

**709**

**ESTUDO COMPARATIVO PARA GESTÃO DAS ATIVIDADES DE  
MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS EM SIG**

**Josiane Palma Lima**  
jp\_lima@fepi.br

**Rui António Rodrigues Ramos**  
rui.ramos@civil.uminho.pt

**José Leomar Fernandes Jr.**  
leomar@sc.usp.br

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA:  
Josiane Palma Lima  
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI  
Instituto de Engenharia de Produção e Gestão  
Av. BPS 1303  
Av. Dr. Antônio Braga Filho, 687 Cx. 17  
37.500-903 Itajubá - MG - Brasil

**RESUMO**

Num contexto de sustentabilidade urbana, as ruas pavimentadas representam um valioso patrimônio, cuja conservação é essencial para garantir diversos objetivos econômicos, sociais e ambientais. Quando os custos de conservação são maiores que os recursos disponíveis, as prioridades podem ser definidas com base em um conjunto de critérios técnicos, mensuráveis ou aspectos relativos a condições subjetivas e dependentes do contexto de cada cidade. O objetivo geral deste trabalho é comparar cenários gerados com base em diferentes mapas de prioridades, desenvolvidos através de um modelo que recorre à Análise Multicriterial e ao Sistema de Informação Geográfica. No estudo de caso foi adotada uma base de dados georreferenciados da cidade de São Carlos-SP, com as características associadas às ruas pavimentadas. Pode-se destacar a flexibilidade quando se insere ou se retira algum critério da estrutura de decisão, aliada à facilidade de trabalhar com mapas representativos de alternativas que condicionam a análise.

# **ESTUDO COMPARATIVO PARA GESTÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS EM SIG**

**J. P. Lima, R. A. R. Ramos e J. L. Fernandes Jr.**

## **RESUMO**

Num contexto de sustentabilidade urbana, as ruas pavimentadas representam um valioso patrimônio, cuja conservação é essencial para garantir diversos objetivos econômicos, sociais e ambientais. Quando os custos de conservação são maiores que os recursos disponíveis, as prioridades podem ser definidas com base em um conjunto de critérios técnicos, mensuráveis ou aspectos relativos a condições subjetivas e dependentes do contexto de cada cidade. O objetivo geral deste trabalho é comparar cenários gerados com base em diferentes mapas de prioridades, desenvolvidos através de um modelo que recorre à Análise Multicriterial e ao Sistema de Informação Geográfica. No estudo de caso foi adotada uma base de dados georreferenciados da cidade de São Carlos-SP, com as características associadas às ruas pavimentadas. Pode-se destacar a flexibilidade quando se insere ou se retira algum critério da estrutura de decisão, aliada à facilidade de trabalhar com mapas representativos de alternativas que condicionam a análise.

## **1 INTRODUÇÃO**

Combinando a perigosa escassez de recursos com um crescimento demográfico explosivo, a humanidade vive um momento histórico, em que segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) 45% da população do mundo, isto é, 2,6 bilhões de pessoas, vivem em regiões urbanas. A cada ano somam-se 86 milhões de novos habitantes ao planeta, projeção feita para o período 1996-2015. Por outro lado, noventa e cinco por cento do crescimento demográfico mundial durante a próxima década se dará em áreas urbanas e a imensa maioria vai nascer e viver em cidades da parte menos privilegiada do planeta. Atualmente, uma em cada três pessoas vive em grandes centros urbanos e em 2025, serão duas em três (Sequinel, 2002).

Atendendo a uma urbanização em escala tão acelerada impõem-se enormes desafios em termos de gestão de infra-estruturas e condições ambientais. Segundo Sequinel (2002), no Brasil as projeções apontam para uma taxa de 88,94%, em 2020, de pessoas vivendo em cidades. As taxas elevadas e crescentes de urbanização promoveram o agravamento dos problemas urbanos, em função do crescimento desordenado e concentrado, da ausência ou carência de planejamento, da demanda não atendida por recursos e serviços de toda ordem, da obsolescência da estrutura física existente, dos padrões atrasados da gestão praticada e das agressões ao meio ambiente. Portanto, um dos principais desafios enfrentados pelos profissionais da área tecnológica reside na busca de soluções que garantam a sustentabilidade urbana.

Num contexto de desenvolvimento sustentável urbano, as ruas pavimentadas representam um valioso patrimônio, cuja conservação e reabilitação são essenciais para garantir diversos objetivos econômicos, sociais e ambientais. Neste contexto, o foco deste trabalho é a gestão da conservação de pavimentos urbanos, tratando de forma direta a priorização de ruas ou seções candidatas às atividades de manutenção e reabilitação (M&R) dos respectivos pavimentos. As prioridades são definidas com base em um conjunto de critérios que podem ser divididos em critérios técnicos e mensuráveis ou em aspectos relativos a condições subjetivas e dependentes da conjuntura de cada cidade.

Assim, o presente trabalho aplica uma metodologia (Lima, 2007) que recorre à Análise Multicriterial para priorização de vias urbanas pavimentadas, implementada num Sistema de Informação Geográfica, e explora o estudo comparativo entre diferentes cenários. Os vários cenários foram obtidos com base em diferentes mapas de prioridades segundo opções na agregação dos critérios relativos ao processo de decisão para a priorização de ruas ou seções candidatas às atividades de M&R. O estudo de caso realizado na malha viária da cidade de São Carlos-SP adota uma base de dados georreferenciados, relativos aos critérios definidos pela metodologia, com as características associadas às respectivas ruas ou seções pavimentadas.

## **2 METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE VIAS URBANAS PAVIMENTADAS**

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 Lima (2007) 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 hierárquica de critérios permite calcular o índice de prioridade para cada seção ou via urbana pavimentada e está organizada em grupos de critérios que se subdividem em diferentes níveis, em que no nível mais alto é indicada 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 ou via urbana pertencente à rede viária em avaliação.

Na metodologia para priorização de vias urbanas pavimentadas é definido um índice de prioridade ( $IP$ ) de cada seção ( $i$ ) da rede que 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 vários 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 1, onde  $Score_g$  e  $w_g$  são respectivamente o  $score$  normalizado e ponderado e o peso atribuído a cada grupo ( $g$ ) de critérios.

$$IP = \frac{\sum_g (Score_g \times w_g)}{\sum_g w_g} \quad (1)$$

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* e combinação dos critérios, incluindo uma descrição detalhada das metodologias possíveis, ver Malczewski (1999), Ramos (2000), 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.

## **2.1 Aplicação da Metodologia em Ambiente SIG**

A metodologia descrita é passível de ser desenvolvida num Sistema de Informação Geográfica (SIG), o que vem potenciar ainda mais a sua utilização. Neste caso, o SIG 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.

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 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 e ponderados são agregados, 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, conforme equação 1.

## **2.2 Critérios de Decisão e Importância Relativa**

A definição de prioridades para M&R deve ser realizada considerando todos os fatores técnicos e econômicos, não apenas no curto prazo, mas também analisando as conseqüências de todos os custos e benefícios no médio/longo 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 M&R. 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 e Miranda, 1999).

As informações utilizadas neste trabalho têm por base os resultados da pesquisa desenvolvida por Lima (2007) que estabeleceu uma lista de critérios efetivamente relevantes baseada em questionários e opinião de especialistas e profissionais responsáveis por obras e serviços relacionados com os pavimentos urbanos. Estes critérios foram avaliados estabelecendo-se seu grau de importância diante do objetivo proposto, através do método de comparação par a par proposto no Processo Analítico Hierárquico, do inglês *Analytic Hierarchy Process* – AHP (Saaty, 1980). 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 a aplicação do método de comparação par a par de critérios, ver Ramos (2000), Lima *et al.* (2006) e Lima (2007). Na Tabela 1 são apresentados os critérios e os respectivos pesos atribuídos pelo conjunto dos avaliadores inquiridos. Os critérios considerados estão estruturados em quatro grandes grupos: (A) fatores associados à hierarquia viária; (B) fatores associados às questões técnicas e operacionais; (C) fatores associados à localização das seções de pavimentos; e (D) fatores associados aos custos.

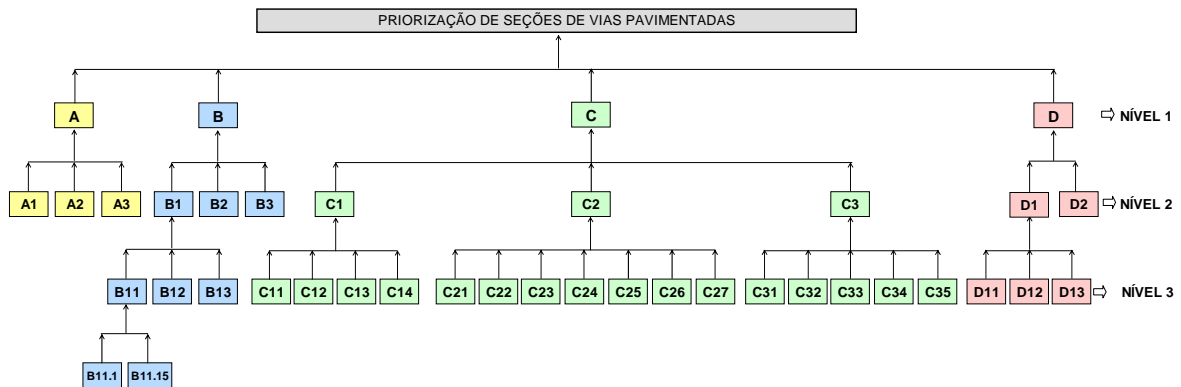
**Tabela 1: Critérios de priorização de vias pavimentadas e os respectivos pesos, códigos e agrupamentos**

Código	Fatores e Grupos de Fatores	Pesos	Código	Fatores e Grupos de Fatores	Pesos
<b>A</b>	<b>Fatores associados à hierarquia viária</b>	<b>0,223</b>	<b>C</b>	<b>Fatores associados à localização das seções de pavimento</b>	<b>0,128</b>
A1	Classe funcional	0,286	C1	Proxim. a infra-estruturas de Transportes	0,425
A2	Tipo de rota	0,214	C1.1	Proximidade a terminal rodoviário	0,346
A3	Volume de tráfego	0,5	C1.2	Proximidade a terminal ferroviário	0,149
<b>B</b>	<b>Fatores associados às questões técnicas e operacionais</b>	<b>0,378</b>	C1.3	Proximidade a portos e aeroportos	0,205
B1	Necessidade técnica por intervenção	0,343	C1.4	Proximidade a rodovias	0,3
B1.1	Índice combinado de defeitos	0,47	C2	Proximidade a equipamentos públicos	0,304
B1.1.1	Trincas por Fadiga	0,134	C2.1	Proximidade a escolas primárias e secundárias	0,1
B1.1.2	Trincas em Blocos	0,036	C2.2	Proximidade a universidades	0,113
B1.1.3	Defeito nos Bordos	0,031	C2.3	Proximidade a postos de saúde	0,183
B1.1.4	Trincas Longitudinais	0,04	C2.4	Proximidade a hospitais	0,237
B1.1.5	Trincas por Reflexão	0,053	C2.5	Proximidade a centros administrativos	0,082
B1.1.6	Trincas Transversais	0,044	C2.6	Proximidade a corporação de bombeiros	0,185
B1.1.7	Remendos	0,049	C2.7	Proximidade a instalações militares	0,099
B1.1.8	Panelas	0,211	C3	Preferências pessoais ou administrativas	0,271
B1.1.9	Deformação Permanente	0,146	C3.1	Proximidade a centros comerciais	0,334
B1.1.10	Corrugação	0,049	C3.2	Proxim. a bairros particular qualidade de vida	0,141
B1.1.11	Exudação	0,027	C3.3	Proximidade a áreas de lazer e esportes	0,11
B1.1.12	Agregados Polidos	0,023	C3.4	Proximidade a áreas turísticas	0,234
B1.1.13	Desgaste	0,059	C3.5	Proximidade a áreas industriais	0,181
B1.1.14	Desnível	0,048	<b>D</b>	<b>Fatores associados aos custos</b>	<b>0,271</b>
B1.1.15	Bombeamento	0,05	D1	Custos dos Usuários	0,508
B1.2	Índice da condição do pavimento	0,328	D1.1	Custo de operação de veículos	0,246
B1.3	Idade do pavimento	0,202	D1.2	Custo do tempo de viagem	0,183
B2	Questões Ambientais	0,128	D1.3	Custo de acidentes	0,571
B3	Questões de Segurança	0,529	D2	Custos da Administração	0,492

Fonte: Lima (2007)

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. A metodologia foi desenvolvida com base numa estrutura

hierárquica de decisão, conforme a Figura 1 e os códigos da Tabela 1. O processo considera múltiplos critérios organizados em vários níveis, em grupos e subgrupos de critérios.



**Figura 1: Estrutura hierárquica do modelo de priorização de vias pavimentadas**

### 3 ESTUDO DE CASO - APLICAÇÃO À REDE VIÁRIA URBANA DE SÃO CARLOS, (SP)

A metodologia descrita na seção anterior foi aplicada à rede de vias urbanas de São Carlos (SP) com o propósito de priorizar e facilitar o planejamento das atividades de manutenção e reabilitação. A plataforma SIG adotada para a implementação do Caso de Estudo foi o ArcView 3.2, utilizando o formato vetorial do software, dentro do qual foi agregada a metodologia proposta e foram desenvolvidas todas as etapas necessárias à sua implementação. 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).

Na plataforma SIG foi necessário organizar e vincular toda a informação coletada para os múltiplos critérios aos mapas georeferenciados das seções ou via urbana pavimentada. Como por exemplo, pode-se referir que foram adotados os resultados de um levantamento de campo das vias urbanas de São Carlos contendo informações de inventário e avaliação do pavimento realizado por Lima *et al.* (2004).

Não existem regras para a forma de estruturar as hierarquias nem para definir o número de níveis a criar, o que permite ao decisor inserir ou eliminar elementos e níveis da forma que julgue necessário para clarificar as suas prioridades ou para evidenciar algumas partes do processo de decisão (Saaty, 1980). Retirar ou acrescentar algum critério de decisão implica em modificar toda a estrutura hierárquica e o processo de tomada de decisão. A modificação de algum critério pode causar o adiantamento ou o atraso das necessidades por intervenções de M&R, assim como, Alterar um critério pode também afetar a lista de ações viáveis de reabilitação (Haas *et al.*, 1994). Os critérios de decisão têm influência direta nas alternativas que são geradas pelo sistema, pois essas alternativas são selecionadas de acordo com o objetivo inicialmente proposto para se chegar a uma decisão final.

Com a avaliação do grau de importância dos critérios, através do método de comparação par a par proposto no Processo Analítico Hierárquico (Lima, 2007) observou-se que alguns

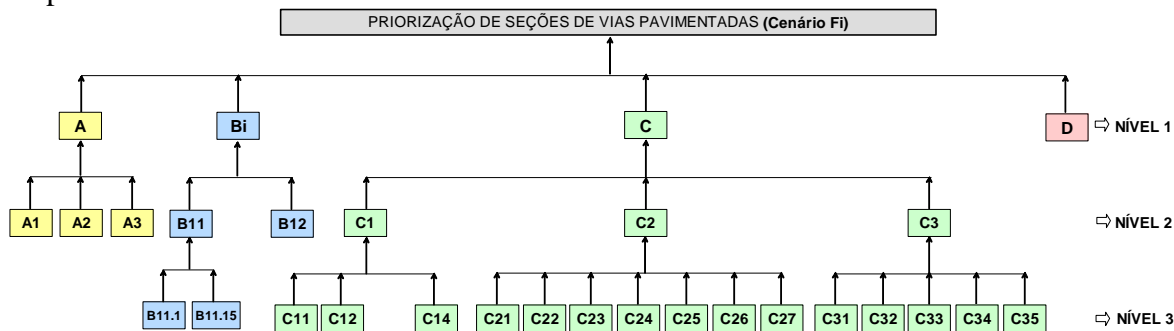
critérios possuíam graus de importâncias que se sobressaíam sobre os outros. É o caso da avaliação da importância relativa dos fatores associados às “Questões Técnicas e Operacionais” (Grupo B), apresentada na Tabela 1, realizada pelos especialistas. Nesse caso em especial, o fator “Questões de Segurança” (B3) foi considerado o mais relevante (peso igual a 0,529, numa escala de 0,0 a 1,0) quando comparado com os fatores “Necessidade Técnica por Intervenção” (B1 - peso igual a 0,343), um dos critérios mais utilizados nos modelos de priorização existentes, pois envolve medidas da condição do pavimento e “Questões Ambientais” (B2 - peso igual a 0,127). Isto se deve ao fato da Segurança, para este modelo, ser caracterizada pelos índices de acidentes registrados num determinado período de análise e pela presença ou não de dispositivos de drenagem nas vias urbanas. O avaliador considera que manter a integridade do usuário, reduzindo os índices de acidentes, é o mais importante.

Apesar da grande importância dada ao critério segurança, este não foi utilizado na primeira fase de avaliação, por falta de dados confiáveis. Entretanto, um estudo desenvolvido recentemente por Santos (2006), possibilitou a estruturação de um banco de dados sobre os índices de acidentes de trânsito no município de São Carlos. Em uma segunda fase de avaliação abordada neste trabalho, estas informações foram, então, utilizadas, depois de passar por um processo de filtragem. Nesta segunda fase o critério “Questões de segurança (B3)” foi inserido no processo de decisão para o estudo comparativo apresentado. Este critério, por possuir um alto valor da importância relativa atribuída pelos avaliadores, modifica os cenários de avaliação, contribuindo para aperfeiçoar o processo decisório.

Este trabalho tem como principal objetivo a comparação entre cenários (ou mapas) de avaliação, uma vez que se acrescenta um critério no processo decisório. Para tal foram geradas duas estruturas hierárquicas distintas, que buscam alcançar o mesmo objetivo, utilizando-se informações da rede de vias urbanas de São Carlos - SP. Portanto, o trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, não foram considerados os seguintes critérios:

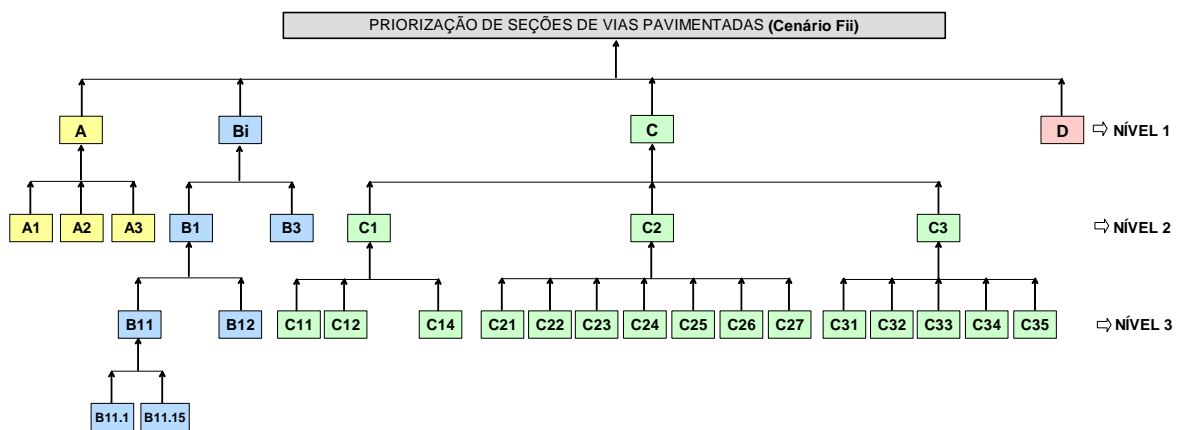
- 3º Nível - Idade desde a última intervenção (B13), Proximidade a Portos e Aeroportos (C13);
- 2º Nível - Questões Ambientais (B2), Questões de Segurança (B3), Custos dos Usuários (D1).

Na segunda etapa, os atributos relacionados às Questões de Segurança (critério B3) do 2º Nível da estrutura hierárquica, em que na etapa anterior não havia sido considerado, foram adicionados ao processo decisório. Portanto, tendo como base do modelo de decisão a estrutura apresentada na Figura 1 e Tabela 1, as estruturas hierárquicas foram reformuladas para as Etapas 1 e 2 deste trabalho, conforme apresentadas nas Figuras 2 e 3, respectivamente.



**Figura 2: Estrutura hierárquica do modelo de priorização  
Etapa 1 do estudo de caso**





**Figura 3: Estrutura hierárquica do modelo de priorização  
Etapa 2 do estudo de caso**

Modificar a estrutura hierárquica implica em gerar novos cenários de avaliação onde critérios de relevância participam ou não do processo decisório. Em ambas as etapas 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.

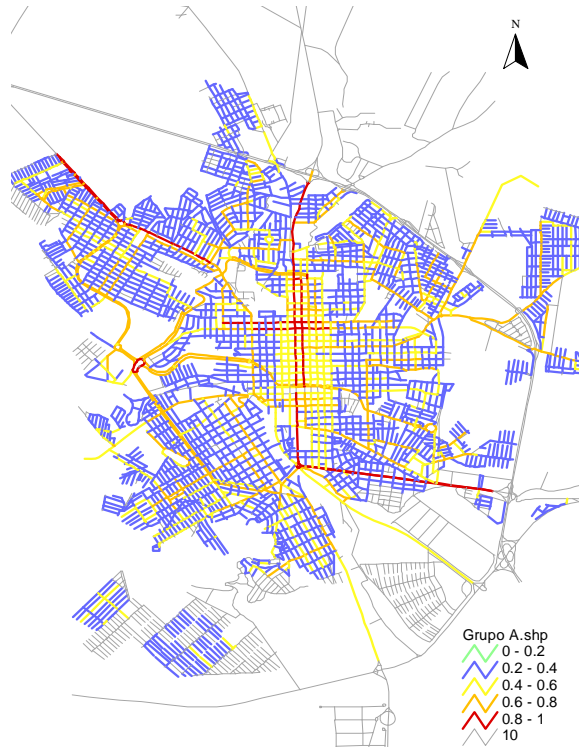
#### 4 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

A implementação em SIG seguiu as estruturas apresentadas nas Figuras 3 e 4, em que para cada nível de cada estrutura 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.

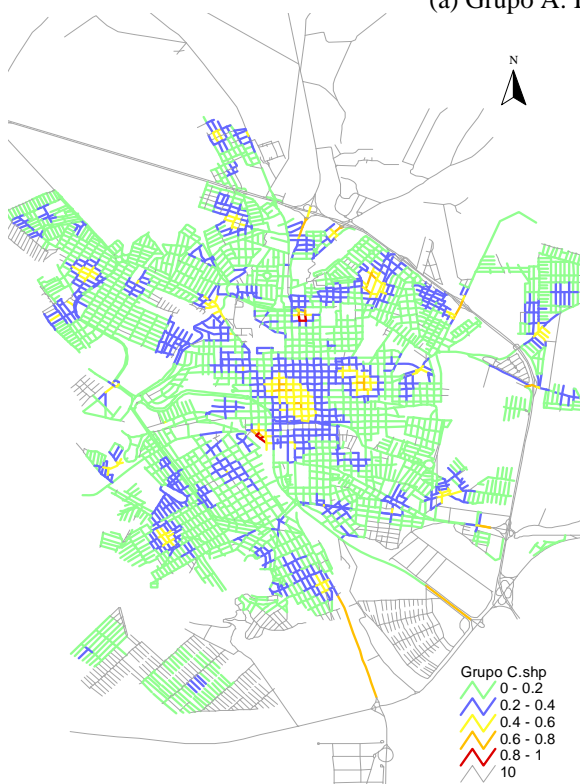
Através da implementação da metodologia obtiveram-se os mapas dos vários critérios do nível 3 e do nível 2, procedendo-se em seguida à sua normalização. Seguindo as etapas de um processo de avaliação multicritério, primeiramente com a definição da importância relativa dos critérios através de pesos e 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. (Lima, 2007).

Considerando as duas formas de agregação dos critérios e grupos de critérios mostradas nas Figuras 2 e 3, a combinação dos atributos (nível 3) dos Grupos A, C e D, traz resultados iguais para ambas as estruturas ou etapas. Porém, a combinação de atributos do Grupo B traz resultados diferentes em relação às etapas 1 e 2. Na Figura 4 são apresentados os mapas gerados dos grupos A – Hierarquia Viária, C - Localização e D – Custos das estratégias de M&R no nível 1 das estruturas hierárquicas de decisão (Etapas 1 e 2 do trabalho).

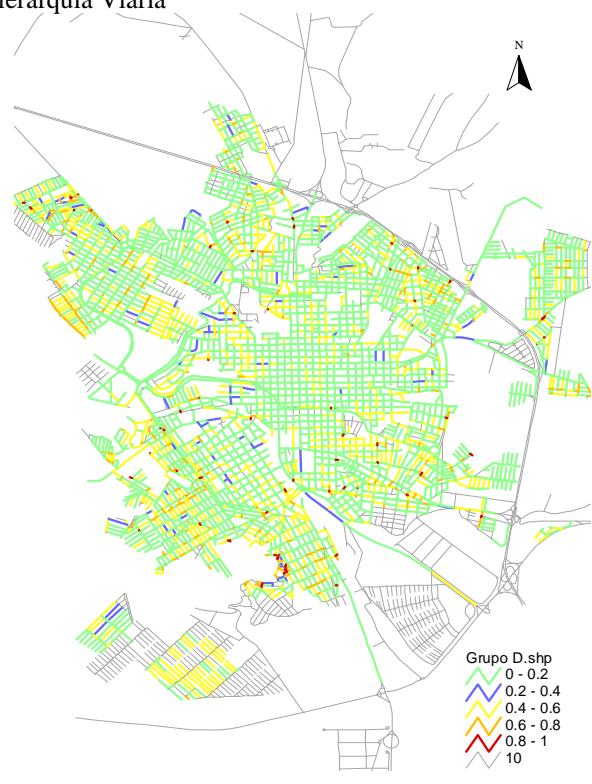
Pode-se observar que o índice de prioridade é um valor dentro de uma escala de 0,0 a 1,0, na qual o valor 0,0 (cor verde) indica prioridade nula e o valor 1,0 (cor vermelha), por sua vez, indica prioridade máxima.



(a) Grupo A: Hierarquia Viária



(b) Grupo C: Localização das seções



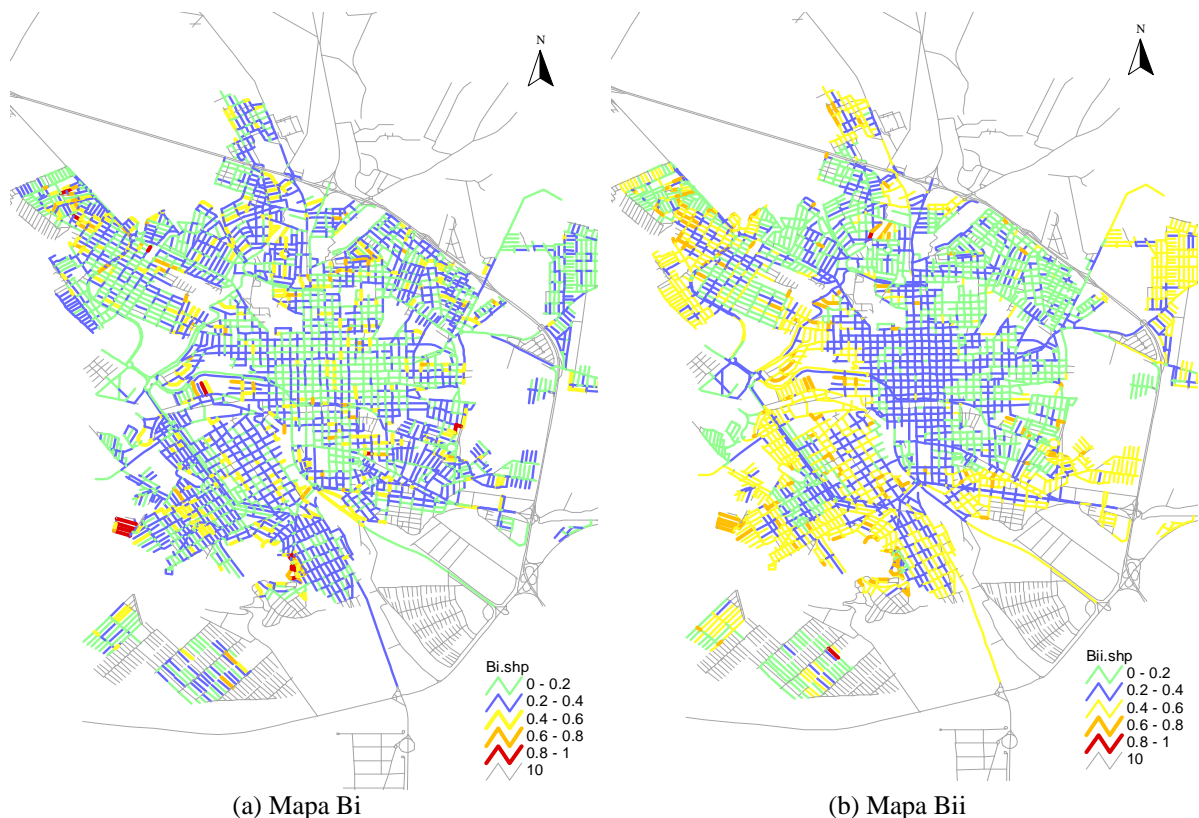
(c) Grupo D: Custos de estratégias de M&R

**Figura 4: Índices de Prioridades dos Grupos A, C e D: Hierarquia Viária, Localização e Custos**

A combinação de atributos do Grupo B (Questões Técnicas e Operacionais) foi realizada na etapa 1 agregando os fatores de Índice Combinado de Defeitos (B11) e Índice da Condição do Pavimento (B12), sendo que o primeiro corresponde a avaliação objetiva e o

segundo avaliação subjetiva do pavimento (Lima *et al.*, 2004). Na etapa 2 foram combinados os fatores de “Necessidade Técnica por Intervenção” - B1 (com os atributos de B11 e B12) e “Questões de Segurança” – B3. Em todas as combinações de critérios foram utilizados os pesos atribuídos pelos especialistas, reformulados para o estudo de caso, conforme comentado anteriormente.

Portanto, os mapas temáticos de prioridades referentes ao grupo B, Etapa 1 e 2 (ver Figuras 2 e 3), são apresentados nas Figuras 5a e 5b, respectivamente. O mapa gerado na Etapa 1 é chamado de Bi e o mapa gerado na Etapa 2 é chamado de Bii.



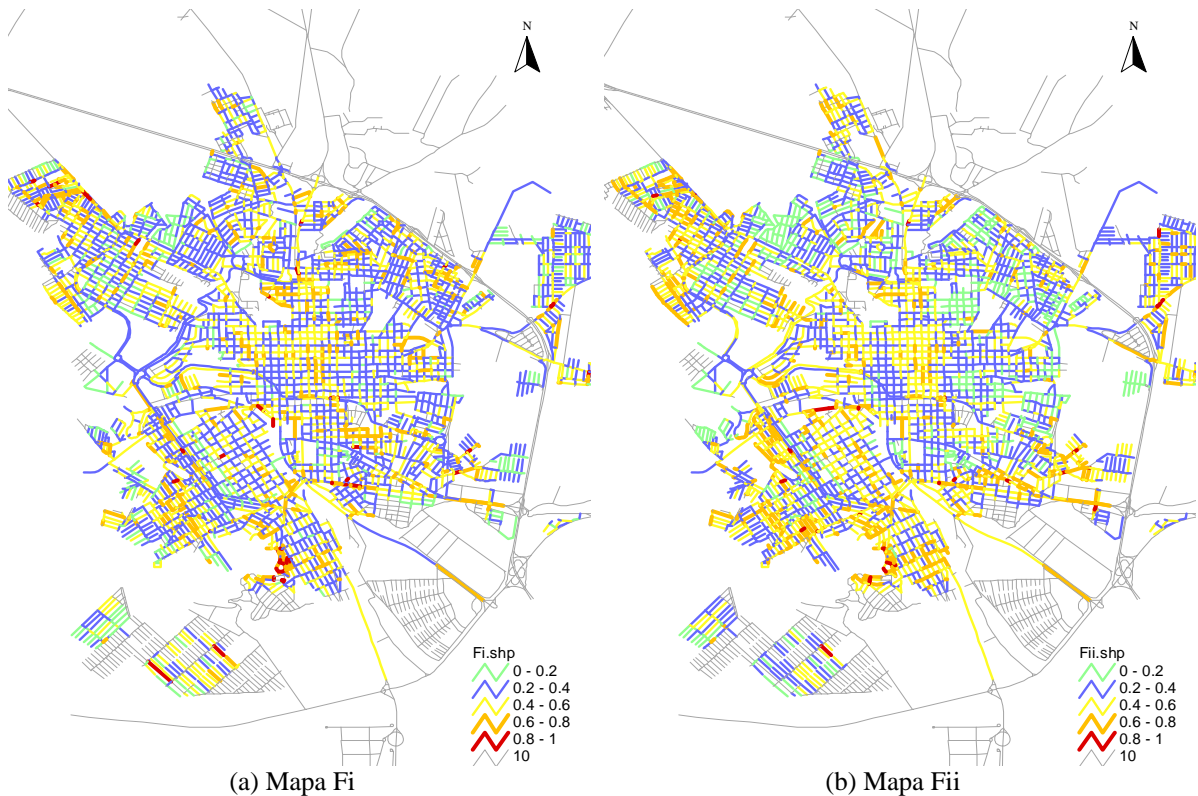
**Figura 5: Índices de Prioridades do Grupo B, gerados nas Etapas 1 e 2 de avaliação**

Pode-se observar que o cenário Bii apresentou um maior número de *scores* entre 0,4 e 0,6 do que o cenário Bi, pois são seções que possuem carência de drenagem ou com histórico de acidentes, influenciando no resultado do cenário de avaliação para o grupo de critérios relacionado com as questões técnicas e operacionais.

Os atributos dos mapas ou cenários dos grupos A, Bi, C e D (Figuras 4 e 5a) são agora combinados na Etapa 1, gerando o mapa final de priorização Fi apresentado na Figura 6a. Por sua vez, os atributos dos mapas dos grupos A, Bii, C e D (Figuras 4 e 5b) são combinados na Etapa 2, gerando um novo mapa final de priorização de vias urbanas pavimentadas Fii, apresentado na Figura 6b.

Os cenários finais de priorização de seções de vias urbanas pavimentadas (Mapas Fi e Fii) representam a combinação de critérios, desde o nível mais baixo até o mais alto da estrutura hierárquica de decisão, atingindo, assim, o objetivo final. Os dois cenários finais gerados diferem devido às mudanças quanto à combinação dos atributos no nível 2 para

gerar os cenários do grupo B. A presença ou não do critério Segurança (B3) influenciou na combinação dos critérios deste grupo, que quando combinados com os grupos A, C e D, geraram resultados distintos.



**Figura 6: Mapas Finais de Priorização de vias urbanas pavimentadas**

Cada uma das etapas é desenvolvida separadamente, portanto, geram mapas finais de prioridades distintos. Algumas diferenças entre os dois cenários finais podem ser observadas, como por exemplo, o mapa final Fi apresentou 37% de *scores* maiores que 0,4 (seções amarela, laranja e vermelha), enquanto que o cenário final Fii apresentou 45%. Entretanto, cada um dos mapas corresponde a um cenário de avaliação no qual o tomador de decisão poderá optar pelo cenário que trará melhores benefícios.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram gerados mapas temáticos desde o nível mais baixo até o mais elevado da estrutura hierárquica. Os grupos de critérios foram combinados considerando a importância relativa de cada grupo, originando cenários finais de decisão. Todas as etapas, ou níveis da estrutura hierárquica, podem ser analisadas isoladamente o que pode permitir a averiguação ampla das características da rede, que pode ser útil em outros contextos de estudos. Destaca-se a flexibilidade quando se insere ou se retira algum critério da estrutura de decisão, aliada à facilidade de gerar, sobrepor e visualizar mapas representativos das mais diversas alternativas que condicionam a análise. 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.

O estudo de caso realizado na malha viária da cidade de São Carlos-SP permitiu a priorização de vias pavimentadas com relação à sua localização, condição do pavimento, hierarquia viária e custos das estratégias de intervenção. Pelo estudo de caso apresentado a aplicabilidade da metodologia ficou demonstrada, quer na perspectiva da sua operacionalidade quer na perspectiva da sua utilidade. 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.

## 6 REFERÊNCIAS

- Haas, R.; Hudson, W. R.; Zaniewski, J. (1994). **Modern pavement management**. Krieger Publishing Co. Malamar, Florida.
- 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. e Fernandes Jr, J. L. (2006). **A Prática de Gestão de Pavimentos em Cidades Médias Brasileiras**. In: Anais do 2º PLURIS. Braga: Universidade do Minho.
- Lima, J.P., Lopes, S.B., Zanchetta, F., Anelli, R.L.S. e 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**. Portugal: Almedina, p. 146-159.
- Malczewski (1999). **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- 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. (1980). **The Analytic Hierarchy Process**. New York. McGraw Hill.
- Santos, L. (2006). **Análise dos Acidentes de Trânsito no Município de São Carlos Utilizando SIG e Ferramentas de Análise Espacial**. Dissertação (Mestrado). UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP.
- Sequinel, M.C.M. (2002). **O modelo de sustentabilidade urbana de Curitiba: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.
- Voogd, H. (1983). **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion Ltd.