Campus de São Carlos

*DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE
SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS
PARA CIDADES BRASILEIRAS DE MÉDIO PORTE*

EUNICE SATIE SHOJI

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ LEOMAR FERNANDES JUNIOR

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE
SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS
URBANOS PARA CIDADES BRASILEIRAS
DE MÉDIO PORTE**

EUNICE SATIE SHOJI

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Transportes

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior

São Carlos
2000

Class.	TESE-EESC
Cutt.	5309
Tombo	5100

5084069

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S559d Shoji, Eunice Satie
Desenvolvimento de um programa de sistema de
gerência de pavimentos urbanos para cidades
brasileiras de médio porte / Eunice Satie Shoji.
-- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Transportes.
Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior.

1. Pavimentos urbanos. 2. Sistemas de gerência.
3. Estratégias de manutenção e reabilitação.
4. Priorização de seções. I. Título.

*This work is dedicated to Professor Tadashi Fukuda, now teaching at Miyagi
University in Japan, with my sincere thanks for his support
and incentive during all the time.*

Ao Professor José Leomar Fernandes Júnior, pelo apoio, orientação e principalmente pela amizade durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa de estudo concedida.

Aos mais novos integrantes da minha família, Sandro Makoto Nakamura e Lucas Ryu Shoji Nakamura, que estiveram ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus familiares que, mesmo indiretamente, apoiaram-me a seguir com a carreira acadêmica. E ao Márcio Yoshio Nitta, meu eterno amigo-irmão.

Aos professores, funcionários e amigos do Departamento de Transportes da EESC-USP, pela colaboração. Ao Marcelo Seido Nagano, Sandra Oda, Lúcia Helena Rossi e Ricardo de Almeida Melo, pelas amizades sinceras, apoios e incentivos constantes.

A todos os amigos que encontrei durante o período em que estive no Japão, em especial ao Justo Seiji Oshino Ortiz, Jasson Shu, Regina Mikie Kanada, Lilian Rumi Tsuruta, Homare Suzuki e Toshiko Izawa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vi
RESUMO.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
1- INTRODUÇÃO.....	1
2- SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Implementação de um SGP.....	7
2.3 Componentes básicos de um SGP.....	8
2.4 Benefícios com o uso de um SGP.....	10
2.5 Níveis de decisão em um SGP.....	11
2.5.1 Decisões em nível de projeto.....	13
2.5.2 Decisões em nível de rede.....	14
2.5.2.1 Método de Priorização.....	15
2.5.2.2 Método de Otimização.....	16
2.6 Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos.....	17
2.6.1 Inventário.....	18
2.6.2 Avaliação da condição dos pavimentos.....	19
2.7 Exemplos de SGPs em uso.....	21
2.7.1 SGP desenvolvido em Ohio: Sistema PMS – III.....	22
2.7.2 SGP desenvolvido na Finlândia.....	23

2.7.3	SGP desenvolvido pelo USA – CERL: Sistema PAVER.....	24
2.7.4	SGP desenvolvido no Arizona: Sistema NOS.....	27
2.7.5	SGPU desenvolvido no Texas: Sistema URMS.....	29
2.7.5.1–	Planejamento de M&R em nível de rede.....	29
2.7.5.2–	Planejamento de M&R em nível de projeto.....	34
2.7.6	SGP desenvolvido em Sendai – Japão.....	38
3-	PREVISÃO DO DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS E SELEÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA REPARO.....	42
3.1	Introdução.....	42
3.2	Estabelecimento de um índice para quantificação da condição do pavimento para uso em SGPUs.....	43
3.3	Previsão do desempenho dos pavimentos.....	46
3.4	Seleção das estratégias para reparo.....	54
3.5	Priorização das seções.....	60
4-	PROGRAMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS PARA CIDADES BRASILEIRAS DE MÉDIO PORTE.....	67
4.1	Introdução.....	67
4.2	Módulo da base de dados.....	70
4.3	Módulo para determinação da matriz de probabilidades de transição.....	74
4.4	Módulo para determinação do índice de prioridade, seleção da estratégia de M&R e determinação do custo de cada seção.....	77
5-	APLICAÇÃO PILOTO DO SGPUSP/R.....	83
5.1	Introdução.....	83
5.2	Levantamento das práticas usualmente adotadas pelas prefeituras municipais.....	84
5.2.1	Município de Araraquara.....	85
5.2.2	Município de Bauru.....	88
5.2.3	Município de Franca.....	90
5.2.4	Município de São Carlos.....	92
5.3	Estudo piloto para o sistema especialista.....	94

5.3.1	Inventário das seções.....	94
5.3.2	Avaliação da condição da rede de pavimentos.....	96
5.3.3	Determinação da matriz de probabilidades de transição para previsão do desempenho da rede de pavimentos.....	98
5.3.4	Determinação dos índices de prioridade, seleção das estratégias de M&R e custos das seções e definição das seções para reparo.....	104
6-	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	118
ANEXO A – QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO PARA LEVANTAMENTO DAS PRÁTICAS ADOTADAS PELAS PREFEITURAS MUNICIPAIS.....		
		121
ANEXO B – LISTAGEM DO PROGRAMA COMPUTACIONAL SGPUSP/R.....		
		131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		166
OBRAS CONSULTADAS.....		170

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Representação da evolução da condição de três trechos distintos de pavimentos.....	6
FIGURA 2.2 – Componentes básicos de um SGP (HAAS e HUDSON, 1982)....	8
FIGURA 2.3 – Elementos de um SGP em nível de rede	12
FIGURA 2.4 – Elementos de um SGP em nível de projeto.....	12
FIGURA 2.5 – Ilustração do relacionamento entre a condição do pavimento e a demanda de usuários conforme a seleção das atividades de M&R (M: manutenção; R: reabilitação) (COOK e LYTTON, 1987)..	14
FIGURA 2.6 – Formulário para coleta dos dados do inventário (BERTOLLO, 1997).....	21
FIGURA 2.7 – Exemplo de uma matriz de probabilidades de transição (FEIGHAN et al., 1987).....	25
FIGURA 2.8 – Representações de estado, vetor estado e ciclo de serviço (FEIGHAN et al., 1987).....	26
FIGURA 2.9 – Estrutura global e diagrama do fluxo de dados no URMS	30
FIGURA 2.10 – Diagrama do fluxo dos dados na programação de M&R em nível de rede (CHEN et al., 1993).....	30
FIGURA 2.11 – Divisão e intervalos dos índices para avaliação.....	32
FIGURA 2.12 – Árvore de decisão para determinar a estratégia de M&R.....	33
FIGURA 2.13 – Determinação do índice de prioridade.....	33
FIGURA 2.14 – Diagrama do fluxo dos dados no subsistema de dimensionamento (CHEN et al., 1993).....	35

FIGURA 2.15 – Hierarquia das variáveis da base de conhecimentos (CHEN et al., 1994).....	37
FIGURA 2.16 – Árvore de decisão para definição dos métodos de reparo.....	37
FIGURA 2.17 – Esquema geral do programa desenvolvido no Japão.....	39
FIGURA 2.18 – Representação geral de uma matriz de probabilidades de transição.....	39
FIGURA 3.1 – Ficha para avaliação da serventia (BERTOLLO, 1997).....	44
FIGURA 3.2 – Planilha utilizada no município de Franca para determinação do ICP.....	47
FIGURA 3.3 – Efeito da manutenção no desempenho do pavimento (AASHTO e FHWA (1985) apud NCHRP (1987)).....	48
FIGURA 3.4 – Efeito da reabilitação no desempenho do pavimento (AASHTO e FHWA (1985) apud NCHRP (1987)).....	48
FIGURA 3.5 – Representação do desempenho dos pavimentos durante um período de análise de 10 anos, considerando-se todas as seções em boa condição na data inicial. À esquerda, com realização de reparos anuais em uma extensão igual a extensão ótima. À direita, “não fazer nada”	54
FIGURA 3.6 – Arquitetura básica de um sistema especialista (RITCHIE et al., 1986).....	56
FIGURA 4.1 – Fluxograma geral do programa SGPUSP/R.....	69
FIGURA 4.2 – Tela inicial do módulo da base de dados.....	71
FIGURA 4.3 – Entrada dos dados de cada seção.....	72
FIGURA 4.4 – Entrada dos valores dos recursos financeiros disponíveis.....	72
FIGURA 4.5 – Entrada dos custos unitários das estratégias de M&R.....	73
FIGURA 4.6 – Entrada dos valores limites de cada estado de condição das variáveis ICP, IDADE, VDM e CF e valor de ICPmin.....	73
FIGURA 4.7 – Fluxograma da sub-rotina para determinação da matriz de probabilidades de transição da condição da rede.....	75
FIGURA 4.8 – Determinação da matriz de probabilidades de transição (Estado 1: condição péssima, Estado 5: condição excelente).....	76

FIGURA 4.9 – Fluxograma do sistema especialista simplificado para determinação do IP e seleção da estratégia de M&R e respectivo custo de cada seção.....	78
FIGURA 4.10 – Determinação do índice de prioridade de cada seção.....	79
FIGURA 4.11 – Árvore de decisão para seleção da estratégia de M&R.....	81
FIGURA 4.12 – Seleção da estratégia de M&R e determinação do custo de cada seção.....	82
FIGURA 5.1 – Localização dos municípios pesquisados no estado de São Paulo.....	84
FIGURA 5.2 – Relacionamento entre os tipos de vias e os tipos de atividades de manutenção freqüentemente indicados (VILLIBOR et al., 1993).....	88
FIGURA 5.3 – Formulário para coleta dos dados do inventário (BERTOLLO, 1997).....	95
FIGURA 5.4 – Formulário para coleta dos dados sobre o tráfego.....	95
FIGURA 5.5 – Representação da evolução da condição da rede em caso de nenhuma intervenção ser realizada durante todo o período de análise.....	103
FIGURA 5.6 – Representação da evolução da condição da rede sem realização de nenhuma intervenção durante todo o período de análise, no caso particular de 100% dos pavimentos iniciar com condição EXCELENTE (condição 5).....	104
FIGURA 5.7 – Representação da evolução da condição da rede com realização de reparos anuais nos anos de 1998 a 2001 e sem nenhum reparo em 2002.....	116

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Resultado das avaliações subjetivas da condição da superfície do trecho piloto nos anos de 1992 e 1995.....	53
TABELA 3.2 – Atividades para reparo normalmente consideradas nas análises de estratégias (FERNANDES JR. et al., 1999).....	59
TABELA 3.3 – Atividades de M&R consideradas no programa PMSC (TAVAKOLI et al., 1992).....	60
TABELA 3.4 – Identificação dos defeitos nos pavimentos (SHRP (1993) apud FERNANDES JR. et al., 1999).....	61
TABELA 5.1 – Custos unitários de cada atividade de manutenção (VILLIBOR et al., 1993).....	87
TABELA 5.2 – Classificação das vias (VILLIBOR et al., 1993).....	87
TABELA 5.3 – Localização, características físicas e dados históricos dos trechos do projeto piloto.....	97
TABELA 5.4 – Informações sobre o tráfego dos trechos do projeto piloto.....	98
TABELA 5.5 – Resultados da avaliação subjetiva realizada em 22 e 23/09/98 por sete avaliadores (A = aceitável; I = inaceitável).....	99
TABELA 5.6 – Resultados da avaliação subjetiva.....	101
TABELA 5.7 – Resultados da avaliação subjetiva: condição da rede.....	102
TABELA 5.8 – Valores limites adotados para os índices dos intervalos das variáveis IDADE e VDM.....	106
TABELA 5.9 – Valores dos custos unitários das estratégias de M&R.....	108

TABELA 5.10 – Valores dos recursos financeiros disponíveis durante todo o período de análise de 4 anos.....	109
TABELA 5.11 – Determinação dos índices de prioridade, estratégias de M&R e custos das seções (1998).....	111
TABELA 5.12 – Determinação dos índices de prioridade, estratégias de M&R e custos das seções (1999).....	112
TABELA 5.13 – Determinação dos índices de prioridade, estratégias de M&R e custos das seções (2000).....	113
TABELA 5.14 – Determinação dos índices de prioridade, estratégias de M&R e custos das seções (2001).....	114
TABELA 5.15 – Resumo dos resultados finais para o período de 4 anos.....	115
TABELA 5.16 – Comparação dos resultados obtidos para os anos de 1998 e 2001, em caso de nenhum reparo ser realizado e em caso de realização de reparos anuais.....	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	- American Association of State Highways and Transportation Officials
ADOT	- Arizona Department of Transportation
CAP	- Cimento Asfáltico de Petróleo
CBQU	- Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CF	- Classe Funcional
EESC-USP	- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
EMDEF	- Empresa Municipal para o Desenvolvimento de Franca
FHWA	- Federal Highway Administration
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
ICP	- Índice de Condição do Pavimento
IP	- Índice de Prioridade
IS	- Índice de Serventia
ISA	- Índice de Serventia Atual
MID	- Manual de Identificação de Defeitos
M&R	- Manutenção e Reabilitação
NCHRP	- National Cooperative Highway Research Program
NOS	- Network Optimization System
ODOT	- Ohio Department of Transportation
PMS - III	- Pavement Management System – 3 th version
PMSC	- Pavement Management System for Small Communities
PSI	- Present Serviceability Index
PSR	- Present Serviceability Rating
RWA	- Roadway and Waterway Administration

SAAE	- Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SGP	- Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPU	- Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
SHRP	- Strategic Highway Research Program
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
SQL	- Structured Query Language
TxVDM	- Taxa de Crescimento Anual do Volume de Tráfego
URMS	- Urban Roadway Management System
USACE	- United States Army Corps of Engineers
USA – CERL	- U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory
VDM	- Volume de Tráfego Diário Médio
VSA	- Valor de Serventia Atual

RESUMO

SHOJI, E. S. (2000). *Desenvolvimento de um programa de sistema de gerência de pavimentos urbanos para cidades brasileiras de médio porte*. São Carlos, 2000. 175p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho apresenta um sistema de gerência de pavimentos urbanos desenvolvido especialmente para cidades brasileiras de médio porte. Representa uma ferramenta que auxilia o processo de tomada de decisões em relação à alocação racional dos recursos financeiros disponíveis, visando a maior extensão possível de pavimentos seguros, confortáveis e, principalmente, econômicos aos usuários. Um sistema especialista simplificado foi desenvolvido com a finalidade de selecionar as estratégias de manutenção e reabilitação em função da condição do pavimento, sua idade e seu volume de tráfego. Em caso das necessidades serem superiores aos recursos disponíveis, um processo de priorização das seções é aplicado. Com o objetivo de validar o programa computacional (SGPUSP/R), foi desenvolvido um projeto piloto composto por 13 seções da malha viária urbana do município de São Carlos-SP, onde um planejamento financeiro e orçamentário durante um período de análise de 4 anos foi realizado.

Palavras-chave: pavimentos urbanos; sistemas de gerência; estratégias de manutenção e reabilitação; priorização de seções.

ABSTRACT

SHOJI, E. S. (2000). *Development of an urban pavements management system program for Brazilian medium-sized cities*. São Carlos, 2000. 175p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work presents an urban pavements management system developed particularly for Brazilian medium-sized cities. It represents a tool to aid the decision making process related to rational allocation of the available budget, providing the maximum extension of safe, comfortable and, mainly, low cost pavements to the users. A simplified expert system was developed aiming the selection of maintenance and rehabilitation strategies in function of pavement condition, age, and diary traffic volume. When the estimated needs are higher than the available budget, a prioritization process is applied to select the sections for maintenance and rehabilitation strategies. For the validation of the computer program (SGPUSP/R), a pilot study composed by 13 sections in the São Carlos City network was developed, and a budget planning during an analysis period of 4 years was performed.

Key-words: urban pavements; management systems; maintenance and rehabilitation strategies; prioritization.

1 - Introdução

O presente trabalho faz parte de um amplo projeto de pesquisa que vem sendo realizado no Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, cujo objetivo é contribuir para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de gerência de pavimentos urbanos para aplicação em cidades brasileiras de médio porte.

Os pavimentos urbanos são bens públicos e representam um patrimônio de elevado valor. No Brasil, infelizmente, devido à ausência de um programa de acompanhamento da evolução da condição desde a sua construção e de um programa rigoroso de conservação e preservação das redes viárias durante toda sua vida útil, os pavimentos têm apresentado elevada taxa de deterioração, que comprometem a segurança, causam desconforto aos usuários e, principalmente, resultam em elevados custos de operação dos veículos.

No Brasil, já chegou o momento da atualização do lema “Governar é abrir estradas”, que predominou durante quase todo o século vinte na administração pública, não somente dos pavimentos rodoviários mas também dos pavimentos urbanos, para “Governar é construir e manter estradas”.

O maior desafio enfrentado pela maioria das prefeituras municipais brasileiras está relacionado aos volumes dos recursos financeiros disponíveis que, na maioria das vezes, são insuficientes para manter a rede em condição acima do

nível mínimo de aceitação pelos usuários. Em geral, as decisões com relação à manutenção dos pavimentos são tomadas conforme a quantidade de serviço produzido, não sendo adotado nenhum critério técnico que considere a qualidade dos mesmos. Dessa forma, segundo essa política de “fazer mais”, os pavimentos têm sido sub-dimensionados e, conseqüentemente, não têm suportado o aumento do volume de tráfego e suas cargas por eixo, resultando em grandes extensões com condição inaceitável.

Apesar de insuficientes, os recursos alocados às atividades de pavimentação são significativos. A elevada porcentagem de pavimentos em condições abaixo do nível mínimo de aceitabilidade é uma indicação clara de que os critérios de aplicação dos recursos têm sido ineficientes.

O processo de gerência de pavimentos não é recente e sempre foi exercido, de alguma forma, desde as primeiras construções viárias. É dever do órgão responsável pelo gerenciamento fornecer pavimentos seguros, confortáveis e econômicos, resultado não só da correção do dimensionamento, construção e manutenção, mas também da avaliação e realimentação do sistema.

Apesar dos avanços tecnológicos e da ampliação das redes viárias com o crescimento das cidades, as decisões com relação à manutenção e reabilitação dos pavimentos urbanos ainda têm sido tomadas apenas com base na experiência de alguns profissionais e, principalmente, nas decisões políticas.

Diante do quadro apresentado, com nítida carência de critérios de decisão técnicos, procura-se, neste trabalho, contribuir para a formalização do processo de gerência de pavimentos urbanos. São desenvolvidas e aperfeiçoadas ferramentas capazes de otimizar a utilização dos recursos financeiros disponíveis nas prefeituras municipais, com maximização das extensões de pavimentos em condições aceitáveis a um custo mínimo.

Neste trabalho é desenvolvido um sistema de gerência de pavimentos urbanos, denominado de SGPUSP/R, especialmente para aplicação em cidades brasileiras de médio porte. Caracteriza-se pela sua flexibilidade aos usuários e, principalmente, pelo uso de um pequeno número de variáveis, visando a redução do tempo e custo com a fase de coleta de dados.

O sistema SGPUSP/R funciona como uma ferramenta para auxiliar os responsáveis no processo de tomada de decisões em relação a alocação racional dos recursos disponíveis a fim de manter uma maior extensão possível de pavimentos em condição aceitável. Basicamente, o sistema auxilia a responder questões como “O QUE”, “ONDE” e “QUANDO” aplicar as estratégias de pavimentos durante um determinado período de análise, permitindo assim que um planejamento financeiro e orçamentário a médio ou longo prazo seja realizado.

Para selecionar as estratégias adequadas de manutenção e reabilitação, um sistema especialista simplificado que considera a condição, a idade e a classificação funcional da seção de pavimento é desenvolvido. O desempenho do pavimento é previsto através de um modelo probabilístico baseado no Processo de Markov, o qual tem sido utilizado com sucesso para tal finalidade por realizar a previsão independentemente de eventos passados. Ainda, em caso das necessidades serem superiores aos recursos disponíveis, um modelo de priorização, baseado em um sistema de gerência de pavimentos urbanos desenvolvido na Universidade do Texas, é acionado a fim de ordenar as seções da rede conforme a urgência de reparo, determinando assim o local e o momento oportuno para realização de uma intervenção.

No capítulo 2 deste trabalho são definidos os sistemas de gerência de pavimentos e suas principais características. Ainda nesse capítulo, alguns sistemas já em utilização em outros países são apresentados resumidamente.

O capítulo seguinte define o desempenho dos pavimentos e apresenta o método probabilístico baseado no Processo de Markov para determinar a sua previsão durante um determinado período de análise. Além disso, são descritos um procedimento para a seleção das estratégias de manutenção e reabilitação e um procedimento para realizar a priorização das seções de uma rede em caso das necessidades para manter a toda a rede em condições aceitáveis serem superiores aos recursos financeiros disponíveis.

O capítulo 4 apresenta o programa computacional SGPUSP/R, desenvolvido no presente trabalho. O capítulo seguinte apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação dos procedimentos propostos em um projeto piloto durante um período de análise de 4 anos.

O sexto e último capítulo, tece os comentários e sugestões para trabalhos futuros. Em anexo, são apresentados os questionários utilizados na fase da coleta de dados e a listagem do programa SGPUSP/R. E, finalmente, são apresentadas as referências bibliográficas e as obras consultadas.

2 – Sistemas de Gerência de Pavimentos

2.1 – INTRODUÇÃO

De todos os investimentos públicos, provavelmente os gastos com a área de transportes sejam os mais elevados. Particularmente nos Estados Unidos, de todos os gastos públicos com rodovias, 40% são investidos diretamente nos pavimentos (FERNANDES JR., 1996). De forma não muito diferente, também o Brasil e muitos outros países têm investido valores bastante elevados na conservação e recuperação de suas redes viárias.

Os pavimentos são estruturas complexas e uma modelação analítica precisa da evolução de sua condição é extremamente complicada, uma vez que seu processo de deterioração depende de variáveis que na maioria das vezes são de difícil quantificação. Na Figura 2.1 é representada a evolução da condição de três trechos distintos de pavimentos com o tempo e/ou volume de tráfego, inicialmente possuindo o mesmo estado de condição. O trecho identificado por P_1 possui condição inferior aos demais trechos. Esses trechos podem diferir-se por diferentes solicitações ambientais, aplicação de diferentes técnicas construtivas ou aplicação de diferentes práticas de manutenção e reabilitação (M&R).

FIGURA 2.1 – Representação da evolução da condição de três trechos distintos de pavimentos

Apesar dos elevados investimentos, sabe-se que uma grande parte das redes de pavimentos encontra-se em estado abaixo do nível mínimo de aceitação pelos usuários no Brasil. É necessária, portanto, uma política regida por critérios rigorosos que realizem a alocação racional desses investimentos de modo a oferecer pavimentos com melhor condição possível.

Conforme definido pela AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAYS AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) em 1986, “a gerência de pavimentos é um processo que direciona efetiva e eficientemente as atividades envolvidas no fornecimento e sustentação dos pavimentos em condições aceitáveis aos usuários, a um mínimo custo possível durante sua vida útil”. Portanto, um mau gerenciamento da rede viária impede um melhor aproveitamento dos recursos, resultando em uma alta porcentagem de pavimentos com má qualidade e, conseqüentemente, causando a elevação dos custos operacionais dos veículos.

Um sistema de gerência de pavimentos (SGP) é uma ferramenta que auxilia o processo de tomada de decisões sobre os investimentos rodoviários. Além ser capaz de catalogar os pavimentos e conhecer suas condições presentes, permite que suas taxas de deterioração sejam avaliadas, possibilitando que condições futuras sejam previstas. Assim, é possível que sejam programadas as estratégias de intervenção necessárias e estimados os custos totais ao longo do tempo.

2.2 – IMPLEMENTAÇÃO DE UM SGP

Resumidamente, dados confiáveis, modelos realísticos para o processamento dos dados e programas de fácil acesso pelos usuários são fatores essenciais para uma implementação de SGP com sucesso e, segundo FERNANDES JR. (1997), recomenda-se que a mesma seja realizada por etapas, como as que se seguem:

- *Decisão de começar*: estudo das potencialidades e carências de pessoal e equipamentos e coleta de informações sobre custos e benefícios dos SGPs;
- *Estabelecimento do grupo de gerência de pavimentos*: geralmente formado por chefes de departamento ou divisões (planejamento, projeto, construção, manutenção, solos e materiais, pesquisa etc.), tem por finalidade desenvolver o escopo e cronograma básicos, definir formas de financiamento e acompanhar a implementação;
- *Estudos preliminares*: com base em revisão bibliográfica e em pesquisas sobre organizações existentes (estrutura administrativa, banco de dados, métodos e procedimentos), pode-se conhecer as principais deficiências dos SGPs em operação e, dessa forma, evitar a repetição dos mesmos erros;
- *Elaboração do plano de trabalho*: é mais indicada a implementação por estágios, sendo que para cada etapa devem ser previstos os resultados produzidos, o treinamento de pessoal, a atualização de documentos (manuais, relatórios, especificações) e a definição de procedimentos para a seleção de programas em nível de rede e de projetos individuais;
- *Operação de rotina do sistema*: o tempo entre o início da implementação e a operação de rotina pode variar entre um e dez anos;
- *Monitorização do sistema e retroalimentação*: os melhoramentos periódicos, decorrentes da monitorização das práticas existentes, são facilitados quando o sistema é projetado de forma modular e seus componentes podem ser alterados mais facilmente. Para uma retroalimentação contínua e criteriosa do sistema, é de interesse uma visão externa à organização, proporcionada por

consultores e pesquisadores que podem, ainda, ajudar na documentação das alterações.

2.3 – COMPONENTES BÁSICOS DE UM SGP

Um SGP consiste de componentes ou subsistemas interligados entre si. A Figura 2.2 apresenta os seis principais componentes básicos de um SGP.

FIGURA 2.2 – Componentes básicos de um SGP (HAAS e HUDSON, 1982)

No subsistema planejamento é envolvida uma avaliação das deficiências ou necessidades no caso de aperfeiçoamento da rede de pavimentos, além de estabelecer prioridades para eliminação ou minimização dessas deficiências e desenvolver um cronograma das atividades necessárias.

O subsistema projeto envolve a coleta e análise dos dados de entrada, a geração e análise de estratégias alternativas para projeto, uma avaliação econômica e um processo de otimização para selecionar a melhor estratégia.

A construção transforma um projeto recomendado em realidade física. Seus principais componentes incluem o detalhamento das especificações e dos documentos do contrato, programação, operações de construção, controle de qualidade e a coleta e o processamento dos dados a serem transmitidos ao banco de dados.

A fase de manutenção inclui o estabelecimento de uma programação às atividades de reparo, o conhecimento das taxas de deterioração e a coleta e o processamento dos dados a serem transmitidos ao banco de dados.

A avaliação do pavimento é a fase do SGP que tem recebido maior atenção nos últimos anos. Inclui o estabelecimento de seções de controle para medir as características dos pavimentos periodicamente, como a capacidade estrutural e a irregularidade longitudinal, e transmitem essas informações ao banco de dados.

O banco de dados foi representado isoladamente para enfatizar seu papel na aquisição dos dados a partir das demais atividades e servir como base de informações para analisar as eficácias. Podem ser desenvolvidos como simples arquivos de dados até sofisticados sistemas computacionais.

A necessidade da pesquisa sobre um dado assunto dentro de um SGP é particular para cada órgão. Suas atividades podem ser iniciadas a partir dos problemas envolvidos durante as fases de planejamento, projeto, construção ou manutenção, podendo utilizar até as informações adquiridas durante a fase de avaliação.

2.4 – BENEFÍCIOS COM O USO DE UM SGP

Dentre os objetivos de um SGP, o principal é obter o melhor resultado possível a partir dos investimentos públicos, fornecendo um sistema de transportes seguro, econômico e confortável. Outros objetivos são aumentar a eficiência do processo de tomada de decisões, fornecer uma retroalimentação dessas decisões e garantir a consistência das mesmas. Ainda, um gerenciamento eficaz deve ser capaz de identificar e avaliar a contribuição dos fatores locais que provocam a deterioração do pavimento.

A aplicação de um SGP formalizado pode produzir grandes benefícios a um órgão, como os citados por NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP, 1987):

- Redução dos custos ao órgão;
- Alocação racional dos recursos financeiros disponíveis;
- Auxílio do órgão em relação ao tratamento com a legislatura;
- Aperfeiçoamento dos processos de priorização;
- Aperfeiçoamento do processo de seleção de projetos;
- Avaliação das estratégias alternativas de reabilitação, através da medição e planejamento dos efeitos produzidos tanto a curto quanto a longo prazo;
- Aperfeiçoamento do processo de coleta de dados;

- Melhoramento da compreensão do sistema a partir de informações recentes e atualizadas, permitindo uma visão geral da rede de pavimentos e possibilitando uma análise dos procedimentos adotados;
- Armazenamento e análise dos dados, permitindo uma avaliação do desempenho dos pavimentos com o tempo;
- Uniformidade, consistência e precisão dos resultados locais periodicamente;
- Melhoramento da comunicação dentro do próprio órgão e entre diferentes departamentos.

Portanto, um SGP formalizado pode responder a questões básicas como:

- A rede encontra-se em condições aceitáveis conforme as exigências?
- Qual é a tendência da rede, sua condição está piorando ou melhorando?
- Há uma reserva nos recursos financeiros disponíveis? Que valor?

Em resumo, um SGP deve explorar e aproveitar as oportunidades para estender a vida útil dos pavimentos, reduzindo ao máximo os investimentos futuros na infra-estrutura. Ou seja, o SGP deve maximizar a eficiência do procedimento de um órgão de atuar na área de preservação da rede de pavimentos.

2.5 – NÍVEIS DE DECISÃO EM UM SGP

O processo de gerência de pavimentos envolve decisões em nível de projeto, respondendo a questões como “quando” o pavimento deve ser reparado e “qual” tipo de reparo deve ser aplicado, e em nível de rede, através da realização de planejamento da programação das atividades de reparo e planejamento financeiro para manter a rede em condição aceitável (COOK e LYTTON, 1987).

Em geral, nas decisões em nível de rede, uma rede de pavimentos é analisada como um todo, enquanto as decisões em nível de projeto estão relacionadas com uma única seção, envolvendo decisões sobre dimensionamento e construção, o que utiliza um maior número de variáveis. As Figuras 2.3 e 2.4, apresentadas pela FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA, 1981) apud NCHRP (1987), mostram os elementos que compõem essas decisões em um SGP.

FIGURA 2.3 – Elementos de um SGP em nível de rede

FIGURA 2.4 – Elementos de um SGP em nível de projeto

2.5.1 – Decisões em Nível de Projeto

O principal elemento no desenvolvimento de um programa de M&R para uma rede viária é o método utilizado para selecionar as atividades de reparo para cada seção do pavimento. Em alguns casos, a atividade é selecionada considerando-se fatores econômicos e financeiros. Em outros, a escolha é feita envolvendo apenas a experiência profissional.

Em nível de projeto, o momento ideal para realização da intervenção é, na maioria das vezes, determinado independentemente do tipo de reparo e, nesse caso, as atividades de reabilitação são selecionadas conforme alguns níveis mínimos pré-determinados. Em outros casos, a determinação do momento ideal e a seleção do tipo de reparo ocorrem simultaneamente. Conforme apresentado por COOK e LYTTON (1987), dois métodos têm sido empregados para auxiliar o processo de tomada de decisões, Método da Programação Dinâmica e Método do Controle do Ótimo.

O Método da Programação Dinâmica é utilizado quando a sequência de aplicação dos reparos é importante, ou seja, como no caso em que o pavimento ocupa diversos estados de condição durante toda a sua vida útil e que para cada estado um ou mais reparos de M&R podem ser aplicados. A vantagem é que este método simplifica um problema complexo em diversos problemas mais simples e, dessa forma, cada um desses problemas mais simples envolve a determinação do tipo mais adequado de reparo para cada estado.

O Método do Controle Ótimo realiza a seleção da atividade de M&R necessária para uma seção e o momento ideal para aplicação da mesma através das combinação entre essas duas variáveis, de forma que os custos envolvidos sejam mínimos. Os autores (BALTA e MARKOW, 1984, apud COOK e LYTTON, 1987) que primeiro propuseram esse método afirmaram que a condição do pavimento e a demanda de usuários são interdependentes, conforme

esquematizado na Figura 2.5. Ou seja, não somente a condição do pavimento é dependente do número de usuários, mas o inverso também é verdade. Ressalta-se que essa afirmação só é válida se existem diversas alternativas que ligam as origens aos destinos.

FIGURA 2.5 – Ilustração do relacionamento entre a condição do pavimento e a demanda de usuários conforme a seleção das atividades de M&R (M: manutenção preventiva; R: reabilitação) (COOK e LYTTON, 1987)

2.5.2 – Decisões em Nível de Rede

Dado que as decisões em nível de rede são direcionadas tanto para o planejamento da programação das estratégias de manutenção como para o planejamento financeiro, conforme mencionado, as variáveis geralmente envolvidas são:

- Momento ideal para realização de um reparo;
- Seleção do tipo de reparo;
- Programação das estratégias conforme a disponibilidade de recursos;
- Seleção da estratégia conforme o desempenho.

Dois métodos são utilizados para modelar os problemas em nível de rede, Priorização e Otimização, descritos resumidamente nos itens que se seguem.

2.5.2.1 – Método de Priorização

O método de priorização é utilizado geralmente no caso em que a escolha da estratégia de reparo e a escolha do momento para aplicação da mesma precedem as considerações orçamentárias. Esse método, em caso dos planejamentos de programação e financeiro em nível de rede é um processo seqüencial, equivalendo a diversas decisões em nível de projeto. Esse método pode ser empregado através de três modelos (COOK e LYTTON, 1987):

- a) *Fixação de um nível mínimo para programação para um único ano:* o momento ideal para aplicação do reparo é determinado quando a condição do pavimento atinge um determinado valor mínimo. Dessa forma, as seções da rede são separadas em dois grupos, as necessitadas de intervenção urgente no ano presente e as que podem ter as intervenções adiadas para o ano seguinte. Definidos os projetos que podem ser reparados no ano seguinte, a última etapa para concluir o programa para o primeiro ano é selecionar os tipos de reparos para as necessidades urgentes segundo um determinado critério. Em resumo, o propósito é decidir quais reparos podem ser adiadas para o próximo ano. Existem vários critérios para realizar a priorização, como a prioridade conforme defeitos, combinação entre os defeitos e o volume de tráfego, custo inicial, valor presente líquido ou prioridade conforme a taxa custo/benefício.

- b) *Fixação de um nível mínimo para um planejamento plurianual*: é uma extensão do modelo anual descrito anteriormente. Equivale a determinar precisamente o momento e o tipo das necessidades futuras. Para tanto, é necessário a determinação da previsão do desempenho. Ou seja, é necessário não somente decidir que seções da via não necessitam ser reparadas urgentemente, mas também é necessário prever quando cada seção vai atingir seu nível mínimo de aceitação.
- c) *Programação plurianual com variação do nível mínimo*: variando-se o nível mínimo, um critério econômico pode ser utilizado na determinação do reparo ou do momento ideal. Ao invés da seleção do momento e a seleção do reparo serem dois estágios distintos no processo sequencial, como ocorre no modelo de nível mínimo fixo, aqui essas duas variáveis são determinadas simultaneamente. A partir do envolvimento de diferentes estratégias e com a priorização das seções, as seções com mais baixos índices que quantificam a condição do pavimento podem não ser os que possuem maiores prioridades. Apenas a transferência de um projeto para o próximo ano pode não ser a melhor alternativa. Se o recurso é insuficiente para a realização de um projeto no ano atual, o momento ideal para a realização do mesmo pode ser em dois anos ou mais. Portanto, quando um projeto é transferido para um ano qualquer, sua prioridade pode não ser a maior, dado que essa prioridade deve ser comparada às prioridades dos outros projetos programados para aquele ano.

2.5.2.2 – Método de Otimização

O método de otimização é aplicado através do emprego de dois modelos, estático e dinâmico (COOK e LYTTON, 1987).

- a) *Modelo Estático*: modelo de programação tipo inteiro ($x_{ij} = 1$ se a estratégia j é aplicável à seção i ; $x_{ij} = 0$ para demais casos), onde o objetivo geral resume-se em maximizar o benefício produzido pela rede sujeito a restrições em relação à disponibilidade de recursos, servir aos usuários com eficiência e restrições em relação à escolha de pelo menos uma estratégia para cada seção de pavimento. Tem-se verificado que a dimensão do problema é importante para a aplicação desse modelo, pois no caso de muitas variáveis, a determinação de soluções exatas é praticamente impossível. Nesse caso, dois processos tem sido adotados: aproximação, utilizada na determinação de uma solução próxima à ótima em caso de planejamentos de programação das atividades de reparos, e agregação ou agrupamento, utilizado em caso de realizar um planejamento financeiro para um grupo de pavimentos, determinando as necessidades para manter toda a rede, ou os vários grupos de pavimentos, em níveis desejados.
- b) *Modelos Dinâmicos*: têm sido utilizados com maior frequência devido aos planejamentos de M&R serem considerados fenômenos dinâmicos. Para a tomada de decisões em nível de rede, o Processo de Markov em conjunto com a Programação Dinâmica tem sido eficiente para realizar o planejamento financeiro e orçamentário, resolvendo questões como “qual é a probabilidade do orçamento proposto manter a rede a um nível desejado?”. A Simulação Monte Carlo também tem sido utilizado na área de gerência de pavimentos, como na análise do impacto causado nos orçamentos com a aplicação de determinadas estratégias.

2.6 – SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

Em relação aos pavimentos rodoviários ou rurais, os pavimentos urbanos apresentam particularidades significativas, principalmente no que se diz respeito ao aspecto de conforto ao rolamento, uma vez que em vias urbanas há

predominância de altos volumes de tráfego, sendo a maior parte constituída por veículos leves, e baixas velocidades, além de caracterizar-se por possuir paradas freqüentes em sinais de trânsito e sofrer interferências de instalações subterrâneas de outras modalidades de infra-estrutura urbana (água, esgoto, telefone, energia elétrica, gás etc.).

Os sistemas de gerência de pavimentos urbanos (SGPUs), embora possuam os mesmos princípios da gerência de pavimentos rodoviários, utilizam, geralmente, a técnica de priorização em caso de seleção de projetos ao invés de otimização e são menos sofisticados, facilitando o entendimento e a utilização por parte dos usuários do sistema. Sempre que possível, utilizam o menor número possível de dados, permitem a adaptação dos modelos de desempenho e possuem fácil acesso aos usuários.

Na implementação de um SGPU, duas etapas destacam-se por sua importância, o inventário das seções e a avaliação da condição do pavimento, ambos definidos nos itens seguintes.

2.6.1 – Inventário

É o processo de coleta e organização dos dados necessários à implementação de um SGP. De forma geral, o inventário de uma rede de pavimentos urbanos contém os seguintes dados:

- Descrição e identificação das seções: nome da rua, localização, tipo de pavimento etc.;
- Características geométricas: comprimento, largura, número de faixas, tipos, espessuras e materiais das camadas, número de recapeamentos etc.;
- Histórico: ano de construção, data e tipo das sucessivas atividades de M&R, respectivos custos etc.;

- Tráfego: capacidade da via, volume de tráfego diário médio, taxa de crescimento, porcentagem de caminhões etc.;
- Condição do pavimento: valor de um índice que quantifique a condição do pavimento.

A Figura 2.6 apresenta um formulário desenvolvido por BERTOLLO (1997) para utilização durante a etapa de coleta dos dados do inventário para o caso de um SGPU.

2.6.2 – Avaliação da Condição dos Pavimentos

No caso de redes de pavimentos urbanos, devido a elevada extensão que apresentam, a condição dos pavimentos pode ser avaliada mediante uma avaliação subjetiva com inspeção visual de dentro de um veículo trafegando a baixa velocidade cobrindo toda a rede ou através de caminhamento nas seções selecionadas por amostragem, ou objetivamente, com medição direta dos defeitos através de equipamentos apropriados. Em geral, a avaliação completa da condição dos pavimentos compreende quatro etapas (FERNANDES JR., 1996):

- a) Avaliação da irregularidade superficial: utilização de perfilômetros, perfilógrafos e equipamentos tipo “resposta”, como o integrador de irregularidade IPR/USP;
- b) Ensaios estruturais: podem ser destrutivos, mediante a avaliação da capacidade de suporte de amostras coletadas ou in situ, ou não-destrutivos, envolvendo a medida de deflexões superficiais causadas por um carregamento conhecido (utilização de viga Benkelman e os deflectômetros de impacto tipo FWD);
- c) Atrito superficial: utilização de equipamentos tipo Mu-Meter e pêndulo britânico;

- d) Levantamento dos defeitos: envolve a identificação dos tipos de defeitos, quantificação da área afetada e determinação da severidade.

Durante os trabalhos da coleta dos defeitos no campo, geralmente surgem dúvidas com relação ao reconhecimento e à forma de medição dos defeitos. Alguns manuais foram desenvolvidos visando a uniformização do processo de identificação dos defeitos, como o CATÁLOGO DOS DEFEITOS DOS REVESTIMENTOS DOS PAVIMENTOS (ARB, 1978), MANUAL DA AASHTO – APÊNDICE K: DEFEITOS TÍPICOS (1986), MANUAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS DE PAVIMENTOS – MID (DOMINGUES, 1993) e o MANUAL DE IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS DOS PAVIMENTOS do THE STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM - SHRP (1989). Este último foi desenvolvido com a colaboração de mais de 20 países, sob a liderança dos Estados Unidos, como um programa estratégico de pesquisa rodoviária para estudos sobre o desempenho de pavimentos a longo prazo. Considera 15 tipos de defeitos em pavimentos flexíveis e oferece, para cada tipo de defeito, a sua descrição, nível de severidade e o método para medição, além de fotos que facilitam a visualização.

Quando há pouca informação histórica sobre um determinado assunto, as técnicas baseadas na intuição de especialistas podem ser úteis. No caso de uma equipe inexperiente de avaliadores, a Técnica de Delphos, caracterizada pelo anonimato, iteração com retroalimentação controlada e resposta estatística, surge como uma alternativa (SAITO e SINHA, 1991). É uma técnica de consenso que utiliza questionários interligados por informações escritas. O desenvolvimento das questões exige atenção especial, pois devem ser claras e refletir a informação desejada pelos tomadores de decisão, pois um simples erro pode modificar todo o processo.

INVENTÁRIO DA REDE PAVIMENTADA URBANA - SGPU	
TÉCNICOS: _____	DATA: _____
<i>IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO</i>	
Código (classe, número e quadra): _____	
Nome da rua: _____	
Marco de início da seção: _____	
Marco de fim da seção: _____	
Tipo de pavimento (Flexível / Rígido): _____	
<i>GEOMETRIA DA SEÇÃO</i>	
Comprimento (m): _____	
Largura total (m): _____	
Número de faixas: _____	
Espessura e materiais das camadas: _____	
<i>HISTÓRICO DA SEÇÃO</i>	
Ano de construção: _____	
Ano da última atividade de reabilitação: _____	
<i>TRÁFEGO</i>	
Tráfego diário médio: _____	
Taxa de crescimento do tráfego (%): _____	
Porcentagem de caminhões: _____	

FIGURA 2.6 – Formulário para coleta dos dados do inventário (BERTOLLO, 1997)

2.7 – EXEMPLOS DE SGPs EM USO

Neste item são apresentados alguns sistemas de trabalho desenvolvidos ou em desenvolvimento em diversos países.

2.7.1 – SGP Desenvolvido em Ohio: Sistema PMS – III

O sistema PMS-III (Pavement Management System – 3th version) trata-se de um SPG para aplicação em nível de rede, sendo desenvolvido e implementado pelo Departamento de Transportes de Ohio (OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, ODOT), que determina as estratégias de M&R e o orçamento anual necessário a cada seção durante um período de 6 anos (MAJIDZADEH et al., 1990). Com base na condição presente e um modelo de previsão determinístico, a condição futura da rede e suas necessidades e respectivos orçamentos são previstos. Dois critérios são adotados para selecionar a estratégia de M&R: a maximização dos benefícios produzidos pelos pavimentos a partir de um determinado investimento anual, ou a minimização dos custos para manter a condição da rede acima de um determinado nível mínimo. O programa é constituído pelos seguintes módulos:

- Condição do pavimento: caracteriza os defeitos do pavimento, a qualidade de rolamento e a segurança do usuário;
- Estratégia de reparo: seleção considerando-se informações sobre a via e os defeitos existentes (tipo, severidade e extensão), o tipo do pavimento e a classe funcional;
- Custo: determinado conforme a estratégia selecionada;
- Previsão do desempenho: inclui modelos de previsão da deterioração do pavimento com o tempo, sendo utilizadas equações em função do volume de tráfego, estrutura do pavimento e características do solo;
- Otimização: identifica a estratégia e o orçamento ótimos a serem alocados;
- Geração de relatórios.

2.7.2 – SGP Desenvolvido na Finlândia

O SGP desenvolvido pela Administração Rodoviária e Hidroviária da Finlândia (ROADWAY AND WATERWAY ADMINISTRATION, RWA), combina um modelo de otimização baseado no Processo de Markov que direciona as questões de reabilitação dos pavimentos e alocação de fundos em nível de rede a um modelo que analisa a prioridade e a programação dos projetos individuais (THOMPSON et al., 1987). A vantagem desse sistema é que o mesmo permite que seja realizada troca de informações entre os módulos para gerência em nível de rede e de projeto, uma vez que os componentes são inclusos dentro de um mesmo menu na estrutura do programa.

Em nível de rede, normas para organizar a seleção e a programação de grupos de projetos são elaboradas. Um programa baseado no Processo de Markov avalia os custos resultantes de algumas estratégias alternativas possíveis para cada grupo de pavimentos e recomenda uma estratégia que minimize os custos totais a longo prazo, dado pela soma entre os custos de construção, manutenção e de operação dos veículos. Consiste de quatro módulos básicos:

- Um modelo probabilístico que descreve a deterioração do pavimento;
- Um modelo do custo operacional dos veículos;
- Um modelo de custo de construção para cada atividade de reabilitação;
- Análise das limitações possíveis em relação ao orçamento.

A partir desses modelos, alguns objetivos são determinados:

- Minimização do custo de gerenciamento;
- Minimização dos custos de gerenciamento e operacional dos veículos;
- Maximização do benefício líquido (redução nos custos operacionais dos veículos);

- Maximização da condição média do pavimento (desenvolvimento de um índice composto em função de variáveis da condição do pavimento).

Enquanto o modelo em nível de rede trata rigorosamente com as implicações econômicas de todos os projetos, o sistema em nível de projeto é utilizado mais subjetivamente, a fim de suportar o uso do julgamento em nível de gerência dentro do conjunto de variáveis não-econômicas que são consideradas nas decisões da programação da alocação dos recursos. A análise em nível de projeto é desempenhada em nível distrital, portanto a rede nacional é dividida em arquivos separados para cada distrito.

Essa parte do sistema fornece fácil acesso à base de dados de projetos e base de dados de operações que podem ser utilizados para analisar determinados projetos e suas relações com os demais. No início de cada ano, ou mais vezes sempre se necessário, os dados do projeto são preparados dentro do esqueleto do banco de dados de Finlândia, e depois recarregados pelo computador.

2.7.3 – SGP Desenvolvido pelo USA - CERL: Sistema PAVER

Com o objetivo de aperfeiçoar as capacidades de previsão e otimização nos SGPs, o USA – CERL (U. S. ARMY CONSTRUCTION ENGINEERING RESEARCH LABORATORY) desenvolveu os sistemas PAVER e Micro PAVER, nos quais a programação dinâmica é empregada em conjunto com o modelo baseado no Processo de Markov para determinar as estratégias de manutenção a mínimo custo durante um determinado período de análise (FEIGHAN et al., 1987). A metodologia utilizada em ambos é descrita a seguir.

a) Modelo de Previsão de Markov

O ICP é dividido em 10 estados, cada estado possuindo um intervalo de 10 pontos. O pavimento é modelado de modo a iniciar sua vida útil na condição próxima à perfeita, e por isso é assumido que todas as seções do pavimento estão no estado 1 (ICP de 90 a 100) no ano inicial 0, e deteriora de acordo com seqüência de ciclos de serviço.

Para modelar a deterioração do pavimento com o tempo, é necessário que a matriz de probabilidades de transição seja determinada e, para tanto, uma simplificação pode ser imposta, como a de que a condição do pavimento não diminua mais que um estado em um único ano, resultando em uma matriz diagonal. A Figura 2.7 apresenta essa matriz, onde a entrada do número 1 na última linha indica o estado último, ou seja, a condição do pavimento não pode diminuir mais que esse estado antes que uma intervenção seja realizada. Nessa figura, $p(1)$ é a probabilidade da seção ter condição 1 em um dado ano e permanecer com a mesma condição no ano seguinte, e $q(1)$ é a probabilidade da seção ter condição 1 em um dado ano e passar para a condição imediatamente inferior no ano seguinte. A Figura 2.8 apresenta as representações de estado, vetor estado e ciclo de serviço do pavimento.

$$P = \begin{bmatrix} p(1) & q(1) & 0 & 0 \\ 0 & p(2) & q(2) & 0 \\ 0 & 0 & p(3) & q(3) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{onde } q(i) = 1 - p(i)$$

FIGURA 2.7 – Exemplo de uma matriz de probabilidades de transição
(FEIGHAN et al., 1987)

FIGURA 2.8 – Representações de estado, vetor estado e ciclo de serviço
(FEIGHAN et al., 1987)

O vetor estado para qualquer ciclo de serviço t , $S(t)$, é obtido multiplicando-se o vetor estado inicial $S(0)$ pela matriz de transição P elevado à potência t , conforme apresentado pela Equação (2.1). Dessa forma, pode-se determinar o vetor estado $S(t)$ em qualquer ciclo de serviço t a partir do estado inicial $S(0)$. Ou seja, a condição futura da rede pode ser prevista para qualquer ano a partir da condição atual.

$$\begin{aligned}
 S(1) &= S(0) * P \\
 S(2) &= S(1) * P = S(0) * P^2 \\
 &\vdots \\
 S(t) &= S(t-1) * P = \dots = S(0) * P^t
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

b) Programação Dinâmica

A programação dinâmica examina várias combinações, rejeitando aquelas que possivelmente não possuam uma solução ótima. Possui a vantagem de utilizar quase todas as técnicas tradicionais de otimização que levam à solução ótima global ao invés de uma solução local.

Resumidamente, o sistema segue o critério de minimizar o custo total durante um determinado período de análise mantendo a condição da rede acima de um nível mínimo de aceitação. A partir da programação dinâmica, é possível obter-se as seguintes informações:

- Alternativas de atividades de manutenção ótima para todas as combinações família/estado em todos os anos;
- Valores dos custos totais originados a partir de um determinado ciclo de vida no caso das decisões ótimas serem aplicadas;
- Eficácia obtida a partir das decisões tomadas em todas as combinações família/estado;
- Taxa eficácia/custo determinada para toda combinação família/estado.

2.7.4 – SGP Desenvolvido no Arizona: Sistema NOS

Um sistema de otimização em nível de rede, inicialmente denominado de NOS (Network Optimization System), tem sido utilizado pelo ADOT (ARIZONA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION) desde 1980, o qual em 1993 foi implementado e denominado AZNOS. É uma ferramenta que auxilia a realização de um planejamento financeiro efetivo para programas de preservação de pavimentos através do uso de uma pequena quantidade de informações, considerando dados apenas sobre a irregularidade longitudinal e as trincas (WANG et al., 1992).

O modelo original de NOS recomendava uma estratégia ótima de reabilitação a longo prazo (estacionário) e outra estratégia ótima de reabilitação a curto prazo (antes de atingir o estado estável) para pavimentos em qualquer condição. Utilizava o Processo de Markov para definir as probabilidades de transição das condições dos pavimentos e um modelo de programação linear para minimizar o custo total de gerência, a fim de manter a rede acima dos padrões mínimos aceitáveis durante alguns anos.

Baseado na experiência no uso e exame da estrutura do NOS, a partir de 1992 foi iniciada uma revisão do programa e o sistema AZNOS foi originado. Novas considerações foram realizadas em relação a irregularidade longitudinal e às trincas e novas matrizes de probabilidades de transição foram estabelecidas de acordo com os dados dos últimos 13 anos existentes.

Um processo mais rigoroso para selecionar as estratégias de M&R foi adotado, pois durante o desenvolvimento do antigo NOS foi percebido que mesmo para intervenções de menor grau era necessário muito tempo para selecionar as estratégias mais adequadas. Os seguintes critérios passaram a ser obedecidos:

1. A manutenção de rotina é praticável para todas os estados de condição;
2. Todas as estratégias são praticáveis para os melhores estados de condição;
3. Mais que uma ação deve ser praticável em cada estado de condição;

O objetivo foi desenvolver e implementar um procedimento direto que recomendasse projetos para o ADOT, uma vez que o sistema NOS não fornecia informações suficientes para selecionar projetos de reabilitação específicos devido ao uso do método de agregação de seções em seu modelo.

2.7.5 – SGPU Desenvolvido no Texas: Sistema URMS

Como resultado de uma ampla pesquisa realizada na Universidade do Texas, um SGPU denominado de URMS (Urban Roadway Management System) foi desenvolvido por Xin Chen, W. R. Hudson e T. E. Dossey. Trata-se de um sistema que fornece aos responsáveis pelos órgãos rodoviários uma ferramenta computacional que auxilia a gerência de pavimentos de maneira eficiente em ambos os níveis em rede e em projeto.

O principal objetivo do URMS, desenvolvido inicialmente para aplicação em cidades de pequeno e médio portes, é gerenciar os pavimentos urbanos de maneira efetiva, sendo que a redução dos custos de operação dos veículos e custos de M&R dos pavimentos são os principais focos. O sistema abrange o planejamento das estratégias de M&R em nível de rede, e o dimensionamento, construção e manutenção dos pavimentos em nível de projeto, conforme apresentado esquematicamente por CHEN et al. (1993) na Figura 2.9. Possui as seguintes características:

- Simplicidade, utilizando um pequeno número de variáveis de fácil coleta;
- Flexibilidade, pois os usuários podem alterar os dados e todos os parâmetros dos modelos;
- Amigável, pois os dados de entrada e saída são organizados por uma interface gráfica.

2.7.5.1 – Planejamento de M&R em Nível de Rede

Compõe-se dos módulos da base de dados, avaliação do pavimento, estratégias de M&R e módulo de emissão de relatórios, conforme a Figura 2.10, e utiliza as seguintes variáveis:

- Índice ICP (derivado de sete tipos de defeitos);
- Idade do pavimento (IDADE);
- Volume de tráfego diário médio (VDM).

FIGURA 2.9 – Estrutura global e diagrama do fluxo de dados no URMS

FIGURA 2.10 – Diagrama do fluxo dos dados na programação de M&R em nível de rede (CHEN et al., 1993)

Os módulos são descritos a seguir.

a) Módulo da Base de Dados

Utiliza 39 tipos de informações de cada seção divididos entre os subsistemas de dimensionamento, construção e manutenção. São classificados em:

- Básicos: código da seção, nome da rua, localização, tipo de pavimento, comprimento e largura da seção, número de faixas de tráfego, ano de construção, ano da última atividade de reabilitação, VDM, taxa de crescimento do tráfego (TxVDM), porcentagem de tráfego pesado e ICP;
- Mapeamento da rua: dados das coordenadas $x - y$;
- Defeitos: porcentagem dos defeitos em termos de sua identificação e severidade.

b) Módulo de Avaliação

Cada seção de pavimento é avaliada conforme seu ICP, IDADE e VDM. Neste caso, o ICP é função do tipo, severidade e densidade dos defeitos:

$$ICP = 100 - \sum_i \sum_j W_{ij} \times D_{ij} \quad (2.2)$$

onde: W_{ij} é o peso, e D_{ij} é a porcentagem da área afetada pelo defeito de tipo i e severidade j .

c) Módulo das Estratégias de M&R

Neste módulo são realizadas a seleção da estratégia de M&R mais adequada a cada seção e um índice de prioridade é determinado. Inicialmente, a cada variável são dados pesos, conforme apresentado na Figura 2.11. A cada seção é selecionada uma estratégia de M&R através de um modelo em forma de árvore de decisão (Figura 2.12), que considera ICP, IDADE e VDM, baseada nos resultados do módulo de avaliação definido anteriormente. Caso o orçamento relativo às estratégias de M&R for maior que o recurso disponível, o modelo de priorização é acionado. A Figura 2.13 apresenta o modelo para determinação do Índice de Prioridade (IP) através da combinação entre duas matrizes (ICP e IDADE, e VDM e CF) e uma equação.

URMS Planning - Edit Model

Page 7-3 Evaluation Criteria

PROGRAM YEAR 1994

Pavement Condition Index (PCI)

	1 Bad	2 Poor	3 Fair	4 Good	5 Excell
PCI	< 40	40 - 60	60 - 80	80 - 90	>= 90

Pavement Age (AGE)

	1 U. Old	2 Old	3 Average	4 New	5 U.New
Flexible	> 25	25 - 20	20 - 15	15 - 5	<= 5
Rigid	> 40	40 - 30	30 - 20	20 - 10	<= 10

Traffic Classification

ADT (<1000)	1 U.Heavy	2 Heavy	3 Medium	4 Light	5 U.Light
1. Mixed	> 4.0	4.0 - 3.0	3.0 - 2.0	2.0 - 1.0	<= 1.0
2. Truck	> 0.4	0.4 - 0.3	0.3 - 0.2	0.2 - 0.1	<= 0.1

Volume/Capacity 1.00 (U/C) Ratio for pavement widening

Sao Carlos, SP

ESC=Exit F2=Save PgUp/PgDn

FIGURA 2.11 – Divisão e intervalos dos índices para avaliação

FIGURA 2.12 – Árvore de decisão para determinar a estratégia de M&R

URMS Planning - Edit Model

Page 7-6 Priority Index

		AGE CODE					STREET CLASS				
		1	2	3	4	5					
PCI	Bad 1	1	2	3	4	5	TRAFFIC (ADT)	U.hvy 1	1	2	3
	Poor 2	6	7	8	9	10		Heavy 2	4	5	6
	Fair 3	11	14	17	19	20		Mediu 3	7	8	9
	Good 4	12	15	18	21	22		Light 4	10	11	12
	Exce 5	13	16	23	24	25		U.lgt 5	13	14	15

PIX = 70 % + 30 %

PIX = Priority Index

Sao Carlos, SP

ESC=Exit F2=Save F9/F10=Select_DataBox PgUp/PgDn

FIGURA 2.13 – Determinação do índice de prioridade

d) Módulo de Emissão de Relatórios

Sete tipos de relatórios são emitidos, sendo quatro do tipo listagem (informações sobre os dados de entrada e saída; estratégias de M&R recomendadas; dados sobre os defeitos dos pavimentos; e coordenadas x - y do mapeamento da rua) e três do tipo síntese (classe funcional da rua e tipo de pavimento; condição do pavimento e avaliação do tráfego; e necessidades de M&R recomendadas).

2.7.5.2 – Planejamento de M&R em Nível de Projeto

a) Subsistema de Dimensionamento

Consiste de quatro módulos (ver esquema da Figura 2.14):

- Base de dados: armazena todas as informações relacionadas ao problema de dimensionamento de pavimentos flexíveis;
- Modelo para dimensionamento da AASHTO: calcula os números estruturais de cada camada nos casos de recapeamento e construção de pavimentos novos;
- Modelo de programação linear: encontra soluções de dimensionamento a mínimos custos para as espessuras das três camadas dos pavimentos flexíveis;
- Módulo de emissão de relatórios: apresenta os dados de entrada e saída.

Inicialmente, esta parte do programa seleciona os materiais a custos mínimos utilizando a taxa do coeficiente da camada, obtida pela multiplicação entre o coeficiente de drenagem e o custo unitário de cada material. Em seguida, o modelo da AASHTO determina o número estrutural do material selecionado para cada camada. A espessura do recapeamento é determinada diretamente. Em caso

de novos pavimentos, adotam-se dois procedimentos: projeto ótimo (determina as espessuras ótimas das três camadas de modo a minimizar o custo total em relação aos materiais de construção) e projeto convencional (usuário dimensiona as camadas: entra com uma ou duas espessuras e o programa calcula as demais).

Uma das características do subsistema de dimensionamento é a possibilidade de importar dados a partir do subsistema de planejamento em nível de rede. As seções necessitadas de reparos são determinadas conforme a base de dados do planejamento em nível de rede para serem utilizadas na base de dados do dimensionamento em nível de projeto.

FIGURA 2.14 – Diagrama do fluxo dos dados no subsistema de dimensionamento (CHEN et al., 1993)

b) Subsistema de Manutenção

O principal objetivo é fornecer uma ajuda ao invés de um produto final ao usuário do URMS, proveniente de um sistema especialista para utilização no caso da manutenção de rotina. Esse sistema visa fornecer aos usuários uma ferramenta baseada na experiência de especialistas para que os próprios usuários construam seus próprios sistemas sem dificuldades.

Considere que um tipo de reparo de um determinado defeito dependa de m variáveis e que cada variável possa ser dividido em n níveis; isso resulta em m^n combinações. Como para cada combinação há mais que um tipo de reparo, então há no mínimo m^n tipos de reparos para cada tipo de defeito a ser definido.

A Figura 2.15 apresenta a hierarquia das variáveis e seus níveis utilizados na definição da estrutura da base de conhecimentos. Cada defeito é um registro no arquivo. Basicamente, um registro é composto de dois vetores: um que armazena as variáveis, seus níveis, e sua descrição, e outro que armazena os tipos de reparo do defeito. Uma árvore de decisão é construída para cada tipo de defeito, dependendo do número de variáveis e número de níveis.

O sistema especialista simplificado foi desenvolvido inicialmente para selecionar os tipos de reparo dos defeitos dos pavimentos, porém pode ser utilizado para a realização da manutenção preventiva e seleção de estratégias de M&R em nível de rede. O processo de construção da base de conhecimentos é simples: primeiro, o usuário define as variáveis e seus níveis, e então especifica o tipo de reparo para cada combinação na árvore de decisão, como apresentado na Figura 2.16. Uma vez que a base de conhecimentos é completa, o sistema especialista está pronto e a consulta pode ser conduzida. Caso exista mais que um tipo de defeito na área, cada tipo deve ser avaliado separadamente e o tipo de reparo adequado a cada tipo de defeito é selecionado.

FIGURA 2.15 – Hierarquia das variáveis da base de conhecimentos
(CHEN et al., 1994)

FIGURA 2.16 – Árvore de decisão para definição dos métodos de reparo

2.7.6 – SGP Desenvolvido em Sendai - Japão

Apresenta-se o SGP desenvolvido em nível de rede pela bolsista, sob orientação do Professor Doutor Tadashi Fukuda, na Universidade de Tohoku, para aplicação em Sendai, cidade de médio porte localizada no litoral nordeste da ilha de Honshu, no Japão. Possui finalidade de planejar e organizar as estratégias de M&R dos pavimentos mediante utilização de um critério de decisão que visa a minimização dos custos totais durante um determinado período de análise. A maximização dos retornos é realizada com a maximização da extensão reparada anualmente, oferecendo aos usuários maior trecho com pavimentos seguros e confortáveis. O programa é constituído de três módulos (ver Figura 2.17):

- Determinação da matriz de probabilidades de transição;
- Determinação dos custos totais considerando-se diferentes extensões para reparo;
- Determinação da distribuição da extensão para reparo ótima.

Para a determinação da evolução da condição dos pavimentos, foi utilizado o Processo de Markov, pois permite prever a condição futura do pavimento a partir de sua condição presente. A matriz de probabilidades de transição, cuja representação geral pode ser vista na Figura 2.18, foi determinada assumindo-se que a condição do pavimento não diminui mais que um estágio de deterioração para outro, além de ser considerado que nenhuma seção apresenta melhoria ao longo do tempo.

Ou seja, $p(1,1)$ representa a probabilidade de uma seção, que se encontra na condição 1 no momento presente, continuar na mesma condição 1 no próximo estágio de deterioração (após Δt), enquanto $p(1,2)$ representa a probabilidade da mesma seção passar para a condição 2.

FIGURA 2.17 – Esquema geral do programa desenvolvido no Japão

$$P = \begin{bmatrix} p(1,1) & p(1,2) & \cdots & p(1,n) \\ p(2,1) & p(2,2) & \cdots & p(2,n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p(n,1) & p(n,2) & \cdots & p(n,n) \end{bmatrix} \quad \text{onde : Soma total de cada linha} = 1.$$

FIGURA 2.18 – Representação geral de uma matriz de probabilidades de transição

Para uma dada seção de pavimento tem-se, no tempo inicial, o seguinte vetor estado:

$$S(0) = [s_1(0) \quad s_2(0) \quad \dots \quad s_n(0)] \quad (2.3)$$

onde $s_i(0)$ é a extensão que se encontra no nível de serventia i no tempo inicial. Da mesma forma, para a obtenção da condição futura da seção tem-se:

$$\begin{aligned} S(1) &= S(0)*P \\ S(2) &= S(1)*P = S(0)*P^2 \\ &\vdots \\ S(m) &= S(m-1)*P = \dots = S(0)*P^m \end{aligned} \quad (2.4)$$

ou seja, a partir da matriz de probabilidades de transição de Markov e da condição atual da superfície do pavimento pode-se prever a condição futura dessa superfície em qualquer período.

A Equação (2.5) mostra a relação entre as parcelas que compõem o custo total (custos de M&R, de gerenciamento e de operação dos veículos) (ANZAKI et al., 1990).

$$CT = \sum_{i=1}^N \sum_{z=1}^{VT} \sum_{m=1}^T \{ [CG_{iz}(m) + CO_{iz}(m)] * L_{iz}(m) + CM(m) * Y_{iz}(m) \} \quad (2.5)$$

onde: i é o índice que indica os níveis de serventia do pavimento; N é o número de níveis; z é o índice que indica a classe do volume de tráfego; VT é o número classes; m é o índice que indica os estágios de deterioração; T é o período de análise; CG é o custo de gerenciamento; CO é o custo de operação dos veículos; CM é o custo unitário de M&R; L é a extensão total da seção e Y é a extensão a ser reparada em cada período.

Restrições podem ser impostas visando a minimização do custo total durante todo o período de análise (KONG e FUKUDA, 1996). Para considerar a limitação do orçamento de reparo, utilizou-se a Equação (2.6), o qual impõe que as necessidades não podem ser superiores aos recursos disponíveis, embora apresente a limitação de não permitir a utilização de excedente em períodos seguintes, caso houver.

$$\sum_{m=1}^T CM(m) * Y_n(m) \leq RD_n \quad (2.6)$$

Logo, RD_n é o valor total dos recursos disponíveis no estágio (ano) de análise n .

Em relação à limitação quanto a aplicação dos recursos disponíveis, a Equação (2.7) mostra a não inclusão de gastos com os trechos em nível de serventia 1, qualquer que seja o volume de tráfego atuante.

$$Y_{1z} = 0,0 \quad (2.7)$$

3 – Previsão do Desempenho dos Pavimentos e Seleção de Estratégias para Reparo

3.1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, significativa importância tem sido direcionada aos processos para determinação da previsão do desempenho dos pavimentos com o tempo, uma vez que sua definição precisa permite que um planejamento da programação das estratégias de M&R e, conseqüentemente, um planejamento financeiro e orçamentário a longo prazo seja realizado.

Neste capítulo, um processo que realiza a seleção das estratégias de M&R a longo prazo em função do desempenho previsto dos pavimentos é apresentado. Para tanto, são apresentados índices que funcionam como um parâmetro para representação da condição de pavimentos urbanos, cuja evolução com o tempo originará seu próprio desempenho. Esse desempenho é determinado a partir da aplicação do Processo de Markov, que tem sido utilizado com sucesso por possuir a vantagem da independência de eventos passados. Para o caso de decisões em nível de rede, são apresentados processos de priorização das seções, uma vez que quase sempre as necessidades são superiores aos recursos disponíveis.

3.2 - ESTABELECIMENTO DE UM ÍNDICE PARA QUANTIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO PARA USO EM SGPUs

A partir da análise dos dados coletados, a gerência de pavimentos possui o objetivo de fornecer informações que garantam a racionalidade do processo de tomada de decisões. Tratando-se de uma rede de pavimentos urbanos, a determinação de um índice que indique sua qualidade é importante para o SGP, possibilitando que um processo de priorização seja aplicado e as seções sejam ordenadas conforme seu grau de prioridade para a realização dos reparos necessários.

Em relação à gerência de pavimentos urbanos, a utilização de muitas variáveis e detalhes específicos não é justificável, diminuindo a velocidade de coleta de dados e elevando os custos, podendo até atrapalhar o tráfego local. Portanto, uma avaliação subjetiva realizada por especialistas mediante inspeção visual envolvendo a identificação do tipo de defeito, sua extensão (frequência de ocorrência ou quantidade de superfície de rolamento sujeita a um determinado tipo de defeito) e severidade (grau de deterioração associado aos vários tipos de defeitos, normalmente classificados em níveis, como por exemplo, baixo, médio e alto) é suficiente (BERTOLLO, 1997). Além disso, a determinação das causas do aparecimento dos defeitos é importante para a definição das estratégias de intervenção e definição das atividades de M&R.

As avaliações subjetivas definem o estado de deterioração dos pavimentos utilizando-se do conceito de serventia, proposto por CAREY e IRICK em 1960 quando do AASHO ROAD TEST (1986). Resumidamente, a serventia é a habilidade de uma seção de pavimento, à época da observação, para servir ao tráfego com alto volume de veículos e altas velocidades. Portanto, pode-se concluir que a serventia é uma medida que varia com o tempo e que pode ser avaliada subjetivamente.

O AASHO ROAD TEST (1986) propôs um método que consiste na composição de uma equipe de avaliadores previamente treinados que atribuem notas ao pavimento existente através da utilização de uma ficha de avaliação, como por exemplo a apresentada na Figura 3.1, que varia de 0 (péssimo) a 5 (ótimo). A média aritmética dessas notas é definida como Valor da Serventia Atual (PSR – Present Serviceability Rating). Para correlacionar o PSR e as medidas obtidas diretamente do levantamento dos defeitos do campo (avaliação objetiva), é definido o Índice de Serventia Atual (PSI – Present Serviceability Index). A norma DNER-PRO 007/94 padroniza os índices PSR e PSI como VSA (Valor de Serventia Atual) e ISA (Índice de Serventia Atual), respectivamente.

ACEITÁVEL?		5		
		4		ÓTIMO
		3		BOM
		2		REGULAR
		1		RUIM
		0		PÉSSIMO
Sim	☐			
Não	☐			
Indeciso	☐			
Identificação da Seção: _____ NOTA: _____ Avaliador: _____ Data: _____ Hora: _____ Veículo: _____				

FIGURA 3.1 – Ficha para avaliação da serventia (BERTOLLO, 1997)

Uma relação entre os valores de VSA e alguns parâmetros indicadores da qualidade da superfície de pavimentos flexíveis foi estabelecida pelo AASHO ROAD TEST (1986), conforme mostra a Equação (3.1). Ressalta-se que essa igualdade só é válida quando as medidas no campo são efetuadas em segmentos de pavimentos que apresentam condições relativamente homogêneas.

$$ISA = VSA = 5,03 - 1,91 * \log(1 + SV) - 1,38 * RD^2 - 0,01 * (C + P)^{1/2} \quad (3.1)$$

Aqui,

SV (*slope variance*): variância das inclinações observadas em trilhas de roda;

RD (*ruth path*): valor médio do afundamento medido nas trilhas de roda;

C (*cracking*): área com presença de trincas;

P (*patching*): área com presença de remendos.

Para os pavimentos urbanos, BERTOLLO (1997) propõe a utilização de um índice com um amplo intervalo de variação como, por exemplo, o índice ICP, que varia de 0 a 100 (onde 100 é melhor estado, referente ao momento de abertura para o tráfego), desenvolvido na década de 1970 pelo UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE) (BALBO, 1997).

Inicialmente, o ICP foi desenvolvido para classificar a condição dos pavimentos de estradas militares, ruas e áreas de estacionamento, portanto, trechos onde os veículos circulam com baixa velocidade. É calculado como função do tipo de defeito (T_i), sua severidade (S_j) e sua extensão (D_{ij}), conforme expressão abaixo:

$$ICP = 100 - \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} \alpha(T_i, S_j, D_{ij}) * F(t, q) \quad (3.2)$$

onde:

α : valor deduzido, dependente das variáveis relativas ao defeito;

i: contador de defeitos;

j: contador dos níveis de severidade;

p: número total de tipos de defeitos do trecho;

m_i : número de níveis de severidade para o i-ésimo tipo de defeito;

$F(t, q)$: função de ajuste para múltiplos defeitos que varia em função da soma de valores deduzidos (t) e do número de deduções (q).

A partir dessa definição básica, outros métodos surgiram para a determinação do índice ICP. Um deles foi proposto por CHEN et al. (1993), que determina o índice ICP conforme Equação (3.3), utilizado no sistema de gerência de pavimentos urbanos denominado de URMS.

$$ICP = 100 - \sum_i \sum_j W_{ij} \times D_{ij} \quad (3.3)$$

onde: W_{ij} é o peso, e D_{ij} é a porcentagem da área afetada pelo defeito de tipo i e severidade j .

Outra forma utilizada para determinar esse índice é dada pela subtração da soma de defeitos a partir do seu valor máximo (100). A Figura 3.2 apresenta a planilha utilizada pela Empresa Municipal para o Desenvolvimento de Franca, EMDEF, localizado no interior do estado de São Paulo, para facilitar o registro dos dados do levantamento de campo que é feito através de caminhamento pelas seções. Essa planilha foi adaptada a partir da planilha desenvolvida pelo INSTITUTO DO ASFALTO (1989), durante o convênio entre o Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC – USP) e a EMDEF, baseada nos defeitos observados em cidades de médio porte como Franca.

3.3 – PREVISÃO DO DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

Um pavimento inicia sua vida em serviço próxima da condição perfeita. Com a abertura ao tráfego, o pavimento fica exposto a diversas solicitações que causam sua deterioração. O desempenho é um termo geral que descreve essa alteração da condição do pavimento com seu uso, acumulada através do tempo. Pode ser definido como a habilidade de um pavimento de servir satisfatoriamente ao tráfego durante um período de análise.

Diversos fatores como a qualidade de construção, os materiais utilizados, as cargas do tráfego, o meio ambiente (temperatura, umidade, tipo de solo etc.) e o dimensionamento estrutural influenciam no desempenho do pavimento. As estratégias de M&R também possuem papel importante nas curvas do desempenho e são mostradas nas Figuras 3.3 e 3.4.

**PLANILHA PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS - EMDEF
FRANCA - SP**

DATA: _____ SEÇÃO Nº- /

BAIRRO: _____
 RUA: _____
 TRECHO: _____

EXTENSÃO: _____ LARGURA: _____
 TIPO DE PAVIMENTO: _____

DEFEITOS	AVALIAÇÃO
TRINCAS POR FADIGA	0 - 20
DEFORMAÇÃO PERMANENTE NAS TRILHAS DE RODA	0 - 10
CORRUGAÇÃO / COSTELA	0 - 05
DESGASTE E FALHA de EXECUÇÃO (falha de bico - rabo de gato)	0 - 15
BURACOS	0 - 10
REMENDOS	0 - 20
EXSUDAÇÃO	0 - 05
QUALIDADE DE ROLAMENTO (VEÍCULO) / TREPIDAÇÃO	0 - 15

SOMA DOS DEFEITOS : _____

ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO:

ICP = 100 - (SOMA DOS DEFEITOS)

ICP = _____

AVALIAÇÃO SUBJETIVA

0 A 100% = _____

OBSERVAÇÃO:

FIGURA 3.2 – Planilha utilizada no município de Franca para determinação do ICP

Modelar o desempenho do pavimento é uma atividade essencial de um SGP. A previsão do desempenho permite que um planejamento financeiro e orçamentário e/ou o dimensionamento do pavimento e a análise econômica durante toda sua vida útil sejam realizados.

Um método de previsão é uma descrição matemática dos valores esperados de uma determinada variável. No caso dos pavimentos, essa variável pode ser representada por um índice que represente sua condição, como o índice de serventia (IS) ou o índice ICP. Esses modelos de previsão podem ser determinísticos ou estocásticos. No caso do pavimento, intuitivamente a evolução do seu desempenho pode ser considerado como um processo estocástico, pois é um fenômeno que varia, em algum grau, de forma imprevisível com o tempo.

FIGURA 3.3 – Efeito da manutenção no desempenho do pavimento (AASHTO e FHWA (1985) apud NCHRP (1987))

FIGURA 3.4 – Efeito da reabilitação no desempenho do pavimento (AASHTO e FHWA (1985) apud NCHRP (1987))

Portanto, como a taxa de deterioração do pavimento é incerta, essa incerteza requer o uso de técnicas probabilísticas, ou seja, os modelos baseados em probabilidades. Essa natureza dos pavimentos requer o uso de modelos de previsão baseados em probabilidades, como o Processo de Markov, que vem sendo utilizado com sucesso, permitindo que a condição futura seja estimada a partir da condição presente na qual estão embutidas as condições passadas, mediante a determinação de uma matriz de probabilidades de transição.

KULKARNI (1984) apud BUTT et al. (1987) citou em seu trabalho algumas vantagens obtidas com a aplicação do Processo de Markov na gerência de pavimentos:

- Decisões futuras com relação às atividades de preservação não são fixas, mas dependem da previsão do desempenho dos pavimentos;
- As necessidades do momento presente podem ser identificadas; também, as necessidades futuras podem ser previstas com alto grau de probabilidade;
- Possibilidade de estimar proporções de pavimentos existentes em determinados estados de condição a partir das proporções atuais observadas no campo, e dessa forma alguns defeitos podem ser identificados;
- Um modelo de decisão dinâmica pode diminuir os custos com os reparos selecionando-se atividades de reabilitação de menor grau que satisfaçam razoavelmente as necessidades conforme a previsão do desempenho dos pavimentos.

Em 1980, o Processo de Markov em conjunto com a programação linear foi utilizado pela primeira vez para prever o desempenho dos pavimentos pela empresa de consultoria Woodward-Clyde ao desenvolver um sistema de otimização em nível de rede para a agência ADOT. Em 1992, esse mesmo sistema foi implementado por WANG et al. (1992), dando origem ao sistema AZNOS. Com o sucesso obtido dessa combinação, novos sistemas foram desenvolvidos, como o sistema PAVER (FEIGHAN et al., 1987) e um outro sistema desenvolvido e utilizado na Finlândia (THOMSON et al., 1987). Pode-se concluir que essa combinação produz estratégias ótimas de M&R para determinadas seções de forma simples e eficiente.

Basicamente já definida nos SGPs mencionados anteriormente, a probabilidade de transição é a probabilidade da condição alterar de um estado a outro em um período de tempo. No Processo de Markov, para a modelação da deterioração do pavimento através do tempo, uma matriz de probabilidades de transição da

condição, denominada de Matriz de Probabilidades de Transição de Markov, é estabelecida. Para determinar essa matriz, representada por P e mostrada na Figura 2.18, dois processos podem ser utilizados:

- *Empírico*: utilizado no caso da agência possuir dados históricos arquivados. A partir de dados sobre a condição obtidos através de avaliações periódicas, a idade do pavimento e sua classificação funcional, pode-se determinar a condição futura através de equações matemáticas, como o trabalho desenvolvido por ZERBINI, em 1999. Em seu trabalho, ZERBINI desenvolveu seis matrizes, diferenciando-as em termos da seção sofrer ou não algum tipo de intervenção e para três tipos de classes funcionais: arterial, coletora ou local;
- *Subjetivo*: utilizado no caso da agência não possuir dados históricos. Especialistas julgam sobre a condição presente do pavimento e sua condição provável para daqui a um ano, caso não seja realizada nenhum tipo de reparo; a partir daí, as probabilidades são determinadas através de cálculos matemáticos.

É importante ressaltar que, no caso do segundo processo, os especialistas devem ter experiência suficiente para julgar a respeito da condição futura do pavimento. Julgamentos incertos podem gerar resultados inesperados e muito distante da realidade. Através deste processo, a determinação das probabilidades de transição é simples: seja S_t o vetor estado para um ciclo de serviço t . S_t é obtido multiplicando-se o vetor estado inicial S_0 pela matriz de transição P elevado à potência t .

$$\begin{aligned} S_1 &= S_0 * P \\ S_2 &= S_1 * P = S_0 * P^2 \end{aligned}$$

$$S_t = S_{(t-1)} * P = \dots = S_0 * P^t \quad (3.4)$$

Quando tem-se dados de dois anos consecutivos, ou seja, $[t = 1]$ e $[(t - 1) = 0]$, a matriz de transição P é determinada como se segue.

$$S_1 = S_0 * P \quad (3.5)$$

$$[S_1(1) \ S_1(2) \ S_1(3) \ S_1(4) \ S_1(5)] = [S_0(1) \ S_0(2) \ S_0(3) \ S_0(4) \ S_0(5)] * \begin{bmatrix} p(1,1) & p(1,2) & p(1,3) & p(1,4) & p(1,5) \\ p(2,1) & p(2,2) & p(2,3) & p(2,4) & p(2,5) \\ p(3,1) & p(3,2) & p(3,3) & p(3,4) & p(3,5) \\ p(4,1) & p(4,2) & p(4,3) & p(4,4) & p(4,5) \\ p(5,1) & p(5,2) & p(5,3) & p(5,4) & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Para determinar a matriz de transição P , pode-se realizar algumas simplificações, como a de que a condição do pavimento não apresenta melhoria ao longo do tempo. Dessa forma, a matriz P tem os valores do triângulo inferior esquerdo iguais a zero. Além disso, tem sido considerado que a condição do pavimento possui duas alternativas para o ano seguinte, ou sua condição permanece a mesma ou sua condição diminui para o imediatamente inferior. Nesse caso, as probabilidades podem ser determinadas conforme as Equações (3.8) e (3.9), e a matriz P resulta em uma matriz diagonal (Equação 3.7).

$$[S_1(1) \ S_1(2) \ S_1(3) \ S_1(4) \ S_1(5)] = [S_0(1) \ S_0(2) \ S_0(3) \ S_0(4) \ S_0(5)] * \begin{bmatrix} p(1,1) & p(1,2) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p(2,2) & p(2,3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p(3,3) & p(3,4) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p(4,4) & p(4,5) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\begin{cases} \text{Para } i = 1, 4 \Rightarrow p(i, i+1) = 1 - p(i, i) \\ \text{Para } i = 2, 3 \Rightarrow p(i, i) = \frac{S_1(i) - S_0(i-1) * p(i-1, i)}{S_0(i)} \end{cases} \quad (3.8)$$

Ou seja:

$$\begin{aligned}
 p(1,1) &= S_1(1)/S_0(1) \\
 p(1,2) &= 1 - p(1,1) \\
 p(2,2) &= \frac{S_1(2) - S_0(1) * p(1,2)}{S_0(2)} \\
 p(2,3) &= 1 - p(2,2) \\
 p(3,3) &= \frac{S_1(3) - S_0(2) * p(2,3)}{S_0(3)} \\
 p(3,4) &= 1 - p(3,3) \\
 p(4,4) &= \frac{S_1(4) - S_0(3) * p(3,4)}{S_0(4)} \\
 p(4,5) &= 1 - p(4,4) \\
 p(5,5) &= 1
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Seguindo esse raciocínio, durante o período em que a bolsista esteve no Japão como aluna pesquisadora, desenvolveu-se o SGP para uso em nível de rede, descrito no item 2.7.6 deste relatório. Nesse sistema, é possível determinar matrizes a partir de dados passados distantes em até 3 anos. Ou seja, com dados do ano (t) e ($t+3$), é possível determinar a matriz de probabilidades de transição. Foi utilizado o índice de serventia (IS, cuja variação é de 0 a 5), sendo dividido em apenas três estados:

- *Bom*: IS = 3,6 a 5,0;
- *Regular*: IS = 2,6 a 3,5;
- *Ruim*: IS = 0 a 2,5.

As probabilidades de transição são determinadas conforme equações abaixo:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= S_0 * P \\
 S_2 &= S_1 * P = S_0 * P^2 \\
 S_3 &= S_2 * P = S_0 * P^3
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

$$[S_3(1) \ S_3(2) \ S_3(3)] = [S_0(1) \ S_0(1) \ S_0(1)] * \begin{bmatrix} p(1,1) & p(1,2) & 0 \\ 0 & p(2,1) & p(2,2) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^3 \quad (3.11)$$

Para aplicação real do programa, um trecho com 11,6 km de extensão (4 faixas de tráfego) da cidade de Sendai foi selecionado como o objeto de estudo. Dada a pequena extensão do trecho, foram considerados constantes os seguintes fatores: ano de construção, características físicas do pavimento e VDM. A Tabela 3.1 apresenta o resultado das avaliações subjetivas realizadas nos anos de 1992 e 1995.

TABELA 3.1 – Resultado das avaliações subjetivas da condição da superfície do trecho piloto nos anos de 1992 e 1995

NÍVEL DE SERVENTIA	EXTENSÕES				CLASSIFICAÇÃO
	1992		1995		
	metros	%	metros	%	
1	2.000	17,24	200	1,72	Bom
2	8.100	69,83	5.800	50,00	Regular
3	1.500	12,93	5.600	48,28	Ruim

A Equação (3.12) apresenta a matriz de probabilidades de transição de Markov obtida a partir dos dados da Tabela 3.1.

$$P = \begin{bmatrix} 0,4642 & 0,5358 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,7904 & 0,2096 \\ 0,0000 & 0,0000 & 1,0000 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Após a determinação dessa matriz, através do critério de minimização dos custos totais, o programa determina uma extensão ótima para reparo anual. A Figura 3.6 apresenta o desempenho do pavimento considerando todas as seções na melhor condição na data inicial durante um período de análise de 10 anos. A extensão ótima para reparo anual encontrada nessa análise foi de 1.200m/ano. Comparando-se os dois gráficos apresentados na Figura 3.6, pode-se concluir que a condição da rede diminui de forma acelerada caso não sejam realizados nenhum tipo de intervenção durante todo o período de análise.

FIGURA 3.5 – Representação do desempenho dos pavimentos durante um período de análise de 10 anos, considerando-se todas as seções em boa condição na data inicial. À esquerda, com realização de reparos anuais em uma extensão igual a extensão ótima. À direita, “não fazer nada”

3.4 – SELEÇÃO DAS ESTRATÉGIAS PARA REPARO

Uma atividade de manutenção é definida como qualquer reparo realizado após a construção do pavimento, tendo como objetivo a preservação do período de projeto do pavimento. Uma atividade de reabilitação é definida como qualquer

restauração que conduza a condição do pavimento para cumprir sua função original, objetivando o prolongamento da vida em serviço do pavimento. Uma estratégia de M&R é definida como um conjunto de atividades e decisões para reparo.

Para uma dada condição do pavimento, quase sempre existe mais que uma estratégia possível para aplicação. A seleção da estratégia mais adequada depende dos critérios adotados. Nas cidades brasileiras de médio porte, por exemplo, quase sempre o critério adotado é o baseado no custo de aplicação da estratégia.

Para a seleção de uma estratégia ou atividade de M&R na área de pavimentação, diversos níveis de diversas variáveis são envolvidas. No programa URMS apresentado no capítulo anterior, a seleção das estratégias é realizada com base na teoria da decisão, que refere-se ao processo de se fazer uma escolha a partir de várias alternativas possíveis. Baseado na experiência dos especialistas, árvores de decisão foram desenvolvidas, em função do ICP, idade (IDADE) e volume de tráfego diário médio (VDM) atuante no pavimento, a fim de selecionar a estratégia definitiva. A árvore de decisão utilizada para selecionar as estratégias de M&R para os pavimentos flexíveis foi apresentada na Figura 2.12.

No URMS, a árvore de decisão foi desenvolvida com base em um sistema especialista, programa muito utilizado na área da inteligência artificial. Um sistema especialista é definido como uma ferramenta baseada na interação com um computador que soluciona problemas de difícil decisão a partir do conhecimento adquirido a partir de especialistas humanos. A principal diferença quando comparado aos programas convencionais é a ausência de um algoritmo explícito, pois o próprio processador do conhecimento determina “quando”, “onde” e “como” aplicar cada decisão. Em geral, os sistemas especialistas têm sido desenvolvidos como programas independentes do programa principal. No caso da área de gerência de pavimentos, os sistemas especialistas têm sido

adaptados a um SGP existente através de interfaces de forma que o novo sistema torne-se mais eficiente e amigável quanto possível (LEE e GALDIERO, 1989). A Figura 3.6 apresenta a relação entre os principais componentes de um sistema especialista.

FIGURA 3.6 - Arquitetura básica de um sistema especialista
(RITCHIE et al., 1986)

O sistema especialista é geralmente construído no módulo base do conhecimento, que contém a representação formal da informação fornecida pelo especialista humano. Devido aos especialistas tenderem a pensar ao longo de “condição → ação ou situação → linhas de conclusão”, as regras “SE – ENTÃO” (“IF – THEN”) constituem a forma mais utilizada para codificar o conhecimento nos sistemas especialistas:

$$\begin{array}{ll} \text{SE} & a_1, a_2, \dots, a_n \\ \text{ENTÃO} & b_1, b_2, \dots, b_m \end{array}$$

onde cada a_i é uma condição ou situação, e cada b_i é uma ação ou uma conclusão.

A seguir, as atividades para reparo mais usualmente consideradas nas análises de estratégias são apresentadas. Antes, porém, a fim de evitar equívocos em relação à nomenclatura utilizada, conceitos gerais dos termos empregados na área de manutenção dos pavimentos asfálticos serão transcritos a partir do trabalho apresentado por BALBO (1997):

- *Reforço: camada de reforço ou recapeamento*: nova camada de rolamento aplicada sobre um pavimento, apresentando função estrutural, capaz de suportar dado volume de tráfego preestabelecido;
- *Fresagem*: trata-se do processo de remoção de uma ou mais camadas do pavimento empregando equipamento que desagrega o material existente para uma dada matriz granulométrica;
- *Reciclagem*: processo de recuperação de um material existente cujas funções estão comprometidas para seu emprego com ou sem adição de outros materiais;
- *Camada de alívio*: trata-se de camada interposta entre o revestimento antigo e o reforço cujo objetivo final é a minimização da propagação de trincas do revestimento antigo para o reforço, dada sua capacidade de absorção de níveis de tensão exagerados em zonas com fissuras;
- *Pintura de ligação*: pequena camada de emulsão asfáltica lançada sobre a superfície existente para garantir a aderência entre a mesma e a camada de mistura asfáltica superior;
- *Imprimação*: espargimento de material asfáltico diluído sobre uma superfície que, após penetração na parte superior da mesma, concede-lhe características de impermeabilidade;
- *Selagem*: aplicação de material asfáltico em estado líquido em aberturas existentes no revestimento asfáltico com a finalidade de evitar a infiltração de água;
- *Agulhamento*: aplicação de agregados miúdos sobre uma superfície asfáltica que, por meio de compactação, ficará ligado ou cravado à mesma;

- *Banho ou capa selante*: aplicação de emulsão asfáltica seguida de lançamento de agregado miúdo que age como um rejuvenescedor da superfície do pavimento além de selar as fendas eventualmente presentes;
- *Remendo superficial*: remendo realizado através da reposição do revestimento (mistura asfáltica), executado através de requadramento do defeito existente ou ainda simplesmente aplicação de massa asfáltica sobre o revestimento existente de modo localizado;
- *Remendo profundo*: remendo realizado através da reposição do revestimento (mistura asfáltica) e de uma ou mais camadas inferiores, executado através de requadramento do defeito existente;
- *Tapa-buraco*: serviço que consiste no lançamento de mistura asfáltica, com protuberância presente na superfície, sem requadramento do defeito e menor controle de execução;
- *Enchimento*: é o complemento com mistura asfáltica de uma área, com finalidade de nivelamento da superfície no local, portanto, sem função estrutural;
- *Pano asfáltico*: aplicação de mistura asfáltica fina (agregados com diâmetro inferior a 9,5 mm) sob uma área pequena, funcionando como um reparo exclusivamente superficial, sem a remoção de material do revestimento existente (reporte-se a remendos).

A Tabela 3.2, apresentada por FERNANDES JR. et al. (1999), descreve as atividades para reparo normalmente consideradas nas análises de estratégias.

Desenvolvido pelo Departamento de Transportes da Universidade Case Western Reserve University com o propósito de fornecer recomendações e decisões sobre o cronograma e o planejamento orçamentário considerando-se diferentes níveis de reparo em uma rede de pavimentos, o programa computacional PMSC (Pavement Management System for Small Communities) realiza uma análise de estratégias e seleciona as atividades para reparo necessárias (TAVAKOLI et al.,

1992). A Tabela 3.3 apresenta as atividades consideradas nas estratégias de intervenção do programa.

O Manual de Identificação de Defeitos da SHRP (1993) também recomenda algumas atividades de M&R em função do tipo de defeito, conforme pode ser visto na Tabela 3.4, onde são apresentadas, ainda, as causas e os níveis de severidade de cada tipo de defeito.

TABELA 3.2 – Atividades para reparo normalmente consideradas nas análises de estratégias (FERNANDES JR. et al., 1999)

ESTRATÉGIA	ATIVIDADES	OBSERVAÇÃO
MANUTENÇÃO CORRETIVA (OU DE ROTINA)	<ul style="list-style-type: none"> ● Remendos superficiais ● Reparos localizados ● Impermeabilização de trincas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Melhor investimento para vias em boas condições
MANUTENÇÃO PREVENTIVA	<ul style="list-style-type: none"> ● Atividades de manutenção corretiva ● Rejuvenescimento da capa ● Recapeamentos delgados 	<ul style="list-style-type: none"> ● Objetivo de conter a deterioração ainda no estágio inicial
AÇÃO POSTERGADA	<ul style="list-style-type: none"> ● Remendos inadiáveis 	<ul style="list-style-type: none"> ● Indicada para condição necessitada de atividade intermediária entre manutenção e reabilitação
REFORÇO	<ul style="list-style-type: none"> ● Atividades de manutenção de rotina e preventiva ● Recapeamento estrutural ● Reciclagem 	<ul style="list-style-type: none"> ● Realização de priorização das seções
RECONSTRUÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> ● Remoção e substituição de toda estrutura ● Melhoramentos em relação ao traçado, segurança e capacidade do tráfego 	<ul style="list-style-type: none"> ● Realização de priorização das seções

TABELA 3.3 – Atividades de M&R consideradas no programa PMSC
(TAVAKOLI et al., 1992)

ESTRATÉGIA	ATIVIDADES
A1. NÃO FAZER NADA	
A. MANUTENÇÃO DE ROTINA	<ul style="list-style-type: none"> ● Selagem de trincas ● Remendos ● Reparos locais ● Atividades da estratégia C quando necessárias
B. MANUTENÇÃO PREVENTIVA	<ul style="list-style-type: none"> ● Atividades das estratégias A e C quando necessárias ● Impermeabilização da superfície ● Recapeamento delgado
C. AÇÃO POSTERGADA	<ul style="list-style-type: none"> ● Remendos de alta severidade em casos de placas, corrugações e deformações permanentes
D. REABILITAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> ● Atividades das estratégias A, B e C quando necessárias ● Remoção de parte da superfície se necessário ● Recapeamento espesso
E. RECONSTRUÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> ● Atividades da estratégia D quando necessárias ● Remoção de toda estrutura do pavimento ● Melhoramentos em termos de geometria, segurança e tráfego

3.5 – PRIORIZAÇÃO DAS SEÇÕES

Na decisão em nível de rede, no caso de uma análise a longo prazo, não somente o tipo de estratégia é importante, mas a definição de “quando” e “onde” aplicar também são essenciais. Por exemplo, a aplicação antes do momento ideal ou em seções com menor prioridade pode impedir investimentos com maior rentabilidade em outras melhorias. E um atraso pode produzir graves danos à estrutura do pavimento, elevando tanto os custos operacionais quanto à própria agência.

TABELA 3.4 – Identificação dos defeitos nos pavimentos (SHRP (1993) apud FERNANDES JR. et al., 1999)

TIPO DE DEFEITO	CAUSAS	NÍVEIS DE SEVERIDADE	ATIVIDADES DE M&R
1. TRINCAS POR FADIGA	<ul style="list-style-type: none"> ● Problema estrutural (espessuras inadequadas) ● Enfraquecimento estrutural durante o período de chuvas 	<ul style="list-style-type: none"> ● BAIXA: poucas trincas conectadas, sem erosão nos bordos e sem evidência de bombeamento ● MÉDIA: trincas conectadas e bordos levemente erodidos, mas sem evidência de bombeamento ● ALTA: trincas erodidos nos bordos, movimentação dos blocos quando submetidos ao tráfego e com evidências de bombeamento 	<ul style="list-style-type: none"> ● Manutenção: remendos, tratamento superficial e lama asfáltica ● Reabilitação: recapeamento ● Reconstrução: materiais novos ou reciclados
2. TRINCAS EM BLOCO	<ul style="list-style-type: none"> ● Contração de origem térmica, variação do teor de umidade ou em razão do envelhecimento ● Contração de bases tratadas com cimento ou solos tropicais 	<ul style="list-style-type: none"> ● BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições ● MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa ● ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<ul style="list-style-type: none"> ● Manutenção: aplicação de selante (emulsão asfáltica seguida por tratamento superficial, lama asfáltica ou recapeamento delgado) ● Reabilitação: reciclagem ou recapeamento
3. TRINCAS LATERAIS	<ul style="list-style-type: none"> ● Compactação insuficiente ● Drenagem deficiente 	<ul style="list-style-type: none"> ● BAIXA: sem perda de material ou despedaçamento ● MÉDIA: perda de material e despedaçamento em até 10% da extensão afetada ● ALTA: perda de material e despedaçamento em mais de 10% da extensão afetada 	<ul style="list-style-type: none"> ● Manutenção: selante para evitar entrada de água
4. TRINCAS LONGITUDINAIS	<ul style="list-style-type: none"> ● Juntas longitudinais entre as faixas de tráfego mal executado ● Contração do revestimento 	<ul style="list-style-type: none"> ● BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições ● MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa ● ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas com abertura média inferior a 19 mm com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<ul style="list-style-type: none"> ● Manutenção: trincas com abertura de 3 a 20 mm devem ser limpas, com aplicação de selante e lançamento de areia sobre o selante ● Reabilitação: trincas com abertura maior que 20 mm devem ser reparadas com remendo ou preenchidas com concreto asfáltico de granulometria fina

TABELA 3.4 – Identificação dos defeitos nos pavimentos (continuação)

TIPO DE DEFEITO	CAUSAS	NÍVEIS DE SEVERIDADE	ATIVIDADES DE M&R
5. TRINCAS POR REFLEXÃO	<ul style="list-style-type: none"> Movimentação de placas rígidas (pavimento rígido, bases tratadas com cimento ou cal, bases de solos arenosos finos lateríticos) 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção: remendos, tratamento superficial e lama asfáltica Reabilitação: recapeamento
6. TRINCAS TRANSVERSAIS	<ul style="list-style-type: none"> Contração térmica do revestimento e hidráulica das outras camadas 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<ul style="list-style-type: none"> Selante para evitar entrada de água
7. REMENDOS		<ul style="list-style-type: none"> Função da severidade dos defeitos apresentados pelo remendo 	<ul style="list-style-type: none"> “Tapa-buraco”
8. PANELAS	<ul style="list-style-type: none"> Falha estrutural (revestimento com pequena espessura ou baixa capacidade de suporte das camadas inferiores) Dosagem da mistura (falta de ligante asfáltico) Problema construtivo (drenagem inadequada) 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: profundidade menor que 25 mm MÉDIA: profundidade entre 25 e 50 mm ALTA: profundidade superior a 50 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção: remendos (reparo permanente) Reabilitação: recapeamento após a execução de remendos
9. DEFORMAÇÃO PERMANENTE NAS TRILHAS DAS RODAS	<ul style="list-style-type: none"> Dimensionamento inadequado (espessuras insuficientes) Dosagem da mistura (falta de estabilidade, resultado em deformação plástica em razão de elevado teor de ligante, excesso de material de preenchimento e uso de agregados arredondados) Compactação inadequada e posterior consolidação pelas cargas do tráfego Cisalhamento causada por enfraquecimento devido a infiltração de água 	<ul style="list-style-type: none"> Substituídos pelas medições da deformação permanente a cada 15 m 	<ul style="list-style-type: none"> Reabilitação: reciclagem e recapeamento delgado ou espesso Reconstrução: materiais novos ou reciclados

TABELA 3.4 – Identificação dos defeitos nos pavimentos (continuação)

TIPO DE DEFEITO	CAUSAS	NÍVEIS DE SEVERIDADE	ATIVIDADES DE M&R
10. CORRUGAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Movimentação de placas rígidas (pavimento rígido, bases tratadas com cimento ou cal, bases de solos arenosos finos lateríticos) 	<ul style="list-style-type: none"> Associados aos efeitos sobre a qualidade de rolamento 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção: remendos, tratamento superficial e lama asfáltica Reabilitação: recapeamento
11. EXSUDAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Excesso de ligante betuminoso Baixo índice de vazios da mistura asfáltica Compactação pelo tráfego (má dosagem) 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: mudanças de coloração em relação ao restante do pavimento devido ao excesso de asfalto MÉDIA: perda de textura superficial ALTA: aparência brilhante; marcas de pneus evidentes em tempo quente; agregados cobertos pelo asfalto 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção: tratamento superficial ou aplicação de areia quente, devendo ser compactado imediatamente e varrida após o resfriamento Reabilitação: reciclagem
12. AGREGADOS POLIDOS	<ul style="list-style-type: none"> Ação abrasiva do tráfego, eliminando as asperezas e angularidades das partículas Dosagem da mistura 	<ul style="list-style-type: none"> Níveis de polimento podem ser associados à redução no coeficiente de atrito pneu-pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção: tratamento superficial ou lama asfáltica Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado Reconstrução: materiais novos ou reciclados
13. DESGASTE	<ul style="list-style-type: none"> Dosagem da mistura (falta de ligante) Problema construtivo Perda de adesividade ligante-agregado por ação de produtos químicos, água ou abrasão Abertura ao tráfego antes que o ligante tivesse aderido ao agregado Execução em condições meteorológicas desfavoráveis 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: início do desgaste com perda de agregados miúdos MÉDIA: textura superficial torna-se áspera, com perda de agregados graúdos ALTA: textura superficial muito áspera com perda de agregados graúdos 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção: capa selante, tratamento superficial ou lama asfáltica Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado
14. DESNÍVEL (DEGRAU) ENTRE PISTA E ACOSTAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Erosão do acostamento Consolidação do acostamento 	<ul style="list-style-type: none"> Substituídos pelas medições do desnível 	<ul style="list-style-type: none"> Recomposição do acostamento
15. BOMBEAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Existência de água nos vazios sob o revestimento Pressão exercida pelas cargas do tráfego 	<ul style="list-style-type: none"> Não aplicáveis porque o bombeamento depende do teor de umidade das camadas inferiores do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> Drenagem

Em uma rede de pavimentos composta por diversas seções, a ordem conforme prioridades é importante, uma vez que os recursos disponíveis são quase sempre inferiores às necessidades. A partir de uma ordem estabelecida, o momento oportuno e o local de aplicação da intervenção podem ser definidos, possibilitando que um planejamento seja realizado a médio e longo prazo, mantendo a rede viária acima de um nível mínimo aceitável, ou na melhor condição possível, e a custo mínimo.

Dentro da gerência de pavimentos, as prioridades podem ser determinadas por métodos que vão da simples hierarquização subjetiva até a otimização baseada em modelos matemáticos. A priorização é realizada considerando-se fatores que condicionam o desempenho dos pavimentos e respectivos custos associados (HAAS et al., 1994).

A fim de quantificar as prioridades das seções, um índice normalmente denominado de Índice de Prioridade (IP) vem sendo desenvolvido através de diversas técnicas para hierarquização e seleção de trechos e de estratégias de M&R. Em 1996, FERNANDES JR. apresenta a equação básica que possui como critério o ICP:

$$IP = 1/ICP \quad (3.12)$$

ou seja, quanto pior a condição do pavimento, maior será sua prioridade. Entretanto, essa equação, como já mencionado, é muito básica e envolve pouca variável que condiciona o desempenho dos pavimentos.

Da mesma forma que a Equação (3.12), outras variáveis podem ser consideradas como critérios classificatórios na determinação do IP, como a inclusão do efeito do tráfego na equação abaixo:

$$IP = \sqrt{VDM} / ICP \quad (3.13)$$

O programa computacional PMSC considera 5 variáveis distintas e utiliza a seguinte fórmula para a determinação do índice de prioridade (TAVAKOLI et al., 1992):

$$IP = \frac{ICP}{FT * CF * RT * FM} \quad (3.14)$$

onde:

- IP = índice de prioridade;
- ICP = índice de condição do pavimento;
- FT = fator de tráfego (10 para volume diário médio de 0 a 99; 20 para 100 a 499; 30 para 500 a 999; 40 para 1000 a 1999; 50 para 2000 a 4999; 100 para ≥ 5000);
- CF = fator de classe funcional (1,2 para arterial; 1,1 para coletora; 1,0 para local);
- RT = fator de rota de ônibus (1,0 para trânsito; 1,1 para escola);
- FM = fator de manutenção ($= 1 + (\text{classificação do tipo de manutenção})/10$).

No caso de pavimentos urbanos, uma alternativa que pode ser utilizada é constituída por matrizes de priorização, muitas vezes desenvolvidas com base na opinião dos especialistas. O sistema URMS, anteriormente descrito, utiliza duas matrizes de priorização para a determinação do IP: uma que envolve o ICP e a idade do pavimento (IDADE), cujos valores da matriz são identificados por ÍNDICE_1 , e outra que envolve o volume de tráfego (VDM) e a classe funcional (CF), com os valores identificados por ÍNDICE_2 . Os valores ind_ICP, ind_IDADE, ind_VDM e ind_CF identificam os estados de condição conforme

as variáveis. Abaixo, é apresentada a equação utilizada pelo URMS para determinação dos IPs das seções.

$$\acute{\text{INDICE}}_1 = (\text{ind_ICP} - 1) * 5 + \text{ind_IDADE}$$

$$\acute{\text{INDICE}}_1 = (\text{ind_VDM} - 1) * 3 + \text{ind_CF}$$

$$\text{IP} = 0,7 * (\acute{\text{INDICE}}_1) + 0,3 * (\acute{\text{INDICE}}_1) \quad (3.15)$$

4 - Programa de Gerência de Pavimentos para Cidades Brasileiras de Médio Porte

4.1 – INTRODUÇÃO

Apresenta-se o programa computacional SGPUSP/R, desenvolvido para auxiliar o planejamento financeiro e orçamentário das prefeituras municipais a médio e longo prazo, mediante a otimização da tomada de decisões sobre estratégias de M&R de pavimentos em áreas urbanas, durante um período de análise de até 8 anos.

O programa SGPUSP/R foi desenvolvido para uso em cidades brasileiras de médio porte (50.000 a 400.000 habitantes). Conforme fluxograma exibido na Figura 4.1, o programa é composto pelos seguintes módulos:

- Base de dados;
- Matriz de probabilidades de transição;
- Priorização e seleção da estratégia de M&R e determinação do custo de cada seção;
- Emissão de relatórios.

FIGURA 4.1 – Fluxograma geral do programa SGPUSP/R

A condição inicial da rede, $S(0)$, fornecida pelo usuário, refere-se à condição na data em que foi realizada a avaliação subjetiva, pressupondo-se que sejam realizadas avaliações com frequência anual. Com base em informações complementares (VDM, taxa de crescimento do tráfego ($TxVDM$), IDADE e CF), determina-se o IP e seleciona-se a estratégia de M&R para cada seção. A seleção das seções a serem reparadas no ano em análise é realizada segundo dois critérios:

- Comparando-se o ICP com o ICP_{min} (valor limite que define a necessidade de reparo urgente); e
- Conforme a ordem de prioridade, até que o custo total referente aos reparos necessários não exceda o valor do recurso disponível para o ano em análise.

As seções reparadas passam a apresentar condição EXCELENTE e, portanto, uma nova condição da rede, $S'(0)$, composta pelas seções reparadas e as não reparadas, é obtida. Após período de um ano, a condição da rede, $S(1)$, é obtida através da multiplicação entre $S'(0)$ e a matriz de probabilidades de transição, P , matriz essa determinada a partir da aplicação do Processo de Markov para o caso de modelos de desempenho subjetivos. A partir da condição $S(1)$, a priorização das seções, seleção das estratégias mais adequadas de M&R e seleção das seções a serem reparadas são realizadas. Novamente, a condição $S'(1)$ é determinada após definição dos reparos a serem realizados no ano corrente. Com isso, obtém-se a condição $S(2)$ e assim, sucessivamente, as etapas são repetidas durante todo o período de análise, sendo definido pelo usuário em até oito anos, coincidindo com dois períodos de administrações municipais.

4.2 – MÓDULO DA BASE DE DADOS

Desenvolvido em linguagem Delphi, através da utilização de tabelas tipo Paradox e acesso ao servidor de banco de dados SQL (Structured Query Language), o módulo da base de dados do SGPUSP/R tem por objetivo armazenar os dados permanentes na forma de arquivos, utilizados durante a execução do programa. Para tanto, nesse módulo todos os campos devem ser obrigatoriamente preenchidos pelo usuário.

A Figura 4.2 apresenta a tela inicial do módulo, onde o usuário insere o nome da cidade a ser analisada, o ano atual e seleciona o período de análise (1 a 8 anos). Além disso, o usuário insere outros quatro grupos de dados:

- Dados das seções: identificação (nome da rua e sua localização), inventário (comprimento, largura, número de faixas de rolamento e CF), históricos (ano de construção, ano da última intervenção e tipo de estratégia aplicada), condição (valor do ICP atual) e tráfego (VDM, porcentagem de tráfego pesado e TxVDM) (Figura 4.3);
- Valores dos recursos financeiros disponíveis durante todo o período de análise (Figura 4.4);
- Custos unitários de cada tipo de estratégia de M&R (Figura 4.5);
- Valores limites das variáveis ICP, IDADE e VDM que definem os diferentes estados de condição, e o valor do ICP mínimo (Figura 4.6).

FIGURA 4.2 – Tela inicial do módulo da base de dados

DADOS DAS SEÇÕES

NOME DA RUA: CONS. JOÃO ALFREDO

LOCALIZAÇÃO: DE: PAULINO B. A. SAMPAIO PARA: VICTOR M. S. LIMA

COMPRIMENTO (m): 33 LARGURA (m): 0,5

NÚMERO DE FAIXAS: 2

CLASSE FUNCIONAL: LOCAL

ANO DE CONSTRUÇÃO: 1967 IDADE DA SEÇÃO: 31 anos

VOLUME DE TRÁFEGO DIÁRIO MÉDIO (ano atual): 450

TRÁFEGO PESADO (%): 9 CRESCIMENTO ANUAL DO VOLUME DE TRÁFEGO (%): 10

ANO DA ÚLTIMA INTERVENÇÃO: 1991 ICP (ano atual): 55

TIPO DE ESTRATÉGIA: MANUTENÇÃO DE ROTINA

SALVAR DADOS PRÓXIMA SEÇÃO OK

Microsoft

Iniciar Instant Access OCR Microsoft Word - Cap4_S... Delphi 3 Sgpu_teste 17:37

FIGURA 4.3 – Entrada dos dados de cada seção

RECURSOS FINANCEIROS DISPONÍVEIS

CASO DE PERÍODO DE ANÁLISE: 4 ANOS

Ano 1993 (R\$): 70.000,00

Ano 1999 (R\$): 70.000,00

Ano 2000 (R\$): 70.000,00

Ano 2001 (R\$): 105.000,00

OK

Microsoft

Iniciar Instant Access OCR Delphi 3 Microsoft Word - Cap4_S... Sgpu_teste 15:41

FIGURA 4.4 – Entrada dos valores dos recursos financeiros disponíveis

CUSTOS UNITÁRIOS DAS ESTRATÉGIAS DE M&R

CUSTOS UNITÁRIOS (R\$/m²)

ESTRATÉGIA 0: Não fazer nada	0
ESTRATÉGIA 1: Manutenção de rotina	3,00
ESTRATÉGIA 2: Manutenção preventiva	10,00
ESTRATÉGIA 3: Recapeamento médio	20,00
ESTRATÉGIA 4: Recapeamento espesso	25,00
ESTRATÉGIA 5: Reconstrução	50,00

OK

Intel Instant Access OCR Delphi 3 Estrategiacusto 15:17

FIGURA 4.5 – Entrada dos custos unitários das estratégias de M&R

DEFINIÇÃO DOS INTERVALOS DAS VARIÁVEIS

ICP (0 - 100)		IDADE DO PAVIMENTO (anos)	
	mínimo	máximo	
1: PÉSSIMO	0	20	1: MUITO VELHO
2: RUIM	21	40	2: VELHO
3: REGULAR	41	60	3: MÉDIO
4: BOM	61	80	4: NOVO
5: EXCELENTE	81	100	5: MUITO NOVO

VOLUME DE TRÁFEGO (veículos)		CLASSE FUNCIONAL	
	mínimo	máximo	
1: MUITO INTENSO	7001	indefinido	1: ARTERIAL
2: INTENSO	4001	7000	2: COLETORA
3: MÉDIO	2501	4000	3: LOCAL
4: LEVE	1001	2500	
5: MUITO LEVE	0	1000	

VALOR DE ICP_{min}: 40

OK

Intel Instant Access OCR Microsoft Word - Cap4_S... Delphi 3 Estrategiacusto 21:29

FIGURA 4.6 – Entrada dos valores limites de cada estado de condição das variáveis ICP, IDADE, VDM e CF e valor de ICP_{min}

É importante ressaltar que um código de identificação para cada seção (“CodSecao”) é necessário para a execução de grande parte do programa. Esse código é atribuído automaticamente e é mostrado ao usuário (ao selecionar a opção “SALVAR DADOS”) a medida que são incluídos os dados de uma seção (por exemplo, a primeira seção a ser incluída terá o número 1 como código e assim por diante).

4.3 - MÓDULO PARA DETERMINAÇÃO DA MATRIZ DE PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO

A Figura 4.7 apresenta o fluxograma da sub-rotina que determina a matriz P. Como dados de entrada, são necessários dados da rede em termos de extensão existente em cada estado de condição em dois ciclos de solicitação seguidos. Inicialmente, o usuário deve informar se os dados iniciais (ano 0) devem ser considerados como os dados do ANO DE INTERESSE ou não. Em caso afirmativo, o usuário apenas fornece os dados do ANO ANTERIOR. Caso contrário, o usuário deve fornecer dados de dois períodos consecutivos.

Conforme discutido no capítulo 3, as matrizes de probabilidades de transição podem ser obtidas através de dois processos, empírico ou subjetivo. No SGPUSP/R, a matriz é determinada pelo processo subjetivo, não sendo necessários, portanto, dados históricos da rede.

FIGURA 4.7 – Fluxograma da sub-rotina para determinação da matriz de probabilidades de transição da condição da rede

Nesse programa, foi estabelecido que a condição de qualquer seção não pode diminuir mais que um estado no espaço de tempo de um período, ou seja, uma seção possui somente duas alternativas: ou se mantém no mesmo estado de condição ou seu estado pode diminuir para o imediatamente inferior no período seguinte. Daí a matriz resultar em uma matriz diagonal, como apresentado na Equação 4.1.

$$P = \begin{bmatrix} p(5,5) & p(5,4) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p(4,4) & p(4,3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p(3,3) & p(3,2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p(2,2) & p(2,1) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

A Figura 4.8 apresenta a tela do programa onde a matriz P é determinada. O usuário, após fornecer os dados necessários, deve seleccionar a opção “MATRIZ” para obter as probabilidades desejadas.

MATRIZ DE PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO

ANO DE INTERESSE

Estado 1: 0
 Estado 2: 462
 Estado 3: 630
 Estado 4: 243
 Estado 5: 0

ANO ANTERIOR

Estado 1: 0
 Estado 2: 0
 Estado 3: 561
 Estado 4: 531
 Estado 5: 243

	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5
Estado 1	0	1	0	0	0
Estado 2	0	0	1	0	0
Estado 3	0	0	0,176	0,824	0
Estado 4	0	0	0	0	1
Estado 5	0	0	0	0	1

MATRIZ

Microsoft

Iniciar Instant Access OCR Microsoft Word - T... Delphi 3 Projectmatriz 10:11

FIGURA 4.8 – Determinação da matriz de probabilidades de transição
 (Estado 1: condição péssima, Estado 5: condição excelente)

4.4 - MÓDULO PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PRIORIDADE, SELEÇÃO DA ESTRATÉGIA DE M&R E DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE CADA SEÇÃO

A Figura 4.9 apresenta o fluxograma geral desse módulo, onde um sistema especialista simplificado determina os índices IPs para as seções e seleciona as estratégias mais adequadas de M&R. O custo de cada seção é determinado conforme as estratégias selecionadas.

Conforme mencionado, em uma análise em nível de rede o processo de priorização das seções é muito importante, e deve ser tão simples quanto possível. No programa SGPUSP/R um método de priorização análogo ao utilizado no programa URMS é adotado, ou seja, a partir de duas variáveis, ÍNDICE₁ (função da condição e da idade dos pavimentos) e ÍNDICE₂ (função da classe funcional e do volume de tráfego), o índice IP, é determinado (já apresentado na Equação 3.15):

$$\text{ÍNDICE}_1 = (\text{ind_ICP} - 1) * 5 + \text{ind_IDADE}$$

$$\text{ÍNDICE}_2 = (\text{ind_VDM} - 1) * 3 + \text{ind_CF}$$

$$\text{IP} = 0,7 * (\text{ÍNDICE}_1) + 0,3 * (\text{ÍNDICE}_2)$$

A Figura 4.10 apresenta a tela do programa onde é determinado o IP de cada seção.

FIGURA 4.9 – Fluxograma do sistema especialista simplificado para determinação do IP e seleção da estratégia de M&R e respectivo custo de cada seção

The screenshot shows a software window titled "ÍNDICE DE PRIORIDADE". It contains several input fields and a table of conditions.

ÍNDICE DE PRIORIDADE		CONDIÇÃO E ÍNDICE	
SEÇÃO:	1	REGULAR	3
ICP:	55	MUITO VELHO	1
Idade:	31	MUITO LEVE	5
Volume de tráfego:	450		3
Classe funcional:	LOCAL		

Below the input fields, the calculated priority index is shown: ÍNDICE DE PRIORIDADE: 12,2.

At the bottom of the window, there are two buttons: "PRÓXIMA SEÇÃO" and "OK".

The taskbar at the bottom shows several open applications: "Iniciador", "Instant Access OCR", "Delphi 3", "Estrategiacusto", "Microsoft Word - ...", and "Printing page: 1...". The system clock shows 15:28.

FIGURA 4.10 – Determinação do índice de prioridade de cada seção

Determinados os IPs das seções, o sistema especialista do programa SGPUSP/R seleciona as estratégias de M&R. Os tipos de estratégias recomendados são os que se seguem:

0. Não fazer nada;
1. Manutenção de rotina;
2. Manutenção preventiva;
3. Recapeamento médio;
4. Recapeamento espesso;
5. Reconstrução.

Para a seleção das estratégias, uma árvore de decisão é utilizada, conforme a seguinte ordem:

ICP → IDADE → VOLUME DE TRÁFEGO: ESTRATÉGIA RECOMENDADA

Infelizmente, devido a escassez de informações por parte das prefeituras municipais visitadas, não foi possível desenvolver uma árvore de decisão específica para este trabalho. Toma-se por base a árvore utilizada no programa URMS, apresentada na Figura 4.11. É importante ressaltar a possibilidade de alteração dessa árvore, principalmente quando justificada por informações coletadas sistematicamente pelas prefeituras municipais.

A Figura 4.12 apresenta a tela do programa onde a estratégia de M&R é selecionada e o respectivo custo de M&R de cada seção é calculado, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{CUSTO (R\$)} = \text{CUSTO UNITÁRIO (R\$/m}^2\text{)} * \text{COMPRIMENTO (m)} * \text{LARGURA (m)}$$

Na maioria dos casos, o recurso disponível é menor do que o custo das atividades de M&R necessárias para manter a rede acima do nível mínimo de aceitação, daí a necessidade da realização de priorização das seções. Ressalta-se que nesse programa não é considerada a possibilidade de utilização de eventual excedente de recurso financeiro de um ano para um ano posterior.

FIGURA 4.11 - Árvore de decisão para seleção da estratégia de M&R

ESTRATÉGIA RECOMENDADA E CUSTO TOTAL POR SEÇÃO

SEÇÃO: 1

ICP: 55

Idade: 31

Volume de tráfego: 450

CONDIÇÃO E ÍNDICE

REGULAR	3
MUITO VELHO	1
MUITO LEVE	5

ESTRATÉGIA RECOMENDADA: MANUTENÇÃO PREVENTIVA

CUSTO TOTAL (RS): 8415,00

PRÓXIMA SEÇÃO... OK

Microsoft

Iniciar Instant Access OCR Delphi 3 Estrategiacusto Microsoft Word - C... 15:22

FIGURA 4.12 – Seleção da estratégia de M&R e determinação do custo de cada seção

5 - Aplicação Piloto do SGPUSP/R

5.1 – INTRODUÇÃO

Resultados obtidos a partir de uma aplicação piloto do programa SGPUSP/R desenvolvido no presente trabalho são apresentados neste capítulo. Treze seções da malha viária da cidade de São Carlos compõem o trecho piloto, totalizando 1.335 metros de extensão para a qual foi realizada uma análise para um período de 4 anos. A partir de dados obtidos com o levantamento de campo e a avaliação subjetiva da condição da rede de pavimentos, determinou-se a matriz de probabilidades de transição. A cada condição prevista da rede, os índices de prioridade de cada seção foram determinados e as estratégias de M&R mais adequadas foram selecionadas. A realização de reparos nas seções foi decidida segundo dois critérios: se sua condição estivesse abaixo de um valor mínimo de aceitação ou conforme sua prioridade, obedecendo-se a disponibilidade de recursos financeiros.

Inicialmente, são apresentados os resultados obtidos a partir dos questionários enviados às prefeituras municipais das cidades de Araraquara, Bauru, Franca e São Carlos, todas localizadas no interior do estado de São Paulo, a fim de obter informações a respeito das práticas usualmente adotadas na gerência da rede de pavimentos do município, sendo aproveitados para o desenvolvimento do SGPUSP/R.

5.2 – LEVANTAMENTO DAS PRÁTICAS USUALMENTE ADOTADAS PELAS PREFEITURAS MUNICIPAIS

Para obter informações a respeito das práticas usualmente adotadas para gerenciar suas redes de pavimentos, foram realizadas visitas técnicas às prefeituras dos municípios de Araraquara, Bauru, Franca e São Carlos (localizados no mapa do estado de São Paulo, apresentado na Figura 5.1) ao longo do ano de 1998. Foram desenvolvidos questionários e os mesmos são encontrados no Anexo A do presente trabalho. Ressalta-se que esses municípios foram selecionados considerando-se fatores como a distância em relação ao local de desenvolvimento deste trabalho, a extensão da malha viária urbana, além de contatos anteriores de funcionários dessas prefeituras com o Departamento de Transportes da EESC-USP.

FIGURA 5.1 – Localização dos municípios pesquisados no estado de São Paulo

5.2.1 – Município de Araraquara

Localizada a 282 km da capital São Paulo, o município de Araraquara é composto por uma população de 172.746 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, IBGE, 1996). A cidade possui um total de 795,6 km de extensão de vias urbanas, dos quais aproximadamente 80% constituem-se de trechos pavimentados, sendo a maioria com revestimento asfáltico e pequena extensão de paralelepípedos ou bloquetes. Os outros 20% são compostos por vias não-pavimentadas. A largura média das ruas varia entre 8,40 e 10,00 metros.

Com o início do seu programa de Mestrado junto ao Departamento de Transportes da EESC-USP, o responsável pela tomada de decisões na área de pavimentação da prefeitura municipal de Araraquara, Engenheiro Sebastião Brito Fernandes, confirmou a importância do trabalho em conjunto entre a prefeitura municipal e a universidade. Realizou o cadastro de toda a rede de pavimentos urbanos em um banco de dados, atualizando-o anualmente. O mapa da cidade também foi digitalizado e atualizado.

A cidade ainda não possui um SGP formalizado, tendo dificuldade para realizar a previsão do envelhecimento de sua rede e, conseqüentemente, para efetuar o planejamento financeiro e orçamentário a médio e longo prazo.

Como na maioria das cidades brasileiras de pequeno a médio porte, o orçamento anual destinado à área de pavimentação de Araraquara não é fixo, variando conforme a situação financeira do município. O investimento depende das diferentes regras estabelecidas pelos prefeitos e, na maioria das vezes, o recurso destinado à área de pavimentação quase sempre é maior nos dois últimos anos do mandato de um prefeito, ficando os dois primeiros anos sem praticamente nenhum tipo de intervenção, deixando a rede sujeita aos desgastes devido às solicitações das cargas e às ações da intempérie.

A prefeitura possui uma equipe formada pelo engenheiro responsável, um mestre de obras e uma equipe de profissionais do laboratório de solos. Anualmente são realizadas avaliações subjetivas em toda a rede e as decisões finais são tomadas pelo engenheiro, tanto em relação à priorização das seções quanto em relação à definição das atividades mais adequadas para M&R. Essas decisões são tomadas baseadas na experiência adquirida ao longo do tempo, não possuindo um método formalizado para priorizar as seções ou decidir sobre as atividades mais adequadas de M&R. A prefeitura municipal dispõe, ainda, de um número de telefone para atender às reclamações e opiniões dos moradores.

Através dos levantamentos de campo, foram identificados os principais tipos de defeitos nos pavimentos da cidade:

- Desgaste do revestimento;
- Deformação permanente nas trilhas de roda;
- Deformação plástica do revestimento;
- Trincas por fadiga;
- Trincas transversais e longitudinais;
- Remendos de má qualidade realizados por outras concessionárias de serviços como água e esgoto.

Em geral, as atividades de manutenção praticadas são as seguintes:

- Rejuvenescimento com lama asfáltica (reparo dos defeitos de desgaste do pavimento e de trincas transversais e longitudinais);
- Reciclagem “in situ” de pavimentos com tratamento superficial sobre base regular ou de macadame betuminoso;
- Regularização com pré-misturado a quente (reparo do defeito de deformação permanente nas trilhas de roda);

- Recapeamento com pré-misturado a quente (apesar de ser a opção mais cara, pode recuperar qualquer tipo de defeito).

Em 1993, VILLIBOR et al. apresentaram os custos aproximados para cada atividade de manutenção citada (os custos mostrados na Tabela 5.1 já foram transformados em Reais):

TABELA 5.1 – Custos unitários de cada atividade de manutenção
(VILLIBOR et al., 1993)

ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	R\$ / m ²
Rejuvenescimento com lama asfáltica	1,45
Reciclagem de tratamentos superficiais	1,85
Regularização com pré-misturado a quente (espessura: 2 cm)	2,50
Recapeamento com pré-misturado a quente (espessura: 3 cm)	3,30

O engenheiro responsável considera a classificação das vias, função do volume de tráfego, para realizar o processo de priorização das seções. As vias são classificadas em cinco tipos, conforme pode ser visto na Tabela 5.2, onde “N_t” típico corresponde ao número de solicitações do eixo padrão de 8,2 toneladas para um período de projeto de 10 anos. A Figura 5.2 apresenta os tipos de atividades de manutenção mais indicados a cada tipo de via.

TABELA 5.2 – Classificação das vias (VILLIBOR et al., 1993)

TIPO DE VIA	% DA MALHA VIÁRIA	TIPO DE TRÁFEGO	“N _t ” TÍPICO
Principal	11,5	muito pesado	10 ⁶
Coletora	7,7	pesado	10 ⁵
Central	2,2	médio	10 ⁵
Secundária	9,8	leve	10 ⁴
Local	68,8	muito leve	10 ³

FIGURA 5.2 – Relacionamento entre os tipos de vias e os tipos de atividades de manutenção frequentemente indicados (VILLIBOR et al., 1993)

A prefeitura municipal de Araraquara possui um trabalho coordenado com as concessionárias de outros serviços de infra-estrutura. Para tanto, o departamento de pavimentação possui um memorial descritivo em relação ao procedimento de reparos ou à recuperação de valas (PANTIGOSO, 1998).

5.2.2 – Município de Bauru

O município de Bauru localiza-se na região central do estado de São Paulo. Segundo fontes do IBGE, em 1996 a população era constituída por 292.566 habitantes distribuídos em uma área de 675,2 km². A malha viária da cidade possui uma extensão de 919,7 km, cobrindo uma área de 7.357.600 m². Cerca de 70% de toda extensão é asfaltada.

A partir de agosto de 1998, após o processo de cassação do mandato do prefeito em exercício, o município vem sofrendo cada vez mais com o problema da escassez dos seus recursos financeiros públicos, uma vez que as decisões em relação aos pavimentos sempre foram tomadas pelo prefeito.

Devido a cidade de Bauru não possuir um sistema de gerência de pavimentos, as decisões são tomadas segundo critérios subjetivos, de acordo com os interesses políticos. Em geral, os prefeitos conseguiam realizar recapeamentos em cerca de 14% da extensão total durante todo o mandato, ou seja, 3,5% da rede por ano. Em 1998, essa taxa foi muito menor do que o esperado e, para 1999 era esperado uma taxa ainda mais reduzida.

Conforme dados aproximados fornecidos pelo responsável pelas obras de pavimentação da cidade, Engenheiro Eduardo Garcia Sanches, geralmente os reparos são realizados com a utilização do CBQU (concreto betuminoso usinado a quente), tanto nos casos de remendos como na “operação tapa-buracos”.

O quadro de funcionários conta com um número de 90 pessoas e não existe uma equipe e nem um laboratório para realização do controle tecnológico. Nenhuma avaliação é realizada ao longo das vias, portanto a evolução da condição da rede não é acompanhada. Sabe-se que os defeitos mais frequentes são aqueles relacionados ao efeito do alto volume de tráfego e da excessiva carga por eixo, como as trincas por fadiga, a exsudação e as deformações permanentes nas trilhas das rodas, mas nenhum tipo de identificação mais rigorosa é realizada.

Em 1998, em geral a rede encontrava-se em condições de regulares a ruins, restando pequena porcentagem em boa condição. O adiamento de atividades de reparo e a falta de manutenção periódica tem acelerado o processo de deterioração dos pavimentos e, principalmente, o processo de abertura de panelas, faltando pouco para toda a rede entrar em estágio final de deterioração.

A disponibilidade de material para a fabricação do asfalto dentro das usinas era um fator decisivo à realização de uma intervenção. Enquanto houvesse material, os reparos eram realizados. No entanto, as reservas de matéria-prima mais próximas para a fabricação da massa asfáltica encontram-se esgotadas. A necessidade de importação dos materiais a partir de locais mais distantes aumenta ainda mais o preço final do pavimento, contribuindo para o adiamento da realização maioria dos reparos necessários.

5.2.3 – Município de Franca

Localizado ao norte do estado de São Paulo, o município de Franca possui uma população estimada em 267.235 habitantes, distribuídos em uma área de 609 km², segundo dados fornecidos pelo IBGE, em 1996.

Em 1975, a empresa pública EMDEF foi criada para atuar nas áreas de drenagem, terraplanagem e pavimentação urbana, tendo como cliente principal a prefeitura municipal da cidade.

Até a década de 80, a rede de pavimentos urbanos de Franca teve um crescimento expressivo, atingindo os objetivos esperados. Apesar do menor número de habitantes, Franca possui uma malha viária com maior extensão que o município de Bauru. Atualmente, a rede é composta por uma extensão aproximada de 1.200 km de vias (9.330.000 m²), sendo que 1.000 km são pavimentadas (8.000.000 m²). Entretanto, com a diminuição dos recursos financeiros, a prefeitura foi obrigada a optar por novas alternativas e meios para definir as metas de trabalho para os próximos anos.

Uma das alternativas encontradas para organizar e controlar os investimentos públicos do município foi o desenvolvimento de um SGPU. Em maio de 1997, a EMDEF assinou um convênio de assessoria técnica do Departamento de

Transportes da EESC-USP. Infelizmente, terminado o período do convênio e com a escassez do recurso financeiro disponível, sua renovação não foi realizada. As atividades iniciadas encontram-se formalmente interrompidas, não existindo previsão para a continuidade das mesmas. No entanto, a interação entre os membros das equipes é mantida.

Durante o convênio, pôde-se realizar o levantamento da condição dos pavimentos através de avaliação subjetiva e objetiva dos trechos representativos selecionados previamente. Uma planilha para a coleta dos dados no campo foi desenvolvida, como apresentado anteriormente na Figura 3.2. Essa planilha, desenvolvida pelo Departamento de Transportes da EESC-USP com base na planilha desenvolvida pelo Instituto do Asfalto (1989), contém os tipos de defeitos encontrados com maior frequência nos pavimentos de Franca.

Desenvolveu-se, ainda, um banco de dados e realizou-se, também, a digitalização do mapa de toda a cidade através do uso do SIG (sistema de informação geográfica) denominado MAP_INFO. Os volumes de tráfego também foram determinados com o auxílio de contadores manuais.

Antes desse convênio, a EMDEF limitava-se à execução de remendos em buracos existentes (“operação tapa-buracos”) e recapeamentos delgados com CBUQ sem a preocupação com critérios técnicos rigorosos. A definição dos trechos para intervenção contava apenas com as reclamações vindas dos próprios moradores, ou seja, em casos de condição mínima aceitável.

Em Franca não existe um trabalho integrado entre a EMDEF e as demais concessionárias de serviços públicos urbanos. Os serviços realizados resultam, geralmente, em remendos de má qualidade, causando a impressão de que todo o trecho encontra-se em condição ruim.

Com a crise financeira que vem ocorrendo desde o final do ano de 1997 em todo o país, as atividades na área de pavimentação da cidade de Franca encontram-se praticamente paralisadas. Os únicos reparos realizados são para solucionar os problemas de inundações ou os problemas de defeitos localizados e com alta severidade. As poucas atividades realizadas resumem-se nos remendos e nos “tapa-buracos”. Os recapeamentos têm sido realizados apenas em vias principais e quando o pavimento encontra-se em condição próxima à mínima aceitável.

5.2.4 – Município de São Carlos

O município de São Carlos situa-se na região central do estado de São Paulo, distante 244 km da capital. Possui uma população constituída por 175.517 habitantes, distribuídos em uma área total de 1.143,90 km², dos quais 55 km² fazem parte da área urbana (IBGE, 1996).

A malha viária da cidade é composta por uma área aproximada de 8.000.000 m², dos quais 6.000.000 m² constituem os trechos pavimentados. Possuindo uma largura média de 8,5 m, esses trechos totalizam aproximadamente 700 km de extensão.

Como os demais municípios citados anteriormente, São Carlos também tem enfrentado o grande problema de escassez dos recursos financeiros. Os recursos destinados à área de conservação dos pavimentos têm sido insuficiente para manter a condição de toda a rede acima do nível mínimo aceitável, causando insatisfação geral por parte dos usuários.

A cada período de chuvas, a condição dos pavimentos piora cada vez mais: surgem panelas de grandes dimensões e aumenta a desagregação dos pavimentos, principalmente em locais próximos de rios e córregos. A falta de manutenção de

rotina e de prevenção são responsáveis por esses problemas que se vem agravam a cada ano.

Em 1997 foi criada a Secretaria de Obras e Serviços Urbanos, órgão responsável pela gerência das vias, sob o comando da Divisão de Vias Públicas. Desde então, a fim de cumprir com o cronograma de serviços, a cidade foi dividida em setores, em função do volume de tráfego, para garantir uma ordem de prioridade.

Os tipos de atividades de manutenção são decididos conforme a experiência dos engenheiros responsáveis, geralmente optando-se pelo menor custo sem a preocupação de avaliar o benefício produzido, ou seja, quase sempre optam pela alternativa mais econômica, sem a preocupação com a vida útil daquele serviço, por exemplo. Basicamente, as atividades resumem-se na execução de recapeamentos em trechos mais críticos e na “operação tapa-buracos” em trechos com panelas de alta severidade. Além das panelas, os outros defeitos mais comuns são a deformação permanente nas trilhas de rodas e o desgaste devido ao envelhecimento do revestimento.

A rede de pavimentos da cidade sofre com os remendos realizados pelo Sistema Autônomo de Água e Esgoto, SAAE, que, na maioria das vezes, são de má qualidade, provocando o aparecimento de outros defeitos em suas proximidades. A ausência de um trabalho em conjunto permite a abertura e fechamento de valas pelo SAAE em qualquer ponto da rede viária, ficando a prefeitura municipal sem o conhecimento desses locais para seu controle.

O município não possui um banco de dados com registros históricos e não existem mapas atualizados. Portanto, não é possível conhecer com exatidão as idades dos pavimentos, o ano da última intervenção e nem tampouco é possível conhecer dados sobre o tráfego, como seu volume diário médio e sua taxa de crescimento anual.

5.3 – ESTUDO PILOTO PARA O SISTEMA ESPECIALISTA

Um estudo piloto foi conduzido durante um período de 4 anos cujos resultados produzidos serviram de base de dados para o teste do programa SGPUSP/R. Para tanto, uma rede de pavimentos formada por treze seções da malha viária do município de São Carlos, totalizando uma extensão de 1.335 metros, foi selecionada para compor o trecho piloto. Ressalta-se que essas seções foram escolhidas de modo a apresentar diferentes características em relação a volumes de tráfego, classes funcionais e idades dos pavimentos.

5.3.1 – Inventário das Seções

O inventário é um dos principais componentes de um SGP que incluem desde a descrição e identificação da seção, classificação funcional e administrativa, características da estrutura do pavimento, histórico, tráfego, geometria, até características sobre a drenagem. No caso das cidades brasileiras de médio porte, o inventário deve ser o mais simples possível, facilitando a etapa de coleta das informações. Em seu trabalho, BERTOLLO (1997) apresenta uma planilha para a coleta dos dados do inventário das seções e a mesma é mostrada na Figura 5.3. Para coletar os dados sobre o tráfego, o formulário apresentado na Figura 5.4 foi desenvolvido e utilizado. Ressalta-se que os caminhões foram separados visualmente em três tamanhos e suas cargas foram separadas em três níveis.

Conforme já mencionado, este trabalho faz parte de um amplo projeto de pesquisa em desenvolvimento no Departamento de Transportes da EESC-USP. Três outros trabalhos em nível de Mestrado já foram concluídos. Como um deles utilizou as mesmas seções para compor seu projeto piloto, alguns dados são utilizados também neste trabalho.

INVENTÁRIO DA REDE PAVIMENTADA URBANA - SGPU	
TÉCNICOS: _____	DATA: _____
IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO	
Código (classe, número, quadra): _____	
Nome da Rua: _____	
Marco de Início da Seção: _____	
Marco de Fim da Seção: _____	
Tipo de Pavimento (Flexível ou Rígido): _____	
GEOMETRIA DA SEÇÃO	
Comprimento (m): _____	
Largura Total (m): _____	
Número de Faixas: _____	
Espessura e Materiais das Camadas: _____	
HISTÓRICO DA SEÇÃO	
Ano de Construção: _____	
Ano da Última Atividade de Reabilitação: _____	
TRÁFEGO	
Tráfego Diário Médio: _____	
Taxa de Crescimento do Tráfego (%): _____	
Porcentagem de Caminhões: _____	

FIGURA 5.3 – Formulário para coleta dos dados do inventário (BERTOLLO, 1997)

		TRECHO:	TRECHO:	TRECHO:		
		DATA:	DATA:	DATA:		
		HORÁRIO:	HORÁRIO:	HORÁRIO:		
CAMINHÕES	CARRO					
	ÔNIBUS					
	LEVE	CARGA LEVE				
		CARGA MÉDIA				
		CARGA PESADA				
		MÉDIO	CARGA LEVE			
			CARGA MÉDIA			
			CARGA PESADA			
PESADO	CARGA LEVE					
	CARGA MÉDIA					
	CARGA PESADA					

FIGURA 5.4 – Formulário para coleta dos dados sobre o tráfego

As Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam as informações das seções analisadas. Essas informações foram obtidas no próprio local através de medições com trenas e entrevistas com moradores. Os dados sobre o tráfego, importantes na determinação da previsão do desempenho, foram obtidos através de contadores manuais. Na Tabela 5.4, a porcentagem de tráfego pesado inclui todos os tipos de caminhões e os ônibus.

5.3.2 – Avaliação da Condição da Rede de Pavimentos

Conforme discutido em itens anteriores, no caso de uma análise de uma rede de pavimentos, os dados a serem coletados não necessitam que sejam específicos. Ou seja, uma avaliação estrutural com utilização de equipamentos, como a Viga Benckelman e o FWD por exemplo, fornecem dados úteis para uma análise em nível de projeto.

Neste trabalho, a avaliação da condição da rede de pavimentos foi realizada através de uma avaliação subjetiva somente com uma inspeção visual mediante caminhamento pelas seções. Uma equipe formada por sete avaliadores, alunos do curso de pós-graduação “Sistemas de Gerência de Pavimentos” ministrado pelo Professor José Leomar Fernandes Júnior, realizou a avaliação nos dias 22 e 23 de Setembro de 1998.

Os valores dos ICPs dos trechos de pavimentos na data da avaliação e seus prováveis valores para após período de um ano em caso de nenhuma intervenção ser realizada foi perguntado à equipe de avaliadores. Ainda, as opiniões a respeito da qualidade dos pavimentos na data da avaliação foram colhidas. Os resultados dessa avaliação são encontrados na Tabela 5.5. Os valores médio dos ICPs das seções foram determinados e os mesmos são utilizados nas análises seguintes.

TABELA 5.3 – Localização, características físicas e dados históricos dos trechos do projeto piloto

SEÇÃO	EXTEN- SÃO (m)	LARGU- RA (m)	CLASSE FUNCIO- NAL	ANO DE CONS- TRUÇÃO	ÚLTIMA INTER- VENÇÃO	LOCALIZAÇÃO
1	99	8,5	L	1967	1991	<i>R. Conselheiro João Alfredo</i> INÍCIO: R. Paulino B. A. Sampaio FIM: R. Victor M. S. Lima
2	77	7,7	C	1967	1992	<i>R. Paulino B. A. Sampaio</i> INÍCIO: Av. Miguel Petroni FIM: R. Prof. Alice J. D'Anna Juliano
3	240	8,6	A	1977	1996	<i>Av. Trabalhador Sancarlense</i> INÍCIO: EESC-USP FIM: R. Carlos de Camargo Salles
4	72	9,6	C	1977	1996	<i>R. Luiz V. T. Pizza</i> INÍCIO: R. Miguel A. Margarido FIM: R. Al. Crisandálias
5	60	8,6	C	1977	1996	<i>R. Luiz V. T. Pizza</i> INÍCIO: R. Miguel A. Margarido FIM: Av. Trabalhador Sancarlense
6	90	8,6	C	1989	1995	<i>Al. Crisântemos</i> INÍCIO: R. Aldino Del Nero FIM: Av. Trabalhador Sancarlense
7	105	8,7	C	1989	1995	<i>R. Miguel Petroni</i> INÍCIO: “rotatória” FIM: “bifurcação”
8	152	7,5	C	1993	1995	<i>R. João de Guzzi</i> INÍCIO: R. Luiz P. A. Ferraz FIM: “rotatória”
9	51	7,7	C	1972	1993	<i>R. Antônio Blanco</i> INÍCIO: R. Emílio Moro FIM: R. São Joaquim
10	87	7,8	C	1972	1993	<i>R. Antônio Blanco</i> INÍCIO: R. São Joaquim FIM: R. Dona Alexandrina
11	129	8,9	C	1967	1991	<i>R. Prof. José F. Camargo</i> INÍCIO: R. Sérgio F. P. Fleury FIM: R. Rotary Club
12	89	10,0	A	1952	1995	<i>Av. São Carlos</i> INÍCIO: R. 28 de Setembro FIM: Av. Dr. Carlos Botelho
13	84	7,8	C	1967	1993	<i>Av. XV de Novembro</i> INÍCIO: R. Episcopal FIM: R. 9 de Julho

OBSERVAÇÃO: Na coluna “CLASSE FUNCIONAL”, as siglas A, C e L referem-se às classificações Arterial, Coletora e Local, respectivamente.

TABELA 5.4 – Informações sobre o tráfego dos trechos do projeto piloto

SEÇÃO	TIPO DE VEÍCULO			VDM (2 sentidos)	% (caminhões + ônibus)
	VEÍCULOS DE PASSEIO	ÔNIBUS	CAMINHÕES		
1	410	(-)	40	450	9
2	1975	425	100	2500	21
3	11026	129	845	12000	8
4	4639	206	155	5000	7
5	5076	206	218	5500	8
6	3800	120	80	4000	5
7	4675	165	660	5500	15
8	3360	80	560	4000	16
9	5762	335	603	6700	14
10	3696	168	336	4200	12
11	11394	228	378	12000	5
12	13650	750	600	15000	9
13	5520	180	300	6000	8

OBSERVAÇÃO: A sigla VDM refere-se ao volume de tráfego diário médio atuante nos dois sentidos de cada seção.

5.3.3 – Determinação da Matriz de Probabilidades de Transição para Previsão do Desempenho da Rede de Pavimentos

Conforme descrito, o desempenho do pavimento é definido como a evolução da sua condição ao longo do tempo. Por descrever estocasticamente o desenvolvimento de eventos independentemente do tempo, o Processo de Markov vem sendo utilizado com sucesso na previsão do desempenho. A condição futura em qualquer tempo é obtida através da multiplicação entre a condição em um ciclo anterior pela matriz de probabilidades de transição, matriz P.

TABELA 5.5 – Resultados da avaliação subjetiva realizada em 22 e 23/09/98 por sete avaliadores (A = aceitável; I = inaceitável)

		AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO																						
		ICP ATUAL (1998)							QUALIDADE ATUAL (1998)							ICP PREVISTO PARA 1 ANO (1999)								
AVALIADORES		1	2	3	4	5	6	7	MÉDIA	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	MÉDIA
SEÇÃO																								
1		50	50	50	40	70	60	65	55	A	A	I	I	A	A	A	40	30	40	10	65	50	60	42
2		80	70	60	50	85	70	75	70	A	A	A	I	A	A	A	60	40	50	20	80	50	60	51
3		70	60	40	50	50	40	70	54	A	A	I	I	A	I	A	50	30	30	20	40	20	55	35
4		40	80	40	40	65	50	40	51	I	A	I	I	A	A	I	30	50	30	10	60	40	30	36
5		50	60	50	40	60	50	60	53	A	A	A	I	A	A	A	40	40	40	10	55	30	40	36
6		50	60	50	50	70	70	60	59	A	A	A	A	A	A	A	40	30	40	20	60	50	40	40
7		90	80	80	80	85	90	90	85	A	A	A	A	A	A	A	80	70	70	30	80	80	85	71
8		60	60	50	50	60	80	80	63	A	A	A	I	A	A	A	50	50	40	20	50	70	70	50
9		90	80	80	90	90	90	90	87	A	A	A	A	A	A	A	80	70	70	40	90	80	85	74
10		70	80	80	80	90	80	85	81	A	A	A	A	A	A	A	60	60	70	40	90	70	80	67
11		60	70	60	60	75	70	80	68	A	A	A	A	A	A	A	50	50	50	30	65	60	70	54
12		90	60	70	90	70	80	85	78	A	A	A	A	A	A	A	80	40	60	40	60	60	75	59
13		80	60	80	70	80	80	70	74	A	A	A	A	A	A	A	60	40	70	30	70	60	55	55

O programa SGPUSP/R considera que as seções podem ser encontradas em cinco estados de condição representados pelo índice ind_ICP , sendo que os intervalos de variação do ICP para cada estado são definidos pelo usuário. Na presente análise, cada estado foi definido com um intervalo de 20 pontos, caracterizando-se como se segue:

- *Excelente* ($\text{ICP} = 81$ a 100 ; $\text{ind_ICP} = 5$): pavimento novo ou que corresponda, por seu estado, a um pavimento novo;
- *Bom* ($\text{ICP} = 61$ a 80 ; $\text{ind_ICP} = 4$): pavimento, em sua maior parte, livre de defeitos, necessitando apenas de manutenção de rotina e/ou um tratamento superficial;
- *Regular* ($\text{ICP} = 41$ a 60 ; $\text{ind_ICP} = 3$): pavimento que apresenta defeitos e redução de sua capacidade estrutural. Necessidade de renovação ou reforço do revestimento, sem necessidade de remover a estrutura existente;
- *Ruim* ($\text{ICP} = 21$ a 40 ; $\text{ind_ICP} = 2$): pavimento com defeitos estruturais, necessitando de restauração imediata, com remoção parcial dos trechos deficientes;
- *Péssimo* ($\text{ICP} < 21$; $\text{ind_ICP} = 1$): pavimento com graves defeitos estruturais, necessitando de obras de reconstrução e melhorias na drenagem.

A Tabela 5.6 apresenta um resumo das informações obtidas a partir das Tabelas 5.3 e 5.5, descritas anteriormente, que são utilizadas para a determinação das matrizes de probabilidades de transição e para a previsão do desempenho dos pavimentos.

Para determinar a matriz P da presente análise, os dados de 1998 e 1999 foram fornecidos pelo usuário como, respectivamente, dados do “ANO ANTERIOR” e “ANO DE INTERESSE”. Se o programa considerasse automaticamente os dados de 1998 como sendo os dados do “ANO DE INTERESSE”, seria requisitado ao usuário os dados do ano de 1997, o que causaria um erro na determinação da matriz.

TABELA 5.6 – Resultados da avaliação subjetiva

SEÇÃO	EXTENSÃO (m)	1998		1999 (previsto)	
		ICP médio	ind_ICP	ICP médio	ind_ICP
1	99	55	3	42	3
2	77	70	4	51	3
3	240	54	3	35	2
4	72	51	3	36	2
5	60	53	3	36	2
6	90	59	3	40	2
7	105	85	5	71	4
8	152	63	4	50	3
9	51	87	5	74	4
10	87	81	5	67	4
11	129	68	4	54	3
12	89	78	4	59	3
13	84	74	4	55	3

Como mencionado no capítulo anterior, no SGPUSP/R foi definido que a condição do pavimento não diminui mais que um estado em um único ano, portanto, o pavimento possui probabilidades de permanecer no mesmo estado ou transitar para o estado inferior seguinte no próximo ano, daí a matriz resultar na matriz diagonal P. Considerando-se a equação geral definida pela Equação (3.5) e os dados da Tabela 5.7, a equação toma a seguinte forma:

$$S(1999) = S(1998) * P$$

$$[0 \ 243 \ 630 \ 462 \ 0] = [243 \ 531 \ 561 \ 0 \ 0] * \begin{bmatrix} p(5,5) & p(5,4) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p(4,4) & p(4,3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p(3,3) & p(3,2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p(2,2) & p(2,1) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

TABELA 5.7 – Resultados da avaliação subjetiva: condição da rede

ind_ICP	EXTENSÃO (m)	
	ANO DE 1998	PREVISÃO PARA O ANO DE 1999
1 (Péssimo)	0	0
2 (Ruim)	0	462
3 (Regular)	561	630
4 (Bom)	531	243
5 (Excelente)	243	0

E, a partir das Equações (3.7) e (3.8) definidas no Capítulo 3, as probabilidades de transição são determinadas, resultando na matriz P apresentada na Equação (5.3).

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,176 & 0,824 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Com a matriz encontrada, pode-se prever o desempenho futuro da rede de pavimentos, ou a evolução de sua condição. No caso do presente estudo piloto, a evolução da condição durante o período de análise de 4 anos, é representada pela Figura 5.5. Percebe-se que em 1998, existiam 243 metros de extensão com condição excelente, ou seja, 18,2% da extensão total possuíam a melhor condição. E para o ano de 2001, é previsto que 73,5% (980,8 metros) de toda extensão esteja com condição péssima, caso nenhum reparo seja realizado.

FIGURA 5.5 – Representação da evolução da condição da rede em caso de nenhuma intervenção ser realizada durante todo o período de análise

A fim de facilitar a visualização da evolução da condição conforme essa matriz, foi considerado o caso particular de todas as seções da rede possuírem condição excelente no ano de 1998, sendo o resultado apresentado na Figura 5.6.

FIGURA 5.6 – Representação da evolução da condição da rede sem realização de nenhuma intervenção durante todo o período de análise, no caso particular de 100% dos pavimentos iniciar com condição EXCELENTE (condição 5)

5.3.4 – Determinação dos Índices de Prioridade, Seleção das Estratégias de M&R e Custos das Seções e Definição das Seções para Reparo

Em se tratando de um SGPU, ordenar as seções conforme prioridades é importante, uma vez que quase sempre os recursos disponíveis são insuficientes para manter toda a rede acima do nível mínimo aceitável. Essa ordem é útil para auxiliar no processo de seleção das seções mais urgentemente necessitadas de reparos, já que, em geral, os índices de prioridade são determinados em função de fatores que condicionam o desempenho dos pavimentos.

Conforme já mencionado, dentro da gerência de pavimentos as prioridades são determinadas por métodos que vão da simples hierarquização subjetiva até a otimização baseada em sofisticados modelos matemáticos. Neste trabalho, os índices de prioridade são determinados de modo análogo ao procedimento adotado pelo programa URMS. O índice de prioridade é determinado através da combinação entre dois sub-índices: uma que envolve o ICP e a idade do pavimento e outra que envolve o volume de tráfego e a classe funcional. No SGPUSP/R, o índice de prioridade, IP, é determinado da seguinte forma:

$$\text{ÍNDICE}_1 = (\text{ind_ICP} - 1) * 5 + \text{ind_IDADE} \quad (5.4)$$

$$\text{ÍNDICE}_2 = (\text{ind_VDM} - 1) * 3 + \text{ind_CF} \quad (5.5)$$

$$\text{IP} = 0,7 * (\text{ÍNDICE}_1) + 0,3 * (\text{ÍNDICE}_2) \quad (5.6)$$

onde ind_IDADE, ind_VDM e ind_CF são os índices dos intervalos de variação das variáveis idade do pavimento, volume de tráfego diário médio e classe funcional. Os valores limites para ind_IDADE e ind_VDM adotados na presente aplicação são apresentados na Tabela 5.8. Para ind_ICP, os intervalos são os mesmos adotados para a determinação da matriz P. No caso de ind_CF, os valores são fixos: ind_CF = 1 para arterial, ind_CF = 2 para coletora e ind_CF = 3 para local.

Após a determinação do IP de cada seção, o tipo de estratégia de reparo mais adequado é selecionado. Essa seleção é realizada pelo sistema especialista simplificado, que recomenda seis tipos de estratégias conforme as características de cada seção:

0. Não fazer nada;
1. Manutenção de rotina;
2. Manutenção preventiva;

3. Recapeamento médio;
4. Recapeamento espesso;
5. Reconstrução.

Os três primeiros tipos identificados pelos números 0, 1 e 2 definem as estratégias de manutenção recomendadas. Os outros três tipos definem as estratégias de reabilitação.

TABELA 5.8 – Valores limites adotados para os índices dos intervalos das variáveis IDADE e VDM

IDADE DO PAVIMENTO (anos)			VOLUME DE TRÁFEGO DIÁRIO MÉDIO (veículos/dia)		
mínimo	máximo	ind_IDADE	mínimo	máximo	ind_VDM
31	indefinido	1	7.001	indefinido	1
21	30	2	4.001	7.000	2
11	20	3	2.501	4.000	3
6	10	4	1.001	2.500	4
0	5	5	0	1.000	5

Para selecionar uma estratégia de reparo para cada caso, a vantagem da flexibilidade oferecida com o uso de uma árvore de decisão é considerada, uma vez que o seu desenvolvimento pode ser baseado na experiência de especialistas na área. No entanto, as informações conseguidas nas pesquisas realizadas durante a coleta de dados não foram suficientes para desenvolver uma árvore específica para este trabalho, pois as prefeituras municipais não possuem bancos de dados completos e atualizados. A mesma árvore utilizada no programa URMS (apresentada na Figura 4.11) é utilizada e envolve as variáveis ICP, idade e volume de tráfego de cada seção, sendo que cada variável possui cinco níveis.

Essa árvore foi desenvolvida obedecendo a regra básica “**Se - Então**”. Por exemplo, a seguir tem-se as regras obedecidas para selecionar a estratégia no caso de $\text{ind_ICP} = 1$ ou 2 .

- **Se** $\text{ind_ICP} = 1$ ou 2

Se $\text{ind_IDADE} = 1$ ou 2

Se $\text{ind_VDM} = 1$ ou 2

Então ESTRATÉGIA = Reconstrução

Se $\text{ind_VDM} = 3$

Então ESTRATÉGIA = Recapeamento espesso

Se $\text{ind_VDM} = 4$ ou 5

Então ESTRATÉGIA = Recapeamento espesso

Se $\text{ind_IDADE} = 3$

Se $\text{ind_VDM} = 1$ ou 2

Então ESTRATÉGIA = Reconstrução

Se $\text{ind_VDM} = 3$

Então ESTRATÉGIA = Recapeamento espesso

Se $\text{ind_VDM} = 4$ ou 5

Então ESTRATÉGIA = Recapeamento médio

Se $\text{ind_IDADE} = 4$ ou 5

Se $\text{ind_VDM} = 1$ ou 2

Então ESTRATÉGIA = Recapeamento espesso

Se $\text{ind_VDM} = 3$

Então ESTRATÉGIA = Recapeamento espesso

Se $\text{ind_VDM} = 4$ ou 5

Então ESTRATÉGIA = Recapeamento médio

Determinada a estratégia de M&R mais adequada a cada seção, o custo é obtido, multiplicando-se o custo unitário de cada tipo de estratégia pela área da seção a ser reparada:

$$\text{CUSTO (R\$)} = \text{CUSTO UNITÁRIO (R\$/m}^2\text{)} * \text{ÁREA (m}^2\text{)} \therefore$$

$$\text{CUSTO (R\$)} = \text{CUSTO UNITÁRIO (R\$/m}^2\text{)} * \text{COMPRIMENTO(m)} * \text{LARGURA(m)}$$

Nesta aplicação, os custos unitários das estratégias, apresentados na Tabela 5.9, foram adotados somente para possibilitar a análise final dos resultados.

TABELA 5.9 – Valores dos custos unitários das estratégias de M&R

ESTRATÉGIA	CUSTO UNITÁRIO (R\$/m ²)
0: Não fazer nada	0,00
1: Manutenção de rotina	3,00
2: Manutenção preventiva	10,00
3: Recapeamento médio	20,00
4: Recapeamento espesso	25,00
5: Reconstrução	50,00

A próxima etapa é a seleção das seções a serem reparadas no ano em análise. Conforme descrito no capítulo anterior, essa seleção é realizada segundo dois critérios:

- Comparando-se o valor do ICP com um valor de mínima aceitação pelo usuário; e
- Conforme a ordem de prioridade das seções, respeitando-se o valor do recurso financeiro disponível em cada ano.

Na presente análise, o valor adotado para a condição mínima aceitável pelo usuário, ou o valor que define a necessidade de reparo urgente, foi a condição RUIM, ou $\text{ind_ICP} = 2$ ($\text{ICP} \leq 40$).

Em relação aos valores dos recursos disponíveis em cada ano durante todo o período de análise, esses são apresentados na Tabela 5.10 abaixo. Ressalta-se que esses valores foram atribuídos com objetivo de analisar os resultados do estudo

piloto. Nota-se que houve a preocupação de se adotar um valor mais alto para o último ano, 50% a mais que nos anos anteriores, uma vez que quase sempre as prefeituras municipais investem mais na área de manutenção de suas redes de pavimentos apenas quando já está próximo do final do mandato político.

TABELA 5.10 – Valores dos recursos financeiros disponíveis durante todo o período de análise de 4 anos

ANO	RECURSO DISPONÍVEL (R\$)
1998	70.000,00
1999	70.000,00
2000	70.000,00
2001	105.000,00

Resumidamente, durante a execução o programa SGPUSP/R é obedecido o seguinte roteiro para todo o período de análise:

- Definição da condição da rede em termos de ICP;
- Determinação do IP de cada seção;
- Seleção da estratégia de M&R para cada seção e determinação do custo;
- Seleção das seções a serem reparadas no ano de análise;
- Previsão da condição da rede em termos de ICP para o ano seguinte através da matriz de probabilidades de transição P.

É importante ressaltar que, com esse procedimento, o SGPUSP/R define o momento oportuno para aplicação das intervenções nas seções. Portanto, o sistema define “O QUE”, “ONDE” e “QUANDO” aplicar as intervenções nas seções da rede.

Os resultados da análise realizada para o trecho piloto para o período de 4 anos encontram-se nas Tabelas 5.11 a 5.14 que se seguem. Nota-se que esses resultados referem-se à condição $S(t)$, definida no Capítulo 4 como a condição da rede antes da realização dos reparos no ano em análise. Ou seja, a partir dos dados da Tabela 5.11, por exemplo, é que são definidas as seções a serem reparadas em 1998. Definidas as seções, é obtida $S'(1998)$, que quando multiplicada por P fornece $S(1999)$, cujos dados são apresentados na Tabela 5.12.

TABELA 5.11 – Determinação dos índices de prioridade, estratégias de M&R e custos das seções (1998)

SEÇÃO	CONST.	IDADE	ind_IDADE	CF	ind_CF	VDM	ind_VDM	ICP	ind_ICP	IP	ORDEM	est. M&R	R\$/m ²	ext.(m)	larg.(m)	CUSTO	SOMA
1	1967	31	1	L	3	450	5	55	3	12,2	6	2	10,00	99	8,5	8415,00	8415,00
2	1967	31	1	C	2	2500	4	70	4	14,5	9	0	0,00	77	7,7	-	8415,00
3	1977	21	2	A	1	12000	1	54	3	8,7	1	3	20,00	240	8,6	41280,00	49695,00
4	1977	21	2	C	2	5000	2	51	3	9,9	2	3	20,00	72	9,6	13824,00	63519,00
5	1977	21	2	C	2	5500	2	53	3	9,9	3	3	20,00	60	8,6	10320,00	73839,00
6	1989	9	4	C	2	4000	3	59	3	12,2	7	2	10,00	90	8,6	7740,00	81579,00
7	1989	9	4	C	2	5500	2	85	5	18,3	13	0	0,00	105	8,7	-	81579,00
8	1993	5	5	C	2	4000	3	63	4	16,4	10	0	0,00	152	7,5	-	81579,00
9	1972	26	2	C	2	6700	2	87	5	16,9	11	1	3,00	51	7,7	1178,10	82757,10
10	1972	26	2	C	2	4200	2	81	5	16,9	12	1	3,00	87	7,8	2035,80	84792,90
11	1967	31	1	C	2	12000	1	68	4	11,8	5	1	3,00	129	8,9	3444,30	88237,20
12	1952	46	1	A	1	15000	1	78	4	11,5	4	1	3,00	89	10,0	2670,00	90907,20
13	1967	31	1	C	2	6000	2	74	4	12,7	8	1	3,00	84	7,8	1965,60	92872,80

TABELA 5.12 – Determinação dos índices de prioridade, estratégias de M&R e custos das seções (1999)

SEÇÃO	CONST.	IDADE	ind_IDADE	CF	ind_CF	VDM	ind_VDM	ind_ICP	IP	ORDEM	est. M&R	RS/m ²	ext.(m)	larg.(m)	CUSTO	SOMA
1	1967	32	1	L	3	495	5	3	12,2	8	2	10,00	99	8,5	8.415,00	8.415,00
2	1967	32	1	C	2	2750	3	3	10,1	4	3	20,00	77	7,7	11.858,00	20.273,00
3	1977	22	2	A	1	13200	1	4	12,2	7	1	3,00	240	8,6	6.192,00	26.465,00
4	1977	22	2	C	2	5500	2	4	13,4	12	1	3,00	72	9,6	2.073,60	28.538,60
5	1977	22	2	C	2	6050	2	4	13,4	11	1	3,00	60	8,6	1.548,00	30.086,60
6	1989	10	4	C	2	4400	2	2	7,8	1	4	25,00	90	8,6	19.350,00	49.436,60
7	1989	10	4	C	2	6050	2	4	14,8	13	0	0,00	105	8,7	-	49.436,60
8	1993	6	4	C	2	4400	2	3	11,3	5	2	10,00	152	7,5	11.400,00	60.836,60
9	1972	27	2	C	2	7370	1	4	12,5	9	1	3,00	51	7,7	1.178,10	62.014,70
10	1972	27	2	C	2	4620	2	4	13,4	10	1	3,00	87	7,8	2.035,80	64.050,50
11	1967	32	1	C	2	13200	1	3	8,3	2	3	20,00	129	8,9	22.962,00	87.012,50
12	1952	47	1	A	1	16500	1	4	11,5	6	1	3,00	89	10,0	2.670,00	89.682,50
13	1967	32	1	C	2	6600	2	3	9,2	3	3	20,00	84	7,8	13.104,00	102.786,50

TABELA 5.13 – Determinação dos índices de prioridade, estratégias de M&R e custos das seções (2000)

SEÇÃO	CONST.	IDADE	ind_IDADE	CF	ind_CF	VDM	ind_VDM	ind_ICP	IP	ORDEM	est.	M&R	R\$/m²	ext.(m)	larg.(m)	CUSTO	SOMA
1	1967	33	1	L	3	545	5	2	8,7	4	4	25,00	99	8,5	21.037,50	21.037,50	
2	1967	33	1	C	2	3025	3	4	13,6	12	0	0,00	77	7,7	-	21.037,50	
3	1977	23	2	A	1	14520	1	3	8,7	3	3	20,00	240	8,6	41.280,00	62.317,50	
4	1977	23	2	C	2	6050	2	3	9,9	8	3	20,00	72	9,6	13.824,00	76.141,50	
5	1977	23	2	C	2	6655	2	3	9,9	7	3	20,00	60	8,6	10.320,00	86.461,50	
6	1989	11	3	C	2	4840	2	4	14,1	13	1	3,00	90	8,6	2.322,00	88.783,50	
7	1989	11	3	C	2	6655	2	3	10,6	9	3	20,00	105	8,7	18.270,00	107.053,50	
8	1993	7	4	C	2	4840	2	2	7,8	1	4	25,00	152	7,5	28.500,00	135.553,50	
9	1972	28	2	C	2	8107	1	3	9,0	5	3	20,00	51	7,7	7.854,00	143.407,50	
10	1972	28	2	C	2	5082	2	3	9,9	6	3	20,00	87	7,8	13.572,00	156.979,50	
11	1967	33	1	C	2	14520	1	4	11,8	11	1	3,00	129	8,9	3.444,30	160.423,80	
12	1952	48	1	A	1	18150	1	3	8,0	2	3	20,00	89	10,0	17.800,00	178.223,80	
13	1967	33	1	C	2	7260	1	4	11,8	10	1	3,00	84	7,8	1.965,60	180.189,40	

TABELA 5.14 – Determinação dos índices de prioridade, estratégias de M&R e custos das seções (2001)

SEÇÃO	CONST.	IDADE	ind_IDADE	CF	ind_CF	VDM	ind_VDM	ind_ICP	IP	ORDEM	est.	M&R	R\$/m²	ext.(m)	larg.(m)	CUSTO	SOMA
1	1967	34	1	L	3	599	5	4	15,7	13	0	0,00	99	8,5	-	-	
2	1967	34	1	C	2	3328	3	3	10,1	9	3	20,00	77	7,7	11.858,00	11.858,00	
3	1977	24	2	A	1	15972	1	2	5,2	1	5	50,00	240	8,6	103.200,00	115.058,00	
4	1977	24	2	C	2	6655	2	2	6,4	5	5	50,00	72	9,6	34.560,00	149.618,00	
5	1977	24	2	C	2	7321	1	2	5,5	3	5	50,00	60	8,6	25.800,00	175.418,00	
6	1989	12	3	C	2	5324	2	3	10,6	10	3	20,00	90	8,6	15.480,00	190.898,00	
7	1989	12	3	C	2	7321	1	3	9,7	8	3	20,00	105	8,7	18.270,00	209.168,00	
8	1993	8	4	C	2	5324	2	4	14,8	12	0	0,00	152	7,5	-	209.168,00	
9	1972	29	2	C	2	8918	1	2	5,5	2	5	50,00	51	7,7	19.635,00	228.803,00	
10	1972	29	2	C	2	5590	2	2	6,4	4	5	50,00	87	7,8	33.930,00	262.733,00	
11	1967	34	1	C	2	15972	1	3	8,3	7	3	20,00	129	8,9	22.962,00	285.695,00	
12	1952	49	1	A	1	19965	1	4	11,5	11	1	3,00	89	10,0	2.670,00	288.365,00	
13	1967	34	1	C	2	7986	1	3	8,3	6	3	20,00	84	7,8	13.104,00	301.469,00	

Na Tabela 5.15 são encontrados os resultados finais para todo o período de análise. A coluna “JUSTIFICATIVA PARA REALIZAÇÃO DE REPARO” é preenchida por um dos dois critérios para realização de reparo nas seções, já descritos anteriormente.

TABELA 5.15 – Resumo dos resultados finais para o período de 4 anos

ANO	SEÇÃO	JUSTIFICATIVA PARA REALIZAÇÃO DE REPARO	EXT. (m)	% REDE	ESTRATÉGIA RECOMENDADA	CUSTO POR SEÇÃO	CUSTO TOTAL
1998	3	PRIORIDADE	240	35%	3: RECAP. MÉD.	41.280,00	68.094,00
	4	PRIORIDADE	72		3: RECAP. MÉD.	13.824,00	
	5	PRIORIDADE	60		3: RECAP. MÉD.	10.320,00	
	12	PRIORIDADE	89		1: MAN. ROTINA	2.670,00	
1999	2	PRIORIDADE	77	28%	3: RECAP. MÉD.	11.858,00	67.274,00
	6	ind_ICPmin	90		4: RECAP. ESP.	19.350,00	
	11	PRIORIDADE	129		3: RECAP. MÉD.	22.962,00	
	13	PRIORIDADE	84		3: RECAP. MÉD.	13.104,00	
2000	1	ind_ICPmin	99	25%	4: RECAP. ESP.	21.037,50	67.337,50
	8	ind_ICPmin	152		4: RECAP. ESP.	28.500,00	
	12	PRIORIDADE	89		3: RECAP. MÉD.	17.800,00	
2001	3	ind_ICPmin	240	18%	5: RECONST.	103.200,00	103.200,00

A principal conclusão que pode ser obtida a partir da tabela acima é que a deterioração dos pavimentos com o tempo é muito mais rápida do que a correção dos defeitos. Como exemplo, para a seção 12 em 1998 é recomendada que seja realizada uma manutenção de rotina. Ainda assim, para o ano 2000, é recomendado a realização de um recapeamento médio, devido a idade avançada, (ano de construção: 1952) e por possuir volume de tráfego muito intenso, sendo uma via de classe arterial. Ou seja, mesmo sendo realizados reparos

periodicamente, a cada ano são necessárias estratégias de M&R mais pesadas e de maior valor. Como no exemplo da aplicação piloto deste trabalho, com um mesmo investimento, as extensões possíveis de serem reparadas foram diminuindo do ano de 1998 a 2000. Em 2001, mesmo com investimento 50% maior, a extensão a ser reparada foi bem menor que no ano 2000, diminuindo de 25% para apenas 18% da extensão total. Portanto, conclui-se que um adiamento das intervenções deve ser muito bem analisada, pois eleva em muito os custos com a conservação e manutenção das redes de pavimentos e pode não ser a melhor alternativa a longo prazo.

A Figura 5.7 apresenta a evolução da condição da rede realizando-se os reparos nas seções definidas durante os anos de 1998 a 2001. Ainda, na mesma figura foi representada a condição da rede para o ano de 2002, considerando-se que nenhum reparo seja realizado nesse ano.

FIGURA 5.7 – Representação da evolução da condição da rede com realização de reparos anuais nos anos de 1998 a 2001 e sem nenhum reparo em 2002

A Tabela 5.16 compara as Figuras 5.5 e 5.7 para os anos de 1998 e 2001, onde nenhum reparo é realizado e com realização de reparos anuais durante o período de 4 anos. Ao final do ano 2001 pode ser percebida a diferença nos resultados: se forem realizados reparos anuais, ainda restarão 18% da rede com condição excelente. Caso contrário, se nenhum reparo for realizado em 4 anos, no ano de 2001, 74% da rede encontrará em condição péssima e 21% da rede encontrará em condição ruim, ou seja, apenas 5% da rede encontrará em condição acima do nível mínimo de aceitação. Portanto, no caso dessa aplicação piloto, conclui-se que não seria conveniente nem para o órgão responsável pelas decisões e nem para os usuários que não sejam realizados reparos anuais nos anos de 1998 a 2001.

TABELA 5.16 – Comparação dos resultados obtidos para os anos de 1998 e 2001, em caso de nenhum reparo ser realizado e em caso de realização de reparos anuais

CONDIÇÃO	1998		2001	
	sem reparo	com reparo	sem reparo	com reparo
PÉSSIMO	(-)	(-)	74%	(-)
RUIM	(-)	(-)	21%	20%
REGULAR	42%	7%	5%	36%
BOM	40%	40%	(-)	26%
EXCELENTE	18%	53%	(-)	18%

6 – Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Conforme já mencionado, o presente trabalho faz parte de um projeto de pesquisa mais amplo, que vem sendo desenvolvido no Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, cujo objetivo é o desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de gerência de pavimentos para cidades brasileiras de médio porte.

Foi desenvolvido o programa computacional SGPUSP/R, que funciona como uma ferramenta para auxiliar o processo de decisões em relação à alocação dos investimentos em uma rede de pavimentos. Trata-se de um procedimento composto por critérios racionais para manter toda a rede na melhor condição possível a partir dos recursos financeiros disponíveis. No caso das necessidades serem superiores a esses recursos, um processo de priorização das seções é acionado.

Uma das principais vantagens do sistema SGPUSP/R consiste na possibilidade de realização de um planejamento financeiro e orçamentário a médio ou longo prazo. Para tanto, é realizada a previsão do desempenho dos pavimentos através da aplicação do Processo de Markov, que vem sendo utilizado com sucesso e possui a vantagem da independência de eventos passados na previsão de eventos futuros.

Outra vantagem do programa é a utilização de um inventário simples da rede de pavimentos, o que facilita a etapa da coleta das informações necessárias, com economia e redução do tempo de levantamento. A condição do pavimento, por exemplo, é avaliada subjetivamente mediante inspeção visual de dentro de um veículo trafegando a baixa velocidade ou caminhamento pelas seções.

As estratégias de M&R para cada seção são recomendadas pelo SGPUSP/R através de um sistema especialista simplificado, desenvolvido considerando-se a condição, idade e o volume de tráfego. O planejamento da programação das estratégias de M&R necessárias a longo prazo é feita a partir da previsão do desempenho, que permite, portanto, a estimativa de todos os custos envolvidos.

Também o SGPUSP/R apresenta um procedimento para priorizar as seções conforme a necessidade de reparo. Essa priorização considera as variáveis condição do pavimento (ICP), idade, volume de tráfego (VDM) e classe funcional das seções. No entanto, antes disso, um valor mínimo da condição define as seções com necessidade urgente de reparo, pois a seção com condição abaixo desse valor é considerada inaceitável ao usuário em relação à segurança e conforto.

A partir do presente trabalho, algumas alternativas podem ser sugeridas para uma futura continuidade do mesmo:

- Ampliação do sistema para auxiliar não somente as decisões em nível de rede, mas também em nível de projeto;
- Determinação das matrizes de probabilidades de transição especificamente para cada seção, através de um processo empírico análogo ao desenvolvido por ZERBINI (1999), capaz de aumentar a precisão dos resultados em relação à previsão do desempenho dos pavimentos;
- Análise de novos critérios para seleção das estratégias de M&R, bem como a avaliação de novos processos para priorização de seções;

- Aperfeiçoamento das árvores de decisão utilizadas para a seleção de estratégias de M&R;
- Desenvolvimento de interface capaz de compatibilizar o SGPUSP/R com outros sistemas de gerência de infra-estrutura urbana, analogamente ao trabalho que foi desenvolvido por PANTIGOSO (1998) utilizando o SIG MapInfo.

Em relação às dificuldades, a falta de dados históricos foi a principal barreira encontrada. No Brasil, geralmente não são realizados levantamentos da condição da rede de pavimentos urbanos e tampouco a evolução da deterioração com o tempo é acompanhada. As atividades de M&R, realizada na maioria das vezes somente quando a condição do pavimento é mínima, quase nunca são documentadas. Portanto, dados importantes como a idade do pavimento, ano e tipo da última intervenção são muito difíceis de serem encontrados nas prefeituras municipais.

Mesmo sabendo-se das vantagens proporcionadas pela implantação de um sistema de gerência de pavimentos, ainda existe uma forte resistência por parte dos organismos rodoviários, sejam públicos ou privados, federais, estaduais ou municipais, uma vez que eles se sentem desconfortáveis diante de mudanças. Espera-se que este trabalho contribua para o incentivo da formalização do processo de tomada de decisões em relação aos investimentos na área de pavimentação, pois a experiência adquirida através do tempo, quando não documentada, formalizada e analisada, apresenta limitações.

ANEXO A

QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO PARA LEVANTAMENTO DAS PRÁTICAS ADOTADAS PELAS PREFEITURAS MUNICIPAIS

QUESTIONÁRIO PARA OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

♦	EXTENSÃO DA REDE VIÁRIA DA CIDADE: _____ _____
♦	CADASTRAMENTO DA REDE: _____ _____
♦	AValiação DA CONdição DOS PAVIMENTOS: _____ _____ _____
♦	CONTROLE DOS VOLUMES DE TRÁFEGO: <i>Forma de contagem:</i> _____ <i>Taxa de crescimento:</i> _____ <i>Distinção entre os veículos:</i> _____
♦	SELEÇÃO DOS TRECHOS PARA M&R: _____ _____
♦	DETERMINAÇÃO DO MOMENTO PARA INTERVENÇÃO: _____ _____
♦	DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS: <i>Base para cálculo:</i> _____ _____ <i>Consideração do custo de gerenciamento:</i> _____ _____ <i>Consideração do custo de operação dos veículos :</i> _____ _____
♦	ESTRUTURA DO DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL PELA MANUTENÇÃO DA REDE VIÁRIA: _____ _____
♦	INTEGRAÇÃO DE TRABALHO COM OUTRAS CONCESSIONÁRIAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS: _____ _____

QUESTIONÁRIO PARA DETERMINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE REPARO

DATA: _____ IDENTIFICAÇÃO DO ÓRGÃO: _____

TIPO DE DEFEITO: *TRINCAS POR FADIGA* (Alligator / Fatigue Cracking)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

MÉDIA

ALTA

TIPO DE DEFEITO: *TRINCAS EM BLOCOS* (Block Cracking)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

MÉDIA

ALTA

QUESTIONARIO PARA DETERMINAÇÃO DAS ESTRATEGIAS DE REPARO

DATA: _____ IDENTIFICAÇÃO DO ÓRGÃO: _____

TIPO DE DEFEITO: *TRINCAS LATERAIS* (Edge Cracking)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

MÉDIA

ALTA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

TIPO DE DEFEITO: *TRINCAS LONGITUDINAIS* (Longitudinal Cracking)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

MÉDIA

ALTA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

QUESTIONÁRIO PARA DETERMINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE REPARO

DATA: _____ IDENTIFICAÇÃO DO ÓRGÃO: _____

TIPO DE DEFEITO: *TRINCAS POR REFLEXÃO* (Reflection Cracking at Joints)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

MÉDIA

ALTA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

TIPO DE DEFEITO: *TRINCAS TRANSVERSAIS* (Transverse Cracking)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

MÉDIA

ALTA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

QUESTIONÁRIO PARA DETERMINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE REPARO

DATA: _____ IDENTIFICAÇÃO DO ÓRGÃO: _____

TIPO DE DEFEITO: *REMENDOS* (Patch Deterioration)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

MÉDIA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

ALTA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

TIPO DE DEFEITO: *PANELAS* (Potholes)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

MÉDIA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

ALTA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

QUESTIONÁRIO PARA DETERMINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE REPARO

DATA: _____ IDENTIFICAÇÃO DO ÓRGÃO: _____

TIPO DE DEFEITO: *DESNÍVEL PISTA / ACOSTAMENTO* (Lane-to-Shoulder Dropoff)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

MÉDIA

ALTA

TIPOS DE DEFEITOS: *BOMBEAMENTO D'ÁGUA* (Pumping)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

MÉDIA

ALTA

QUESTIONÁRIO PARA DETERMINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE REPARO

DATA: _____ IDENTIFICAÇÃO DO ÓRGÃO: _____

TIPO DE DEFEITO: *DESGASTE* (Raveling)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

MÉDIA

ALTA

QUESTIONÁRIO PARA DETERMINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE REPARO

DATA: _____ IDENTIFICAÇÃO DO ÓRGÃO: _____

TIPO DE DEFEITO: *EXSUDAÇÃO* (Bleeding)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE: *BAIXA*

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

MÉDIA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

ALTA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

TIPO DE DEFEITO: *AGREGADOS POLIDOS* (Polished Aggregate)

- Método de medição: _____

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

QUESTIONÁRIO PARA DETERMINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE REPARO

DATA: _____ IDENTIFICAÇÃO DO ÓRGÃO: _____

TIPO DE DEFEITO: *DEFORMAÇÃO PERMANENTE NAS TRILHAS DE RODA* (Rutting)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE:

- *BAIXA*: 6 a 12 mm; _____
- *MÉDIA*: 12 a 25 mm; _____
- *ALTA*: acima de 25 mm. _____

TIPO DE REPARO E CUSTO UNITÁRIO:

TIPO DE DEFEITO: *CORRUGAÇÃO* (Shoving)

- Método de medição: _____
- Determinação do nível de severidade: _____

SEVERIDADE:

MÉDIA

ALTA

REPARO: _____

CUSTO UNITÁRIO: _____

ANEXO B

LISTAGEM DO PROGRAMA COMPUTACIONAL SGPUSP/R:

1. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS
2. PROGRAMA PRINCIPAL
3. MÓDULO DA BASE DE DADOS
4. MÓDULO PARA DETERMINAÇÃO DA MATRIZ DE
PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO
5. MÓDULO PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PRIORIDADE,
SELEÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO E
REABILITAÇÃO E DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE CADA
SEÇÃO

1. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

- n: número total de seções que compõem a rede;
- i: incremento relativo à seção ($i := 1$ a n);
- PA: período de análise ($PA := 1$ a 8 anos);
- t: incremento relativo ao tempo ($t := 0$ a $(PA - 1)$);
- AnoInicial: ano a partir do qual é realizada a análise ($t = 0$);
- z: ano em análise ($z := \text{AnoInicial} + t$);
- NCidade: nome da cidade em análise;
- RecFin(z): recurso financeiro disponível no ano de análise “z” (R\$);
- CodSecao(i): código da seção “i”;
- NRua(i): nome da rua onde localiza-se a seção “i”;
- LocDE(i): marco de início da seção “i”;
- LocPARA(i): marco de término da seção “i”;
- extensao(i): extensão da seção “i” (m);
- largura(i): largura da seção “i” (m);
- faixas(i): número de faixas da seção “i”;
- CF(i): classe funcional da seção “i”;
- AnoConst(i): ano de construção da seção “i”;
- IDADE(i,z): idade da seção “i” no ano de análise “z” (anos);
- VDM(i,z): volume de tráfego diário médio na seção “i” no ano de análise “z” (veículos/dia);
- TxVDM(i): taxa de crescimento anual de VDM da seção “i” (%);
- PTP(i): porcentagem de tráfego pesado atuante na seção “i”;
- AnoUltInt(i): ano da última intervenção na seção “i”;
- EstUltInt(i): tipo de estratégia realizada na última intervenção na seção “i”;
- ICP(i,z): índice de condição do pavimento da seção “i” no ano de análise “z”;
- ind_ICP(i,z): índice que representa um estado de condição em relação à variável ICP da seção “i” no ano de análise “z”;

$\text{ind_ICP}(i,z) := 1$: PÉSSIMO;

$\text{ind_ICP}(i,z) := 2$: RUIM;

$\text{ind_ICP}(i,z) := 3$: REGULAR;

$\text{ind_ICP}(i,z) := 4$: BOM;

$\text{ind_ICP}(i,z) := 5$: EXCELENTE;

- $\text{ind_IDADE}(i,z)$: índice que representa um estado de condição em relação à variável IDADE da seção “i” no ano de análise “z”:

$\text{ind_IDADE}(i,z) := 1$: MUITO VELHO;

$\text{ind_IDADE}(i,z) := 2$: VELHO;

$\text{ind_IDADE}(i,z) := 3$: MÉDIO;

$\text{ind_IDADE}(i,z) := 4$: NOVO;

$\text{ind_IDADE}(i,z) := 5$: MUITO NOVO;

- $\text{ind_VDM}(i,z)$: índice que representa um estado de condição em relação à variável VDM da seção “i” no ano de análise “z”:

$\text{ind_VDM}(i,z) := 1$: MUITO INTENSO;

$\text{ind_VDM}(i,z) := 2$: INTENSO;

$\text{ind_VDM}(i,z) := 3$: MÉDIO;

$\text{ind_VDM}(i,z) := 4$: LEVE;

$\text{ind_VDM}(i,z) := 5$: MUITO LEVE;

- $\text{ind_CF}(i)$: índice que representa a variável CF da seção “i”:

$\text{ind_CF}(i) := 1$: ARTERIAL;

$\text{ind_CF}(i) := 2$: COLETORA;

$\text{ind_CF}(i) := 3$: LOCAL;

- $S1(y) \sim S4(y)$: extensão de pavimento com condição $\text{ind_ICP} = 1$ a 4 no ano de análise “y” (m);
- $\text{Sint}(\text{ind_ICP})$: extensão de pavimento com condição “ind_ICP” no ano de interesse (m);
- $\text{Santerior}(\text{ind_ICP})$: extensão de pavimento com condição “ind_ICP” no ano anterior ao de interesse (m);

- $p(m,n)$: probabilidade da extensão com condição “m” passar para a condição “n” em um estágio de deterioração;
- $IP(i,z)$: índice de prioridade da seção “i” no ano de análise “z”;
- $INDICE1(i,z)$: índice que envolve os índices $ind_ICP(i,z)$ e $ind_IDADE(i,z)$ para determinação do $IP(i,z)$ da seção “i” no ano de análise “z”;
- $INDICE2(i,z)$: índice que envolve os índices $ind_VDM(i,z)$ e $ind_CF(i)$ para determinação do $IP(i,z)$ da seção “i” no ano de análise “z”;
- $CustoUnEst0$: custo unitário da estratégia 0 (não fazer nada) ($= 0,00 \text{ R\$/m}^2$);
- $CustoUnEst1$: custo unitário da estratégia 1 (manutenção de rotina) ($\text{R\$/m}^2$);
- $CustoUnEst2$: custo unitário da estratégia 2 (manutenção preventiva) ($\text{R\$/m}^2$);
- $CustoUnEst3$: custo unitário da estratégia 3 (recapeamento médio) ($\text{R\$/m}^2$);
- $CustoUnEst4$: custo unitário da estratégia 4 (recapeamento espesso) ($\text{R\$/m}^2$);
- $CustoUnEst5$: custo unitário da estratégia 5 (reconstrução) ($\text{R\$/m}^2$);
- $estrategia(i,z)$: tipo de estratégia de M&R recomendada para a seção “i” no ano de análise “z”;
- $CustoSecao(i,z)$: custo para a seção “i” no ano de análise “z”.

2. PROGRAMA PRINCIPAL

```
unit UnitPrincipal;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
    Windows, Messages, Classes, Forms, Dialogs, StdCtrls, Buttons,  
    UnitDadosGerais, UnitDadosSecoes, UnitRecFin, UnitCustoUnMeR, UnitIntVar,  
    UnitDetMatriz, UnitDetIP, UnitDetEstCusto, UnitDetIPEstrategiaCusto;
```

```
var
```

```
    FormDadosGerais: TFormDadosGerais;  
    FormDadosSecoes: TFormDadosSecoes;  
    FormRecFin: TFormRecFin;  
    FormCustoUnMeR: TFormCustoUnMeR;  
    FormIntVar: TFormIntVar;  
    FormDetMatriz: TFormDetMatriz;  
    FormDetIP: TFormDetIP;  
    FormDetEstCusto: TFormDetEstCusto;
```

```
    NCidade, NRua, LocDE, LocPARA, CF, EstUltInt, IDADEmax1, VDMmax1, estrategia:  
String;
```

```
    ICPmin1, ICPmax5, IDADEmin5, VDMmin5, CustoUnEst0: const;  
    AnoInicial, PA, n, i, t, z, CodSecao, faixas, AnoConst, IDADE, AnoUltInt, ind_ICP,  
    ind_IDADE, ind_VDM, ind_CF: Integer;  
    RecFin, extensao, largura, TxVDM, VDM, PTP, ICP, CustoUnEst0, CustoUnEst1,  
    CustoUnEst2, CustoUnEst3, CustoUnEst4, CustoUnEst5, ICPmin1, ICPmin2, ICPmin3,  
    ICPmin4, ICPmin5, ICPmax1, ICPmax2, ICPmax3, ICPmax4, ICPmax5, IDADEmin1, IDA  
    DEmin2, IDADEmin3, IDADEmin4, IDADEmin5, IDADEmax1, IDADEmax2, IDADEma  
    x3, IDADEmax4, IDADEmax5, VDMmin1, VDMmin2, VDMmin3, VDMmin4, VDMmin5  
    , VDMmax1, VDMmax2, VDMmax3, VDMmax4, VDMmax5, ICPmin, p, IP, CustoSecao, Si  
    nt, Santerior, S1, S2, S3, S4, S5: Real;
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
begin
```

```
//Entrada e Leitura dos dados em FormDadosGerais
```

```
    NCidade:=FormDadosGerais.Edit1.Text;
    AnoInicial:=StrToInt(FormDadosGerais.Edit2.Text);
    if FormDadosGerais.ComboBox1.Items=0 then
        PA:=1;
    if FormDadosGerais.ComboBox1.Items=1 then
        PA:=2;
    if FormDadosGerais.ComboBox1.Items=2 then
        PA:=3;
    if FormDadosGerais.ComboBox1.Items=3 then
        PA:=4;
    if FormDadosGerais.ComboBox1.Items=4 then
        PA:=5;
    if FormDadosGerais.ComboBox1.Items=5 then
        PA:=6;
    if FormDadosGerais.ComboBox1.Items=6 then
        PA:=7
    else
        PA:=8;
```

```
//Entrada e Leitura dos dados em FormDadosSecoes
```

```
    for i:=1 to n do
        NRua(i):=FormDadosSecoes.Edit1.Text;
        LocDE(i):=FormDadosSecoes.Edit2.Text;
        LocPARA(i):=FormDadosSecoes.Edit3.Text;
        extensao(i):=StrToFloat(FormDadosSecoes.Edit4.Text);
        largura(i):=StrToFloat(FormDadosSecoes.Edit5.Text);
        faixas(i):=StrToInt(FormDadosSecoes.Edit6.Text);
        if FormDadosSecoes.ComboBox1.Items=0 then
            ind_CF(i):=1;
```



```

if FormDadosSecoes.ComboBox1.Items=1 then
    ind_CF(i):=2
else
    ind_CF(i):=3;
AnoConst(i):=StrToInt(FormDadosSecoes.Edit7.Text);
VDM(i,1):=StrToFloat(FormDadosSecoes.Edit8.Text);
PTP(i):=StrToFloat(FormDadosSecoes.Edit9.Text);
TxVDM(i):=StrToFloat(FormDadosSecoes.Edit10.Text);
AnoUltInt(i):=StrToInt(FormDadosSecoes.Edit11.Text);
ICP(i,1):=StrToFloat(FormDadosSecoes.Edit12.Text);
if FormDadosSecoes.ComboBox2.Items=0 then
    EstUltInt(i):='MANUTENÇÃO DE ROTINA';
if FormDadosSecoes.ComboBox2.Items=1 then
    EstUltInt(i):='MANUTENÇÃO PREVENTIVA';
if FormDadosSecoes.ComboBox2.Items=2 then
    EstUltInt(i):='RECAPEAMENTO MÉDIO';
if FormDadosSecoes.ComboBox2.Items=3 then
    EstUltInt(i):='MANUTENÇÃO ESPESSO'
else
    EstUltInt(i):='RECONSTRUÇÃO';

```

//Entrada e Leitura dos dados em FormRecFin

```

for t:=0 to (PA-1) do
    z:=AnoInicial+t;
    RecFin(z):=StrToFloat(FormRecFin.Edit1.Text);

```

//Entrada e Leitura dos dados em FormCustoUnMeR

```

CustoUnEst0:=0;
CustoUnEst1:=StrToFloat(FormCustoUnMeR.Edit2.Text);
CustoUnEst2:=StrToFloat(FormCustoUnMeR.Edit3.Text);
CustoUnEst3:=StrToFloat(FormCustoUnMeR.Edit4.Text);
CustoUnEst4:=StrToFloat(FormCustoUnMeR.Edit5.Text);
CustoUnEst5:=StrToFloat(FormCustoUnMeR.Edit6.Text);

```

//Entrada e Leitura dos dados em FormIntVar

```
ICPmin1:=0;
ICPmin2:=StrToFloat(FormIntVar.Edit2.Text);
ICPmin3:=StrToFloat(FormIntVar.Edit3.Text);
ICPmin4:=StrToFloat(FormIntVar.Edit4.Text);
ICPmin5:=StrToFloat(FormIntVar.Edit5.Text);
ICPmax1:=StrToFloat(FormIntVar.Edit6.Text);
ICPmax2:=StrToFloat(FormIntVar.Edit7.Text);
ICPmax3:=StrToFloat(FormIntVar.Edit8.Text);
ICPmax4:=StrToFloat(FormIntVar.Edit9.Text);
ICPmax5:=100;
```

```
IDADEmin1:=StrToFloat(FormIntVar.Edit11.Text);
IDADEmin2:=StrToFloat(FormIntVar.Edit12.Text);
IDADEmin3:=StrToFloat(FormIntVar.Edit13.Text);
IDADEmin4:=StrToFloat(FormIntVar.Edit14.Text);
IDADEmin5:=0;
IDADEmax1:='indefinido';
IDADEmax2:=StrToFloat(FormIntVar.Edit17.Text);
IDADEmax3:=StrToFloat(FormIntVar.Edit18.Text);
IDADEmax4:=StrToFloat(FormIntVar.Edit19.Text);
IDADEmax5:=StrToFloat(FormIntVar.Edit20.Text);
```

```
VDMmin1:=StrToFloat(FormIntVar.Edit21.Text);
VDMmin2:=StrToFloat(FormIntVar.Edit22.Text);
VDMmin3:=StrToFloat(FormIntVar.Edit23.Text);
VDMmin4:=StrToFloat(FormIntVar.Edit24.Text);
VDMmin5:=0;
VDMmax1:='indefinido';
VDMmax2:=StrToFloat(FormIntVar.Edit27.Text);
VDMmax3:=StrToFloat(FormIntVar.Edit28.Text);
VDMmax4:=StrToFloat(FormIntVar.Edit29.Text);
VDMmax5:=StrToFloat(FormIntVar.Edit30.Text);
```

```
ICPmin:=StrToFloat(FormIntVar.Edit31.Text);
```

//Função para determinar a idade das seções

function DeterminaIDADE(x,y:integer):integer;

var

PA,AnoInicial,AnoConst: integer;

begin

y:=AnoInicial+PA;

DeterminaIDADE(x,y):=y-AnoConst(x);

end;

//Função para classificar as seções conforme o ICP

function ClassificaICP(x,y: integer):integer;

var

ICP,ICPmax1,ICPmax2,ICPmax3,ICPmax4: integer;

begin

if ICP(x,y)<=ICPmax1 then

ClassificaICP(x,y):=1;

if ICP(x,y)<=ICPmax2 then

ClassificaICP(x,y):=2;

if ICP(x,y)<=ICPmax3 then

ClassificaICP(x,y):=3;

if ICP(x,y)<=ICPmax4 then

ClassificaICP(x,y):=4

else

ClassificaICP(x,y):=5;

end;

//Função para classificar as seções conforme a IDADE

function ClassificaIDADE(x,y:integer):integer;

var

IDADE,IDADEmax2,IDADEmax3,IDADEmax4,IDADEmax5: integer;

begin


```

if IDADE(x,y)<=IDADEmax5 then
    ClassificaIDADE(x,y):=5;
if IDADE(x,y)<=IDADEmax4 then
    ClassificaIDADE(x,y):=4;
if IDADE(x,y)<=IDADEmax3 then
    ClassificaIDADE(x,y):=3;
if IDADE(x,y)<=IDADEmax2 then
    ClassificaIDADE(x,y):=2
else
    ClassificaIDADE(x,y):=1;
end;

```

//Função para classificar as seções conforme o VDM

```

function ClassificaVDM(x,y:integer):integer;
var
    VDM,VDMmax2,VDMmax3,VDMmax4,VDMmax5: integer;

begin
    if VDM(x,y)<=VDMmax5 then
        ClassificaVDM(x,y):=5;
    if VDM(x,y)<=VDMmax4 then
        ClassificaVDM(x,y):=4;
    if VDM(x,y)<=VDMmax3 then
        ClassificaVDM(x,y):=3;
    if VDM(x,y)<=VDMmax2 then
        ClassificaVDM(x,y):=2
    else
        ClassificaVDM(x,y):=1;
    end;
end;

```

//Procedimento para distribuir a extensão total em extensões conforme o ICP

```

procedure DistribuiExtensao
var
    i,n,ind_ICP,y: integer;

```

```

    extensao,S1,S2,S3,S4,S5: real;

begin
    S1(y):=0,0;
    S2(y):=0,0;
    S3(y):=0,0;
    S4(y):=0,0;
    S5(y):=0,0;
    for i:=1 to n do
        if ind_ICP(i,y)=1 then
            S1(y):=S1(y)+extensao(i);
        if ind_ICP(i,y)=2 then
            S2(y):=S2(y)+extensao(i);
        if ind_ICP(i,y)=3 then
            S3(y):=S3(y)+extensao(i);
        if ind_ICP(i,y)=4 then
            S4(y):=S4(y)+extensao(i)
        else
            S5(y):=S5(y)+extensao(i);
    end;

//Função para determinar a condição futura da rede
function DeterminaRedeSeguinte(x:integer):real;
var
    Santerior,p:real;

begin
    p(5,5):=1;
    DeterminaRedeSeguinte(1):=Santerior(1)*p(1,1);
    for x:=2 to 5 do
        DeterminaRedeSeguinte(x):=Santerior(x-1)*p(x-1,x)+Santerior(x)*p(x,x);
    end;

// Função para determinar o custo total da rede

```

```
function DeterminaCustoTotal(y:integer):real;
var
  x,n:integer;
  CustoSecao:real;

begin
  DeterminaCustoTotal(y):=0,0;
  for x:=1 to n do
    DeterminaCustoTotal(y):=DeterminaCustoTotal(y)+CustoSecao(x,y);
  end;

end.
```

3. MÓDULO DA BASE DE DADOS

unit UnitDadosGerais;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons;

type

TFormDadosGerais = class(TForm)

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Edit1: TEdit;

ComboBox1: TComboBox;

ButtonRecFin: TButton;

Label3: TLabel;

Edit2: TEdit;

ButtonDadosSecoes: TButton;

BitBtnSair: TBitBtn;

ButtonCustoUnMeR: TButton;

ButtonIntVar: TButton;

procedure ButtonRecFinClick(Sender: TObject);

procedure ButtonDadosSecoesClick(Sender: TObject);

procedure BitBtnSairClick(Sender: TObject);

procedure ButtonCustoUnMeRClick(Sender: TObject);

procedure ButtonIntVarClick(Sender: TObject);

procedure FormShow(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

```

    { Public declarations }
end;

var
    FormDadosGerais: TFormDadosGerais;

implementation

uses UnitPrincipal, UnitDadosSecoes, UnitRecFin, UnitCustoUnMeR, UnitIntVar,
    UnitDetMatriz, UnitDetIP, UnitDetEstCusto;

{$R *.DFM}

procedure TFormDadosGerais.ButtonRecFinClick(Sender: TObject);
begin
    FormRecFin.ShowModal;
end;

procedure TFormDadosGerais.ButtonDadosSecoesClick(Sender: TObject);
begin
    FormDadosSecoes.ShowModal
end;

procedure TFormDadosGerais.BitBtnSairClick(Sender: TObject);
begin
    Application.Terminate;
end;

procedure TFormDadosGerais.ButtonCustoUnMeRClick(Sender: TObject);
begin
    FormCustoUnMeR.ShowModal;
end;

procedure TFormDadosGerais.ButtonIntVarClick(Sender: TObject);

```

```

begin
    FormIntVar.ShowModal;
end;

procedure TFormDadosGerais.FormShow(Sender: TObject);
begin
    Edit1.SetFocus;
end;

end.

```

unit UnitDadosSecoes;

```
interface
```

```
uses
```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, ExtCtrls, Buttons;

```

```
type
```

```
TFormDadosSecoes = class(TForm)
```

```

    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;

```



```

Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
ButtonSalvarDados: TButton;
ButtonProximaSecao: TButton;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Label1: TLabel;
ComboBox1: TComboBox;
LabelIDADE: TLabel;
Label14: TLabel;
ComboBox2: TComboBox;
BitBtnOK: TBitBtn;

```

```

    procedure FormShow(Sender: TObject);
    procedure ButtonSalvarDadosClick(Sender: TObject);
    procedure ButtonProximaSecaoClick(Sender: TObject);
    procedure FormCloseQuery(Sender: TObject; var CanClose: Boolean);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

```

```

var
    FormDadosSecoes: TFormDadosSecoes;

```

implementation

uses UnitPrincipal, UnitDadosGerais, UnitDetMatriz, UnitDetIP, UnitDetEstCusto;

{ \$R *.DFM }

procedure TFormDadosSecoes.FormShow(Sender: TObject);

begin

 Edit1.SetFocus;

end;

procedure TFormDadosSecoes.ButtonSalvarDadosClick(Sender: TObject);

begin

 SGPUSPRModule.TblSecoes.Post;

 MessageDlg('Código da seção: '+SGPUSPRModule.TblSecoes.Fields[0].AsString,
mtInformation,[mbOk],0);

end;

procedure TFormDadosSecoes.ButtonProximaSecaoClick(Sender: TObject);

begin

 SGPUSPRModule.TblSecoes.Append;

end;

procedure TFormDadosSecoes.FormCloseQuery(Sender: TObject;

 var CanClose: Boolean);

begin

 if MessageDlg('Deseja apagar a seção corrente?',mtConfirmation,mbOkCancel,
0)=mrOk

 then

 begin

 SGPUSPRModule.TblSecoes.Delete;

 CanClose:= True;

 end

 else

```

        CanClose:= False;
    end;
end.

```

```

unit UnitRecFin;

```

```

interface

```

```

uses

```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, Buttons;

```

```

type

```

```

    TFormRecFin = class(TForm)

```

```

        Label1: TLabel;

```

```

        Label2: TLabel;

```

```

        Label3: TLabel;

```

```

        Edit1: TEdit;

```

```

        Edit2: TEdit;

```

```

        Label4: TLabel;

```

```

        Edit3: TEdit;

```

```

        BitBtn1: TBitBtn;

```

```

        Label5: TLabel;

```

```

        Edit4: TEdit;

```

```

        Label6: TLabel;

```

```

        Label7: TLabel;

```

```

        Edit5: TEdit;

```

```

        Edit6: TEdit;

```

```

        Label8: TLabel;

```

```

        Label9: TLabel;

```

```

        Edit7: TEdit;

```

```

        Edit8: TEdit;

```



```

    procedure FormShow(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;
var
    FormRecFin: TFormRecFin;

```

```

implementation

```

```

uses UnitPrincipal, UnitDadosGerais;

```

```

{$R *.DFM}

```

```

procedure TFormRecFin.FormShow(Sender: TObject);
begin
    Edit1.SetFocus;
end;

end.

```

```

unit UnitCustoUnMeR;

```

```

interface

```

```

uses

```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, Buttons;

```

```

type

```

```

    TFormCustoUnMeR = class(TForm)
        GroupBox1: TGroupBox;

```

```

Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;

BitBtn1: TBitBtn;
procedure FormShow(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    FormCustoUnMeR: TFormCustoUnMeR;

implementation

uses UnitPrincipal, UnitDetEstCusto;

{$R *.DFM}

procedure TFormCustoUnMeR.FormShow(Sender: TObject);
begin
    Edit2.SetFocus;
end;

```

end.

unit UnitIntVar;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons;

type

TFormIntVar = class(TForm)

Label19: TLabel;

GroupBox1: TGroupBox;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

GroupBox2: TGroupBox;

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Edit3: TEdit;

Edit4: TEdit;

Edit5: TEdit;

GroupBox3: TGroupBox;

Edit6: TEdit;

Edit7: TEdit;

Edit8: TEdit;

Edit9: TEdit;

Edit10: TEdit;

GroupBox4: TGroupBox;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
GroupBox5: TGroupBox;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
GroupBox6: TGroupBox;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
GroupBox7: TGroupBox;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
GroupBox8: TGroupBox;
Edit21: TEdit;
Edit22: TEdit;
Edit23: TEdit;
Edit24: TEdit;
Edit25: TEdit;
GroupBox9: TGroupBox;
Edit26: TEdit;
Edit27: TEdit;
Edit28: TEdit;
Edit29: TEdit;
Edit30: TEdit;

```

    BitBtn1: TBitBtn;
    GroupBox10: TGroupBox;
    Label16: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Edit31: TEdit;
    procedure FormShow(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    FormIntVar: TFormIntVar;

implementation

uses UnitPrincipal, UnitDadosGerais, UnitDadosSecoes, UnitDetMatriz, UnitDetIP
    UnitDetEstCusto;

{$R *.DFM}

procedure TFormIntVar.FormShow(Sender: TObject);
begin
    Edit6.SetFocus;
end;

end.

```

4. MÓDULO PARA DETERMINAÇÃO DA MATRIZ DE PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO

```
unit UnitDetMatriz;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Grids, Mask;
```

```
type
```

```
TFormDetMatriz = class(TForm)
```

```
  GroupBox1: TGroupBox;
```

```
  Label1: TLabel;
```

```
  Label2: TLabel;
```

```
  Label3: TLabel;
```

```
  Label4: TLabel;
```

```
  Label5: TLabel;
```

```
  GroupBox2: TGroupBox;
```

```
  Label6: TLabel;
```

```
  Label7: TLabel;
```

```
  Label8: TLabel;
```

```
  Label9: TLabel;
```

```
  Label10: TLabel;
```

```
  StringGrid1: TStringGrid;
```

```
  ButtonMatriz: TButton;
```

```
  MaskEdit1: TMaskEdit;
```

```
  MaskEdit2: TMaskEdit;
```

```
  MaskEdit3: TMaskEdit;
```

```
  MaskEdit4: TMaskEdit;
```

```
  MaskEdit5: TMaskEdit;
```

```
  MaskEdit6: TMaskEdit;
```



```

MaskEdit7: TMaskEdit;
MaskEdit8: TMaskEdit;
MaskEdit9: TMaskEdit;
MaskEdit10: TMaskEdit;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure ButtonMatrizClick(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    FormDetMatriz: TFormDetMatriz;

implementation

uses UnitPrincipal, UnitDadosGerais, UnitDadosSecoes;

{$R *.DFM}

procedure TFormDetMatriz.FormCreate(Sender: TObject);
var
    I, J: Integer;

begin
    StringGrid1.ColCount:= 6;
    StringGrid1.RowCount:= 6;
    for I:= 1 to 5 do
        StringGrid1.Cells[I, 0]:= ('Estado'+ ' '+IntToStr(I));
    for J:= 1 to 5 do
        StringGrid1.Cells[0, J]:= ('Estado'+ ' '+IntToStr(J));
    end;

```

```

procedure TFormDetMatriz.ButtonMatrizClick(Sender: TObject);
var
  p: array[1..5, 1..5] of Real;
  I: integer;
begin
  p[1,1]:= (StrToFloat(MaskEdit1.text)/StrToFloat(MaskEdit6.text));
  StringGrid1.Cells[1,1]:= FloatToStr(p[1,1]);
  p[1,2]:= 1 - p[1,1];
  StringGrid1.Cells[2,1]:= FloatToStr(p[1,2]);
  for I:= 3 to 5 do
    StringGrid1.Cells[I,1]:= FloatToStr(0);

  p[2,2]:= (StrToFloat(MaskEdit2.text) - ((StrToFloat(MaskEdit6.text))*p[1,2]
    ))/(StrToFloat(MaskEdit7.text));
  StringGrid1.Cells[2,2]:= FloatToStr(p[2,2]);
  p[2,3]:= 1 - p[2,2];
  StringGrid1.Cells[3,2]:= FloatToStr(p[2,3]);
  StringGrid1.Cells[1,2]:= FloatToStr(0);
  StringGrid1.Cells[4,2]:= FloatToStr(0);
  StringGrid1.Cells[5,2]:= FloatToStr(0);

  p[3,3]:= (StrToFloat(MaskEdit3.text) - ((StrToFloat(MaskEdit7.text))*p[2,3]
    ))/(StrToFloat(MaskEdit8.text));
  StringGrid1.Cells[3,3]:= FloatToStr(p[3,3]);
  p[3,4]:= 1 - p[3,3];
  StringGrid1.Cells[4,3]:= FloatToStr(p[3,4]);
  StringGrid1.Cells[1,3]:= FloatToStr(0);
  StringGrid1.Cells[2,3]:= FloatToStr(0);
  StringGrid1.Cells[5,3]:= FloatToStr(0);

  p[4,4]:= (StrToFloat(MaskEdit4.text) - ((StrToFloat(MaskEdit8.text))*p[3,4]
    ))/(StrToFloat(MaskEdit9.text));
  StringGrid1.Cells[4,4]:= FloatToStr(p[4,4]);
  p[4,5]:= 1 - p[4,4];

```

```
StringGrid1.Cells[5,4]:= FloatToStr(p[4,5]);
StringGrid1.Cells[1,4]:= FloatToStr(0);
StringGrid1.Cells[2,4]:= FloatToStr(0);
StringGrid1.Cells[3,4]:= FloatToStr(0);
p[5,5]:= 1;
StringGrid1.Cells[5,5]:= FloatToStr(p[5,5]);
for I:= 1 to 4 do
    StringGrid1.Cells[I,5]:= FloatToStr(0);
end;

end.
```


5. MÓDULO PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PRIORIDADE, SELEÇÃO DA ESTRATÉGIA DE M&R E DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE CADA SEÇÃO

```
unit UnitDetIPEstrategiaCusto;
```

```
interface
```

```
function DeterminaIP;
```

```
function SeleccionaEstrategia;
```

```
function DeterminaCustoSecao;
```

```
private
```

```
  { Private declarations }
```

```
public
```

```
  { Public declarations }
```

```
end;
```

```
implementation
```

```
uses
```

```
  UnitPrincipal, UnitDadosSecoes, UnitIntVar, UnitDadosGerais, UnitCustoUnMeR;
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
function DeterminaIP(x,y:integer): real;
```

```
var
```

```
  ind_ICP, ind_IDADE, ind_CF, ind_VDM: integer;
```

```
  ind_ICP2, ind_IDADE2, ind_CF2, ind_VDM2: real;
```

```
begin
```

```
  ind_ICP2(x,y):= IntToFloat(ind_ICP(x,y));
```

```
  ind_IDADE2(x,y):= IntToFloat(ind_IDADE(x,y));
```

```

ind_CF2(x,y):= IntToFloat(ind_CF(x,y));
ind_VDM2(x,y):= IntToFloat(ind_VDM(x,y));
DeterminaIP(x,y):= 0,7 * ((ind_ICP2(x,y) - 1) * 5 + ind_IDADE2(x,y)) +
0,3 * ((ind_VDM2(x,y) - 1) * 3 + ind_CF2(x,y));
end;

```

```

function SeleccionaEstrategia(x,y:integer): string;
var
    ind_ICP, ind_IDADE, ind_VDM: integer;
    SeleccionaEstrategia, estrategia0, estrategia1, estrategia2, estrategia3, estrategia4,
    estrategia5: string;

```

```

begin
    if ind_ICP(x,y) = 1 or ind_ICP(x,y) = 2 then
        if ind_IDADE(x,y) = 1 or ind_IDADE(x,y) = 2 then
            if ind_VDM(x,y) = 1 or ind_VDM(x,y) = 2 then
                SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia5;
            if ind_VDM(x,y) = 3 then
                SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia4;
            if ind_VDM(x,y) = 4 or ind_VDM(x,y) = 5 then
                SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia4;
        if ind_IDADE(x,y) = 3 then
            if ind_VDM(x,y) = 1 or ind_VDM(x,y) = 2 then
                SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia5;
            if ind_VDM(x,y) = 3 then
                SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia4;
            if ind_VDM(x,y) = 4 or ind_VDM(x,y) = 5 then
                SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia3;
        if ind_IDADE(x,y) = 4 or ind_IDADE(x,y) = 5 then
            if ind_VDM(x,y) = 1 or ind_VDM(x,y) = 2 then
                SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia4;
            if ind_VDM(x,y) = 3 then
                SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia4;
            if ind_VDM(x,y) = 4 or ind_VDM(x,y) = 5 then

```

```

        SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia3;
if ind_ICP(x,y) = 3 then
    if ind_IDADE(x,y) = 1 or ind_IDADE(x,y) = 2 then
        if ind_VDM(x,y) = 1 or ind_VDM(x,y) = 2 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia3;
        if ind_VDM(x,y) = 3 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia3;
        if ind_VDM(x,y) = 4 or ind_VDM(x,y) = 5 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia2;
    if ind_IDADE(x,y) = 3 then
        if ind_VDM(x,y) = 1 or ind_VDM(x,y) = 2 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia3;
        if ind_VDM(x,y) = 3 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia2;
        if ind_VDM(x,y) = 4 or ind_VDM(x,y) = 5 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia1;
    if ind_IDADE(x,y) = 4 or ind_IDADE(x,y) = 5 then
        if ind_VDM(x,y) = 1 or ind_VDM(x,y) = 2 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia2;
        if ind_VDM(x,y) = 3 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia2;
        if ind_VDM(x,y) = 4 or ind_VDM(x,y) = 5 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia0;
if ind_ICP(x,y) = 4 or ind_ICP(x,y) = 5 then
    if ind_IDADE(x,y) = 1 or ind_IDADE(x,y) = 2 then
        if ind_VDM(x,y) = 1 or ind_VDM(x,y) = 2 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia1;
        if ind_VDM(x,y) = 3 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia0;
        if ind_VDM(x,y) = 4 or ind_VDM(x,y) = 5 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia0;
    if ind_IDADE(x,y) = 3 then
        if ind_VDM(x,y) = 1 or ind_VDM(x,y) = 2 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia1;

```



```

    if ind_VDM(x,y) = 3 then
        SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia0;
    if ind_VDM(x,y) = 4 or ind_VDM(x,y) = 5 then
        SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia0;
    if ind_IDADE(x,y) = 4 or ind_IDADE(x,y) = 5 then
        if ind_VDM(x,y) = 1 or ind_VDM(x,y) = 2 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia0;
        if ind_VDM(x,y) = 3 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia0;
        if ind_VDM(x,y) = 4 or ind_VDM(x,y) = 5 then
            SeleccionaEstrategia(x,y):= estrategia0;
    end;

```

function DeterminaCustoSecao (x, y: integer): real;

var

```

    Estrategia, estrategia0, estrategia1, estrategia2, estrategia3, estrategia4: string;
    CustoUnEst1,  CustoUnEst2,  CustoUnEst3,  CustoUnEst4,  CustoUnEst5,
    extensao, largura: real;

```

begin

```

    if Estrategia(x,y):= estrategia0 then
        DeterminaCustoSecao(x,y):= 0,0;
    if Estrategia(x,y):= estrategia1 then
        DeterminaCustoSecao(x,y):= CustoUnEst1 * extensao(x) * largura(x);
    if Estrategia(x,y):= estrategia2 then
        DeterminaCustoSecao(x,y):= CustoUnEst2 * extensao(x) * largura(x);
    if Estrategia(x,y):= estrategia3 then
        DeterminaCustoSecao(x,y):= CustoUnEst3 * extensao(x) * largura(x);
    if Estrategia(x,y):= estrategia4 then
        DeterminaCustoSecao(x,y):= CustoUnEst4 * extensao(x) * largura(x)
    else
        DeterminaCustoSecao(x,y):= CustoUnEst5 * extensao(x) * largura(x);

```

end;

end.

unit UnitDetIP;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
Buttons, StdCtrls;

type

TFormDetIP = class(TForm)

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Edit3: TEdit;

Edit4: TEdit;

GroupBox1: TGroupBox;

Edit5: TEdit;

Edit6: TEdit;

Edit7: TEdit;

Edit8: TEdit;

Edit9: TEdit;

Edit10: TEdit;

Edit11: TEdit;

Button1: TButton;

BitBtn1: TBitBtn;

Edit13: TEdit;

Edit12: TEdit;

procedure FormShow(Sender: TObject);

private

```

    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    FormDetIP: TFormDetIP;

implementation

uses
    UnitPrincipal, UnitDadosSecoes, UnitIntVar, UnitDadosGerais;

{$R *.DFM}

procedure TFormDetIP.FormShow(Sender: TObject);
begin
    Edit1.SetFocus;
end;

end.

unit UnitDetEstCusto;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    Buttons, StdCtrls;

type
    TFormDetEstCusto = class(TForm)
        Label1: TLabel;

```



```

Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
GroupBox1: TGroupBox;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
ButtonProximaSecao: TButton;
BitBtnOK: TBitBtn;
procedure FormShow(Sender: TObject);
procedure ButtonProximaSecaoClick(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    FormDetEstCusto: TFormDetEstCusto;

implementation

uses UnitPrincipal, UnitDadosGerais, UnitDadosSecoes, UnitIntVar, UnitCustoUnMeR;

```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TFormDetEstCusto.FormShow(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    Edit1.SetFocus;
```

```
end;
```

```
procedure TFormDetEstCusto.ButtonProximaSecaoClick(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    SGPUSPRModule.TblEstCusto.Post;
```

```
    SGPUSPRModule.TblEstCusto.Append;
```

```
end;
```

```
end.
```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAYS AND TRANSPORTATION
OFFICIALS - AASHTO (1986). *Guide for design of pavements structures*.

ANZAKI, Y.; KITAKURA, H.; ISA, M. (1990). *Relation between vehicle operation costs and serviceability of pavement*. Hosou (Pavement), Japão, vol. 25, n. 3, pp. 11-15.

ARB (1978). *Catálogo dos defeitos dos revestimentos dos pavimentos*. Associação Rodoviária Brasileira. Trad. por Hugo Alves Pequeno. São Paulo.

BALBO, J. T. (1997). *Pavimentos asfálticos – patologias e manutenção*. Editora Plêiade, São Paulo, S.P.

BERTOLLO, S. A. M. (1997). *Considerações sobre a gerência de pavimentos urbanos em nível de rede*. Dissertação (Mestrado). Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BUTT, A. A.; SHAHIN, M. Y.; FEIGHAN, K. J.; CARPENTER, S. H. (1987). *Pavement performance prediction model using the Markov process*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1123, pp.12-19.

CAREY, W. N.; IRICK, P. E. (1960). *The pavement serviceability-performance concept*. Highway Research Board Bulletin, n. 250, pp. 40-58.

- CHEN, X.; DOSSEY, T.; HUDSON, W.R. (1994). *Development of project-level urban roadway management system*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1455, pp. 62-68.
- CHEN, X.; WEISSMANN, J.; DOSSEY, T.; HUDSON, W. R. (1993). *URMS: a graphical urban roadway management system at network level*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1397, pp. 103-111.
- COOK, W. D.; LYTTON, R. L. (1987). *Recent developments and potential future directions in ranking and optimization procedures for pavement management*. Second North American Conference on Managing Pavements. Royal York Hotel, Toronto, Canadá.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS RODAGEM (1994). *Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos*. Procedimento DNER – PRO 007/94. Rio de Janeiro, R.J.
- DOMINGUES, F. A. A. (1993). *MID - Manual de identificação de defeitos de revestimentos asfálticos de pavimentos*. F. A. A. Domingues, São Paulo.
- FEIGHAN, K. J.; SHAHIN, M. Y.; SINHA, K. C. (1987). *A dynamic programming approach to optimization for pavement management systems*. Second North American Conference on Managing Pavements. Royal York Hotel, Toronto, Canadá.
- FERNANDES JR., J. L. (1996). *Curso de atualização em sistemas de gerência de pavimentos*. Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, USP e FIPAI.
- FERNANDES JR., J. L. (1997). *Considerações sobre a implementação de sistemas de gerência de pavimentos*. 9^o Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto. Asunción – Paraguay. Tomo 2, p. 1137 – 1145.
- FERNANDES JR., J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. (1999). *Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos*. Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

- FOLGATO, M. (2000). *O inferno das estradas brasileiras*. O Estado de São Paulo, São Paulo, 9 jan. Cidades, p. 1.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R. (1982). *Pavement management systems*. McGraw-Hill.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern pavement management*. Krieger Publishing Co., Malamar, Florida.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS – IBGE (1996). *Contagem da população 1996*.
<http://www.ibge.gov.br/estatistica/populacao/contagem/default.shtm> (10 Jan.).
- INSTITUTO DO ASFALTO (1989). *The Asphalt Handbook*. MS – 4.
- KONG, Y. J.; FUKUDA, T. (1996). *Network level pavement repair program under the constraint of annual budgets*. Proceedings of Journal of Japan Society of Civil Engineering, nº.532, vol. 30, pp. 167-171.
- LEE, H.; GALDIERO, V. (1989). *Integrating expert systems in existing pavement management systems on microcomputers*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1215, pp. 85-88.
- MAJIDZADEH, K.; VEDAIE, B.; KENNEDY JR, J. C. (1990). *Pavement management system to maximize pavement investment and minimize cost*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1272, pp. 65-73.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (1987). *Pavement management practices - Synthesis of Highway Practice 135*. Transportation Research Board, National Research Council.
- PANTIGOSO, J. F. G. (1998). *Uso dos sistemas de informação geográfica para a integração da gerência de pavimentos urbanos com as atividades das concessionárias de serviços públicos*. Dissertação (Mestrado). Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- RITCHIE, S. G.; YEH, C. ; MAHONEY, J. P.; JACKSON, N. C. (1986). *Development of an expert system for pavement rehabilitation decision making*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1070, pp. 96-103.
- SAITO, M.; SINHA, K. C. (1991). *Delphi study on bridge condition rating and effects of improvements*. Journal of Transportation Engineering, vol. 117, n. 3, pp. 320-349.
- TAVAKOLI, A.; LAPIN, M. S.; FIGUEROA, J. L. (1992). *PMSC: pavement management system for small communities*. Journal of Transportation Engineering, vol. 118, n. 2, pp. 270-280.
- THE STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM - SHRP (1989). *Distress identification manual for the long-term pavement performance studies*. National Academy of Science, Washington, D. C..
- THOMPSON, P. D.; NEUMANN, L. A.; MIETTINEN, M.; TALVITIE, A. (1987). *A micro-computer Markov dynamic programming system for pavement management in Finland - Second North American Conference on Managing Pavements*. Royal York Hotel, Toronto, Canadá.
- VILLIBOR, D. F.; FORTES, F. Q.; FERNANDES, S. B. (1993). *Recuperação de pavimentos flexíveis em vias urbanas*. 4ª Reunião de Pavimentação Urbana, Maceió, A.L.
- ZERBINI, L. F. (1999). *Desenvolvimento de modelos de desempenho para utilização em sistemas de gerência de pavimentos urbanos*. Dissertação (Mestrado). Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- WANG, K. C. P.; ZANIEWSKI, J.; DELTON, J. (1992). *Analysis of Arizona department of transportation's new pavement network optimization system*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1455, pp. 91-100.

OBRAS CONSULTADAS

- AL-MANSOUR, A. I.; SINHA, K. C.; KUCZEK, T. (1994). *Effects of routine maintenance on flexible pavement condition*. Journal of Transportation Engineering, vol. 120, n. 1, pp. 65-73.
- ANDRES, C.W.; COLLURA, J. (1994). *Network-level prioritization of local pavement improvements in small and medium-sized communities*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1455, pp. 13-21.
- BECKMAN, O. R.; NETO, P. L. O. C. (1980). *Análise estatística da decisão*. Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo.
- BENJAMIN, J. R.; CORNELL, C. A. (1970). *Probability, statistics, and decision for civil engineers*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- BERGER, L.; GREENSTEIN, J.; HOFFMAN, M.; UZAN, J. (1991). *Practical applications of models for pavement maintenance management*. Journal of Transportation Engineering, vol. 117, n. 4, pp. 382-394.
- CARNAHAN, J. V.; DAVIS, W. J.; SHAHIN, M. Y.; KEANE, P. L.; WU, M. I. (1987). *Optimal maintenance decisions for pavement management*. Journal of Transportation Engineering, vol. 113, n. 5, pp. 554-572.

- CATION, K. A.; SHAHIN, M. Y.; SCULLION, T.; LYWFON, R. L. (1987). *Development of a preventive maintenance algorithm for use in pavement management systems*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1123, pp. 1-11.
- CHEN, X.; HUDSON, S.; PAJOH, M.; DICKINSON, W. (1996). *Development of new network optimization model for Oklahoma department of transportation*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1524, pp. 103-108.
- CHUA, K. H.; MONISMITH, C. L. (1994). *Mechanistic model for transition probabilities*. Journal of Transportation Engineering, vol. 120, n. 1, pp. 144-159.
- CLARKE, A. B.; DISNEY, R. L. (1979). *Probabilidade e processos estocásticos*. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro.
- DAVIS, C. F.; VAN DINE, C. P. (1988). *Linear programming model for pavement management* Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1200, pp. 71-75.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES – GEIPOT (1986). *Pesquisa do interrelacionamento entre custos de construção, conservação e utilização de rodovias - Relatório 1, Conceitos e Metodologias*, Brasília, D. F.
- FEIGHAN, K. J.; SHAHIN, M. Y.; SINHA, K. C.; WHITE, T. D. (1988). *Application of dynamic programming and others mathematical techniques to pavement management systems*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1200, pp. 90-98.
- FEIGHAN, K. J.; SHAHIN, M. Y.; SINHA, K. C.; WHITE, T. D. (1989). *A sensitivity analysis of the application of dynamic programming to pavement management systems*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1215, pp. 101-114.
- FLANAGAN, P. R.; HALBACH, D. S. (1987). *Expert systems as a part of pavement management*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1123, pp. 77-80.

- FWA, T.F.; SINHA, K. C. (1991). *Pavement performance and life cycle costs analysis*. Journal of Transportation Engineering, vol. 117, n. 1, pp. 33-46.
- GOPAL, S.; MAJIDZADEH, K. (1991). *Application of Markov decision process to level-of-service-based maintenance systems*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1304, pp. 12-18.
- GRIVAS, D. A.; RAVIRALA, V.; SCHULTZ, B. C. (1993). *State increment optimization methodology for network level pavement management*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1397, pp. 25-33.
- JUANG, C. H.; AMIRKHANIAM, S. N. (1992). *Unified pavement distress index for managing flexible pavement*. Journal of Transportation Engineering, vol. 118, n. 5, pp. 686-699.
- KILARESKI, W. P.; CHURILLA, C. J. (1983). *Pavement management for large highway networks*. Journal of Transportation Engineering, vol. 109, n. 1, pp. 33-45.
- KULKARNI, R.; FINN, F. N. (1976). *Development of a pavement management system*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 602, pp. 117-121.
- LEE, Y. H.; MOHSENI, A.; DARTER, M. I. (1993). *Simplified pavement performance models*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1397, pp. 7-14.
- McCULLOUGH, B. F.; SMITH, P. (1976). *Use of condition survey in pavement distress and performance relationship*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 602, pp. 24-26.
- MINISTRY OF CONSTRUCTION (1987) *Study on the maintenance level and the repair method*. 41⁰ Conference of the Japanese Ministry of Construction, pp. 362-387.

- MOHSENI, A.; DARTER, M. I.; HALL, J. P. (1990). *Illinois pavement network rehabilitation management program*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1272, pp. 85-95.
- OTSUKA, M.; TAKEYAMA, Y.; FUKUDA, T. (1997) *Network level optimal pavement repair system based on the pavement condition ratings*. Proceedings of Bridge Construction, Civil Engineering.
- PATERSON, W. D. O.; ATTOH-OKINE, B. (1992). *Summary models of paved road deterioration based on HDM III*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1344, pp. 99-105.
- QUEIRÓZ, C. A. V. (1982). *Modelos de desempenho de pavimentos: desenvolvimento e aplicação*. DNER 692/50, IPR, Rio de Janeiro.
- ROSE, L. M. (1976). *Engineering investment decisions – planning under uncertainty*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Holland.
- SACHS, P.; SUNDE, D. (1996). *Adapting local agency pavement management procedures to develop a simplified system for use by smaller cities in Washington*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1524, pp. 25-35.
- SARAF, C. L.; MAJIDZADEH, K. (1992). *Distress prediction models for a network-level pavement management system*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1344, pp. 38-48.
- SCHERER, W. T.; GRAGOLA, M. D. (1994). *Markovian models for bridge maintenance management*. Journal of Transportation Engineering, vol. 120, n. 1, pp. 37-51.
- SCHLIESSLER, A. S.; BULL, A. (1994). *Caminhos – Um novo enfoque para a gestão e a manutenção rodoviária*. Nações Unidas, Comissão Econômica para América Latina e Caribe.

- SEKIGUCHI, M.; HOSODA, M.; INAGAKI, M.; TOMITA, H.; MCGREGOR, T. (1995). *Statistical analysis of pavement structure data in PMS data base*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1508, pp. 53-59.
- SHARAF, E. A.; ABDUL-HAI, B. A. T. (1992). *Use of expert systems in managing pavement maintenance in Egypt*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1344, pp. 49-55.
- SMITH, R. E.; SHAHIN, M. Y.; DARTER, M. I.; CARPENTER, S. H. (1987). *A comprehensive ranking system for local agency pavement management*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1123, pp. 67-76.
- SOHAIL, F.; HUDSON, W.R. (1996). *Network-level implementation of URMS: a graphical urban roadway management system*. Transportation Research Record (TRB), National Research Council, Washington D. C., n. 1524, pp. 36-47.
- TAKEYAMA, Y.; SHIMADA, Y.; FUKUDA, T. (1990). *An evaluation system for managing asphalt pavements based on Markov chain model*. Proceedings of Journal of Japan Society of Civil Engineering, n° 420, pp. 135-141.
- WADE L.; GRAMLING, P. E. (1994). *Current practices in determining pavement condition*. Transportation Research Board (TRB), National Research Council, Washington D. C., n.203, pp. 1-57.
- WANG, K. C. P.; ZANIEWSKI, J.; DELTON, J. (1993). *Microcomputer implementation of pavement network optimization system*. Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 7, pp. 495-509.
- WANG, K. C. P.; ZANIEWSKI, J.; WAY, G. (1994). *Probabilistic behavior of pavements*. Journal of Transportation Engineering, vol. 120, n. 3, pp. 358-375.
- WHITE, C. C. III; WHITE, D. J. (1989). *Markov decision processes*. European Journal of Operational Research, vol. 39, n. 1, pp. 1-16.

WHITE, D. J. (1985). *Real applications of Markov decision processes*. Interfaces - An International Journal of The Institute of Management Sciences and The Operations Research Society of America, vol. 15, n.6, pp. 73-83.