

PRIORIZAÇÃO DE PAVIMENTOS COM O USO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO E SIG

*Josiane Palma Lima¹
Rui António Rodrigues Ramos²
José Leomar Fernandes Júnior³*

Resumo: Num cenário de carência financeira, manter determinados níveis de qualidade de vias urbanas só é possível se as decisões de Manutenção e Reabilitação (M&R) dos pavimentos forem tomadas considerando as seções mais prioritárias. O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de análise multicritério que permite estabelecer a priorização de intervenções de M&R em seções de vias urbanas pavimentadas, integrando critérios objetivos e subjetivos no apoio à tomada de decisão. A metodologia utiliza AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e SIG (Sistema de Informação Geográfica), é adequada à realidade das cidades médias brasileiras, mas mantém a viabilidade de aplicação em cidades de outras dimensões, desde que as particularidades dessas cidades sejam consideradas. O estudo de caso realizado na cidade de São Carlos-SP, utilizando-se levantamento da condição do pavimento de toda a malha viária, permitiu avaliar as vias urbanas prioritárias às atividades de M&R com relação à sua localização, condição do pavimento, hierarquia viária e custos das estratégias previstas.

Palavras-chave: Priorização de Pavimentos Urbanos, Metodologia de Análise Multicritério, Sistema de Informação Geográfica

Abstract: The success of a pavement Maintenance and Rehabilitation (M&R), in a scenario of budget restriction, is highly dependent of its prioritization criteria. The main goal of this work is to present urban roadways prioritization model based on Multicriteria Decision Analysis, considering both objective and subjective criteria. The model developed in this work uses AHP (*Analytic Hierarchy Process*) and GIS (*Geographical Information System*) and it is adapted to the conditions that are common in Brazilian medium-sized cities, but at the same time it maintains the application viability for cities of other dimensions, since the particularities of those cities are considered. The case study performed at the city of Sao Carlos, State of Sao Paulo, Brazil, used a data bank available from previous research works on pavement evaluation. Thus, it was possible the evaluation of an urban roads prioritization program based on pavement condition, roads hierarchy, costs of M & R strategies and location.

Key-words: Urban Roadways Prioritization, Multicriteria Decision Analysis, Geographical Information System

¹ Universitas – Centro Universitário de Itajubá - Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá. jp_lima@fepi.br

² Universidade do Minho – Campus Gualtar. rramos@civil.uminho.pt

³ Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. leomar@sc.usp.br

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de conservação de redes viárias tem incentivado a promoção de estudos envolvendo vários temas relacionados com a gestão de atividades sobre os pavimentos. Portanto, percebeu-se a necessidade de se desenvolver ferramentas para monitorar desde a construção, a conservação até a reconstrução dos pavimentos. Entretanto, critérios técnicos e quantitativos, para as questões relacionadas à seleção dos locais onde essas atividades são realizadas, geralmente são pré-estabelecidos dentro de sistemas complexos e poucos são os procedimentos simplificados que consideram quesitos cada vez mais importantes para a sociedade moderna. Diversas novas exigências têm em vista conceitos associados à mobilidade sustentável, e envolvem aspectos econômicos, operacionais, de segurança de tráfego e ainda sócio-ambientais.

A busca do refinamento dos critérios, utilizados na seleção de vias pavimentadas sujeitas a M&R, está sendo atualmente objeto de pesquisas, direcionadas fundamentalmente à procura de modelos que permitam melhorar as tomadas de decisão. Por outro lado, a falta de informação em relação às novas técnicas de conservação do pavimento por parte dos responsáveis pelos projetos e manutenção de vias urbanas e, frequentemente, a falta de recursos, são problemas constantes nas administrações públicas do país e que diminuem a eficácia nas tomadas de decisão. Neste sentido, o presente trabalho apresenta uma metodologia de análise multicritério para M&R de vias urbanas pavimentadas que depende de procedimentos pouco complexos e que inclui a avaliação de um conjunto bem definido de critérios, quer sob aspectos técnicos quer sob aspectos sócio-econômicos.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de análise multicritério que permite estabelecer a priorização de intervenções de M&R em seções de vias urbanas pavimentadas. A metodologia de análise multicritério

integra critérios objetivos e subjetivos no apoio à tomada de decisão. O trabalho está dividido em duas partes: a primeira contempla a apresentação e estruturação da metodologia, incluindo a identificação e estruturação dos critérios através do Processo Hierárquico Analítico; e na segunda parte é apresentada uma aplicação prática com o estudo de caso na cidade de São Carlos, SP.

2. METODOLOGIA DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA PRIORIZAÇÃO DE PAVIMENTOS

A seleção de seções de pavimento numa rede viária urbana é essencialmente um processo de decisão através do qual se comparam as várias seções alternativas (possuidoras de características específicas) e se identificam as mais prioritárias a receber essa manutenção e/ou reabilitação. A priorização de seções pode ser desenvolvida de acordo com diferentes pressupostos, em função do desígnio que se pretende alcançar e das respectivas variáveis associadas.

De modo geral, o estudo desenvolvido por abrange duas visões distintas, que podem ser consideradas autonomamente ou em conjunto, na identificação dessas priorizações. A primeira trata-se de uma visão socioeconômica, em que projetos consideram soluções estratégicas, buscando minimizar o custo das intervenções e maximizando o benefício dos usuários, no sentido de melhorar a qualidade de vias de acesso a locais específicos. E, a segunda, trata-se de uma visão técnica, em que a meta é manter a rede em boas condições para circulação do tráfego, mas procurando também aumentar a vida útil dos pavimentos.

A metodologia proposta visa definir um índice para as seções e/ou vias pavimentadas que atende a critérios relativos à importância da seção na rede, tanto pela sua localização como pela sua classificação, as condições do pavimento e aos custos associados às estratégias de M&R aplicáveis. Assim, na definição da metodologia para a priorização das

seções/vias urbanas pavimentadas admite-se que:

- A prioridade é avaliada segundo um conjunto de objetivos, neste caso, socioeconômicos e técnicos;
- O índice de prioridade é um valor que incorpora diversos atributos relativos às características de cada seção ou via e resulta da combinação desses atributos;
- Os grupos de atributos (critérios que respeitam a objetivos específicos), assim como os atributos individualmente, possuem importâncias diferenciadas (pesos) na definição da prioridade;
- O índice de prioridade resulta da ponderação e agregação dos valores obtidos para os diversos atributos. A agregação resulta da estruturação dos atributos, que neste caso se podem considerar como fatores, segundo o Processo Hierárquico Analítico;
- Cada fator, critério que acentua ou diminui a necessidade de atividades de M&R numa determinada seção ou via urbana pavimentada, deverá ser avaliado segundo uma escala normalizada de forma a permitir a sua agregação com outros fatores pertencentes ao mesmo objetivo específico.

A forma adotada para quantificar a importância dos vários fatores e grupos de fatores, ou seja, o quanto eles influenciam a necessidade de M&R de pavimentos, a respectiva estruturação hierárquica e a forma de agregação são estabelecidas na metodologia desenvolvida recorrendo a técnicas de Avaliação Multicritério (MCDA - *Multicriteria Decision Analysis*). Assim, admite-se que os fatores e grupos de fatores, baseados nos objetivos/propósitos, funcionam como critérios na avaliação da prioridade de intervenções de M&R de pavimentos, ou seja, que possuem importâncias distintas que serão traduzidas em contribuições diferenciadas no cálculo do índice de prioridade.

O processo considera múltiplos critérios organizados em vários níveis, em grupos e subgrupos de critérios. Deste modo, a estrutura de critérios que permite calcular o índice de prioridade está organizada em grupos de critérios que se subdividem em diferentes níveis, em que o nível mais alto deverá ser a meta do problema, o objetivo final do processo de decisão. Como refere Ramos (2000), os níveis são estruturados de modo a que se possa descer de níveis mais abrangentes (grupos de critérios) para níveis mais específicos, terminando em um nível de atributos, isto é, constituído por critérios quantificáveis para cada seção pertencente à rede viária urbana em avaliação.

A quantificação do índice de prioridade (*IP*) de cada seção (*i*) da rede resulta da agregação dos *scores* obtidos para os vários grupos (*Score_g*) em avaliação. Cada *Score_g* resulta da média ponderada dos *scores* de cada grupo (*g*) de fatores, que por sua vez são obtidos pela agregação dos *scores* dos fatores (*Score_f*). Por sua vez, os *Score_f* resultam da agregação dos *scores* normalizados dos atributos, também frequentemente considerados como indicadores (*Score_i*). Assim, a expressão que agrega todos os *scores* normalizados corresponde a uma Combinação Linear Ponderada (WLC - *Weighted Linear Combination* - Voogd, 1983), permitindo aos critérios compensar entre eles as suas qualidades. No entanto, os vários critérios (fatores) em análise podem ser complementares ou equivalentes, e frente a essa situação, faz-se a agregação em grupos de critérios similares. Assim, o *IP* passa a ser avaliado por grupos de critérios (ou grupos de fatores), conforme a Equação 2, onde *Score_g* e *w_g* são respectivamente o *score* normalizado e ponderado e o peso atribuído a cada grupo (*g*) de critérios.

$$IP = \frac{\sum_g Score_g \times w_g}{\sum_g w_g} \quad (2)$$

Os critérios envolvidos são expressos em termos de características da via ou da seção de pavimento. Essas características

podem assumir valores numéricos (objetivos) ou lingüísticos (subjetivos), dependendo do tipo de critério que está sendo considerado. Para que os valores dos diferentes critérios possam ser agregados é necessário efetuar a sua normalização. Os critérios contínuos são normalizados recorrendo-se a funções *fuzzy*, segundo as quais um conjunto de valores expresso numa dada escala é convertido num outro, comparável e expresso numa escala normalizada (por exemplo, de 0 a 1). Por outro lado, alguns critérios com valores lingüísticos subjetivos são normalizados atribuindo-se valores de scores de forma arbitrária, dentro da mesma escala adotada para os critérios contínuos.

A forma arbitrária de atribuir valores de scores dentro de uma determinada escala normalizada não afeta a confiabilidade da análise, sendo que é sempre possível adaptá-la a cada aplicação, atribuindo valores e variáveis diferentes para serem estudados caso a caso. Do mesmo modo, também é possível incorporar diversas formas de funções *fuzzy* ao processo. Para uma melhor compreensão das técnicas associadas à normalização dos *scores* dos critérios, incluindo uma descrição detalhada das metodologias possíveis, ver Ramos (2000), Mendes (2001) e Lima (2007). Portanto, para aplicar a metodologia é necessário que sejam conhecidos os seguintes dados: a rede viária existente, os critérios de decisão, os pesos a aplicar a cada critério e aos grupos de critérios, as funções de normalização e as informações pertinentes a cada critério.

3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA EM AMBIENTE SIG

A metodologia apresentada neste trabalho é passível de ser desenvolvido num Sistema de Informação Geográfica (SIG), em formato vetorial, o que vem potenciar ainda mais a sua utilização, pois permite que para além da priorização das vias seja possível verificar espacialmente a sua distribuição na rede.

Sendo a metodologia de fácil integração em ambiente SIG, após a digitalização dos dados espaciais relativos à rede viária em estudo e a organização dos dados alfanuméricos em tabelas, é possível recorrer à análise de redes e de mapas para obter o índice de prioridades em questão. A Figura 1 apresenta as etapas necessárias para aplicar a metodologia em ambiente SIG.

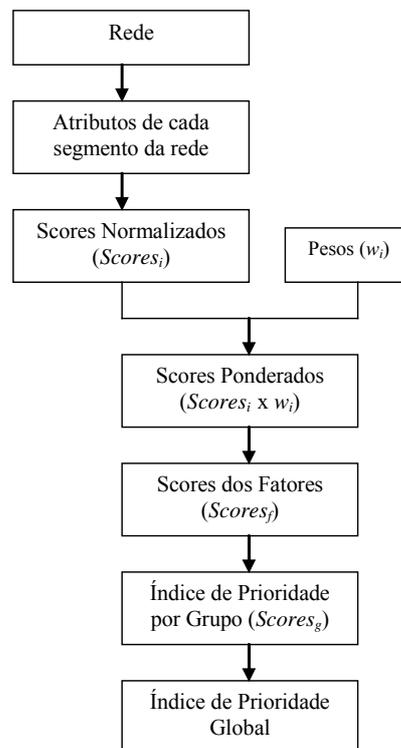


Figura 1: Etapas para aplicar a metodologia em ambiente SIG.

Fazendo-se uso de mapas que contenham a rede e os atributos vinculados a cada seção de pavimento da rede, o primeiro passo consiste em identificar as formas de medidas referentes a cada fator e, a seguir, proceder com a normalização dessas medidas, obtendo-se os scores dos fatores.

Através da aplicação dos pesos de cada fator aos scores obtidos, resultam os respectivos scores normalizados e ponderados. Em seguida, os scores normalizados são agrupados, obtendo-se, então, os índices de prioridade para cada grupo de fatores. Finalmente, através de um novo agrupamento, determina-se o índice de prioridade global.

A Figura 2 representa a modelagem utilizada na generalização dos índices de

prioridades para todas as seções da rede.

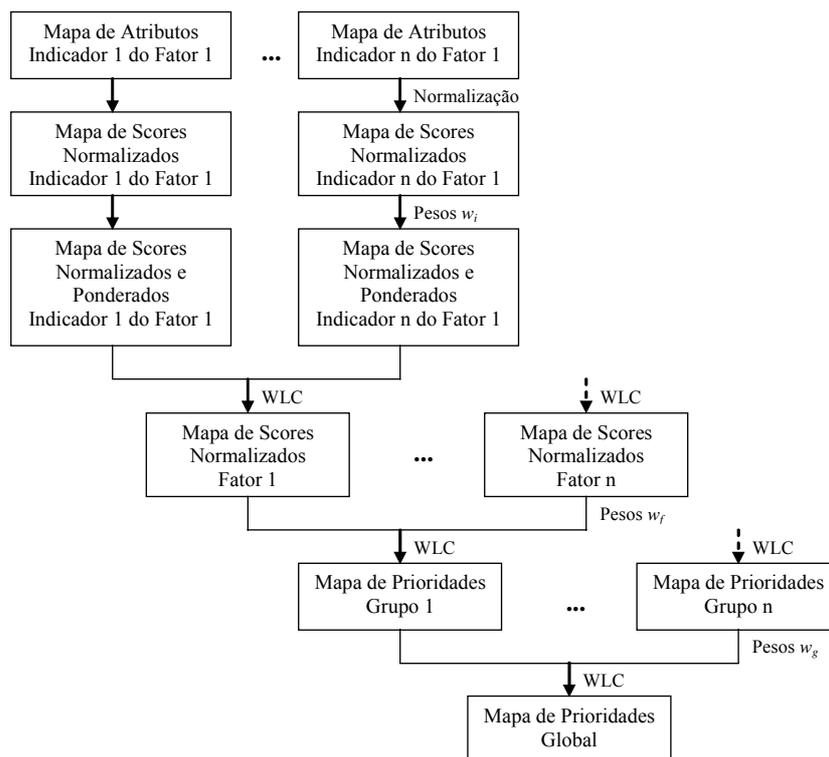


Figura 2: Modelagem utilizada para a obtenção do mapa final de prioridades.

4. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE DECISÃO

A definição das prioridades de conservação deve ser realizada considerando todos os fatores técnicos e econômicos, não apenas a curto prazo, mas também analisando as conseqüências de todos os custos e benefícios a médio prazo. Isso se faz através da utilização de sistemas de gerência que permitam, através dos respectivos modelos de desempenho, simular os efeitos de diferentes estratégias de conservação. No entanto, mesmo na ausência destes meios de apoio à simulação de diferentes cenários (os modelos de desempenho), existe a possibilidade de determinar as prioridades de conservação através de um reduzido conjunto de critérios de compreensão bastante racional (Pereira & Miranda, 1999).

4.1. IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS

A grande maioria dos sistemas para gestão de ações sobre o pavimento,

incluindo o SGP-DNER (Sistema de Gestão de Pavimentos do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem), faz uso dos métodos propostos pelo HDM (*Highway Design and Maintenance Standards Model*). Deste modo, utilizam como critérios para definir prioridades aqueles contidos no HDM, considerando o fator econômico como um dos mais importantes. Entretanto, existem critérios mais simples para a definição de prioridades de manutenção que embora não levem em consideração fatores de ordem econômica, podem ter aplicação por sua rapidez e custo reduzido (Visconti, 2000).

Em 2005, como refere Lima *et al.* (2006), foi realizada uma pesquisa com as prefeituras de cidades médias brasileiras que mostrou a opinião e o ponto de vista de especialistas e engenheiros responsáveis pelas obras viárias quanto aos critérios efetivamente relevantes para a seleção de vias pavimentadas. Nessa ocasião alguns critérios foram identificados como relevantes na decisão, tais como: condição do pavimento, hierarquia viária,

a localização das seções de pavimentos e os custos associados a M&R dos pavimentos. Além desses critérios, outros foram considerados importantes para a decisão: Serviços de tapa-buracos (realização de manutenção de rotina e não de prevenção); Localização: dar prioridade a locais que possam causar transtornos à circulação de pedestres e veículos; Compatibilização com outros serviços de infra-estruturas urbanas; Corredores de ônibus, por se tratar de manutenção mais sistemática; Vontade política: relacionada com propostas de campanha eleitoral, solicitações de orçamento participativo e critérios sócio-econômicos. Para informações mais detalhadas sobre a pesquisa realizada com as prefeituras ver Lima *et al.* (2006).

Tendo por base os resultados da pesquisa referida, e na posse das respostas e opiniões obtidas de profissionais responsáveis por obras e serviços relacionados com os pavimentos urbanos, definiu-se uma lista de critérios efetivamente relevantes. Na Tabela 1 apresentam-se esses critérios, identificados para a metodologia desenvolvida, e a sua estruturação em quatro grandes grupos: Fatores associados à hierarquia viária; Fatores associados às questões técnicas e operacionais; Fatores associados à localização das seções de pavimentos; Fatores associados aos custos. Deve-se enfatizar que os critérios considerados devem ser passíveis de avaliação, tanto do ponto de vista da disponibilidade de dados quanto do ponto de vista do esforço de aquisição dos mesmos.

4.2. DEFINIÇÃO DO GRAU DE IMPORTÂNCIA DE CADA CRITÉRIO

A escolha do método MCDA faz parte da fase de estruturação do problema e os decisores precisam concordar plenamente com o método escolhido. Existem vários métodos MCDA, utilizados com sucesso em diversas situações, como por exemplo, o AHP - *Analytic Hierarchy Process*, o ELECTRE - *Elimination and choice translating*

algorithm, o PROMETHEE - *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* e o MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (Saaty, 1977; Bana e Costa & Vasnick, 1994 e 2008; Salomon *et al.*, 1999). Os vários métodos diferem no modo como as preferências em relação aos vários critérios são especificadas e no modo como as alternativas são ordenadas (Cafiso *et al.*, 2002).

Conforme Cafiso *et al.* (2002), o AHP parece ser uma das metodologias que mais se adapta nas aplicações e decisões na gerência de infra-estruturas viárias, mostrando-se satisfatório na integração com os Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGPs), como por exemplo o HDM-4 (*Highway Development and Management Tool*), porque produz um índice baseado num *ranking* com medida do desempenho das alternativas.

Portanto, para a definição dos pesos neste trabalho, adotou-se o método de comparação par a par proposto no Processo Analítico Hierárquico (do inglês *Analytic Hierarchy Process* – AHP; Saaty, 1980). Por meio dessa técnica, pesos e prioridades são derivados a partir de um conjunto de julgamentos subjetivos realizados por avaliadores ou participantes envolvidos no processo. A comparação par a par, entre os n critérios, é realizada a partir de uma matriz recíproca quadrada $n \times n$, onde os critérios estão dispostos na mesma ordem ao longo das linhas e das colunas. Portanto, o valor a_{ij} representa a importância do critério da linha i em relação ao critério da coluna j , conforme a Equação 1.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \text{ para } i \neq j \text{ e } a_{ij} = 1, \text{ para } i = j \quad (1)$$

Por exemplo, se o critério da linha $i=1$ é cinco vezes mais importante que o critério da coluna $j=3$, então $a_{13}=5$ e $a_{31}=1/5$. Isso implica que apenas a metade triangular superior direita da matriz necessita ser avaliada, já que a outra metade deriva desta e a diagonal principal assume valores unitários. O

desenvolvimento das comparações par a par de critérios exige a adoção de uma escala que expresse e possibilite a normalização dos julgamentos efetuados.

Neste trabalho adotou-se a escala proposta por Saaty (1980), composta por nove níveis numéricos, conforme a Figura 3.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente menos importante	Bastante menos importante	Muito menos importante	Pouco menos importante	Igual importância	Pouco mais importante	Muito importante	Bastante mais importante	Extremamente mais importante

Figura 3: Escala de Comparação de Critérios.

A avaliação foi realizada por meio de planilhas eletrônicas desenvolvidas por Costa (2003) e adaptadas para esta pesquisa. As planilhas foram enviadas a profissionais convidados a participar de um painel de avaliação representado, portanto, a opinião de especialistas no processo decisório. Baseados no nível dos agrupamentos dos critérios

apresentados na Tabela 1, profissionais da área de Transportes efetuaram comparação par a par, de critérios ou grupo de critérios de decisão, definindo a importância relativa dos mesmos, para a priorização de seções candidatas às atividades de M&R de pavimentos.

Tabela 1: Lista de critérios relevantes para a priorização de seções de pavimentos.

Código	Fatores e Grupos de Fatores	Código	Fatores e Grupos de Fatores
A	Fatores associados à hierarquia viária	C	Fatores associados à localização das seções de pavimento
A1	Classe funcional	C1	Proximidade a infra-estruturas de Transportes
A2	Tipo de rota	C1.1	Proximidade a terminal rodoviário
A3	Volume de tráfego	C1.2	Proximidade a terminal ferroviário
B	Fatores associados às questões técnicas e operacionais	C1.3	Proximidade a portos e aeroportos
B1	Necessidade técnica por intervenção	C1.4	Proximidade a rodovias
B1.1	Índice combinado de defeitos	C2	Proximidade a equipamentos públicos
B1.1.1	Trincas por Fadiga	C2.1	Proximidade a escolas primárias e secundárias
B1.1.2	Trincas em Blocos	C2.2	Proximidade a universidades
B1.1.3	Defeito nos Bordos	C2.3	Proximidade a postos de saúde
B1.1.4	Trincas Longitudinais	C2.4	Proximidade a hospitais
B1.1.5	Trincas por Reflexão	C2.5	Proximidade a centros administrativos
B1.1.6	Trincas Transversais	C2.6	Proximidade a corporação de bombeiros
B1.1.7	Remendos	C2.7	Proximidade a instalações militares
B1.1.8	Panelas	C3	Preferências pessoais ou administrativas
B1.1.9	Deformação Permanente	C3.1	Proximidade a centros comerciais
B1.1.10	Corrugação	C3.2	Proxim. a bairros particular qualidade de vida
B1.1.11	Exudação	C3.3	Proximidade a áreas de lazer e esportes
B1.1.12	Agregados Polidos	C3.4	Proximidade a áreas turísticas
B1.1.13	Desgaste	C3.5	Proximidade a áreas industriais
B1.1.14	Desnível	D	Fatores associados aos custos
B1.1.15	Bombeamento	D1	Custos dos Usuários
B1.2	Índice da condição do pavimento	D1.1	Custo de operação de veículos
B1.3	Idade do pavimento	D1.2	Custo do tempo de viagem
B2	Questões Ambientais	D1.3	Custo de acidentes
B3	Questões de Segurança	D2	Custos da Administração

Depois de determinar o peso de cada critério, o processo AHP permite calcular o Grau de Consistência (*CR- Consistency Ratio*) dos julgamentos efetuados, o que garante um elevado nível de confiabilidade no conjunto de pesos

resultantes da aplicação. Para mais detalhes sobre o método de comparação par a par de critérios, ver Lima (2007) e Ramos (2000). Uma vez realizadas todas as comparações, foram determinados os pesos finais, através da média aritmética

dos pesos calculados a partir das avaliações individuais.

5. APLICAÇÃO À REDE VIÁRIA URBANA DE SÃO CARLOS - SP

A metodologia apresentada foi aplicada à rede de vias urbanas de São Carlos, Estado de São Paulo, com o propósito de priorizar e facilitar o planejamento das atividades de manutenção e reabilitação a curto prazo. A plataforma SIG adotada foi o ArcView, utilizando o formato vetorial do software, dentro do qual agrega-se a metodologia de avaliação multicritério e foram desenvolvidas todas as etapas necessárias à sua implementação, conforme identificadas anteriormente.

A capacidade de incorporar as preferências do decisor no processo decisório é um fator crítico para o uso do SIG. Em geral, os SIGs não provêm mecanismos para representação de escolhas e prioridades num contexto de avaliação de critérios e objetivos conflitantes. Um modo de se fazer isso é incorporar técnicas de Análise de Decisão Multicritério (MCDA) no processo decisório (Malczewski, 1999). Muitos trabalhos utilizam a integração entre SIG e MCDA, com resultados satisfatórios para a tomada de decisão: Lima (2007);

Mello *et al.* (2001); Ramos (2000); Zambon (2005).

Foi necessário para a realização desta aplicação, organizar e vincular toda a informação coletada aos mapas georeferenciados de modo consistente, dentro da plataforma SIG, como por exemplo, os resultados de um levantamento de campo das vias urbanas de São Carlos, contendo informações de inventário e avaliação do pavimento (Lima, 2004). Do conjunto de critérios apresentados na Tabela 1 alguns não puderam ser considerados na aplicação desenvolvida no estudo de caso devido à falta de dados confiáveis. Os pesos foram remodelados com base nos graus de importância atribuídos pelos avaliadores para os fatores em questão, sempre levando em conta o grau de consistência da avaliação. Os critérios não considerados no estudo de caso foram: 3º Nível - Idade desde a última intervenção, Proximidade a Portos e Aeroportos; e 2º Nível - Questões Ambientais, Questões de Segurança, Custos dos Usuários.

A Tabela 2 apresenta os fatores considerados no estudo de caso e os respectivos pesos e a Figura 4, por sua vez, ilustra a estruturada hierárquica organizada para a aplicação desenvolvida.

Tabela 2: Fatores e pesos considerados no estudo de caso.

Código	Fatores e Grupos de Fatores	Pesos	Código	Fatores e Grupos de Fatores	Pesos
A	Fatores associados à hierarquia viária	0,223	C	Fatores associados à localização das seções de pavimento	0,128
A1	<i>Classe funcional</i>	0,290	C1	<i>Proximidade infra-estruturas Transportes</i>	0,425
A2	<i>Tipo de rota</i>	0,210	C1.1	Proximidade a terminal rodoviário	0,437
A3	<i>Volume de tráfego</i>	0,500	C1.2	Proximidade a terminal ferroviário	0,195
B	Fatores associados às questões técnicas e operacionais	0,378	C1.3	Proximidade a rodovias	0,368
B1	<i>Índice combinado de defeitos</i>	0,592	C2	<i>Proximidade a equipamentos públicos</i>	0,304
B1.1	Trincas por Fadiga	0,134	C2.1	Proximidade a escolas primárias e secundárias	0,100
B1.2	Trincas em Blocos	0,036	C2.2	Proximidade a universidades	0,113
B1.3	Defeito nos Bordos	0,031	C2.3	Proximidade a postos de saúde	0,183
B1.4	Trincas Longitudinais	0,040	C2.4	Proximidade a hospitais	0,237
B1.5	Trincas por Reflexão	0,053	C2.5	Proximidade a centros administrativos	0,082
B1.6	Trincas Transversais	0,044	C2.6	Proximidade a corporação de bombeiros	0,185
B1.7	Remendos	0,049	C2.7	Proximidade a facilidades militares	0,099
B1.8	Panelas	0,211	C3	<i>Preferências pessoais ou administrativas</i>	0,271
B1.9	Deformação Permanente	0,146	C3.1	Proximidade a centros comerciais	0,334
B1.10	Corrugação	0,049	C3.2	Proximidade a bairros com particular	0,141

B1.11	Exudação	0,027		qualidade de vida	
B1.12	Agregados Polidos	0,023	C3.3	Proximidade a áreas de lazer e esportes	0,110
B1.13	Desgaste	0,059	C3.4	Proximidade a áreas turísticas	0,234
B1.14	Desnível	0,048	C3.5	Proximidade a áreas industriais	0,181
B1.15	Bombeamento	0,050	D	Fatores associados aos custos	0,271
<i>B2</i>	<i>Índice da condição do pavimento</i>	0,410			

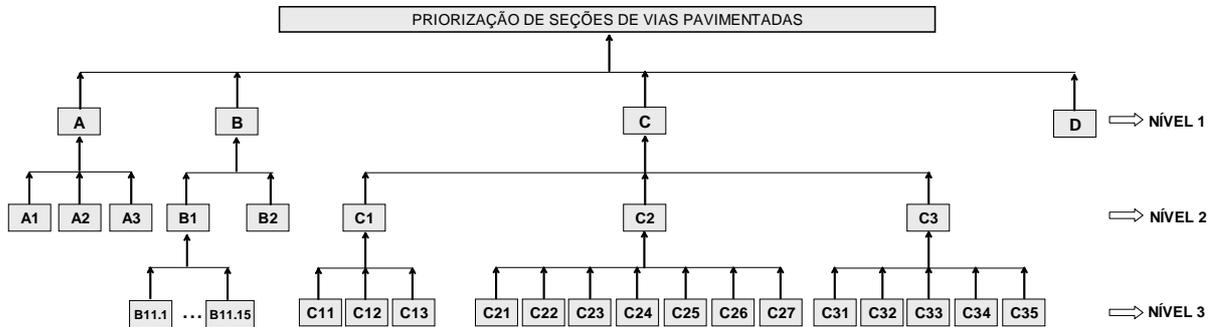


Figura 4: Estrutura hierárquica implementada no estudo de caso

A implementação em SIG seguiu a estrutura apresentada na Figura 4, seguindo os códigos apresentados na Tabela 2, em que para cada nível foram gerados os mapas resultantes da agregação dos critérios de ordem inferior, permitindo assim visualizar para toda a rede a informação por nível e o Índice de Prioridade Global.

Após processos de normalização critérios foram obtidos os mapas dos vários critérios do nível 3 e do nível 2. Como exemplo é apresentado nas Figuras 5 e 6 o Índice da Condição do Pavimento - ICP com valores não normalizados e normalizados, respectivamente (Critério B2). Pela comparação dos dois mapas fica perceptível o processo de normalização em que se utilizou a função *fuzzy* com os pontos de controle x_a igual a 40 e x_b igual a 90 (Figura 7).

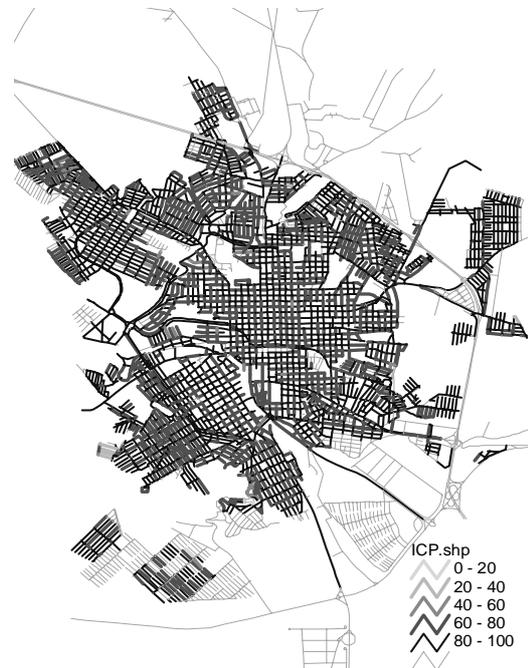


Figura 5: Mapa de ICP não normalizado.

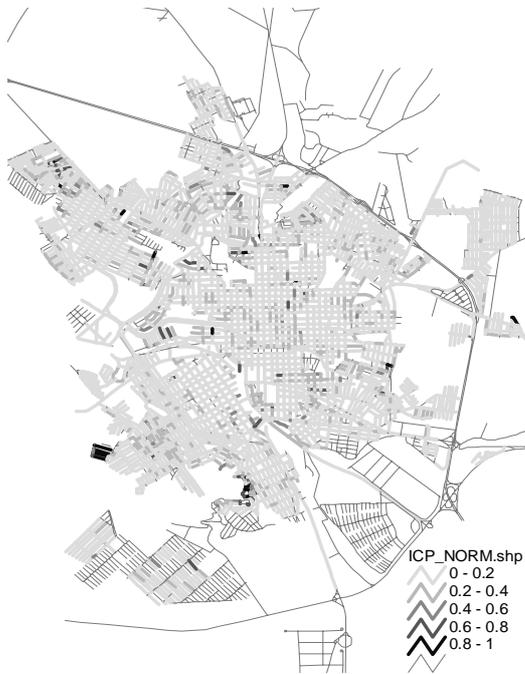


Figura 6: Mapa de ICP normalizado.

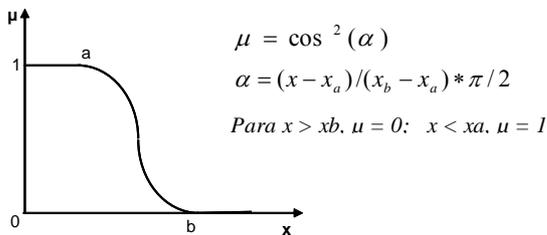


Figura 7: Exemplo de função *fuzzy* (sigmoide decrescente).

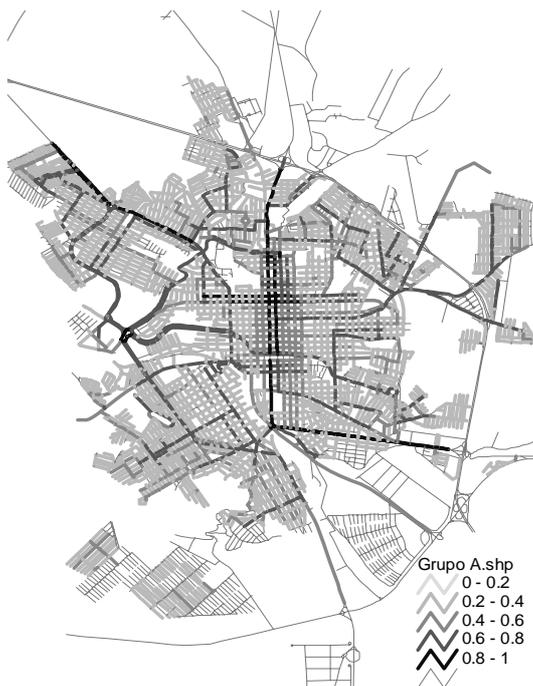
Seguindo as etapas de um processo de avaliação multicritério, primeiramente

com a definição da importância relativa dos critérios através de pesos e depois com a normalização dos critérios através de funções *fuzzy* a próxima etapa é a combinação dos critérios. Para a aplicação prática dada neste trabalho realizaram-se combinações WLC (*Weighted Linear Combination*) de acordo com cada nível e agrupamento da estrutura, gerando, portanto, mapas alternativos de prioridades de M&R de pavimentos.

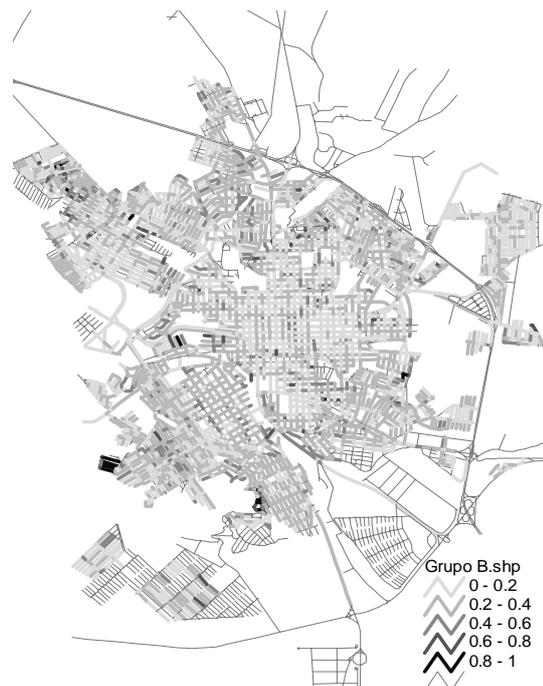
Na Figura 8 são apresentados os mapas obtidos para os quatro grupos de critérios considerados no nível 1.

Pela análise dos mapas constata-se que no mapa A (Figura 8-a), com scores dos fatores associados à hierarquia viária, algumas vias foram priorizadas com *scores* entre 0,8 e 1,0, evidenciando a sua importância relativa na hierarquia viária.

O mapa B (Figura 8-b), referente aos fatores associados à condição do pavimento, apresentou valores bem variados dentro da escala considerada e poucas seções com scores elevados, indicando de modo geral, a boa qualidade dos pavimentos das vias urbanas de São Carlos. Este resultado traduz, contudo, os dados recolhidos no ano em que foi realizado o levantamento, não se podendo extrapolar para o futuro.



(a) Grupo A: Hierarquia Viária



(b) Grupo B: Questões Técnicas e Operacionais



(c) Grupo C: Localização das seções



(d) Grupo D: Custos de estratégias de M&R

Figura 8: São Carlos – Índice de Prioridade por grupo de critérios de vias pavimentadas.

O mapa C (Figura 8-c), scores dos fatores associados à localização, mostra prioridades mais elevadas em locais bem específicos, como por exemplo, próximos a postos de saúde e outros equipamentos considerados vitais para o funcionamento da cidade. O mapa D (Figura 8-d), referentes aos scores de custos das estratégias de M&R de pavimentos, apresenta 73% de seções com valores nulos, onde as atividades previstas são de não fazer nada, levando, portanto, o custo à zero nestes locais e 25% das seções possuem *scores* maior que 0,4, indicando a prioridade de intervenção. O Mapa explicitando o Índice de Prioridade Global, desenvolvido pelo agrupamento dos mapas dos 4 grupos de critérios (Figura 8) e aplicação dos respectivos pesos (Tabela 2), é apresentado na Figura 9.

O mapa global (Figura 9) mostra que aproximadamente 7% das seções avaliadas possuem *scores* elevados entre 0,8 e 1, ou seja, vias com elevada prioridade de M&R de pavimentos. Ainda é perceptível o número elevado de *scores* mais baixos (valores entre 0 e 0,2), indicando seções de baixo nível de prioridade.

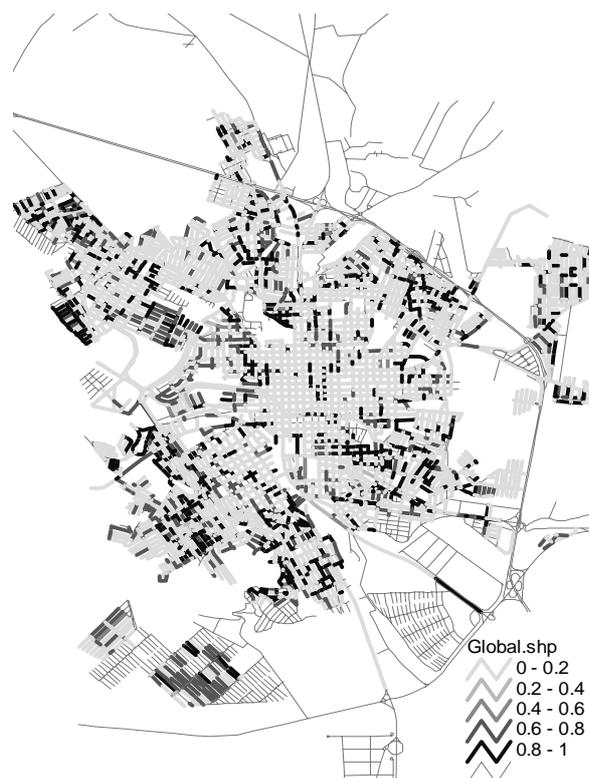


Figura 9: São Carlos: Índice de Prioridade Global.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de técnicas de avaliação multicritério no apoio à decisão em ambiente SIG para o problema concreto da priorização de seções com o objetivo de atividades de M&R de pavimentos, com muitas vantagens já

evidenciadas em trabalhos anteriores, garantiu a boa estruturação da base da metodologia proposta.

A metodologia mostrou-se eficiente em várias etapas do processo, destacando-se a flexibilidade devido à possibilidade de modificar a estrutura hierárquica que foi desenvolvida, no instante que se pretende retirar ou adicionar algum critério de decisão. A importância atribuída a cada um dos critérios também pode ser reconsiderada, pois dependendo da cidade em que a metodologia seja aplicada novas opiniões podem ser atribuídas e assim condicionar o modelo.

Do ponto de vista instrumental a metodologia apresentada mostra-se interessante pelo fato de considerar de forma simples os conceitos de priorização de vias e ainda integrá-lo numa ferramenta poderosa de análise espacial.

A exploração da metodologia pode assumir formato de utilização prática, tal como auxiliar administradores de órgãos governamentais que têm a função de avaliar e planejar as intervenções de conservação em vias urbanas pavimentadas. Pelo estudo de caso apresentado a aplicabilidade da metodologia ficou demonstrada, quer na perspectiva da sua operacionalidade quer na perspectiva da sua utilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bana e Costa, C. A.; Vansnick, J. C.. (2007). A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research* vol. 187, no. 3, pp. 1422-1428.
- Bana e Costa, C.; Vansnick, J. C. (1994). MACBETH - An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions, *International Transactions in Operational Research*, vol. 1, n. 4, p. 489-500.
- Cafiso, S.; Graziano, A.; Kerali, H. R.; Odoki, J. B. (2002). Multicriteria Analysis Method for Pavement Maintenance Management. *Transportation Research Record 1816*. TRB. Washington, D.C., pp73-84.
- Costa, M. S. (2003). *Mobilidade urbana sustentável: um estudo comparativo e as bases de um sistema de gestão para Brasil e Portugal*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- Lima, J. P. (2007). *Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos*. 167 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- Lima, J.P.; Ramos, R.A.R.; Fernandes Jr, J.L. (2006). *A Prática de Gestão de Pavimentos em Cidades Médias Brasileiras*. In: 2º PLURIS. Braga - PT: Universidade do Minho, 2006.
- Lima, J.P.; Lopes, S.B.; Zanchetta, F.; Anelli, R.L.S., Fernandes Jr, J.L. (2004). O Uso de SIG em gerência de Infra-estrutura Urbana de Transportes: Estudo de Caso em São Carlos - SP. In: *Contribuições para o Desenvolvimento Sustentável em Cidades Portuguesas e Brasileiras*. ed.Coimbra, Portugal: Almedina, 2004, v.1, p. 146-159.
- Malczewski (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mello, J. C. C. B. S.; Gomes, E. G. ; Lins, M. P. E.; Vieira, L. A. M. (2001) Um caso de estudo de integração SIG-DEA-MCDA: a influência de uma instituição de ensino superior em vários municípios do estado do rio de janeiro. *Investigação Operacional*. v.21, n.2, p. 171-190.
- Mendes, J. F. G (2001) Multicriteria accessibility evaluation using GIS as applied to Industrial Location in Portugal. *Earth Observation Magazine*, v. 10, n. 2, p. 31-35.
- Pereira, P.; Miranda, V. (1999). *Gestão da conservação dos pavimentos rodoviários*. Braga, Portugal.

Ramos, R. A. R. (2000). *Localização industrial – um modelo espacial para o noroeste de Portugal*. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Braga, Portugal.

Saaty, T. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 15, p. 234-281

Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York. McGraw Hill.

Salomon, V.P.; Montevechi, J. A. B.; Pamplona, E. O. (1999). *Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica*. In: Anais do XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 1999, Rio de Janeiro.

Visconti, T. S. (2000). *O Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER. (Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_interne_t/ipr/ipr_new/manuais /pms_99.pdf . Acesso em: 20 set 2006).

Voogd, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London: Pion Ltd.

Zambon, K.L.; Carneiro, A. A. F. M.; Silva, A. N. R.; Negri, J. C. (2005). Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG. *Pesquisa Operacional*, v.25, n.2, p.183-199.