos ambientais, pois no processo de urbanização, parte considerável da impermeabilização nas cidades é decorrente da pavimentação e este, por sua vez, possui permeabilidade suficiente para captar parte das águas pluviais e retardar sua rápida passagem para jusante, contribuindo para o controle do escoamento (BAPTISTA et al., 2015).

Todas as alternativas foram dimensionadas conforme o método estabelecido pelas Instruções de Projetos para dimensionamentos de pavimentos da Prefeitura do Município de São Paulo (São Paulo, 2004a; 2004b; 2004c; 2004d) e critérios apresentados pelo Plano Diretor de São Carlos (SÃO

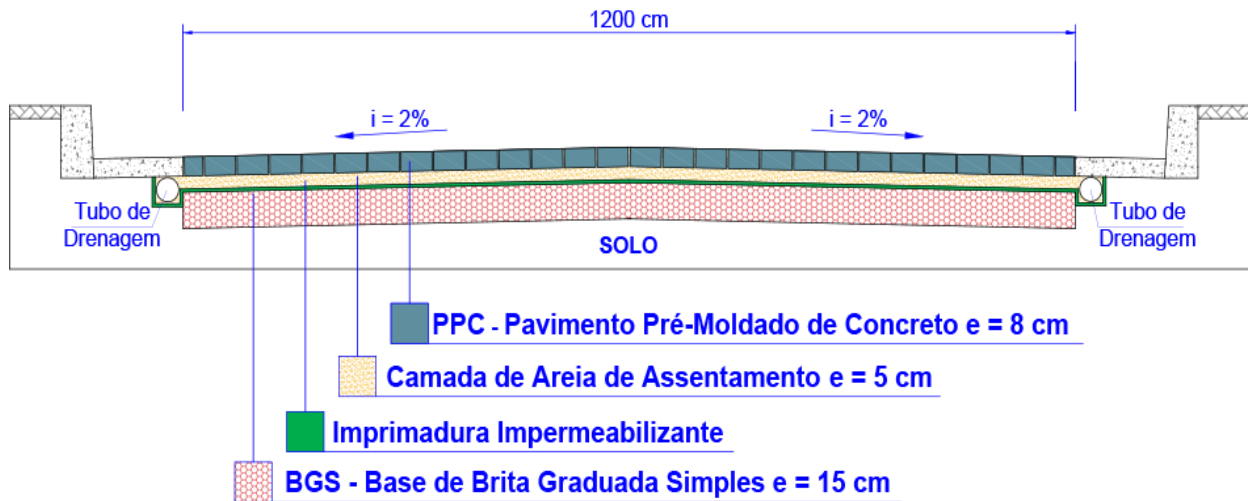
CARLOS; 2016). A Figura 3, 4 e 5 mostra as seções transversais da alternativa em CAUQ, em PPC e em PPC permeável.

Figura 3: Pavimento em CAUQ.



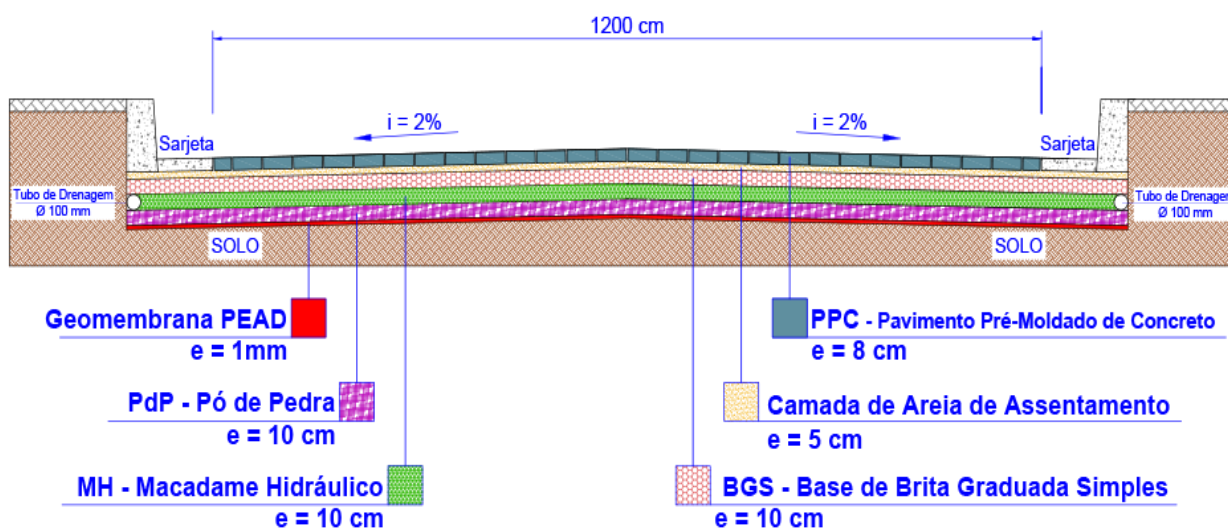
Fonte: Desenho esquemático desenvolvido pela Autora

Figura 4: Pavimento em PPC.



Fonte: Desenho esquemático desenvolvido pela Autora

Figura 5: Pavimento em PPC permeável.



Fonte: Desenho esquemático desenvolvido pela Autora

Após a concepção das alternativas propostas, foram definidos os níveis de impacto dos atributos para cada uma delas, ou seja, os pavimentos foram analisados de acordo com cada atributo e foi definido em cada um deles, em qual nível de impacto a alternativa se enquadrava. Posteriormente, prosseguiu-se com a pesquisa, passando para a etapa de avaliação.

4.2 Avaliação de alternativas

Nesta fase foi realizada uma segunda entrevista com o decisor para determinar dois parâmetros fundamentais: as funções de valor e as constantes de escala. Com estes dados foi feita a avaliação local das alternativas, conforme Tabela 2, que mostra o desempenho local de cada alternativa.

Tabela 2: Funções de valor.

| 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 reciclados aplicados ao revestimento | N3 | 100 | N1 | 0 | N1 | 0 |
| Materiais reciclados 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: Tabela elaborada pela autora

Pela avaliação local, constata-se que o custo de implantação, o CAUQ teve uma atratividade em torno de 60 pontos, o PPC de 25 e o PPC permeável próximo aos 7 pontos, revelando discrepância significativa entre eles. No atributo custo de manutenção anual, as alternativas em PPC tiveram uma diferença ainda maior em relação ao CAUQ.

Quanto à permeabilidade, antecipadamente era suposto que o CAUQ estaria no pior nível e a PPC permeável no melhor, porém a alternativa em PPC teve um desempenho de 25 pontos, demonstrando que este pavimento pouco contribui para o aspecto ambiental na visão do decisor.

Ao analisar a vida útil, a alternativa em PPC foi avaliada em 25 pontos, isto mostrou que, apesar de sua mais durável, este fator não obteve considerável relevância. Finalmente, em relação ao tipo de tráfego, o CAUQ permaneceu com vantagem em relação às alternativas em PPC, com uma atratividade de 75 pontos.

Para prosseguir com a avaliação global, foram utilizadas as constantes de escala estabelecidas pelo decisor, expressas na Tabela 3.

Tabela 3: Pontuações conferidas pelo decisor e constantes de escala.

| Atributo | Pontuações | 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 |

Fonte: Tabela elaborada pela autora

Aos atributos referentes a custos e à vida útil foram atribuídos valores elevados, e, na quarta posição foi pontuado o atributo permeabilidade, ao passo que, a temperatura superficial e os atributos de materiais recicláveis aplicados às camadas do pavimento receberam as menores pontuações.

Com as avaliações locais e as constantes de escala determinadas, foi realizada a avaliação global pela aplicação da Equação 1, que gerou o resultado apresentado na Tabela 4.

Tabela 2: Avaliação Global.

| Alternativas | Avaliação global |
|---------------|------------------|
| CAUQ | 47 |
| PPC | 34 |
| PPC Permeável | 31 |

Fonte: Tabela elaborada pela autora

O pavimento em CAUQ apresentou o melhor resultado, porém ao analisar as parcelas que compuseram a função de valor multiatributo para cada alternativa, ou seja, os valores obtidos pela multiplicação das funções de valores pelas respectivas constantes de escala, identificou-se os atributos que mais influenciaram no resultado da avaliação global (Tabela 5).

Tabela 3: Influência dos atributos na avaliação global

| CAUQ | PPC | PPC Permeável |
|--|--------------------------------|--------------------------------|
| Custos de manutenção anual: 31% | Permeabilidade: 18% | Permeabilidade: 43% |
| Custo de implantação: 20% | Potencialidades estéticas: 16% | Potencialidades estéticas: 20% |
| Tipo de tráfego: 18% | Distância de frenagem: 14% | Distância de frenagem: 18% |
| Aspectos de conforto de rolamento: 16% | Temperatura superficial: 11% | Temperatura superficial: 15% |

Fonte: Tabela elaborada pela autora

Ao verificar a Tabela 5, nota-se que pela similaridade dos revestimentos, as alternativas em PPC apresentaram os mesmos atributos, com percentuais diferentes, principalmente em relação à permeabilidade, que é a propriedade mais relevante do PPC permeável.

Quanto ao 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, tiveram maior influência no resultado, tratando-se de aspectos técnicos desejáveis do ponto de vista da administração pública.

4.3 Análise de Sensibilidade e Recomendações

A análise de sensibilidade foi realizada pela variação das constantes de escala. Foram selecionadas as constantes dos atributos de permeabilidade e de custo de implantação. Esta escolha ocorreu devido à permeabilidade ser um parâmetro crítico em termos ambientais, e o custo de implantação por ter obtido a maior pontuação entre os atributos. O resultado da análise é mostrado na Tabela 6.

Tabela 4: Análise de sensibilidade.

| Alternativas | Permeabilidade | | Custo de implantação | |
|---------------|----------------|------|----------------------|------|
| | +10% | -10% | +10% | -10% |
| CAUQ | 47 | 48 | 48 | 47 |
| PPC | 34 | 34 | 34 | 34 |
| PPC Permeável | 32 | 30 | 30 | 31 |

Fonte: Tabela elaborada pela autora

Pela análise de sensibilidade, observa-se que não houve mudança na ordem das alternativas, constatando-se que o modelo é consistente e que a alternativa em CAUQ é a mais recomendada para o estudo de caso.

5. Considerações Finais

A aplicação do AMD proporcionou uma visão mais abrangente para a escolha de pavimentos urbanos, abordando uma variação considerável de atributos e possibilitando a construção de um modelo fundamentado no juízo de valores dos atores envolvidos. E, o modelo pode ser replicado em outras áreas de transporte e planejamento urbano.

Na etapa de estruturação, os usuários levantaram objetivos mais relacionados à trafegabilidade e utilização da via, enquanto os pesquisadores trouxeram um olhar técnico sobre os critérios a serem adotados e o decisor contribuiu com uma visão mais administrativa. Na definição dos atributos e dos níveis de impacto que as alternativas se enquadravam, foram identificadas as potencialidades e as limitações de cada pavimento.

Na avaliação das alternativas, a avaliação local mostrou que alternativa em PPC foi favorecida nos atributos potencialidades estéticas, permeabilidade, temperatura superficial, distância de frenagem,



vida útil e uso de materiais reciclados. O PPC permeável obteve bom desempenho local em potencialidades estéticas, temperatura superficial, distância de frenagem e sua maior contribuição foi na permeabilidade, porém é muito desfavorecido em relação aos custos. O CAUQ apresentou bons resultados em relação aos aspectos de conforto, uso de materiais reciclados, tipo de tráfego e custos.

Na avaliação global, o pavimento em CAUQ foi a alternativa com melhor resultado. Os atributos mais influentes neste resultado foi o custo de manutenção anual, custo de implantação, tipo de tráfego e conforto, que além de um bom desempenho local, receberam grande importância na definição das constantes de escala. Dessa forma, o CAUQ foi o indicado para uma via coletora de mão dupla a ser implantada no município de São Carlos, e essa recomendação foi corroborada pela análise de sensibilidade. Podendo-se inferir que estes atributos somados à vida útil podem apontar valores relevantes para a gestão pública e planejamento urbano do município.

6. Referências

A CIDADE de São Carlos. Prefeitura Municipal 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimentos intertravados: Um caminho de vantagens com baixo custo**. ABCP, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural-requisitos. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

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

BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer Science & Business Media, 2002.

BRASIL/São Paulo/São Carlos: Panorama. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/sp/sao-carlos/panorama>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

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

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

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



DADOS da Cidade (Geográfico e Demográfico). Prefeitura Municipal de São Carlos. 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.

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

DODGSON, J. S.; SPACKMAN, M.; PEARMAN, A. e PHILLIPS, L. D. **Multi-criteria analysis: a manual**. London: Department for Communities and Local Government, 2009.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; ROCHA, S.; MARAFON, A. D. e MEDAGLIA, T. A. Modelo multicritério de apoio à decisão construtivista no processo de avaliação de fornecedores. **Produção**, v. 23, n. 2, p. 402-421, 2013.

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

FERREIRA, J. M. A. I. **Pavimentos em espaços públicos urbanos: Contribuição para a análise e concepção de soluções**. Lisboa, 2007. Dissertação de Mestrado, Curso de Engenharia do Território, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. 113p.

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

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

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

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

KEENEY, R. L.; MCDANIELS, T.L. **Value-focused thinking about strategic decisions at BC Hydro**. Interfaces, 1992. Tradução de: Marcelo Filardi Ferreira.

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

MOSCHETTI, R. O pavimento de concreto é uma realidade nacional. Por quê? In: Seminário Pavimento de Concreto Estradas de Concreto: uma escolha inteligente e sustentável. 2015. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/cms/wp-content/files_mf/pav_concreto_ricardo_moschetti.pdf>. Acesso em: 11 out. 2017.

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



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.

SÃO PAULO (Município). Secretaria de Infraestrutura Urbana. **IP-02/2004 Classificação das vias: Instrução de Projeto**. 2004a. 18 p.

SÃO PAULO (Município). Secretaria de Infraestrutura Urbana. IP-05/2004 **Instrução de projeto para dimensionamento de pavimentos flexíveis tráfego meio pesado, pesado, muito pesado e faixa exclusiva de ônibus**. 2004b. 19 p.

SÃO PAULO (Município). Secretaria de Infraestrutura Urbana. **IP-06/2004 Instrução de projeto para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto**. 2004c. 16 p.

SÃO PAULO (Município). Secretaria de Infraestrutura Urbana. **IP-07/2004 Instrução de projeto para dimensionamento de pavimentos de concreto**. São Paulo, 2004d. 39 p.

SÃO PAULO (Município). 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**.

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

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

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

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

VIEIRA, A. P. N. B. **Viabilidade técnica da fabricação de compósito utilizando fibra de pneu na fabricação de blocos intertravados**. Natal, 2014. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 83 p.

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