Campus de São Carlos

Uso dos sistemas de informação geográfica
para a integração da gerência de pavimentos
urbanos com as atividades das
concessionárias de serviços públicos

José Francisco Gómez Pantigoso

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

USO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA A INTEGRAÇÃO DA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS COM AS ATIVIDADES DAS CONCESSIONÁRIAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS

JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ PANTIGOSO

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 Engenharia.
Área: Transportes.

DEDALUS - Acervo - EESC

31100017016

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior

São Carlos

1998

Class.	TESE - EESC
Cutt.	2502
Tombo	T0092/98

st 0964993

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP**

G633u Gómez Pantigoso, José Francisco
 Uso dos Sistemas de Informação Geográfica para a
 integração da gerência de pavimentos urbanos com as
 atividades das concessionárias de serviços
 públicos / José Francisco Gómez Pantigoso. -- São
 Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
 de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.

Área: Transportes.

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes
 Júnior.

1. Gerência de pavimentos. 2. Redes de infra-
 estrutura urbana. 3. Sistemas de Informação
 Geográfica. 4. Manutenção e reabilitação. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **JOSÉ FRANCISCO GOMEZ PANTIGOSO**

Dissertação defendida e aprovada em 27-4-1998
pela Comissão Julgadora:

Prof. Doutor **JOSÉ LEOMAR FERNANDES JUNIOR (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutora **MARIA ALICE PRUDÊNCIO JACQUES**
(Universidade de Brasília - UnB)

Prof. Doutor **ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUES DA SILVA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **ANTÔNIO NÉLSON R. DA SILVA**
Coordenador da Área de Transportes

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedicatória

**Este trabajo está dedicado a mis Padres, hermanos y a mi enamorada
Claudia, por el apoyo e incentivos constantes.**

Agradecimentos

Ao professor José Leomar Fernandes Júnior, pelo apoio e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho;

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

Aos professores e funcionários do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos - USP pela colaboração;

Ao pessoal técnico do SAAE, pela colaboração oferecida na elaboração do projeto piloto;

A todos meus companheiros do Departamento de Transportes pela amizade e apoio ao longo destes dois anos de trabalho, especialmente, à Jisela Santana, Sandra Oda, Enrique Delfos López, Hilário Ferrari e Ivano Balena;

À Ernesto Cuadros Vargas pela amizade e apoio nos problemas computacionais;

À todas aquelas pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

Resumo

Neste trabalho são analisados os Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) visando a obtenção de formas com que possam ser aplicados para a compatibilização das atividades de gerência de todas as redes de infra-estrutura pública urbana (pavimento, água, esgoto, telefone, gás, energia elétrica). Desenvolve-se um projeto piloto, utilizando o aplicativo de SIG TransCAD para a gerência de pavimentos sob duas condições: na primeira, através de uma interface com um programa de gerência de pavimentos urbanos já em utilização (URMS, desenvolvido na Universidade do Texas em Austin); na segunda, como plataforma para o desenvolvimento de um novo sistema de gerência de pavimentos, tanto em nível de rede como em nível de projeto. São utilizadas bases de dados para o pavimento e para a rede de água de abastecimento, criadas para a análise de viabilidade da compatibilização da gerência de pavimentos com as atividades de concessionárias de serviços públicos urbanos, a qual confirmou a grande potencialidade do uso dos Sistemas de Informação Geográfica para a gerência integrada e racional da infra-estrutura pública urbana.

Palavras-chave: gerência de pavimentos; redes de infra-estrutura urbana; sistemas de informação geográfica; manutenção e reabilitação.

Resumen

En este trabajo son analizados los Sistemas de Gerencia de Pavimentos Urbanos (SGPU) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el objetivo de obtener formas, las cuales puedan ser aplicadas para la integración de las actividades de gerencia de todos los subsistemas de infraestructura pública urbana. De esta forma, se desarrolló un proyecto piloto, utilizando el aplicativo de SIG TransCAD para la gerencia de pavimentos, bajo dos condiciones: en la primera, a través de una interface con un programa de gerencia de pavimentos urbanos ya en utilización (URMS, desarrollado en la Universidad de Texas en Austin); y en la segunda, como herramienta para el desarrollo de un nuevo sistema de gerencia de pavimentos, tanto en nivel de red como en nivel de proyecto. Fueron utilizadas bases de datos para el pavimento y para la red de abastecimiento de agua, creadas para el análisis de la viabilidad de la integración de la gerencia de pavimentos con las actitudes de las concesionarias de servicios públicos urbanos. Este trabajo confirmó el gran potencial del uso de los Sistemas de Información Geográfica para la gerencia integrada y racional de la infraestructura pública urbana.

Palabras-clave: gerencia de pavimentos; redes de infraestructura urbana; sistemas de información geográfica; mantenimiento y rehabilitación.

Abstract

This work presents studies about Urban Pavement Management Systems (U-PMS) and Geographic Information Systems (GIS) aiming their utilization as a tool for the harmonization of urban infrastructure (pavement, gas, electric power, sewer, water, telephone) maintenance and rehabilitation activities. It is developed a pilot study using the SIG software called TransCAD for pavement management under two conditions: the first one, through an interface with an already in use pavement management system (URMS, developed at the University of Texas at Austin); the second one, as a framework for the development of a new pavement management system, at network and project levels. Data bases for pavement and water networks are used for analysis of the harmonization of pavement management with other public infrastructure activities, which confirmed the great power of GIS for utilization in a rational and integrated urban infrastructure management system.

Key-words: pavement management; urban infrastructure network; geographic information systems; maintenance and rehabilitation.

Lista de Figuras

Figura nº	Página
2.1 - Fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos em nível de rede e projeto (HAAS et al., 1994).....	8
2.2 - Etapas na implantação de um SGPU.....	13
2.3 - Formulário para levantamento de dados de inventário.....	14
2.4 - Ficha para avaliação da serventia	16
2.5 - Conceito de serventia-desempenho.....	17
2.6 - Método para a determinação do Índice de Prioridade (IP) utilizado no Programa URMS (CHEN et al., 1993).	25
2.7 - Nível de rede: árvore de decisão para o estabelecimento das estratégias de M&R (CHEN et al., 1993).....	28
2.8 - Nível de projeto: árvore de decisão para a definição das atividades de M&R (CHEN et al., 1993)	29
2.9 - URMS: tela com os dados de entrada	35
2.10 - URMS: faixas de valores dos índices de avaliação	36
2.11 - URMS: tela principal de saída do subsistema de avaliação.....	37
2.12 - URMS: tela da programação de M&R.....	38
2.13 - URMS: relatório das seções analisadas com resumo das Informações de entrada e saída	39
2.14 - URMS: relatório com resumo da avaliação do pavimento.....	39
2.15 - URMS: relatório com resumo da programação da M&R	40
3.1 - Subsistema componentes de um SIG (BUZAI & DURÁN, 1997).....	42
3.2 - Modelo vetorial (adaptado de KORTE, 1997).....	44
3.3 - Modelo de base de dados vetorial (BUZAI & DURÁN, 1997).....	45

3.4 - Modelo raster para representação do espaço geográfico (adaptado de KORTE, 1997).....	46
3.5 - Modelo raster (BUZAI & DURÁN, 1997)	46
3.6 - Extensão da área de estudo.....	47
3.7 - Projeção e pontos de controle (BUZAI & DURÁN, 1997)	49
3.8 - Estrutura dos sistemas CADD (KORTE, 1997).....	52
3.9 - Exemplo de estrutura de dados dos sistemas AM/FM (KORTE, 1997).....	54
3.10 - Estrutura dos Sistemas de Informação Geográfica (KORTE, 1997)	56
4.1 - Exemplos de interferência de infra-estrutura urbana na via pública (adaptada de AL – SWAILMI, 1994).....	70
4.2 - Plataforma para um sistema de manutenção da infra-estrutura urbana (adaptada de AL – SWAIMI, 1994).....	72
4.3 - Conceito de sistema de gerência global da infra-estrutura urbana (adaptada de ZHANG et al., 1994)	74
5.1 - Mapa da malha viária de São Carlos, destacando-se a área selecionada para a aplicação piloto do SIG (em verde)	92
5.2 - Compatibilização do URMS com o TransCAD, visando a gerência integrada dos serviços públicos urbanos.....	93
5.3 - Método de um Sistema Global de gerenciamento da infra-estrutura pública urbana	95
5.4 - Estrutura do programa <i>SGPUSP</i>	98
5.5 – Janela de execução do programa <i>SGPUSP</i>	98
5.6 – Critério de avaliação dos fatores considerados na análise em nível de rede (adaptada de CHEN et al, 1994).....	99
5.7 – Fluxograma do Módulo 1 – Planejamento em nível de rede	100

5.8 - Critérios para avaliação dos fatores utilizados na análise em nível de projeto (adaptada de CHEN et al, 1994).....	101
5.9 - Janela de execução e fluxograma do Módulo 2 (M&R Nível de Projeto) do programa <i>SGPUSP</i>	103
5.10 - Classificação dos fatores utilizados para a identificação de seções críticas na rede de distribuição de água.....	111
5.11 - Árvore de decisão para identificação de seções críticas prioritárias na rede de distribuição de água	112
5.12 - Mapa temático mostrando o volume de tráfego	115
5.13 - Mapa temático mostrando a idade do pavimento	116
5.14 - Mapa temático mostrando a condição do pavimento (ICP)	117
5.15 - Mapa temático mostrando a classe funcional as ruas dentro da área para a aplicação piloto	118
5.16 - Mapa temático mostrando as estratégias de M&R em nível de rede..	119
5.17 - Mapa temático mostrando o Índice de Prioridade das seções dentro da área piloto para a aplicação do TransCAD	120
5.18 - Seleção de seções que apresentam defeitos associados ao tráfego.....	121
5.19 - Execução do Módulo 2(M&R Nível de Projeto) do programa <i>SGPUSP</i> para a seção com ID = 6419, da rua 15 de Novembro, selecionada anteriormente.....	122
5.20 - Mapa temático mostrando a severidade da deformação permanente da trilha de roda nas seções que apresentam este defeito.....	123
5.21 - Mapa temático mostrando as seções que apresentam panelas com seu nível de severidade	124
5.22 - Mapa mostrando as camadas “vias” e “água”, onde o campo <i>IDADE</i> da rede de distribuição de água é indicada utilizando-se a função <i>Automatic Label</i> do TransCAD.....	125

- 5.23 - Mapa mostrando as camadas “vias” e “água”, onde o campo MATERIAL da rede de distribuição de água é indicada utilizando-se a função *Automatic Label* do TransCAD 126
- 5.24 - Mapa mostrando as camadas “vias” e “água”, onde o campo DIAMETRO da rede de distribuição de água é indicada utilizando-se a função *Automatic Label* do TransCAD 127
- 5.25 - Considerando os campos IDADE, MATERIAL e TIPO_REDE, o Módulo 3 do programa SGPUSP determina e preenche o campo CRITICO (prioridade das seções da rede de distribuição de água)... 128
- 5.26 - Mapa mostrando a condição do pavimento (ICP<60) e a rede de distribuição de água com o campo CRITICO indicado (prioridade das seções)..... 129

Lista de Tabelas

Tabela nº	Página
2.1 – Identificação de defeitos no pavimento (SHRP, 1993b).....	20
2.1 – Identificação de defeitos no pavimento (continuação).....	21
2.1 – Identificação de defeitos no pavimento (continuação).....	22
2.2 – Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (SHRP, 1993b, apud BERTOLLO, 1997).....	30
2.2 – Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (continuação).....	31
2.2 – Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (continuação).....	32
2.2 – Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (continuação).....	33
5.1 - Tipo de via em função das solicitações de tráfego	87
A.1 – Dados de Inventário e Levantamento de campo.....	139

Lista de Abreviaturas e Siglas

AM/FM	- <i>Automated Mapping/Facility Management</i>
ASPLA	- Assessoria de Planejamento da PMSC
CADD	- <i>Computer-Aided Design and Drafting</i>
DVP	- Divisão de Vias Públicas
HDM	- <i>Highway Design and Maintenance Standards Model</i>
ICP	- Índice de Condição do Pavimento
IP	- Índice de Prioridade
M&R	- Manutenção e Reabilitação
PMSC	- Prefeitura Municipal de São Carlos
PSR	- <i>Present Serviciability Rating</i>
PSI	- <i>Present Serviciability Index</i>
SAAE	- Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SGP	- Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPU	- Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
SHRP	- <i>Strategic Highway Research Program</i>
SIG	- Sistemas de Informação Geográfica
URMS	- <i>Urban Roadway Management System</i>
VDM	- Volume Diário Médio

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
 1 - INTRODUÇÃO	 1
 2- SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	 5
2.1 - Introdução.....	5
2.2 - Níveis da Gerência de Pavimentos	7
2.3 - Implementação de um SGP	10
2.4 - Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos.....	12
2.4.1 - Inventário.....	13
2.4.1.1 - Definição dos limites das seções.....	14
2.4.1.2 - Informações essenciais sobre as seções.....	15
2.4.2 - Avaliação da Condição do Pavimento.....	15
2.4.2.1 – Avaliação subjetiva.....	16
2.4.2.2 – Avaliação objetiva.....	17
2.4.2.3– Levantamento de defeitos no campo.....	18

2.4.2.4 – Índice de defeitos combinados	23
2.4.3 - Priorização.....	24
2.4.4 - Programação das Atividades de Manutenção e Reabilitação	26
2.5 - Exemplos de Sistemas de Gerência de Pavimento Urbanos.....	34
2.5.1 - Pavement Management System - PMS	34
2.5.2 - Urban Roadway Management System - URMS.....	35
 3 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	 41
3.1 - Introdução.....	41
3.2 - Estruturas Básicas de Representação	43
3.2.1 - Modelo Vetorial	43
3.2.2 - Modelo Raster	45
3.3 - Definição da Área de Estudo.....	47
3.3.1 - Extensão	47
3.3.2 - Projeção.....	48
3.3.3 - Pontos de Controle	48
3.3.4 - Mapa Base.....	49
3.4 - Diferenças entre SIG (Sistemas de Informação Geográfica), CADD (<i>Computer-AIDED Desing and Drafting</i>) e AM/FM (<i>Automated Mapping Facility Management</i>).....	50
3.4.1 - Sistemas CADD.....	50
3.4.2 - Sistemas AM/FM.....	53
3.4.3 - Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	54
3.5 - Programas Aplicativos de Sistemas de Informação Geográfica.....	57
3.5.1 - ARC/INFO	57
3.5.2 - TransCAD	58
3.5.3 - MGE.....	58
3.6 - O Geoprocessamento no Brasil	59

3.6.1 - Estado de São Paulo.....	59
3.6.2 - Estado de Santa Catarina.....	62
3.6.2.1 - Prefeitura Municipal de Joinville.....	62
3.6.2.2 - Prefeitura Municipal de Florianópolis.....	63
3.6.2.3 - Prefeitura Municipal de Blumenau.....	64
3.6.3 - Uso do Geoprocessamento pela Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR.....	65
3.6.4 - Concessionária de Energia de Minas Gerais (CEMIG).....	66
 4 - OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	68
4.1 - Introdução.....	68
4.2 - Sistemas de Gerência de Infra-estrutura Urbana	69
4.3 - Uso do SIG na Gerência de Pavimentos Urbanos	73
4.3.1 - Método	76
4.3.2 - Implantação de um Sistema de Informação Geográfica	76
4.3.3 - Problemas Comuns na Implementação de um SIG	80
 5 - APLICAÇÃO PILOTO DO SIG NA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS.....	83
5.1 - Introdução.....	83
5.2 - Práticas usualmente adotadas pelas Prefeituras Municipais e Concessionárias de Serviços Públicos.....	85
5.2.1- São Carlos.....	85
5.2.2 - Araraquara.....	87
5.2.3 - Franca.....	88

5.2.4 - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos - SAAE.....	89
5.3 - Aplicação Piloto do TransCAD na Gerência de Pavimentos.....	91
5.3.1 - Dados de Inventário e Levantamento de campo.....	91
5.3.2 - Compatibilização do TransCAD com o URMS.....	93
5.3.3 - Uso do TransCAD como Plataforma para o Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimento Urbano.....	95
5.4 - Apresentação dos Resultados.....	113
6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXO A - DADOS DO INVENTÁRIO E LEVANTAMENTO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO	138
ANEXO B - LISTAGEM DOS PROGRAMAS <i>INTERFACE</i> E <i>SGPUSP</i> ...	147
ANEXO C - RESUMO DAS BASES DE DADOS SOBRE O PAVIMENTO (PAVEMENT.DBF) E A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA (RED_AGUA.DBF)	158

1 - Introdução

O presente trabalho estuda a viabilidade do uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para o desenvolvimento de um Sistema de Gerência da Infra-estrutura Urbana capaz de compatibilizar a gerência de pavimentos com as atividades das concessionárias de serviços públicos (água, esgoto, telefone, eletricidade, gás) em cidades brasileiras de médio porte.

A rede de vias urbanas é um dos componentes principais de qualquer sistema de infra-estrutura municipal e, ainda assim, é relativamente recente a preocupação dos administradores públicos com a sistematização de procedimentos para a gerência do sistema viário. De uma maneira geral, a questão das vias públicas é abordada de forma acessória, segmentada em diversas áreas de ação municipal, sendo que em todas elas o enfoque é sempre secundário, fazendo com que o espaço da via pública seja visto apenas como suporte a outras atividades urbanas.

Além das solicitações de tráfego e do meio ambiente, os pavimentos também são afetados pelo desempenho das redes de infra-estrutura urbana, pois o sistema viário representa um lugar privilegiado, quase sempre adotado para a implantação das redes de concessionárias de serviços públicos. Esses conjuntos de sistemas autônomos lançados sob a via aumentam a complexidade e agravam a questão da gerência de pavimentos urbanos.

Tradicionalmente, a gerência de pavimentos urbanos tem sido baseada na habilidade dos engenheiros municipais, que muitas vezes tomam as decisões de manutenção e reabilitação com base apenas na experiência acumulada, sem utilizar procedimentos formais de gerência (abordagem sistêmica) por falta de recursos, desconhecimento ou preconceito.

A tomada de decisão com base apenas na experiência não permite a avaliação da eficácia de estratégias alternativas e pode levar ao uso ineficiente dos recursos. Fica evidente, pois, a necessidade de um método de gerência eficiente na utilização dos recursos, confiável e de fácil entendimento, sob todos os aspectos, desde o planejamento e programação em nível de rede até a implementação dos projetos.

Os Sistemas de Gerência de Pavimento (SGP) representam uma possibilidade concreta de se avançar de um esquema de manutenção tradicional, baseado quase sempre na correção de problemas, para um sistema de manutenção planejada, onde a atuação sobre a malha viária abrange não só a solução de seus problemas imediatos mas, também, um trabalho de prevenção que prolongue sua vida útil e garanta padrões mínimos de serviço em toda a malha que está sendo gerenciada.

Devido ao volume crescente de informações relativas às redes viárias, há a necessidade de um sistema eficiente de processamento dos dados levantados, especialmente dos que se distribuem espacialmente. Muitas das informações coletadas pelos organismos rodoviários e prefeituras têm sido armazenadas sob a forma de gráficos, figuras, mapas, textos e tabelas. Há a necessidade, no entanto, que os dados sejam armazenados de forma a permitir o rápido acesso e a agilização da tomada de decisões para a análise dos pavimentos e o estabelecimento de cronograma de inspeções e intervenções.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem a integração dessas operações e têm potencial, analisado em detalhes neste trabalho, para compatibilizar os sistemas de gerência da infra-estrutura urbana à medida em que estabelecem uma base comum de dados geograficamente distribuídos.

Este trabalho, que tem por objetivo contribuir para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de gerência de pavimentos urbanos, capazes de racionalizar o processo de tomada de decisão sobre as atividades de pavimentação e minimizar as interferências das concessionárias de serviços públicos (água, esgoto, eletricidade, telefone, gás), apresenta, no Capítulo 2, os Sistemas de Gerência de Pavimentos, desde a sua caracterização até exemplos de sistemas de trabalho já em utilização.

Descreve-se em detalhes, no Capítulo 3, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e outros sistemas de geoprocessamento, apresentando os principais programas aplicativos e exemplos de utilização no Brasil tanto no nível municipal como no nível estadual e federal. No Capítulo 4 discute-se a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica em Gerência de Pavimentos, particularmente como plataforma para um sistema mais amplo de gerência da infra-estrutura urbana.

Apresenta-se, no Capítulo 5, o estudo piloto desenvolvido, que teve por finalidade avaliar as potencialidades do uso de um SIG na gerência de pavimentos urbanos, particularmente para as análises em nível de rede e a compatibilização das atividades de manutenção e reabilitação da malha viária com as intervenções na rede de distribuição de água. Com apoio do Serviço Autônomo de Água e Esgoto da cidade de São Carlos (SAAE) foi criado um modelo simplificado, através de árvore de decisão, para identificação de seções críticas prioritárias para intervenções, passível de ser adaptado às

atividades das outras concessionárias de serviços públicos urbanos e que confirmam o potencial dos Sistemas de Informação Geográfica para servir à gerência de pavimentos.

As conclusões, recomendações e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 6. Pode-se adiantar que o desenvolvimento do projeto piloto permitiu verificar a grande potencialidade do uso dos Sistemas de Informação Geográfica para a gerência de uma forma integrada e racional da infra-estrutura pública urbana. Deve-se destacar, também, todo o trabalho complementar desenvolvido, particularmente a forma de levantamento da condição dos pavimentos no campo considerada, os critérios de seleção de estratégias e de priorização adotados (gerência em nível de rede), as árvores de decisão para a definição das atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos (gerência em nível de projeto) e os programas em Visual Basic utilizados tanto em nível de rede como em nível de projeto.

Deste trabalho constam, ainda, três anexos: no Anexo A são mostrados os dados de inventário e levantamento da condição do pavimento das seções dentro da área selecionada para a aplicação piloto do SIG; no Anexo B são apresentadas as listagens dos dois programas elaborados nesta dissertação: *Interface* e *SGPUSP*; e no Anexo C são mostrados resumos das bases de dados criadas no TransCAD para a gerência do pavimento e da rede de distribuição de água.

2 - Sistemas de Gerência de Pavimentos

2.1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos representam parcela expressiva da infra-estrutura de transportes, portanto, melhoramentos marginais nos componentes da gerência podem resultar em grandes economias em termos absolutos. Por outro lado, os pavimentos são estruturas complexas que envolvem muitas variáveis, tais como: cargas de tráfego, solicitações ambientais, técnicas construtivas, práticas de manutenção, tipo e qualidade de materiais etc. Portanto, para o sucesso do projeto, construção e manutenção de pavimentos é importante que os vários fatores técnicos e econômicos sejam bem conhecidos.

A gerência de pavimentos é praticada sempre pelas agências rodoviárias, de alguma ou outra forma, como auxílio no processo de tomada de decisão sobre as atividades relacionadas aos pavimentos. Nos organismos rodoviários brasileiros, apesar do destaque que tem recebido nos últimos anos, a gerência de pavimentos tem-se caracterizado pela simplicidade, com pouco ou quase nenhum uso de processos formais (abordagem sistêmica).

A gerência de pavimentos, segundo HAAS, HUDSON & ZANIEWSKI (1994), envolve a identificação de estratégias ótimas nos vários níveis de gerenciamento, assim como a implementação das mesmas, sendo um processo que abrange todas as atividades envolvidas com o propósito de fornecer e manter pavimentos em um nível adequado de serviço. Suas atividades incluem desde a obtenção inicial de informações para o planejamento e elaboração de orçamento até a monitorização periódica do pavimento em serviço, passando pelo projeto e construção do pavimento e sua manutenção e reabilitação ao longo do tempo.

Estratégia é um plano ou método para tratar todos os aspectos de um dado problema. Por exemplo, uma estratégia de reabilitação é um plano para manter um pavimento em condições de serviço por um período específico de tempo. A estratégia ótima é aquela que, dentre as alternativas consideradas, maximiza a realização dos objetivos da gerência, considerando as restrições impostas.

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) utiliza procedimentos racionais, claramente estabelecidos, para avaliar estratégias alternativas ao longo de um período de análise específico e com base em valores previstos para atributos quantificáveis do pavimento. Envolve o tratamento integrado e coordenado de todas as áreas, sendo um processo dinâmico que incorpora a realimentação de vários atributos, critérios e restrições envolvidos no processo de otimização.

Um Sistema de Gerência de Pavimentos visa a obtenção do melhor retorno possível para os recursos investidos, provendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários. Possibilita, simultaneamente, a melhoria das condições dos pavimentos e a redução dos custos de manutenção e reabilitação e dos custos de operação dos veículos.

A gerência de pavimentos depende da monitorização periódica do pavimento, responsável pela obtenção de informações confiáveis sobre as características físicas da estrada ao longo do tempo, e da administração dos dados obtidos. Um dos objetivos principais da gerência de pavimentos é fornecer respostas para questões do tipo: o que precisa ser feito num determinado pavimento? ; quando serão necessárias intervenções para evitar a ruptura e prolongar a vida em serviço do pavimento? ; onde se localizam os projetos prioritários?.

Dentre as características essenciais de um Sistema de Gerência de Pavimentos, HUDSON et al. (1979) destacam:

- capacidade de ser facilmente atualizado e/ou modificado assim que novas informações ou melhores modelos estejam disponíveis;
- capacidade de considerar estratégias alternativas;
- capacidade de identificar a alternativa ou estratégia ótima;
- capacidade de tomar decisões baseadas em procedimentos racionais com atributos, critérios e restrições quantificáveis;
- capacidade de auto-aprendizado, baseada nas informações sobre as conseqüências das decisões.

2.2 - NÍVEIS DA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

As atividades da gerência de pavimentos e os componentes do sistema estão caracterizados, geralmente, em dois níveis administrativos diferentes, apresentados na Figura 2.1: a gerência em *nível de rede* e em *nível de projeto*. A gerência de pavimentos em *nível de rede* trabalha com informações resumidas, relacionadas à malha inteira de rodovias, utilizadas para a tomada de decisões, essencialmente administrativas, sobre as atividades de planejamento, programação e orçamento.

Figura 2.1 – Fluxograma dos componentes de um sistema de gestão de pavimentos em nível de rede e projeto (HAAS et al., 1994).

Algumas das características ou aplicações de um sistema de gestão em *nível de rede* são:

- identificação de projetos candidatos para intervenções, considerando a taxa de deterioração, tipos de defeitos etc.;
- priorização dos projetos candidatos, considerando as características de desempenho, tráfego, custo aos usuários e outros fatores locais;
- geração de necessidades de orçamento da agência a curto e longo prazo;

- avaliação da condição atual do sistema e previsão da condição futura, com base nos recursos aplicados.

As decisões em nível de rede podem, ainda, ser divididas em:

- nível de seleção de projeto: processo de priorização, envolvendo um ou mais grupos de projetos;
- nível de programa: processo orçamentário global, envolvendo a alocação de recursos para toda a rede.

Em nível de seleção de projeto, dois modelos podem ser utilizados:

1. *modelos de priorização*: selecionam projetos para manutenção mediante um critério classificatório, baseado, dentre outros fatores, em um índice da condição de cada segmento;
2. *modelos de otimização*: maximizam (ou minimizam) uma função objetivo, geralmente o custo total, submetida a uma série de restrições.

A gerência de pavimentos em *nível de projeto* envolve o dimensionamento, construção, manutenção e reabilitação. Trabalha com informações técnicas detalhadas, relacionadas a seções específicas do pavimento. A gerência em nível de projeto permite uma análise detalhada da programação de intervenções no pavimento e inclui um diagnóstico detalhado dos defeitos, suas causas prováveis e métodos corretivos alternativos. Exemplos de atividades de gerência de pavimentos em nível de projeto, relacionadas a seções específicas, são:

- estabelecimento de prioridades para as atividades de manutenção, reabilitação e reconstrução, com base em critérios estabelecidos pelos níveis mais elevados da gerência;

- realimentação da base de dados com relação ao desempenho do pavimento, fornecendo dados para as atividades de projeto, construção e manutenção;
- aplicação de análises dos custos que ocorrem ao longo da vida em serviço, considerando várias alternativas;
- definição dos parâmetros principais de projeto, tais como: resistência do subleito, número de solicitações do eixo padrão, especificações para os materiais.

Um Sistema de Gerência de Pavimentos completo funciona em todos os níveis, desde o nível de projeto mais fundamental até o nível administrativo mais alto. Em cada um desses níveis, tipos diferentes de decisões são solicitados em função dos dados disponíveis, dos critérios e das restrições. No entanto, o fluxo básico de informação ou seqüência de ações dentro dos níveis é o mesmo.

2.3 – IMPLEMENTAÇÃO DE UM SGP

A implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos depende, principalmente, de três fatores: dados confiáveis, modelos realísticos para o processamento dos dados e programas amigáveis para a organização dos dados e apresentação dos resultados. As etapas para a implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos apresentadas por FERNANDES Jr. (1997) são:

- *decisão de começar:* estudo das potencialidades e carências de pessoal e equipamentos e coleta de informações sobre custos e benefícios dos sistemas de gerência de pavimentos;

- *estabelecimento do grupo de gerência de pavimentos:* geralmente formado por chefes de departamentos 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 sistemas de gerência de pavimentos 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 definidos: produtos previstos, treinamento de pessoal, atualização de documentos (manuais, relatórios, especificações) e definição de procedimentos para a seleção de programas em nível de rede (programa de priorização e consideração de restrições orçamentárias) e de projetos individuais (seleção final da melhor estratégia para cada projeto);
- *operação de rotina do sistema:* o tempo entre o início da implementação e a operação de rotina pode variar entre um e dez anos. Os relatórios da operação de rotina incluem: resumos orçamentários anuais, resumos das necessidades, listas de otimização etc. ;
- *monitorização do sistema e realimentação:* 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 a realimentação 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.

2.4 - SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

Os Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) apresentam muitas características distintas das que são apresentadas pelos sistemas de gerência de pavimentos tradicionalmente utilizados pelos organismos rodoviários federais e estaduais. Uma das principais diferenças, destacada por BERTOLLO & FERNANDES Jr. (1997), é o grande número de redes de infra-estrutura pública que correm paralelas ou cruzando o pavimento das vias urbanas e que, para sua construção e manutenção, promovem a escavação do pavimento. Na seqüência, outros problemas associados ao fechamento das valas das redes públicas aparecem: compactação inadequada do aterro e remendos com superfície irregular.

Embora os princípios da gerência de pavimentos sejam os mesmos para todos os organismos rodoviários, os sistemas de gerência de pavimentos urbanos utilizam, geralmente, a técnica de *priorização* para a seleção de projetos e não a *otimização* (utilizada, por exemplo, no programa de gerência de pavimentos HDM-III) e são menos sofisticados, o que facilita o entendimento e utilização por parte dos engenheiros municipais.

Na Figura 2.2 são mostradas as etapas do desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos urbanos segundo MAPC (1986).

Figura 2.2 – Etapas na implantação de um SGP.

2.4.1 - Inventário

O inventário é o processo de coleta e organização dos dados para a implementação apropriada de um programa de gerência de pavimentos. Do inventário devem constar mapas com todas as ruas mantidas pelo município e arquivos sobre projetos de construção, datas das intervenções de manutenção e reabilitação, comprimento, largura e tipo de pavimento (FHWA, 1989). BERTOLLO & FERNANDES Jr. (1997) apresentam uma planilha para o levantamento de dados do inventário (Figura 2.3).

INVENTÁRIO DA REDE PAVIMENTADA URBANA - SGPU	
TÉCNICOS: _____	DATA: _____
IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO	
Código (classe, número e 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 2.3 - Formulário para levantamento de dados de inventário.

2.4.1.1 - Definição dos limites das seções

O primeiro passo em um inventário é dividir a malha viária em seções. No caso de vias urbanas, estas podem ser divididas em seções usando as interseções ou quarteirões. Uma consideração importante é a forma em que o pavimento é contabilizado dentro da área das interseções. Nas áreas urbanas, as interseções podem significar uma porção importante da área total de pavimento. Existem três métodos para definir a área das interseções, evitando-se assim a sua duplicação:

- as áreas das interseções devem ser tratadas como seções separadas;
- em cidades em que a orientação das ruas é uma grelha retangular, uma designação arbitrária pode ser feita de tal forma que as seções incluam as interseções;
- as classes funcionais das ruas podem ser usadas para definir a que seção pertence a interseção.

2.4.1.2 - Informações essenciais sobre as seções

Os tipos de informações que devem constar no inventário são:

- *descrição das seções*: deve incluir o código de identificação da seção, o nome e classe funcional da rua à qual a seção pertence e o tipo de pavimento;
- *características geométricas*: comprimento, largura, número de faixas, espessura do pavimento e materiais;
- *dados históricos*: devem conter o ano de construção, datas e tipos de manutenções sucessivas (recapeamentos, reconstruções), assim como dados de custos;
- *tráfego*: deve incluir a capacidade da via, o tráfego diário médio, a taxa de crescimento e a porcentagem de caminhões.

2.4.2 - Avaliação da Condição dos Pavimentos

A avaliação da condição dos pavimentos em nível de rede pode ser feita tanto por meio de uma avaliação subjetiva como por uma avaliação objetiva.

2.4.2.1 - Avaliação subjetiva

Este tipo de avaliação está baseada no conceito de *serventia*, apresentado por CAREY & IRICK (1960) quando do *AASHO Road Test*. A *Serventia Atual* é definida como a habilidade de uma seção de pavimento, à época da observação, para servir ao tráfego de automóveis e caminhões com elevados volumes e altas velocidades.

O *Valor da Serventia Atual* (PSR - *Present Serviceability Rating*) é a média dos valores individuais dados pelos membros da equipe avaliadora (Figura 2.4), formada de modo a representar os usuários do pavimento.

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

Figura 2.4 - Ficha para avaliação da serventia.

A capacidade de um pavimento servir satisfatoriamente ao tráfego durante um período de tempo é o seu desempenho, que pode ser interpretado como a variação da serventia com o tempo e/ou tráfego (Figura 2.5).

Figura 2.5 - Conceito de serventia-desempenho.

2.4.2.2 - Avaliação objetiva

O *Índice de Serventia Atual* (*PSI - Present Serviceability Index*) é obtido a partir da relação matemática dos valores de medidas objetivas de defeitos com avaliações subjetivas, permitindo a quantificação da serventia.

As formas de avaliação objetiva dos pavimentos compreendem:

- a) *Avaliação da irregularidade superficial*: o desempenho do pavimento, ou seja, sua capacidade de servir ao tráfego com conforto, segurança e economia, está intimamente relacionado com a irregularidade longitudinal. A irregularidade longitudinal pode ser quantificada por perfilômetros, perfilógrafos e equipamentos do tipo “resposta”, como por exemplo o integrador de irregularidade IPR/USP;
- b) *Ensaio estruturais*: podem ser destrutivos, mediante a avaliação da capacidade de suporte de amostras coletadas e *in situ*, ou não-destrutivos, envolvendo a medida de deflexões superficiais causadas por um carregamento conhecido. Para a avaliação estrutural não-destrutiva tem-se utilizado viga Benkelman e defletômetros de impacto (*Falling Weight Deflectometer*, FWD);

c) *Atrito superficial*: a avaliação do atrito superficial pneu-pavimento, relacionada à segurança, pode ser obtida através de equipamentos do tipo Mu-Meter ou do Pêndulo Britânico;

d) *Levantamento dos defeitos*: envolve a inspeção visual e a identificação dos tipos de defeitos mais significativos e a medida e avaliação da extensão e severidade de cada defeito.

Considerando a gerência em nível de rede, os pavimentos urbanos podem ser avaliados apenas por levantamento de defeitos no campo, mediante inspeção visual, conforme apresentado por BERTOLLO (1997).

2.4.2.3 - Levantamento de defeitos no campo

O reconhecimento do tipo de defeito, a quantificação da sua *extensão* e identificação do nível de *severidade* e a determinação das causas dos defeitos são de vital importância para a seleção das estratégias de intervenção e definição das atividades de manutenção e reabilitação (FERNANDES Jr. & BERTOLLO, 1997).

Manuais de identificação de defeitos têm sido elaborados buscando estabelecer e uniformizar a nomenclatura, as definições, os conceitos e os métodos de levantamento dos principais defeitos observados nos pavimentos. Dentre os principais, podem ser mencionados os seguintes:

- *Manual de Identificação de Defeitos dos Pavimentos do Programa Strategic Highway Research Program (SHRP, 1993b)*: considera 15 tipos de defeitos em pavimentos flexíveis, identificando-os através de fotos e figuras;

- *AASHTO - Apêndice K: Defeitos Típicos* (AASHTO, 1986): considera 17 tipos de defeitos (14 coincidentes com o SHRP), oferecendo, para cada um deles, a sua descrição, níveis de severidade e métodos de medição;
- *Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos* (DOMINGUES, 1993): considera 24 tipos de defeitos, oferecendo, para cada um deles, a sua descrição, mecanismo de ocorrência, localização, classe (funcional/estrutural), níveis de severidade e métodos de medição.

FERNANDES Jr. & BERTOLLO (1997) recomendam a adoção do manual de levantamento de campo utilizado no Programa SHRP em virtude da necessidade de uniformização da coleta de dados e, principalmente, do compromisso dos países envolvidos com o programa SHRP para o acompanhamento do desempenho das seções ao longo do tempo. A Tabela 2.1 apresenta o elenco de defeitos e as principais características, os níveis de severidade e a forma de quantificação da extensão dos 15 defeitos considerados pelo Programa SHRP (1993b).

TABELA 2.1 - Identificação de defeitos nos pavimentos (SHRP, 1993b).

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
1 TRINCAS POR FADIGA DO REVESTIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Áreas submetidas a cargas repetidas de tráfego Forma: “couro de crocodilo” ou “tela de galinheiro” Espaçamento inferior a 30 cm 	<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 erodidas nos bordos, movimentação dos blocos quando submetidos ao tráfego e com evidências de bombeamento 	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
2 TRINCAS EM BLOCOS	<ul style="list-style-type: none"> Trincas que dividem o pavimento em pedaços aproximadamente retangulares Tamanho dos blocos: 0,1 a 10 m² 	<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 	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
3 TRINCAS LATERAIS	<ul style="list-style-type: none"> Apenas para pavimentos com acostamentos não pavimentados Dentro de uma faixa de 60 cm a partir da extremidade do pavimento 	<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 	Registrar a extensão afetada (m) para cada nível de severidade.
4 TRINCAS LONGITUDINAIS	<ul style="list-style-type: none"> Trincas predominantemente paralelas ao eixo, podendo se localizar dentro ou fora das trilhas de roda 	<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 mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	Registrar a extensão (m) das trincas longitudinais e os níveis de severidade correspondentes (nas trilhas de roda ou fora delas). Registrar a extensão com selante em boas condições.

1. Fotografar ou filmar defeito não considerado pelo Manual;

OBS: 2. Mapear EXSUDAÇÃO, AGREGADOS POLIDOS e DESGASTE apenas se ocorrerem em áreas localizadas;

3. Caso contrário, registrar localização, extensão e nível de severidade no espaço destinado aos comentários, no Mapa para Localização dos Defeitos.

*Os limites para as trincas são muito altos quando considerados para pavimentos brasileiros.

TABELA 2.1 - Identificação de defeitos nos pavimentos (continuação).

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
5 TRINCAS POR REFLEXÃO	<ul style="list-style-type: none"> Reflexão de trincas ou juntas das camadas inferiores Recapeamento ou pavimentos novos (contração da base) 	<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 mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<p>Registrar, em separado, as trincas transversais e longitudinais.</p> <p>Registrar o nº de trincas transversais.</p> <p>Registrar a extensão das trincas e os níveis de severidade.</p> <p>Registrar a extensão com selante em boas condições.</p>
6 TRINCAS TRANSVERSAIS	<ul style="list-style-type: none"> Trincas predominantemente perpendiculares ao eixo Severidade de uma trinca: adotar a mais elevada, desde que represente pelo menos 10% da extensão 	<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 mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<p>Registrar o nº de trincas, a extensão e os níveis de severidade correspondentes.</p> <p>Registrar a extensão com selante em boas condições.</p>
7 REMENDOS	<ul style="list-style-type: none"> Porção da superfície do pavimento, maior que 0,1 m², removida e substituída ou material aplicado ao pavimento após a construção inicial 	<ul style="list-style-type: none"> Função da severidade dos defeitos apresentados pelo remendo 	<p>Registrar o nº de remendos e a área afetada (m²) para cada nível de severidade.</p>
8 PANELAS	<ul style="list-style-type: none"> Buracos resultantes de desintegração localizada, sob a ação do tráfego e em presença de água Fragmentação, causada por trincas por fadiga ou desgaste, e remoção localizada de partes do revestimento 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: profundidade menor que 25 mm MÉDIA: profundidade entre 25 e 50 mm ALTA: profundidade maior que 50 mm 	<p>Registrar o nº de panelas e a área afetada por cada nível de severidade.</p>
9 DEFORMAÇÃO PERMANENTE	<ul style="list-style-type: none"> Depressão longitudinal nas trilhas de roda, em razão de densificação dos materiais ou ruptura por cisalhamento 	<ul style="list-style-type: none"> Substituídos pelas medições da deformação permanente a cada 15 m 	<p>Registrar a máxima deformação permanente nas trilhas de roda.</p>

** Para pavimentos brasileiros, deve-se considerar também a área afetada.

TABELA 2.1 - Identificação de defeitos nos pavimentos (continuação).

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
10 CORRUGAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Deformação plástica caracterizada pela formação de ondulações transversais na superfície do pavimento Causada por esforços tangenciais (frenagem ou aceleração) 	<ul style="list-style-type: none"> Associados aos efeitos sobre a qualidade do rolamento 	Registrar o nº de ocorrências e a área afetada (m ²).
11 EXSUDAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: mudança 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 	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
12 AGREGADOS POLIDOS	<ul style="list-style-type: none"> Polimento (desgaste) dos agregados e do ligante betuminoso e exposição dos agregados graúdos Comprometimento da segurança: redução do coeficiente de atrito pneu-pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> Níveis de polimento podem ser associados à redução no coeficiente de atrito pneu-pavimento 	Registrar a área afetada (m ²).
13 DESGASTE	<ul style="list-style-type: none"> Perda de adesividade do ligante betuminoso e desalojamento dos agregados Envelhecimento, endurecimento, oxidação, volatilização, intemperização 	<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 miúdos e de alguns graúdos ALTA: textura superficial muito áspera, com perda de agregados graúdos 	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
14 DESNÍVEL (DEGRAU) ENTRE PISTA E ACOSTAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Diferença de elevação entre a faixa de tráfego e o acostamento; camadas sucessivas de revestimento asfáltico; erosão de acostamento não pavimentado; consolidação diferencial 	<ul style="list-style-type: none"> Substituídos pelas medições do desnível 	Registrar o desnível (mm) a cada 15 m, ao longo da interface pista-acostamento.
15 BOMBEAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Saída de água pelas trincas do pavimento sob a ação das cargas do tráfego Identificado pela deposição à superfície, de material carreado das camadas inferiores 	<ul style="list-style-type: none"> Não aplicáveis porque o bombeamento depende do teor de umidade das camadas inferiores do pavimento 	Registrar o nº de ocorrências e a extensão afetada (m ²).

2.4.2.4 - Índices de defeitos combinados

Os índices de defeitos combinados podem ser determinados através de avaliações subjetivas (feitas por painéis de avaliadores) ou calculados a partir de informações sobre a extensão e severidade de diferentes formas de deterioração dos pavimentos. A condição do pavimento pode ser quantificada pelo Índice da Condição do Pavimento (ICP), que varia de 0 a 100, onde 100 representa uma excelente condição do pavimento.

Para o cálculo do ICP pode-se utilizar a equação 2.1 (CHEN et al., 1993):

$$ICP = 100 - \sum_i \sum_j D_{ij} x f_{ij} \quad (2.1)$$

onde D_{ij} e f_{ij} são, respectivamente, extensão e fator de ponderação do defeito i com o nível de severidade j .

Uma vez que certos defeitos influem mais que outros para a perda de serventia do pavimento, cada nível de severidade de um determinado defeito deve ser associado a um fator de ponderação, sendo que os fatores de ponderação também devem ser ajustados para as condições operacionais e ambientais do local onde serão utilizados.

A quantificação da qualidade de um pavimento por um índice combinado (como por exemplo, o ICP) pode servir à gerência em nível de rede tanto para a hierarquização de trechos e a definição de estratégias de manutenção e reabilitação como para a previsão orçamentária e alocação de recursos.

2.4.3 - Priorização

Após o levantamento e avaliação da condição do pavimento e determinadas as necessidades, deve-se estabelecer prioridades para as atividades de manutenção e reabilitação, pois geralmente os recursos são menores que as necessidades.

Conforme apresentado por HAAS et al. (1994), as prioridades em gerência de pavimentos podem ser determinadas por vários métodos, que vão da simples hierarquização subjetiva até a otimização baseada em modelos de programação matemática, passando pelo uso de índices de priorização calculados em função de fatores que condicionam o desempenho dos pavimentos e dos custos associados.

Para a gerência de pavimentos urbanos, em nível de rede, a melhor alternativa é a utilização de índices ou matrizes de priorização, desenvolvidas, muitas vezes, com base na opinião de especialistas, que selecionam os fatores intervenientes e os níveis correspondentes.

Índices compostos, denominados Índices de Prioridade (IP), podem ser utilizados para a hierarquização e seleção de trechos e de estratégias de manutenção e reabilitação. Esses índices consideram variáveis como: condição dos pavimentos, volume de tráfego, classificação funcional, idade desde a última intervenção, drenagem e histórico de acidentes.

O processo de priorização pode ser conduzido utilizando-se uma ou mais variáveis. Basicamente, no caso de serem consideradas variáveis múltiplas, existem duas formas para construir um modelo de priorização: o método da matriz e o método da equação.

Uma forma flexível, que combina duas matrizes e uma equação para o cálculo do Índice de Prioridade (IP), é mostrada na Figura 2.6, a qual foi utilizada por CHEN et al. (1993) quando do desenvolvimento de programa computacional para a gerência de pavimentos urbanos *Urban Roadway Management System* (URMS).

URMS Planning - Edit Model

Page 7.6 Priority Index

		AGE CODE				
		1	2	3	4	5
ROAD CONDITION	Bad 1	1	2	3	4	5
	Poor 2	6	7	8	9	10
	Fair 3	11	14	17	19	20
	Good 4	12	15	18	21	22
	Excellent 5	13	16	23	24	25

		STREET CLASS		
		A	B	C
STREET CLASS	U. Hwy 1	1	2	3
	Heavy 2	4	5	6
	Mediu 3	7	8	9
	Light 4	10	11	12
	U. Ist 5	13	14	15

PIX = 70% + 30%

PIX - Priority Index

São Carlos, SP

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

Figura 2.6 – Método para a determinação do Índice de Prioridade (IP) utilizado no Programa URMS (CHEN et al., 1993).

Como mostrado na Figura 2.6, o Índice de Prioridade (PIX) é função da condição do pavimento (ICP), da idade do pavimento (AGE), do tráfego (ADT) e da classe funcional da rua (STREET CLASS). Qualquer uma das quatro variáveis pode ser ignorada adotando-se o valor 0 para um ou mais parâmetros. Por exemplo, as variáveis classe funcional da rua e tráfego podem ser eliminadas mudando-se na equação o valor do peso de 30 para 0. Analisando-se a informação da Figura 2.6, pode-se concluir que quanto menor for o valor do índice IP, maior será a prioridade da seção.

Uma outra forma de calcular o Índice de Prioridade (IP) foi proposta por TAVAKOLI et al. (1992), expressa pela equação 2.2:

$$IP = \frac{ICP}{FT \times CF \times FR} \quad (2.2)$$

onde:

- IP = índice de prioridade;
- ICP = índice de condição do pavimento (maior prioridade quanto pior a condição do pavimento);
- FT = fator de tráfego (maior prioridade quanto maior o volume de tráfego: por exemplo, 10 para VDM 0 a 99; 20 para VDM 100 a 499; 30 para VDM 500 a 999; 40 para VDM 1000 a 1999; 50 para VDM 2000 a 4999; 100 para VDM maior que 5000);
- CF = fator de classificação funcional (maior prioridade para as ruas mais importantes: por exemplo, 1,2 para arteriais; 1,1 para coletoras; 1,0 para acessos locais);
- FR = fator de rota de trânsito de veículos especiais (prioridade maior para rotas de ônibus, por exemplo).

2.4.4 - Programação das Atividades de Manutenção e Reabilitação

Existem diferenças entre as atividades de manutenção e reabilitação. As atividades de manutenção têm por objetivo preservar ou manter o período de projeto do pavimento existente. As atividades de reabilitação são adotadas com o propósito de prolongar a vida em serviço do pavimento. Embora as atividades de manutenção também ajudem a prolongar a vida em serviço, os pavimentos precisam, mais cedo ou mais tarde, de atividades de reabilitação.

As atividades de manutenção podem ser divididas em duas categorias: preventivas e corretivas. A manutenção preventiva consiste no grupo de atividades realizadas para proteger o pavimento e reduzir a sua taxa de deterioração, enquanto as atividades corretivas têm como objetivo eliminar um determinado tipo de defeito.

Realizados o inventário e o levantamento de campo para avaliação da condição do pavimento, pode-se analisar, em nível de rede, diferentes estratégias de manutenção e reabilitação como: não fazer nada, manutenção corretiva, manutenção preventiva, recapeamento e reconstrução. Feita a análise em nível de rede, passa-se à análise em nível de projeto, que consiste na definição das atividades de manutenção conforme o tipo de deterioração apresentado.

Para a escolha das estratégias (nível de rede) e definição das atividades de manutenção e reabilitação (nível de projeto), pode-se utilizar “árvores de decisão”. As Figuras 2.7 e 2.8 mostram árvores de decisão utilizadas por CHEN et al. (1993) no programa de gerência URMS, que definem as estratégias em nível de rede e selecionam as atividades em nível de projeto, respectivamente.

Na Figura 2.7 as estratégias são definidas a partir da condição dos pavimentos, representada pelo ICP (PCI); da idade desde a última intervenção (AGE); e do volume de tráfego diário médio (ADT).

Figura 2.7 – Nível de rede: árvore de decisão para o estabelecimento das estratégias de M&R (CHEN et al., 1993).

A Figura 2.8 mostra uma “árvore de decisão” para a seleção da atividade adequada para o reparo de um defeito específico (no caso, a presença de trincas por fadiga) em função da sua severidade e extensão e do tráfego.

Figura 2.8 – Nível de projeto: árvore de decisão para a definição das atividades de M&R (CHEN et al., 1993).

Na Tabela 2.2 é mostrado um resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP, incluindo as principais atividades de manutenção e reabilitação recomendadas (BERTOLLO, 1997), utilizado neste trabalho quando do desenvolvimento do programa para a gerência em nível de projeto.

TABELA 2.2 - Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (SHRP, 1993b, apud BERTOLLO, 1997).

DEFEITO	CAUSAS DOS DEFEITOS	ATIVIDADES DE M&R
1 TRINCAS POR FADIGA DO REVESTIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Problema estrutural (espessuras inadequadas) • Enfraquecimento estrutural durante o período de chuvas 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção: remendos (reparo permanente, no caso de problemas localizados) ou tratamento superficial e lama asfáltica (reparos temporários) • Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural, no caso de áreas extensas) • Reconstrução: novos materiais ou reciclados • Obs: geralmente associadas à saturação do subleito, sub-base ou base, as trincas por fadiga podem exigir a remoção do material saturado e a instalação de drenagem.
2 TRINCAS EM BLOCOS	<ul style="list-style-type: none"> • Contração de origem térmica (revestimento formado por misturas asfálticas com agregados finos e alto teor de asfalto com baixa penetração) ou de variação do teor de umidade (camadas inferiores), ou ainda em razão do envelhecimento (perda de elasticidade do revestimento causada por oxidação em virtude de tempo de mistura muito longo, temperatura de mistura elevada ou período de armazenamento muito longo) • Contração de bases tratadas com cimento ou com utilização de solos tropicais 	<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 (nos estágios avançados)
3 TRINCAS LATERAIS	<ul style="list-style-type: none"> • Compactação insuficiente • Drenagem deficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Selante para evitar entrada de água e conseqüente enfraquecimento estrutural
4 TRINCAS LONGITUDINAIS	<ul style="list-style-type: none"> • Má execução de juntas longitudinais de separação entre duas faixas de tráfego (menor densidade e menor resistência à tração) • Contração do revestimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção: trincas com abertura menor que 3 mm não precisam ser preenchidas; trincas com abertura entre 3 e 20 mm devem ser limpas, com aplicação de selante (asfalto modificado com borracha ou elastômeros) e lançamento de areia sobre o selante • Reabilitação: trincas com abertura maior que 20 mm devem ser reparadas com remendo ou, no caso de estar previsto um recapeamento, devem ser preenchidas com concreto asfáltico de granulometria fina

TABELA 2.2 - Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (continuação).

DEFEITO	CAUSAS DOS DEFEITOS	ATIVIDADES DE M&R
5 TRINCAS POR REFLEXÃO	<ul style="list-style-type: none"> Movimentação de placas rígidas subjacentes (pavimento rígido, bases tratadas com cimento ou cal, bases de solos arenosos finos lateríticos) 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção: remendos e tratamento superficial ou lama asfáltica (reparos temporários) Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural: têm sido utilizadas geomembranas entre o pavimento antigo e o reforço para absorção do movimento horizontal das camadas inferiores; outra técnica consiste na reciclagem das porções mais superficiais do pavimento antigo, de modo a eliminar o padrão das trincas e, dessa forma, ao menos retardar o aparecimento das trincas por reflexão) Obs: trincas com abertura menor que 3 mm não precisam ser preenchidas; trincas com abertura entre 3 e 20 mm devem ser limpas, com aplicação de selante (asfalto modificado com borracha ou elastômeros) e lançamento de areia seca sobre o selante; trincas com abertura maior que 20 mm devem ser reparadas com remendo ou, no caso de estar previsto um recapeamento, devem ser preenchidas com concreto asfáltico de granulometria fina.
6 TRINCAS TRANSVERSAIS	<ul style="list-style-type: none"> Contração térmica do revestimento e hidráulica das outras camadas 	<ul style="list-style-type: none"> Selante para evitar entrada de água e conseqüente enfraquecimento estrutural
7 REMENDOS		<ul style="list-style-type: none"> Obs: o simples preenchimento de panelas é chamado de "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"> Manutenção: remendos (reparo permanente) Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural) após a execução dos remendos Obs: as atividades de M&R devem, sempre, ser precedidas de instalação de drenagem

TABELA 2.2 - Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (continuação).

DEFEITO	CAUSAS DOS DEFEITOS	ATIVIDADES DE M&R
9 DEFORMAÇÃO PERMANENTE	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamento inadequado (espessuras insuficientes) • Dosagem da mistura (falta de estabilidade, que resulta 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 (fluência plástica) causada por enfraquecimento em razão de infiltração de água 	<ul style="list-style-type: none"> • Reabilitação: reciclagem, recapeamento delgado (nas fases iniciais, precedido pelo preenchimento das depressões com concreto asfáltico) ou recapeamento espesso (reforço estrutural) • Reconstrução: novos materiais ou reciclados
10 CORRUGAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Falha estrutural • Dosagem da mistura (falta de estabilidade, em razão de excesso de asfalto, ligante asfáltico pouco viscoso, excesso de agregados finos, agregados arredondados, com textura lisa ou granulometria inadequada) • Problema construtivo (fraca ligação entre base e revestimento) 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção: remendos • Reabilitação: reciclagem (fresagem dos revestimentos com espessura superior a 5 cm, seguida de aplicação de capa selante ou concreto asfáltico); recapeamento delgado (sobre superfície regularizada: escarificação e mistura com material da base e compactação antes do lançamento da nova camada de revestimento) ou recapeamento espesso (reforço estrutural) • Reconstrução: novos materiais ou reciclados
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"> • Manutenção: tratamento superficial (reparo temporário) ou aplicação de areia quente, que deve imediatamente compactada e varrida após o resfriamento • Reabilitação: reciclagem
12 AGREGADOS POLIDOS	<ul style="list-style-type: none"> • Ação abrasiva do tráfego, que elimina as asperezas e angularidades das partículas • Dosagem da mistura (agregados com pequena resistência à abrasão, como por exemplo, agregados de rochas calcárias) 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção: tratamento superficial ou lama asfáltica • Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado • Reconstrução: novos materiais ou reciclados

TABELA 2.2 - Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (continuação).

DEFEITO	CAUSAS DOS DEFEITOS	ATIVIDADES DE M&R
13 DESGASTE	<ul style="list-style-type: none"> • Dosagem da mistura (falta de ligante) • Problema construtivo (superaquecimento da mistura, falta de compactação, que resulta em envelhecimento precoce, agregados sujo, úmido ou com pequena resistência à abrasão; segregação, com a ausência de agregados miúdos, há apenas poucos pontos de ligação entre partículas da matriz de agregados graúdos, facilitando a oxidação) • 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"> • Manutenção: capa selante (reparo temporário), 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"> • 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"> • Drenagem

2.5 - EXEMPLOS DE SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

Conforme discutido por FERNANDES Jr. (1996), as administrações municipais interessadas na implantação de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos podem optar pela contratação de uma empresa de consultoria para desenvolver um programa específico para a cidade em questão ou pela compra de um programa já desenvolvido. Infelizmente, ambas as opções apresentam limitações: a primeira alternativa é cara, acima das possibilidades da grande maioria das cidades brasileiras, além de que a experiência americana mostra sérios problemas de continuidade após o final das atividades da empresa de consultoria (CHEN et al., 1993); a segunda alternativa necessita de um grande número de dados de entrada, geralmente mais do que pode ser obtido com os recursos disponíveis, além de considerar modelos de desempenho desenvolvidos para condições distintas das que prevalecem no local onde vai ser utilizado.

Dentre os sistemas disponíveis, são de especial interesse para este trabalho:

2.5.1 - Pavement Management System – PMS

O PMS foi desenvolvido pela *Resource International Engineering Consultants*. Consiste de cinco módulos: inventário, histórico, condição do pavimento, custo/orçamento e seleção das atividades de manutenção e reabilitação (M&R). O módulo de seleção das atividades de M&R usa um sistema de hierarquização das prioridades de manutenção baseado nos dados coletados e armazenados nos outros quatro módulos. O projeto modular deste sistema permite a integração do PMS com o programa de Sistema de Informação Geográfica (SIG) MapInfo, a elaboração de relatórios gráficos e a realimentação da curva de desempenho.

2.5.2 - Urban Roadway Management System – URMS

O URMS foi desenvolvido na Universidade do Texas em Austin. O sistema completo abrange o planejamento das estratégias de manutenção e reabilitação em nível de rede, dimensionamento de pavimentos novos (no caso de reconstrução) ou de reforços (recapamentos), o acompanhamento do cronograma de atividades de construção e a seleção de atividades de manutenção e reabilitação em nível de projeto.

Todas as informações sobre uma seção específica podem ser mostradas em uma tela, como apresentado na Figura 2.9. Os dez defeitos considerados para os pavimentos flexíveis são: trincas por fadiga, trincas em bloco, trincas longitudinais, trincas transversais, deformação permanente da trilha de roda, exsudação, agregados polidos, desgaste, panelas e remendos.

The screenshot shows the 'URMS Planning - Data Base' window. It contains several input fields for project data and a table for distress types and severity.

File Name: FAPESP.PLA **City:** Sao Carlos, SP **Records:** 200 **I**

Section Code	L001002
Street Name	28 de Setembro
Location From	Jose Bonifacio
Location To	9 de Julho
Pavement Type	Flexible
Section Length (ft)	300
Pavement Width (ft)	24.00
No. of Lanes	1
Construction Year	1990
Capacity	
Daily Traffic (ADT)	4000
Traffic Growth Rate (%)	2
Truck Percent (%)	4
Condition Index (PCI)	80
Soil Type	

DISTRESS TYPE	SEVERITY		
	LOW	MED	HIGH
Trincas Fadiga			
Trincas em Blocos			
Trincas L. e T.			
Deform. Perman.			
Exsudação/Polidos			
Desgaste/Panelas			
Remendos			

START/END	Starting X	
	Starting Y	
	Ending X	
	Ending Y	

ESC=Exit F1=Help F2=Save F3=Data_Box F9=Goto F10=Copy ArrowKeys PgUp/PgDn

Figura 2.9 – URMS: tela com os dados de entrada.

Três tipos de índices de avaliação estão incluídos no URMS: o ICP, o índice da idade do pavimento e o índice de tráfego. O Índice da Condição do Pavimento (ICP), já apresentado anteriormente, é calculado em função do tipo, severidade e extensão dos defeitos do pavimento.

A idade do pavimento (AGE) é definida como o tempo entre o ano de uma intervenção e o ano do levantamento da condição do mesmo. Todos os índices de avaliação estão divididos em cinco classes, como mostrado na Figura 2.10.

URMS Planning - Edit Model
Page 7-3 Evaluation Criteria

PROGRAM YEAR: **1997**

Pavement Condition Index (PCI)

	1 Bad	2 Poor	3 Fair	4 Good	5 Excell
PCI	< 30	30 50	50 70	70 90	>= 90

Pavement Age (AGE)

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

Traffic Classification

ADT(x1000)	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	(V/C) Ratio for pavement widening			

São Carlos, SP
ESC=Exit F2=Save PgUp/PgDn

Figura 2.10 – URMS: faixas de valores dos índices de avaliação.

A Figura 2.11 mostra a tela principal de saída do subsistema de avaliação. A caixa da esquerda mostra os resultados de cada seção. Informações detalhadas de cada seção podem também ser mostradas ao mesmo tempo usando-se uma função chave. Na Figura 2.11, as duas caixas à direita apresentam um resumo dos resultados da avaliação da rede inteira em termos do ICP, idade do

pavimento (AGE), tráfego diário médio (MADT) e tráfego diário médio de caminhões (TDAT).

Figura 2.11 – URMS: tela principal de saída do subsistema de avaliação.

O URMS combina dois modelos simples para a seleção de projetos de M&R: um determina as estratégias de M&R, mediante árvore de decisão baseada nos resultados da avaliação, e outro faz a priorização de seções. O URMS pode determinar programas anuais de M&R para até 5 anos, com base no Índice de Prioridade (IP).

A tela principal de saída da programação das atividades de M&R em nível de rede é mostrada na Figura 2.12. Nesta figura as quatro últimas colunas mostram os resultados básicos para cada seção: a estratégia de M&R (S), o IP, o ano recomendado para a execução (RAY) e o custo da atividade de M&R em milhares de dólares. Nesta tela, pode-se obter, também, um resumo do

programa de M&R com o total das necessidades, o número de seções que precisam de M&R e o orçamento necessário.

Figura 2.12 – URMS: tela da programação de M&R.

As Figuras 2.13 a 2.15 mostram três exemplos de relatórios do URMS. Na Figura 2.13, são apresentadas as informações de entrada e saída das seções analisadas. A Figura 2.14 mostra um resumo da informação sobre a avaliação da condição do pavimento e do tráfego. Dois tipos de resumos das atividades de M&R são mostrados na Figura 2.15: o primeiro apresenta o resumo das necessidades de M&R e o segundo mostra as seções recomendadas que precisam de M&R no período de análise.

URMS

Planning - Report

URBAN ROADWAY MANAGEMENT SYSTEM (URMS) V.1.0

Copyright (c) 1993 The University of Texas at Austin

LISTINGS OF BASIC INPUT DATA

Input File: FAPESP.PLA

SECTION IDENTIFICATION

NO	SECTION CODE	STREET NAME	LOCATION FROM	LOCATION TO		H	FT
00140	0015001	Av. Sao Carlos	28 de Setembro	Carlos Botelho	F	300	24
00141	0015002	Av. Sao Carlos	Carlos Botelho	15 de Novembro	F	300	24
00142	0015003	Av. Sao Carlos	15 de Novembro	Sao Sebastiao	F	300	24
00143	0015004	Av. Sao Carlos	Sao Sebastiao	Pa. Teixeira	F	300	24
00144	0015005	Av. Sao Carlos	Pa. Teixeira	Mal. Deodoro	F	300	24
00145	0015006	Av. Sao Carlos	Mal. Deodoro	7 de Setembro	F	300	24
00146	0015007	Av. Sao Carlos	7 de Setembro	Maj. Jose Inacio	F	300	24
00147	0015008	Av. Sao Carlos	Maj. Jose Inacio	Onda do Pinhal	F	300	24
00148	0015009	Av. Sao Carlos	Onda do Pinhal	13 de Maio	F	300	24
00149	0015010	Av. Sao Carlos	13 de Maio	Jesuino Arruda	F	300	24

Pavement Type: F - Flexible Pavement H - Rigid Pavement

City: Sao Carlos, SP Dept: UESB-USP Analyst: Jose Govez

ESC=Exit F10=Print LeftArrow/RightArrow PgUp/PgDn Page NO: 2

Figura 2.13 – URMS: relatório das seções analisadas com resumo das informações de entrada e saída (na continuação da tela).

URMS		Planning - Report					
URBAN ROADWAY MANAGEMENT SYSTEM (URMS) V.1.0						Planning S	
Copyright (c) 1993 The University of Texas at Austin						Report N	
SUMMARY OF PAVEMENT CONDITION AND TRAFFIC EVALUATION (1997)							
Input File: FAPESP.PLA							
CONDITION CODE	CLASS DESCRIPTION	LIMITING VALUE	SECTION NUMBER	%	LENGTH MILES	%	AREA 1000
* PCI							
1	Bad	< 30	0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Poor	30 - 50	20	10.1	1.1	9.9	16.0
3	Fair	50 - 70	130	69.9	8.0	70.0	112.9
4	Good	70 - 90	30	15.1	1.7	14.9	24.0
5	Exce	> 90	14	3.5	0.6	5.1	8.3
* AGE							
1	U. Old	> 20(40)	0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Old	15(30) - 20(40)	0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Fair	10(20) - 15(30)	0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	New	5(10) - 10(20)	195	98.5	11.4	98.5	159.7
5	U. New	<= 5(10)	3	1.5	0.2	1.5	2.4
* NADT							
1	U. Hvy	> 4000	0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Heavy	3000 - 4000	0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Mediu	2000 - 3000	199	100.0	11.4	100.0	161.1
4	Light	1000 - 2000	0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	U. Lgt	<= 1000	0	0.0	0.0	0.0	0.0
* TADT							
1	U. Hvy	> 400	0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Heavy	300 - 400	0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Mediu	200 - 300	0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	Light	100 - 200	0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	U. Lgt	<= 100	199	100.0	11.4	100.0	161.1
TOTAL				199	100.0	11.4	100.0
ESC=Exit F10=Print LeftArrow/RightArrow PgUp/PgDn Page NO: 1							

Figura 2.14 – URMS: relatório com resumo da avaliação do pavimento.

URMS		Planning - Report					
URBAN ROADWAY MANAGEMENT SYSTEM (URMS) V.1.0.0						Planning	
Copyright (c) 1993 The University of Texas at Austin						Report	
SUMMARY OF MAINTENANCE & REHABILITATION PROGRAM							
Flexible Pavement							
1. Maintenance & Rehabilitation Needs							
Input File: FAPESP.PLA							

MAR STRATEGY		UNIT COST	SECTION		LENGTH	BUDG	
Code	Description	(\$/SY)	Number	%	(Mile)	\$10	

0	Do Nothing	0.00	66	93.0	9.73	92.6	0.
1	Routine Maintenance	2.00	25	13.5	1.42	12.4	40.
2	Thin AC Overlay	10.00	56	28.0	3.30	28.8	464.
3	Medium AC Overlay	18.00	23	11.5	1.31	11.4	331.
4	Thick AC Overlay	25.00	23	11.5	1.31	11.4	460.
5	Reconstruction	50.00	7	3.5	0.40	3.5	280.

TOTAL			200	100.0	11.46	100.0	1575

2. Recommended M & R projects for 1997							
Input File: FAPESP.PLA							

MAR STRATEGY		UNIT COST	SECTION		LENGTH	BUDG	
Code	Description	(\$/SY)	Number	%	(Mile)	\$10	

0	Do Nothing	0.00	166	93.0	9.53	93.1	0.
1	Routine Maintenance	2.00	0	0.0	0.00	0.0	0.
2	Thin AC Overlay	10.00	0	0.0	0.00	0.0	0.
3	Medium AC Overlay	18.00	4	2.0	0.23	2.0	37.
4	Thick AC Overlay	25.00	23	11.5	1.31	11.4	460.
5	Reconstruction	50.00	7	3.5	0.40	3.5	280.

ESC=Exit F10=Print LeftArrow/RightArrow PgUp/PgDn							
Page NO:						1	

Figura 2.15 – URMS: relatório com resumo da programação de M&R.

3 - Sistemas de Informação Geográfica

3.1 - INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Informação Geográfica podem ser definidos, genericamente, como sendo sistemas informatizados usados para coletar, armazenar, editar, analisar, exibir e imprimir dados referenciados geograficamente (KORTE, 1997).

STAR & ESTES (1990) definem os Sistemas de Informação Geográfica como sistemas projetados para trabalhar com dados referenciados por coordenadas espaciais ou geográficas, com capacidades específicas para realizar operações com esses dados.

Para alcançar seus objetivos, um Sistema de Informação Geográfica deve reunir as seguintes características:

- Armazenamento e organização dos dados espaciais gráficos: digitalização vetorial com procedimento manual (uso de mesa digitalizadora), digitalização raster automática (uso de *scanners*) ou arquivos digitais provenientes diretamente de sensores remotos;
- Armazenamento e organização dos dados espaciais alfanuméricos: esses dados, com sua localização espacial implícita, organizam-se em arquivos

computacionais e podem ser eficientemente recuperados para serem modificados, ampliados, tratados estatisticamente ou para serem associados às correspondentes entidades gráficas referenciadas geograficamente;

- Tratamento de dados: utilização das ferramentas do SIG para manipular o conteúdo dos subsistemas anteriores e fazer, a partir deles, diversos procedimentos de análise espacial;
- Apresentação de resultados: as respostas obtidas por meio dos procedimentos realizados com o subsistema anterior são apresentadas através de periféricos de saída (tela do computador e impressora).

A Figura 3.1 ilustra o ambiente técnico detalhado anteriormente, mostrando o caminho que percorre a informação geográfica entre os diferentes subsistemas.

Figura 3.1 - Subsistemas componentes de um SIG (BUZAI & DURÁN, 1997).

Um SIG típico está baseado nos seguintes conceitos básicos: primeiro, entidades do mundo real na superfície da terra estão relacionadas a um mapa em um sistema de coordenadas e armazenadas em um computador, o qual, armazena as coordenadas dessas entidades para mostrar *onde* elas estão e os seus atributos para mostrar *o que* elas são; segundo, as entidades no mapa podem ser exibidas ou impressas em qualquer combinação e em qualquer

escala, fazendo com que os dados de mapas computacionais sejam muito mais flexíveis de usar do que os dados em mapas tradicionais de papel; terceiro, um SIG pode analisar relações espaciais entre os objetos do mapa.

3.2 - ESTRUTURAS BÁSICAS DE REPRESENTAÇÃO

Ao longo de quase trinta anos de desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica, têm sido propostas diferentes estruturas para representar o espaço geográfico. De maneira geral, os dois tipos de estruturas de dados de Sistemas de Informação Geográfica mais amplamente utilizados são: o *modelo vetorial* e o *modelo raster*.

Ambos os modelos apresentam vantagens e desvantagens para o armazenamento de dados geográficos. Porém, se ambas as formas de estrutura, raster e vetorial, são encontradas em um SIG, assim como rotinas de conversão de estruturas e ferramentas de análise apropriadas para cada tipo de dado, pode-se armazenar os dados na sua forma original, e, conseqüentemente, otimizar tanto a especificação geográfica como os custos de conversão.

3.2.1 - Modelo Vetorial

Os dados de um mapa digital do tipo vetorial são arquivados como sendo pontos, linhas (uma série de coordenadas de pontos) ou polígonos (figuras limitadas por linhas). No modelo vetorial, informações sobre os pontos, linhas e polígonos são codificadas e armazenadas como uma coleção de coordenadas x-y. A localização de uma entidade gráfica, representada por um ponto, é descrita por uma única coordenada x-y. Entidades gráficas lineares, como rodovias e rios, são armazenadas como um conjunto de coordenadas de

pontos. Entidades gráficas representadas por polígonos, como lagos e áreas em geral, são armazenadas como circuitos (*loop*) fechados de coordenadas. O modelo vetorial é apropriado para descrever elementos discretos, como edifícios, mas não para descrever elementos que variam continuamente, como tipos de solos ou coberturas vegetais do solo (KORTE, 1997). O formato vetorial permite uma descrição mais precisa da localização das entidades gráficas do mapa (Figura 3.2).

Área 1 = USP
 Área 2 = UFSCar

Figura 3.2- Modelo vetorial (adaptado de KORTE, 1997).

Uma base de dados geográfica difere, em parte, de uma base de dados convencional, já que contém a localização espacial de cada registro e uma tabela topológica guarda suas relações; além disso, em uma base de dados geográfica é possível associar a informação alfanumérica à gráfica. Essa representação permite um efetivo trabalho com pontos, arcos e polígonos, aos quais associam-se bases de dados pontuais, lineares e poligonais, que contém a informação alfanumérica de cada uma das entidades em questão (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Modelo de base de dados vetorial (BUZAI & DURÁN , 1997).

3.2.2 – Modelo Raster

Os dados no formato raster consistem de células uniformes, codificadas de acordo com os valores dos dados, como por exemplo a classificação da cobertura do solo. Arquivos de dados no formato raster podem ser manipulados mais rapidamente pelo computador, mas eles são geralmente menos detalhados do que os dados no formato vetorial. Como ilustrado na Figura 3.4, a linha limitante entre as duas áreas é aproximada pelas células do formato raster. O grau de aproximação está relacionado com o tamanho das células. Mapas desenhados a partir de dados no formato raster são menos agradáveis visualmente do que aqueles obtidos a partir de dados no formato vetorial, que têm a aparência dos mapas tradicionais feitos a mão. Dessa forma, o modelo raster é geralmente utilizado para modelar entidades gráficas contínuas de um mapa.

Como no caso dos dados vetoriais, os dados gráficos no formato raster podem ser associados a atributos alfanuméricos para cada célula individual. As informações das entidades gráficas do mapa podem incluir atributos como tipos, medidas, nomes, valores, datas e classes.

Figura 3.4 - Modelo raster para representação do espaço geográfico (adaptado de KORTE, 1997).

A análise de representação é feita por superposição das distintas camadas temáticas e pela associação das células ou grupo de células, que manifestam características espaciais similares. Por esta razão, é condição indispensável que cada uma das camadas temáticas seja representada com o mesmo tamanho da matriz, para que se possa correlacionar corretamente os mesmos setores do espaço geográfico, como indicado na Figura 3.5.

Figura 3.5 - Modelo raster (BUZAI & DURÁN, 1997).

3.3 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.3.1 - Extensão

A extensão é o tamanho total da área de estudo, definida como retângulo ou quadrado a partir da localização dos pontos extremos (geralmente, um embaixo à esquerda e outro acima à direita). Esses pontos são definidos em um determinado sistema de coordenadas (cartesianas x-y ou geográficas) e são introduzidos graficamente através da digitalização por teclado ou mesa digitalizadora.

Definida a extensão, esta cobre a totalidade da tela do computador e a sessão de trabalho pode ser desenvolvida dentro dela (Figura 3.6). Também é possível trabalhar com ampliações por setores (“zoom”) que permitem precisar a localização das entidades gráficas a serem digitalizadas.

Figura 3.6 - Extensão da área de estudo.

3.3.2 - Projeção

Uma definição simples é apresentada por RAISZ (1974) apud BUZAI & DURÁN (1997), que considera a projeção como *“um sistema de meridianos e paralelos sobre o qual se pode desenhar um mapa”*.

Existem muitas formas de projetar a superfície terrestre sobre uma superfície plana. Deve-se procurar uma solução de acordo com os objetivos do trabalho. Quando são utilizadas coordenadas geográficas, deve-se definir o meridiano central da faixa que passa pela área de estudo, o fator de escala que levará à deformação do mapa a partir desse meridiano central e uma falsa origem para poder acomodar o desenho digital a esse sistema.

Quando são utilizadas coordenadas planas x-y, a digitalização vetorial é feita geralmente a partir de um mapa analógico (no papel), desenhado na projeção desejada. O mapa digital conservará a forma original, isto é, levará implícita a projeção.

3.3.3 - Pontos de Controle

São os pontos da área de estudo cujas posições geográficas são estabelecidas com total exatidão no sistema de coordenadas utilizado (Figura 3.7) . Essas podem ser obtidas com o uso da cartografia topográfica oficial ou a partir do trabalho de campo. Quanto maior for o número de pontos de controle determinados dentro da área de estudo, maior será a exatidão com que o SIG poderá calcular, a partir deles, as coordenadas de qualquer outro ponto.

Figura 3.7 – Projeção e pontos de controle (BUZAI & DURÁN , 1997).

3.3.4 - Mapa Base

Dentro da extensão definida como a área total de estudo, o mapa base é o espaço geográfico no qual são assinalados especificamente os dados alfanuméricos da base de dados (se empregado o modelo vetorial) ou é o mapa que contém as células correspondentes às categorias internas da área de trabalho (no caso de tratar-se do modelo raster).

A função que cumpre o mapa base não é só a de superpor a informação exata entre as camadas temáticas, mas também conseguir que os resultados de procedimentos geométricos aplicados ao espaço geográfico não se distribuam sobre a área total, mas circunscrevam o mapa base.

3.4 – DIFERENÇAS ENTRE SIG (SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA), CADD (*COMPUTER-AIDED DESIGN AND DRAFTING*) E AM/FM (*AUTOMATED MAPPING/FACILITY MANAGEMENT*).

As definições geralmente usadas para descrever Sistemas de Informação Geográfica também podem ser aplicadas para a definição dos sistemas CADD e AM/FM. Esses dois sistemas trabalham também com dados digitais geograficamente referenciados e são utilizados para a captura, o armazenamento, a edição, a exibição e a impressão de dados referenciados (PEIXOTO, 1997).

3.4.1 - Sistemas CADD

Os sistemas CADD (*Computer-Aided Design and Drafting*) são utilizados para a produção de mapas. Substituem o processo cartográfico tradicional, podendo reduzir muito o tempo e o custo de produção de mapas.

Os dados em um sistema CADD estão organizados em camadas e referenciados a um sistema de coordenadas comum (Figura 3.8). As camadas podem ser utilizadas para organizar tematicamente as entidades gráficas do mapa (rios, estradas etc.) ou para classificar os tipos de elementos gráficos (linhas, pontos, textos etc.).

Os sistemas CADD, no entanto, não são capazes de fazer análises com os dados de um mapa. Por exemplo, apesar da base de dados de um sistema CADD poder descrever a geometria de duas rodovias que se interceptam, o fato delas se interceptarem não pode ser identificado pelo sistema. Da mesma forma, grupos de linhas podem ser usados para compor polígonos, mas a base de dados do sistema CADD não pode definir o fato de que eles formam áreas fechadas de um único polígono. Como a relação entre esses grupos de linhas se limita ao fato de pertencerem a uma mesma camada e estarem relacionadas a um mesmo sistema de coordenadas, sem definição de relações espaciais na estrutura de dados, um sistema CADD não está preparado para responder questões do tipo “o que está mais próximo?” ou “quais as áreas que são tanto deste tipo como do outro?”.

Figura 3.8 – Estrutura dos sistemas CADD (KORTE, 1997).

3.4.2 - Sistemas AM/FM

Os sistemas AM/FM (*Automated Mapping/Facility Management*) estão baseados na tecnologia CADD e são utilizados geralmente para gerenciar o mapeamento e a base de dados da infra-estrutura de serviços públicos.

Como no sistema CADD, as entidades gráficas do mapa estão organizadas tematicamente em camadas e referenciadas a um mesmo sistema de coordenadas. No entanto, os sistemas AM/FM definem relações entre os componentes dos sistemas de serviços públicos que permitem considerá-los como redes.

Uma rede identifica as conexões entre os elementos gráficos. Essas relações de conexões encontram-se geralmente definidas em um arquivo de dados separado. Ao contrário dos sistemas CADD, as interseções entre todos os elementos da rede devem ser preservadas para definir as conexões. Portanto, em um sistema AM/FM duas linhas do mesmo tipo de elemento não podem se interceptar em mais de uma interseção.

Uma outra característica importante dos sistemas AM/FM é que permitem a associação dos atributos alfanuméricos, armazenados em arquivos separados, às respectivas entidades gráficas por meio de um único número de identificação (Figura 3.9). Devido a essas duas características, estrutura de rede e associação de atributos alfanuméricos às entidades gráficas, os sistemas AM/FM são capazes de modelar e analisar operações de rede dos sistemas de serviços públicos.

Figura 3.9 – Exemplo de estrutura de dados dos sistemas AM/FM (KORTE, 1997).

3.4.3 – Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são os mais adequados para a análise de dados geográficos. Um SIG é similar aos sistemas CADD e AM/FM ao referenciar os elementos gráficos a um sistema de coordenadas e ao separar as entidades do mapa em camadas.

Um SIG, no entanto, difere dos sistemas CADD e AM/FM pela sua capacidade de estabelecer relações entre os elementos gráficos (topologia), que permite não só descrever a localização e a geometria das entidades do mapa, como também as conexões entre as entidades lineares, os limites e áreas contíguas de um mapa. Para definir a topologia de um mapa o SIG utiliza uma estrutura de base de dados especial.

Adicionalmente aos dados espaciais e geométricos, os Sistemas de Informação Geográfica possuem também atributos alfanuméricos. Esses atributos alfanuméricos estão associados aos elementos gráficos (nós, linhas e áreas) e fornecem informações descritivas sobre eles.

Os programas para Sistemas de Informação Geográfica são projetados de modo a permitir exames de rotina tanto na base de dados espaciais como alfanuméricos, simultaneamente. O usuário é capaz de procurar dados alfanuméricos e relacioná-los com entidades espaciais e vice-versa. É este tipo de capacidade que não pode ser fornecida normalmente pelos sistemas CADD e AM/FM.

Figura 3.10 – Estrutura dos Sistemas de Informação Geográfica (KORTE, 1997).

3.5 - PROGRAMAS APLICATIVOS PARA OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Existe um grande número de programas sobre SIG disponíveis comercialmente para aplicação nas mais diversas áreas. Para aplicação em gerência de infra-estrutura de transportes destacam-se: o programa ARC/INFO, da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), TransCAD, da *Caliper Co.*, e o MGE, da *Intergraph*. As informações sobre os programas foram obtidos de folhetos informativos, manuais e *home pages* da internet das empresas correspondentes.

3.5.1 - ARC/INFO

Na maioria dos estudos de caso, revisados neste trabalho, sobre a implementação de Sistemas de Informação Geográfica para utilização com Sistemas de Gerência de Pavimentos nas cidades dos Estados Unidos foi usado o programa Arc/Info. O programa Arc/Info é um aplicativo em SIG com um sofisticado conjunto de ferramentas para criação e gerenciamento de base de dados geográficos, análises espaciais, consultas e manipulação das bases, visualização gráfica de resultados e geração de relatórios.

O Arc/Info permite ao usuário desenvolver rapidamente interfaces para qualquer aplicação do SIG. Um conjunto de ferramentas do SIG permite ao usuário realizar seus próprios procedimentos ou análises de acordo com suas necessidades específicas. O usuário pode criar seus próprios menus de interface, ícones, teclas e extensões geográficas especiais para exibição de mapas.

3.5.2 - TransCAD

É um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para aplicação em Transportes. O TransCAD pode ser aplicado em nível internacional, nacional, regional e local, e pode ser utilizado em todas as modalidades de transportes. Informações sobre a rede de transportes, como fluxo de carga, rotas, zonas de análise de transporte, demanda de passageiros e desempenho do sistema, podem ser armazenadas, exibidas e analisadas em qualquer escala espacial. O TransCAD fornece também:

- fácil acesso aos dados de transportes e dados geográficos relacionados;
- extensos modelos de dados para dar suporte ao planejamento de transporte, logística, escolha de rotas e pesquisa operacional;
- ferramentas para apresentação e visualização de dados de transportes.

3.5.3 - MGE

O MGE é um aplicativo de Sistemas de Informação Geográfica que trabalha com o editor gráfico MicroStation 32 CADD, da Intergraph, para a criação, edição e impressão da maioria dos dados gráficos. O MGE trabalha diretamente com seis tipos de bases de dados: *Informix*, *Oracle*, *Ingres*, *DB2*, *SYBASE* e *Microsoft's SQLServer*. Estão incluídas ferramentas de conversão de dados entre vários sistemas, assim como entre estruturas vetorial e raster. O MGE permite o gerenciamento de todas as informações necessárias, realização de consultas às bases de dados (alfanumérica e espacial), exibição gráfica, análises espaciais e de rede e geração de relatórios.

3.6 – O GEOPROCESSAMENTO NO BRASIL

Este tópico apresenta uma breve descrição de experiências e estado atual da utilização de Sistemas de Informação Geográfica em cidades brasileiras. Os casos aqui apresentados foram extraídos de artigos publicados no III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento - GIS Brasil 97, realizado de 12 a 16 de maio de 1997 na cidade de Curitiba, Estado do Paraná – Brasil.

3.6.1 - Estado de São Paulo

CASTRO & SANTIAGO (1997) fazem uma ampla descrição da situação atual do geoprocessamento no estado de São Paulo. Segundo o estudo realizado por estes autores, as equipes que trabalham com geoprocessamento são em geral pequenas, sendo constituídas, em média, por cinco pessoas, com exceção da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e da Cia. do Metropolitano de São Paulo (METRÔ). Quanto à formação profissional, predominam engenheiros (de diversas áreas), sendo também significativo o número de técnicos de nível médio. Em menor proporção aparecem geógrafos, analistas de sistemas, geólogos, arquitetos, matemáticos e físicos e, em número ainda mais reduzido, administradores, estatísticos, sociólogos, economistas e artistas plásticos.

Quanto ao equipamento e programas computacionais, são apresentadas as seguintes informações (Obs: só 30 % dos órgãos responderam a este item):

- a) uso simultâneo de *mainframe* e *workstation* foi citado por 10% dos organismos pesquisados, enquanto 3,5% citaram somente *workstation*;
- b) cerca de 17% afirmaram utilizar apenas PC, com processadores do tipo *Intel*;

- c) quanto aos periféricos, na maioria dos questionários em que este item foi respondido, foram relacionados *plotter*, mesa digitalizadora, *scanner*, além de impressora (jato de tinta e/ou laser);
- d) cerca de 14% dispõe de receptores GPS;
- e) para banco de dados, os programas aplicativos mais citados foram ACCESS e DBASE;
- f) para Cartografia Digital e/ou Sistema de Informações Geográficas, os programas mais citados foram AutoCAD, Microstation, MapInfo e SGI/SITIM, mas também tiveram mais de uma citação MGE, Arc/Info, Spring.

O acesso a bancos de dados analógicos é concedido, por quase todos os órgãos, para o público em geral, mas o mesmo não ocorre para bancos digitais e referenciados geograficamente. Os itens referentes a banco de dados georeferenciados foram respondidos por cerca de 38% do universo de recenseados. Os temas desses bancos variaram bastante, abordando assuntos como problemas urbanos, uso e ocupação do solo, geologia, distribuição e consumo de energia elétrica, informações hidroclimáticas, informações rodoviárias, características físico-operacionais do transporte metropolitano, informações cadastrais e fiscais de contribuintes, entre outros.

Levantamentos aerofotogramétricos podem ser encontrados em diversos órgãos, com escalas variando de 1:45.000 até 1:1.000, em datas que vão de 1962 a 1995. A maioria dessas fotos encontra-se em bom estado de conservação e a consulta por órgãos do estado é permitida em quase todos os casos, existindo também possibilidade de empréstimo e intercâmbio. A consulta pelo público em geral não é permitida por alguns órgãos.

Mapeamentos Temáticos Digitais foram listados pelo IPT, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP (FAU), Instituto Oceanográfico da USP (IO), Instituto Geológico (IG), ELETROPAULO, Assessoria Técnica do Gabinete da Secretaria de Transportes, Departamento de Estradas e Rodagem (DER), Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA), Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo S.A. (EMTU) e METRÔ. Os temas são diversos, tratando de questões como geologia, geomorfologia, solos, vegetação, potencialidade mineral, erosão, rodovias, divisas municipais do estado, regiões administrativas de governo etc. Cerca de 80% dos mapas foram produzidos a partir de digitalização via mesa e o restante por restituição digital ou, em menor proporção, por rasterização/vetorização.

Com relação ao Mapeamento Topográfico Analógico, constatou-se que a maioria dos órgãos que responderam são depositários de mapeamentos executados por terceiros (IBGE, IGC, Exército, EMPLASA etc.) e permitem a consulta local do material ao público em geral. Entre os produtores de mapeamento aparecem IGC, EMPLASA, DERSA-Desenvolvimento Rodoviário S.A. e METRÔ, que permitem o acesso do público em geral a cópias de seus mapas. No entanto, é importante ressaltar que muitos desses mapas são antigos e estão desatualizados.

Quanto aos Mapas Temáticos Analógicos existe uma variedade muito grande de temas e órgãos produtores. Na maioria das vezes, o acesso à cópias desses mapas (aquisição, intercâmbio etc.) é permitida a todos, mas existem restrições em alguns órgãos. Apesar de muitos órgãos terem deixado a questão referente à atualização dos mapeamentos em branco, foi possível, a partir dos questionários onde esse item foi respondido, confirmar um fato que já era esperado, ou seja, que praticamente não existem programas para a atualização dos mapas analógicos. Com relação aos mapas digitais, alguns trabalhos estão sendo realizados, embora não pareçam estar plenamente sistematizados.

3.6.2 - Estado de Santa Catarina

FERRARI (1997) faz uma boa descrição da situação do geoprocessamento no estado de Santa Catarina. No início desta década ocorreu a concepção da Comissão Estadual de Geoprocessamento – CGEO, criada em março de 1994, e foi proposto o desenvolvimento do Plano Diretor de Geoprocessamento como marco de partida para alavancar e integrar a utilização de tecnologias de geoprocessamento em instituições públicas estaduais.

A Divisão de Geociências do Sul do IBGE, em Florianópolis, tem utilizado programas computacionais de sensoriamento remoto para o desenvolvimento de suas atividades, que envolvem a produção/atualização de mapas temáticos e análise ambiental e sócio-econômica para confecção de diagnósticos ambientais.

A TELESC, responsável pela telefonia no Estado de Santa Catarina vem atuando junto à Câmara Temática Urbana da CGEO, que trata da implantação de sistemas de geoprocessamento em nível urbano.

3.6.2.1 - Prefeitura Municipal de Joinville

No final da década de 80 e início de 90 a Prefeitura Municipal de Joinville deu início à utilização de tecnologias de cartografia digital. Naquela época foram adquiridos 1.183 km² de cobertura aerofotogramétrica na escala 1:50.000, compreendendo a totalidade do município, e 313,8 km² na escala 1:8.000, referentes ao perímetro urbano. Da área urbana, a prefeitura adquiriu também a restituição em formato digital na escala 1:2.000 e sua redução para as escalas 1:10.000 e 1:20.000.

A aquisição da base cartográfica digital foi motivada pela maior facilidade de manutenção e de atualização do produto, bem como pela simplificação na execução de projetos de engenharia e planejamento urbano. Com o crescimento da utilização de tecnologias de geoprocessamento no País, a Prefeitura de Joinville estudou a possibilidade de migrar sua base cartográfica digital para um sistema SIG. Para tal, foram desenvolvidos dois projetos piloto na tentativa de adequar o produto cartográfico original para ser utilizado em ambiente SIG.

O que se percebe atualmente é que, apesar dos esforços para a transformação da cartografia digital em um produto apropriado ao ambiente de SIG, seja por parte do município ou pela companhia de água (CASAN) e de luz (CELESC), não ocorreu evolução efetiva na utilização de SIG no município de Joinville. Percebe-se a evasão da equipe técnica que estava preparada para atuar no âmbito da prefeitura, mais precisamente na área de cadastro técnico municipal.

3.6.2.2 - Prefeitura Municipal de Florianópolis

A Prefeitura Municipal de Florianópolis contratou, no ano de 1993, uma nova cobertura aerofotogramétrica na escala 1:25.000, para todo o município (aproximadamente 451 km²), e na escala 1:8.000 nas áreas urbanas (aproximadamente 240 km²). Como seqüência ao vôo deveria acontecer a restituição digital das aerofotos sobre as áreas urbanas, a atualização do cadastro técnico e a instalação de um processo que viabilizasse a introdução e o desenvolvimento de tecnologias de geoprocessamento em nível municipal. Apesar de terem sido feitas várias tentativas, só se conseguiu êxito na restituição digital, o que inviabilizou o processo de introdução do sistema de

geoprocessamento. A tentativa de se fazer uma restituição foi discutida dentro e fora do âmbito da municipalidade, contando também com a participação da CGEO, no sentido de estimular uma posição mais firme de seus membros. Porém, como não se chegou a um consenso no tempo necessário, o assunto ficou para ser retomado após o período eleitoral.

3.6.2.3 - Prefeitura Municipal de Blumenau

A partir de janeiro de 1993, foi iniciado na Prefeitura Municipal de Blumenau o desenvolvimento do Programa de Sistematização de Informações através do Geoprocessamento. A sistematização tinha por objetivo atingir o cadastro técnico imobiliário, o cadastro de atividades, o cadastro de informações turísticas, o cadastro de logradouros, a planta genérica de valores e o plano diretor. A fim de dar maior suporte ao andamento do processo, a prefeitura estruturou o Departamento de Banco de Dados, que passou a tratar da utilização de tecnologias de geoprocessamento em nível municipal.

Em março de 1994, a Prefeitura Municipal de Blumenau lançou Edital de Concorrência para implantação definitiva de tecnologias de geoprocessamento através de Sistema de Informações Referenciadas Geograficamente, com objetivo de orientar a implantação dessas tecnologias em nível municipal. Atualmente, a prefeitura já conseguiu viabilizar a preparação das bases de dados alfanumérica e cartográfica para a toda a área do perímetro urbano do município, contando com uma restituição planialtimétrica de 190 km² na escala de 1:2.000, pronta para ser utilizada em ambiente SIG. O cadastro imobiliário possui aproximadamente 17 mil unidades cadastradas e também estão prontos para serem integrados ao ambiente de geoprocessamento o cadastro de atividades e o cadastro de informações turísticas.

3.6.3 - Uso do Geoprocessamento pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR)

A utilização de geoprocessamento surgiu na SANEPAR em função das dificuldades da visualização do desempenho de mais de 600 sistemas de abastecimento de água e esgoto sanitário em todo o Estado do Paraná (SCHIEBLER & MACHADO, 1997).

Inicialmente, foi necessária a preparação das bases alfanumérica e gráfica. A base de dados alfanumérica foi extraída do sistema contábil financeiro e do sistema comercial da SANEPAR, a partir dos quais foram extraídos os dados de interesse: localidades, código de localidades, ligações de água, ligações de esgoto, total de ligações (água mais esgoto), economias de água, economias de esgoto, total de economias, faturamento e custos diretos. Estes dados foram exportados para arquivo texto, sendo posteriormente criada a mesma estrutura dos dados originais em DBase.

A chave de acesso para o sistema gráfico das tabelas foi o código de localidades. Como base gráfica foi utilizado o Mapa Político do Estado do Paraná, de 1995, em formato DXF, posteriormente convertido para o ambiente ARC/Info. Através do programa ARCVIEW foram inseridos os nomes das localidades e os respectivos códigos.

A experiência tem mostrado bons resultados, decorrentes do uso do geoprocessamento como ferramenta de apoio para o gerenciamento de sistemas de água e esgoto, não somente nas áreas técnicas, mas também das decisões administrativas da SANEPAR.

3.6.4 - Concessionária de Energia de Minas Gerais (CEMIG)

Como principal concessionária de energia do estado de Minas Gerais, a CEMIG tem como objetivo a geração, transmissão e distribuição de energia (ABI-ACKEL et al., 1997). Sua principal área de atuação é o fornecimento de energia elétrica, sendo a hidráulica a sua matriz básica de geração. Com um mercado de aproximadamente 4 milhões de clientes, distribuídos em uma área de 586 mil km², a empresa possui 274.000 km de redes de distribuição de energia elétrica e 365.000 transformadores instalados. Anualmente são construídos 10.000 km de redes de distribuição, visando acompanhar a taxa de crescimento de clientes.

Com a crescente disponibilidade de equipamentos e programas computacionais com capacidade de desenvolvimento, processamento e armazenamento de grande quantidade de dados, a CEMIG optou pela revisão do modelo de dados até então adotado, de forma a incluir as informações cartográficas, expandir as informações da rede elétrica e otimizar ainda mais o processo de obtenção e atualização das informações. Assim, uma nova etapa no desenvolvimento da empresa passou a ser a adoção de um SIG para a integração de suas bases de dados de gerência de rede com as informações cartográficas, denominado Projeto GEMINI.

O objetivo do projeto GEMINI é proporcionar instrumentos de produção e atualização de mapas e disponibilizar ferramentas para as atividades de projeto, planejamento, operação e manutenção de redes de distribuição. Como todo SIG, o GEMINI é composto por um banco de dados geográficos, funções de processamento gráfico e de imagens, componentes de entrada e saída de dados e interface homem máquina.

O sistema GEMINI dá ênfase às funções de processamento gráfico que abrangem a modelagem de redes e produção cartográfica, e que também contemplam as funções AM (*Automated Mapping*) e FM (*Facilities Management*) de um SIG. Apesar desse enfoque principal, não existem limites para a implementação de funções de análise geográfica e representação numérica.

As principais entidades modeladas pelo Sistema GEMINI foram:

- rede primária;
- rede secundária;
- clientes;
- logradouros;
- dados físicos;
- iluminação pública;
- mapas, ortofotocartas e mapemanto sistemático;
- projeto/orçamento;
- operação/manutenção;
- imagens;
- dados de GPS e imagens de satélites;
- uso mútuo de instalações com outras empresas;
- árvores;
- etc.

Atualmente, o sistema GEMINI utiliza arquivos de dados em formato DBF. Entretanto, fornece interfaces que permitem a utilização de diversos gerenciadores de bancos de dados, como Oracle, Informix, Ingres etc., o que torna o limite de volume de dados dependente exclusivamente da capacidade do equipamento utilizado.

4 - Os Sistemas de Informação Geográfica na Gerência de Pavimentos

4.1 - INTRODUÇÃO

Em um Sistema de Gerência de Pavimentos tradicional, o engenheiro de pavimentação transfere manualmente algumas das informações obtidas na forma de tabelas para um mapa base, com o propósito de uma melhor análise e compreensão dos dados. Por exemplo, ele pode construir um mapa mostrando a severidade da deformação permanente da trilha de roda ou criar um mapa indicando o índice da condição do pavimento. Porém, a quantidade de informações que um mapa em papel pode conter está limitada pelo tamanho e escala do mapa. Isto significa que são necessários conjuntos de mapas para conter toda a informação necessária, os quais geralmente apresentam temas, escalas e níveis diferentes de detalhe.

Um SIG, por sua vez, é uma base computacional que concentra todos os dados de um mapa. Assim, pode descrever a condição do pavimento em uma base cartográfica da malha viária, criando inúmeras exibições visuais que ilustram o estado do sistema viário, particularmente importantes para apresentar de forma clara informações abstratas para os responsáveis pela tomada de decisão, políticos e grupos comunitários.

Deve-se destacar a importância da existência de uma equipe encarregada da manutenção da base de dados. A equipe que gerencia o SIG deve ser a responsável pela segurança, organização e acesso aos dados, mesmo que outros usuários tenham a permissão para atualizar a base de dados. Se este trabalho é feito de uma forma apropriada, os dados estarão sempre disponíveis de uma forma consistente para todos os usuários autorizados.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica em Engenharia de Transportes tem sido cada vez mais frequente e suas aplicações são bastante variadas. Especificamente na área de infra-estrutura de transportes, têm tido grande aplicabilidade na gerência de pavimentos, gerência de manutenção viária, inventário de pontes e dispositivos de drenagem, inventário de sinalização, dentre outras, conforme apresentado por diversos autores (PAREDES et al., 1990, ABKOWITZ et al., 1990; SIMKOWITZ, 1990; OSMAN & HAYASHI, 1994; JOHNSON & DEMETSKY, 1994).

4.2 - SISTEMAS DE GERÊNCIA DE INFRA-ESTRUTURA URBANA

A gerência da infra-estrutura urbana é um processo de coordenação, avaliação sistemática e manutenção efetiva da infra-estrutura relacionada com os serviços básicos (ZHANG et al., 1994). Um sistema de gerência da infra-estrutura une as atividades necessárias para as ações de planejamento, projeto, construção, manutenção, reabilitação e avaliação através de uma série de procedimentos de análises racionais e bem ordenados. Uma manutenção efetiva do pavimento e das outras infra-estruturas na área urbana pode aumentar muito a vida em serviço dessas infra-estruturas e reduzir os custos para os usuários. Porém, o que se tem observado na maioria das cidades é a ausência de trabalho integrado entre as diversas áreas do serviço público municipal que interferem no espaço da via pública, mostradas na Figura 4.1.

Em outras palavras, com o crescimento das cidades são necessárias novas aberturas de trincheiras para a ampliação e manutenção das instalações existentes, sendo que os remendos executados geralmente resultam na diminuição da qualidade de rolamento e da integridade estrutural dos pavimentos.

Figura 4.1 - Exemplos de interferências da infra-estrutura urbana na via pública (adaptada de AL-SWAILMI, 1994).

A coordenação das atividades de manutenção do pavimento com as atividades de manutenção da infra-estrutura pública urbana (água, esgoto, energia elétrica, telefone, gás etc.) apesar das dificuldades, é indispensável quando se deseja implantar um sistema de gerência para as atividades de manutenção da infra-estrutura urbana. Faz-se, a seguir, uma breve descrição de alguns dos sistemas que interagem com o sistema viário urbano:

- *Sistema da rede de abastecimento de água:* cada rua contém pelo menos uma linha principal e uma linha secundária de água de abastecimento. Observando-se o tamanho dessas redes e suas atividades diárias de manutenção associadas, pode-se estimar a magnitude de sua interação com as atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos;
- *Sistema da rede telefônica:* a rede telefônica cobre todas as ruas da cidade. Como o trabalho de implantação dos cabos da rede telefônica requer técnicas especiais em termos de proteção e junção dos cabos, além de outros aspectos técnicos, a equipe de construção concentra-se principalmente na instalação da rede de cabos telefônicos, sem grandes preocupações com o aterro de valas e remendos do asfalto, que podem resultar em uma baixa qualidade de rolamento e contínuas falhas e recalques. Para solucionar este problema, a cidade deve obrigar que as atividades relacionadas com o pavimento sejam feitas por empresas com reconhecida experiência na construção e manutenção de pavimentos;
- *Sistema da rede de energia elétrica:* em termos de complexidade, as redes de energia elétrica são similares às redes de telefone. Uma alternativa para ambas é a integração das atividades de construção e manutenção das redes com o sistema de manutenção de pavimentos da cidade;
- *Elementos de drenagem e coleta de esgoto:* as redes de drenagem e coleta de esgoto diferem das demais em razão das grandes dimensões de suas linhas principais. Qualquer atividade de manutenção nas linhas principais, como substituição ou reparo, requer o total fechamento da rua. Adicionalmente, outro problema associado às redes de drenagem e coleta de esgoto é a dificuldade de se ajustar o serviço de pavimentação com os poços de visita da rede de coleta de esgoto e as tomadas de água da drenagem.

Como mencionado anteriormente, as atividades de manutenção do pavimento urbano interagem com outros sistemas de infra-estrutura urbana, o que exige coordenação administrativa e técnica. A Figura 4.2 mostra os componentes que um sistema de manutenção do pavimento urbano deve conter, conforme recomendado por AL-SWAILMI (1994).

Figura 4.2 – Plataforma para um sistema de manutenção da infra-estrutura urbana (adaptada de AL-SWAILMI, 1994).

É necessário, portanto, o desenvolvimento de um sistema de manutenção da infra-estrutura pública urbana capaz de proteger os pavimentos urbanos e determinar os direitos e responsabilidades de cada subsistema de infra-estrutura urbana. Tal sistema global de manutenção da infra-estrutura pública deve permitir a coordenação e comunicação ao invés da situação tradicional, caracterizada pelo trabalho fragmentado e independente dos diferentes subsistemas da infra-estrutura pública.

4.3 – USO DO SIG NA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

Rodovias são inerentemente geográficas, já que elas se estendem ao longo de grandes áreas e interagem com várias situações topográficas como rios, montanhas, construções e mesmo com outras estradas. Componentes e eventos da malha viária são também geográficos por natureza. Por exemplo, a extensão e a forma de um trecho, as interseções, os acidentes e a condição dos pavimentos não podem ser completamente definidos sem que a localização geográfica do componente ou do evento seja estabelecida. Portanto, a consideração espacial na análise das diferentes atividades de uma via é essencial e pode melhorar muito a qualidade do processo de tomada de decisão.

Entretanto, os sistemas de gerência de vias são geralmente baseados em um banco de dados central, no qual são mantidos somente dados descritivos. Além disso, na maioria desses sistemas os dados não estão referenciados a nenhum sistema de coordenadas geográficas e, portanto, diversos tipos de dados não podem ser relacionados. Sistemas mais avançados fazem uso de sistemas CADD (*Computer Aided Design and Drafting*) para a geração de mapas, mas esses também não permitem operações espaciais com os dados.

Um Sistema de Informação Geográfica, por outro lado, é capaz de fazer análises espaciais, apresentando, ao mesmo tempo, os mesmos dados atributos dos sistemas antes mencionados e destacando a natureza geográfica da rede de estradas. No caso urbano, um SIG é o sistema de referência que pode integrar em uma plataforma comum os pavimentos e as redes de abastecimento de água, esgoto, energia elétrica, telefone etc. e, conseqüentemente, melhorar o processo de tomada de decisão. Este conceito de sistema de gerência global e integrado é ilustrado na Figura 4.3.

Figura 4.3 - Conceito de sistema de gerência global da infra-estrutura urbana (adaptada de ZHANG et al., 1994).

Esta integração permite que os dados sejam armazenados de forma a possibilitar o rápido acesso tanto para a análise das vias e o estabelecimento de cronogramas de inspeções e intervenções como para o controle de tráfego e a tomada de providências em caso de desastres.

A integração de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) com os subsistemas de análise de um Sistema de Gerência de Pavimentos fornece as seguintes vantagens, segundo PAREDES et al. (1990):

- Capacidade de exibição gráfica de mapa contendo a rede viária e a avaliação da condição de seções selecionadas, através de inquirição na base de dados de avaliação do pavimento;
- Capacidade de gerar arquivos de entrada para os módulos de análise do SGP, extraindo os dados relevantes da avaliação do pavimento;
- Capacidade de exibir graficamente os resultados dos módulos de análise do SGP e de gerar saídas gráficas que podem ser incluídos nos relatórios dos SGP.

OSMAN & HAYASHI (1994) enumeram outras vantagens da utilização de um SIG na gerência de pavimentos urbanos:

- Os dados contidos no sistema podem ser acessados facilmente por equipes dos diferentes subsistemas, o que permite a atualização constante dos dados e a manutenção de sua qualidade;
- A capacidade de análise espacial de um SIG pode ajudar em muitas das atividades executadas dentro de um sistema de gerência de rodovias. Por exemplo, decisões de reparos que levam em consideração análises de acidentes, o uso e valor do solo (no caso de aumento no número de faixas) ou o reparo e tempo consumido na instalação de outras infra-estruturas localizadas embaixo do pavimento (no caso das cidades);
- A capacidade de manipulação topológica pode ser empregada no desenvolvimento de simulações realísticas de diferentes condições da rede.

4.3.1 - Método

A aplicação de um Sistema de Informação Geográfica na gerência de pavimentos pode ser feita de duas formas:

- 1) Criação de uma interface entre um programa SIG e um programa já existente de SGP: alternativa recomendada no caso em que o organismo que pretende utilizar o SIG na gerência de pavimentos contar com um programa de gerência;
- 2) Utilização de um SIG como plataforma para a construção e operação dos modelos de análise de um SGP: alternativa recomendada para aquela organização que pretende começar a implementar um sistema de gerência de pavimentos.

4.3.2 – Implantação de um Sistema de Informação Geográfica

A implantação de um Sistema de Informação Geográfica é um processo que compreende várias fases. Com algumas variações, um grande número de experiências internacionais na implementação de sistemas de informação geográfica em concessionárias de serviços públicos, cidades, corporações, empresas de consultoria e organismos rodoviários em nível federal e estadual tem seguido o recomendado por KORTE (1997):

- a) *Definição das metas e do plano de trabalho para o projeto:* esse primeiro passo, embora de extrema importância, muitas vezes é deixado de lado no processo de justificativa, avaliação, seleção e implementação de um sistema de informação geográfica;

- b) *Obtenção de aprovação para o estudo do projeto:* consiste em se obter o envolvimento do topo da gerência com o projeto, se esta ainda não estiver envolvida, pois o apoio dos níveis hierárquicos superiores é crítico para o sucesso de um sistema de informação geográfica;
- c) *Informação à gerência:* a melhor forma de se obter o apoio da gerência é através de informação, que pode ser realizada por meio de seminários. Esses seminários devem fornecer uma visão geral da tecnologia dos sistemas de informação geográfica, suas aplicações, custos, benefícios e limitações;
- d) *Revisão das operações e necessidades existentes:* consiste em rever como a organização está utilizando os dados geográficos, incluindo a coleta, análise, armazenamento, apresentação e distribuição. Essa revisão pode examinar as operações de todos os usos potenciais de um SIG para se ter uma referência durante o processo de planejamento;
- e) *Análises e recomendações:* estudar os dados coletados e definir os tipos de análise a serem executados pelo sistema, que deve ser feita em conformidade com as necessidades e prioridades da organização, examinar a viabilidade de um SIG e desenvolver um plano de implementação;
- f) *Obtenção da aprovação do projeto piloto:* é o primeiro ponto chave de decisão, quando o relatório da avaliação de necessidades e o plano de implementação são apresentados ao topo da gerência para revisão e aprovação;
- g) *Preparo de especificações funcionais e padrões:* os resultados da análise prévia são apresentados aos vendedores. Devem-se preparar dois conjuntos de especificações: o primeiro deve descrever as exigências de equipamentos e programas computacionais e o segundo deve descrever as exigências para a conversão dos dados existentes para o formato da base de dados do SIG;

- h) Contato com vendedores:* as especificações funcionais para equipamentos e programas computacionais, assim como para a conversão dos dados, devem ser incorporadas dentro do formato padrão da organização. A solicitação de propostas deve ser enviada para diversos vendedores de equipamentos e programas computacionais;
- i) Avaliação de propostas e seleção do vendedor:* existe uma variedade de técnicas para avaliação de ofertas e propostas, mas um sistema de avaliação por pontos é usualmente utilizado;
- j) Projeto detalhado da base de dados:* uma vez selecionado o vendedor de equipamentos e programas computacionais, é possível refinar o projeto da base de dados dentro de um sistema utilizado pelo vendedor. Um projeto de base de dados detalhado envolve a definição de como os gráficos serão simbolizados (cor, espessura, tamanho, símbolos etc.), como serão estruturados os arquivos gráficos e alfanuméricos, como serão organizados os diretórios de arquivos, como serão chamados os arquivos, como será subdividida a área do projeto, como os produtos do SIG serão apresentados (formatos de mapas e relatórios) e que restrições de segurança serão impostas no acesso aos arquivos;
- k) Execução do projeto piloto:* um projeto piloto envolve a construção da base de dados do SIG para uma pequena mas representativa porção da área do projeto. As metas do projeto piloto são testar o projeto detalhado da base de dados e os custos estimados para a conversão de dados;
- l) Refinamento do projeto detalhado da base de dados:* a criação de uma base de dados digital representa, geralmente, a maior parte do investimento total em um SIG. Portanto, uma medida sábia é aproveitar qualquer oportunidade para refinar o projeto da base de

dados antes de começar a conversão dos dados da área inteira do projeto;

- m) Conversão da base de dados:* o primeiro passo na conversão dos dados é compilar todos os registros manuais existentes e checá-los até estarem perfeitos, coletar informação perdida e corrigir aquelas que se encontram em conflito. Completado este primeiro passo, os dados cartográficos são, então, digitalizados e os dados alfanuméricos são fornecidos e associados aos dados gráficos;
- n) Procura de equipamentos e programas computacionais:* se a conversão dos dados é feita pela própria organização, só uma parte do sistema deve ser adquirido e instalado. Se o contratante fizer a conversão dos dados, a aquisição dos equipamentos e programas aplicativos de SIG pode ser adiada, mas estes devem ser instalados antes dos dados serem completados;
- o) Treinamento dos usuários:* o SIG é uma tecnologia nova e representa uma diferença radical na forma de conduzir as atividades dentro da organização que o usa. Os usuários provavelmente não estão familiarizados com sistemas de coordenadas, camadas de mapas e conceitos de precisão em mapas. Eles certamente não devem estar familiarizados com as poderosas ferramentas de análise espacial e pesquisa de dados alfanuméricos que o SIG oferece. Contudo, a eficácia e benefícios de um SIG dependem muito da capacidade do usuário na utilização do sistema;
- p) Teste e correção dos dados:* o processo de conversão dos dados é trabalhoso e complicado e, portanto, a qualidade dos dados deve ser checada;
- q) Manutenção dos dados e suporte técnico para os usuários do SIG:* como o mundo físico está constantemente mudando, a base de dados do SIG deve ser atualizada. A credibilidade da base de dados do SIG depende não somente da qualidade como da atualização dos mesmos.

4.3.3 - Problemas Comuns na Implementação de um SIG

Muitos projetos de implementação de Sistemas de Informação Geográfica podem produzir resultados não satisfatórios. Esses fracassos são muitas vezes atribuídos aos equipamentos, programas ou vendedores. No entanto, quando realizada uma investigação mais detalhada descobre-se, geralmente, que a raiz do problema reside nas organizações e atividades operacionais da empresa.

Este item descreve doze problemas verificados comumente na implementação e gerenciamento de um SIG. Os problemas que podem surgir, aqui mencionados, são descritos por KORTE (1997):

1. *Falha na consideração de problemas:* muitas organizações fracassam ao não antecipar problemas na implantação total de um SIG, em termos de tempo, dinheiro, energia organizacional e credibilidade na administração. Se uma organização falhar ao prever todos esses problemas e as suas magnitudes potenciais, ela poderá não estar preparada para lidar com todos eles;
2. *Exagero dos benefícios:* existe a tentação de enfatizar somente os benefícios da tecnologia SIG no estágio inicial. Os custos totais e o fato de que o período de retorno pode ser de vários anos são muitas vezes omitidos devido ao temor do projeto não ser aprovado. Esses procedimentos podem gerar insatisfações, se os resultados não corresponderem às expectativas dos administradores;
3. *Uso do SIG só como experiência:* as organizações encontram muitas vezes a tecnologia SIG interessante e tentam experimentar o seu uso. Entretanto, elas fracassam por não adotar um compromisso verdadeiro para integrar completamente a tecnologia dentro das suas operações;

4. *Falha na definição dos objetivos:* os objetivos, que dão um senso de direção e propósitos para qualquer programa, às vezes são deixados em segundo plano. O estabelecimento de objetivos cria uma base de medidas para determinação dos fracassos e sucessos atingidos. Dificilmente é possível justificar a continuidade de um projeto sem que sejam demonstrados os objetivos já atingidos;
5. *Falha na especificação das necessidades:* um conjunto claro de exigências é necessário para a seleção eficaz dos equipamentos e programas computacionais de SIG e para construção de uma base de dados;
6. *Falta de solução para os problemas existentes:* existe a tentação de simplesmente incorporar o SIG dentro da organização, sem reavaliação da operação existente. A implementação de um SIG representa uma excelente oportunidade para a reavaliação do processo de trabalho existente e da estrutura organizacional, cujos problemas devem ser resolvidos antes do SIG alcançar seu completo potencial;
7. *Continuidade do uso de sistemas manuais existentes:* algumas organizações escolhem por não terminar com o processo tradicional manual quando um processo automatizado é instalado. Isto justifica-se pelo desejo de se ter certeza sobre o funcionamento do novo sistema, antes de abandonar por completo os procedimentos tradicionais. A continuidade prolongada dos procedimentos tradicionais pode gerar dúvidas na utilização do novo sistema;
8. *Falta de treinamentos dos usuários:* o maior obstáculo para um uso completo do sistema é o treinamento dos usuários. Os usuários de SIG que não estão completamente treinados devem procurar o apoio de uma equipe de especialistas para treinamento dos usuários na execução das tarefas;
9. *Falta de suporte técnico ao usuário:* algum tipo de suporte ao usuário é necessário. Os vendedores de SIG desenvolvem produtos para serem utilizados por um máximo de consumidores. Eles não podem modelar cada

sistema para as necessidades de um comprador particular. Alguma adaptação é necessária para fazer com que o SIG atenda às necessidades particulares de cada usuário;

- 10. *Sistemas que não podem ser expandidos ou modificados:*** é recomendado que a organização planeje substituir seu equipamento computacional aproximadamente a cada quatro anos. Quando os equipamentos estão obsoletos ou quando as necessidades mudam, é importante que sejam incorporados novos equipamentos, de tal forma que ocorra o menor número possível de mudanças na operação;
- 11. *Necessidades orçamentárias:*** qualquer programa corre, usualmente, sérios riscos quando o orçamento previsto é ultrapassado. Isto ocorre, geralmente, por dois motivos: projeto mal administrado e controlado, ou orçamento inicial subestimado;
- 12. *Falha na divulgação de resultados:*** um projeto de SIG pode fracassar também quando o time responsável pelo SIG não consegue mostrar os resultados dos seus esforços para o topo da gerência, pois pode perder o apoio e comprometer a continuidade do programa.

5 - Aplicação Piloto do SIG na Gerência de Pavimentos Urbanos

5.1 – INTRODUÇÃO

O trabalho aqui desenvolvido tem por objetivo principal contribuir para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de gerência de pavimentos urbanos e, dessa forma, permitir que os órgãos municipais racionalizem o processo de tomada de decisão sobre as atividades de pavimentação, utilizando apenas os dados indispensáveis.

Procura-se desenvolver uma base comum de dados geograficamente distribuídos, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG), capaz de compatibilizar a gerência de pavimentos com outros sistemas de gerência da infra-estrutura urbana (água, esgoto, energia elétrica, telefone etc.) e que seja, ao mesmo tempo, de fácil aprendizado, utilização e adaptação às cidades onde possam ser utilizados.

Para o desenvolvimento deste projeto, o primeiro passo foi o levantamento das práticas usualmente adotadas pela prefeitura municipal da cidade de São Carlos e pelas concessionárias de serviços públicos da cidade, principalmente do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos – SAAE. Também

foram desenvolvidos trabalhos de levantamento de dados nas cidades de Araraquara e Franca.

Posteriormente, passou-se a utilizar um programa aplicativo de Sistemas de Informação Geográfica (TransCAD) na Gerência de Pavimentos, adotando-se os métodos apresentados no item 4.3.1 desta dissertação: primeiro, mediante a criação de uma interface entre o TransCAD e o programa de gerência de pavimentos URMS; segundo, utilizando-se o TransCAD como plataforma para o desenvolvimento total do sistema de gerência da pavimentação e rede de abastecimento de água. Com este objetivo, foi utilizado como base o programa de gerência URMS.

Para a utilização do TransCAD com o URMS, foi criado um programa, chamado *Interface*, na linguagem de programação Visual Basic. Esse programa permite que os resultados obtidos com o URMS sejam adicionados à base de dados sobre o pavimento do TransCAD (*Interface.dbf*), possibilitando a análise espacial e visualização gráfica dos dados.

Para a utilização do TransCAD como plataforma para o desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos capaz de integrar as atividades das concessionárias públicas, foram criadas duas bases de dados dentro do TransCAD, uma para o pavimento, chamada *Pavement.dbf*, e outra para a rede de abastecimento de água, chamada *Red_Agua.dbf*. Foi utilizada a linguagem de programação Visual Basic para criar o programa *SGPUSP*, que contém os modelos para determinação de estratégias e priorização em nível de rede, assim como para determinação das atividades de manutenção e reabilitação em nível de projeto. Finalmente, com os resultados obtidos do programa *SGPUSP*, foram feitas as análises espaciais e a visualização gráfica dos dados no TransCAD.

5.2 - PRÁTICAS USUALMENTE ADOTADAS PELAS PREFEITURAS MUNICIPAIS E CONCESSIONÁRIAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS

Com o objetivo de caracterizar as práticas usualmente adotadas pelas prefeituras para o estabelecimento de programas de manutenção e reabilitação de pavimentos urbanos foram levantadas informações junto às prefeituras das cidades de São Carlos, Araraquara e Franca.

5.2.1 - São Carlos

O município de São Carlos, com aproximadamente 180.000 habitantes, está situado próximo à região central do estado de São Paulo, possuindo uma área total de 1.132 km², dos quais apenas 55 km² correspondem à área urbana.

De acordo com dados fornecidos pela Assessoria de Planejamento (ASPLA) da Prefeitura Municipal de São Carlos, a cidade apresenta em torno de 8.000.000 m² de vias urbanas, dos quais 6.000.000 m² são pavimentados (75% da malha viária). Considerando-se uma largura média de 8,5 m, a extensão aproximada da rede municipal pavimentada resulta em 700 km. O órgão responsável pela gerência da malha viária é a Divisão de Vias Públicas (DVP), que está subordinado à Secretaria de Obras e Serviços Urbanos, criada em 1997.

A situação atual do banco de dados da rede viária da cidade de São Carlos é a seguinte: não existem mapas atualizados e nem banco de dados com registros históricos (ano de construção dos pavimentos, dimensões e materiais, histórico de intervenções e custos) e informações sobre hierarquia viária, trajetos de linhas de ônibus e contagem de tráfego.

O levantamento da condição dos pavimentos é feito mediante inspeção do pessoal da Divisão de Vias Públicas (DVP) da Prefeitura Municipal de São Carlos, mas principalmente por reclamações. Atualmente, existe um serviço de atendimento à população, que pode informar sobre a necessidade de serviços emergenciais.

Os defeitos mais freqüentemente identificados pelo pessoal de manutenção são panelas, provocadas principalmente pela ausência ou falta de manutenção dos dispositivos de drenagem. Outros defeitos identificados são o afundamento nas trilhas de roda e o desgaste devido ao envelhecimento do revestimento.

Quanto à seleção das ruas para manutenção e reabilitação, procura-se iniciar os serviços pelos corredores com tráfego mais intenso, passando-se, a seguir, às vias secundárias. A definição do tipo de serviço a executar é feita por funcionários experientes, que já conhecem bem a malha viária. A prefeitura possui uma usina de asfalto, mas no momento ela está desativada.

Para a realização das atividades de manutenção e reabilitação do pavimento, a Divisão de Vias Públicas (DVP) divide a cidade em setores, os quais encontram-se classificados por ordem de prioridade e de acordo com um cronograma de trabalho. As atividades de manutenção consistem, basicamente na execução de “tapa-buracos”. Como atividade de reabilitação, a prefeitura efetua recapeamentos na malha viária. Essa atividade é executada geralmente sem controle tecnológico e sem acompanhamento de custos.

No momento não existe um trabalho coordenado entre a prefeitura e as concessionárias de serviços públicos. Porém, a Divisão de Vias Públicas, em conjunto com o SAAE, pretende fazer um levantamento completo da malha viária (pavimentada ou não) para a identificação de pontos críticos.

5.2.2 - Araraquara

A cidade de Araraquara apresenta aproximadamente 6.000.000 m² de vias urbanas pavimentadas e 1.300.000 m² de vias não pavimentadas. Existem mapas atualizados sobre a rede viária, bem como um banco de dados com alguns registros históricos, trajetos de linha de ônibus urbanos, sem contagem de tráfego, no entanto.

A decisão do serviço mais adequado a ser executado em cada trecho da via urbana leva em conta o tipo de via, o tipo de pavimento existente e o tipo de defeito do pavimento. O tipo de via é definido em função do nível de solicitações do tráfego, como mostrado na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 - Tipo de via em função das solicitações de Tráfego.

TIPO DE VIA	% MALHA	TRÁFEGO	Nt TÍPICO
PRINCIPAL	11,5	PESADO	10 ⁶
COLETORA	7,7	MÉDIO	10 ⁵
CENTRAL	2,2	MÉDIO	10 ⁵
SECUNDÁRIA	9,8	LEVE	10 ⁴
LOCAL	68,8	MUITO LEVE	10 ³

Nt Típico = número de solicitações do eixo padrão.

A recuperação das vias é realizada levando-se em consideração a classe funcional das mesmas, assim, para as vias principais, coletoras e centrais foi estabelecido que sejam recuperadas com recapeamento de concreto betuminoso (CBUQ), enquanto as vias secundárias podem ser recuperadas com qualquer tipo de serviço, buscando a solução mais econômica em função do revestimento existente e da condição do pavimento. Já as vias locais sempre serão recuperadas por reciclagem do pavimento.

Os defeitos mais freqüentes encontrados pela equipe de manutenção são: desgaste do revestimento, deformação permanente nas trilhas de roda, trincas por fadiga e trincas por contração. A seleção dos quarteirões mais críticos é feita primeiramente com base na experiência dos técnicos da prefeitura e com base nas reclamações da comunidade. Posteriormente, a seleção é feita pelos engenheiros, levando-se em consideração o tipo de serviço a ser executado, que, por sua vez, é definido em função do defeito apresentado. Tal seleção é feita através de avaliações subjetivas da condição do pavimento (notas que variam de 0 a 5).

O departamento responsável pelas obras de pavimentação de Araraquara é formado por um engenheiro, um mestre de obras, um encarregado e dez trabalhadores braçais. Como existe um trabalho integrado entre a prefeitura e todas as concessionárias de serviço público, o departamento tem um memorial descritivo para o procedimento de reparos ou recuperação de valas.

5.2.3 - Franca

O município de Franca está situado na região norte do estado de São Paulo e conta com aproximadamente 280.000 habitantes. As informações sobre a malha viária da cidade foram obtidas junto à Empresa Municipal para o Desenvolvimento de Franca (EMDEF), que iniciou, em convênio com o Departamento de Transportes da EESC-USP, a implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos.

A cidade de Franca apresenta em torno de 8.000.000 m² de vias urbanas pavimentadas e mais 2.000.000 m² de vias não pavimentadas. Atualmente, ainda não existe qualquer banco de dados com registros históricos e

informações sobre hierarquia viária, trajetos de linhas de ônibus e contagem de tráfego, nem tampouco mapas atualizados da malha viária da cidade. No entanto, todos esses itens estão entre as prioridades do processo de implementação da gerência de pavimentos.

A seleção das ruas para manutenção e reabilitação dos pavimentos ocorre, principalmente, em função de reclamações dos moradores e nas vias com maior volume de tráfego. Os defeitos mais frequentes identificados pela equipe de manutenção são: desgaste, remendos e, em menor escala, as trincas por fadiga. Os serviços frequentemente realizados pela EMDEF são “tapaburaco” e recapeamento com CBUQ.

Não há um trabalho integrado entre a EMDEF e as concessionárias de serviços públicos (água e esgoto - SABESP, telefone - CTBC, entre outros), sendo que as concessionárias têm total autonomia sobre esses serviços, o que acaba gerando um grande número de remendos de baixa qualidade.

5.2.4 - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos - SAAE

O SAAE forneceu os cadastros das redes de distribuição de água e esgoto da cidade de São Carlos, que se encontram na forma de mapas, em escala 1:2000, contendo a localização das redes, poços de inspeção e diâmetros. O cadastro da rede de distribuição encontra-se desatualizado. Não existem registros de idade, principalmente das tubulações mais velhas que se encontram no centro da cidade.

Os mapas cadastrais das redes de distribuição de água e esgoto existentes no SAAE foram confeccionados com base em informações de servidores e cobrem cerca de 98% do perímetro urbano. Esses mapas não apresentam os recursos necessários para uma localização precisa dos seus componentes, já que não se encontram referenciados a nenhum sistema de coordenadas geográficas.

O material das tubulações varia de acordo com a data de implantação da rede. Os trechos mais antigos são de ferro fundido e têm uma idade aproximada de 40 anos e nos últimos 20 anos tem-se utilizado aço galvanizado e PVC. Cerca de 60% dos condutos são de ferro fundido e 40% de PVC e aço galvanizado, sendo que entre os dois últimos materiais predomina o PVC.

O levantamento da condição da rede é feito, atualmente, quando da abertura de valas para ligações de água e esgoto, sendo então conferida a condição da rede (localização, material, profundidade e estado de conservação).

Não existe um planejamento de manutenção da rede, que é feita através de reclamações da população. As atividades de manutenção consistem, basicamente, em reparos de vazamentos, trocas de registros, mudanças de ligações, substituições das redes de água e esgoto, conjuntos eletro-mecânicos e proteção de mananciais.

O SAAE informa à Prefeitura sobre os trabalhos de manutenção a serem feitos, geralmente abertura de valas nos pavimentos, mas sem que exista um trabalho coordenado entre eles. O trabalho de reparo no pavimento, devido à abertura de valas, é feito por uma equipe própria do SAAE, com supervisão técnica de engenheiros. O SAAE conta com uma “mini-usina” de asfalto, mas os serviços são vistoriados por pessoal da Prefeitura, que indica as correções necessárias e faz a aprovação final.

5.3 – APLICAÇÃO PILOTO DO TransCAD NA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

A aplicação piloto do programa de SIG TransCAD na gerência de pavimentos é realizado, nesta dissertação, de duas formas, já mencionadas no Capítulo 4. A primeira aplicação do TransCAD na gerência de pavimentos é feita mediante uma interface com o programa de gerência URMS, desenvolvido na universidade do Texas. O segundo tipo de aplicação consiste na utilização do TransCAD como plataforma para a criação de um sistema de gerência que permita integrar as atividades de gerência de pavimentos com a gerência das outras redes de concessionárias de serviços públicos (no caso deste trabalho, apresenta-se como exemplo a compatibilização com a rede de distribuição de água), mediante a criação de uma base de dados comum.

Para os dois tipos de aplicação coletaram-se informações do inventário e foi realizado um levantamento de campo na área selecionada para a aplicação piloto, descritos no item seguinte.

5.3.1 – Dados de Inventário e Levantamento de Campo

A área selecionada para a aplicação piloto encontra-se na região central da cidade de São Carlos. Foram selecionadas 20 ruas com 10 quarteirões cada, totalizando de 200 seções. A Figura 5.1 mostra o mapa viário da cidade de São Carlos, com a área para a aplicação piloto apresentada em verde.

Figura 5.1 – Mapa da malha viária de São Carlos, destacando-se a área selecionada para a aplicação piloto do SIG (em verde).

Na área selecionada para a aplicação piloto foi realizado o levantamento da condição do pavimento no campo e foram obtidos os dados do inventário, que consistiram nas seguintes informações:

- início e fim de cada seção;
- classificação funcional: Arterial (A), Coletora (C), Local (L);
- tipo de pavimento;
- largura e extensão das seções;
- número de faixas;

- avaliação subjetiva da condição do pavimento (determinação do ICP, da qual participou uma equipe de avaliadores composta por alunos de mestrado e doutorado do Departamento de Transportes da EESC-USP);
- dados de tráfego diário médio das ruas mais importantes. Foram estimados os valores de tráfego para o restante das ruas.

Os dados obtidos neste levantamento e apresentados por completo no Anexo A, foram utilizados para alimentar a base de dados do programa URMS, assim como a base de dados sobre pavimentos criada no TransCAD. Os dados sobre a idade do pavimento e a rede de água, foram obtidos junto aos técnicos da Prefeitura Municipal de São Carlos e do SAAE.

5.3.2 – Compatibilização do TransCAD com o URMS

A Figura 5.2 ilustra a metodologia para a compatibilização de um programa aplicativo de gerência de pavimentos (URMS) com um programa aplicativo de Sistemas de Informação Geográfica (TransCAD).

Figura 5.2 – Compatibilização do URMS com o TransCAD, visando a gerência integrada dos serviços públicos urbanos.

Com os dados básicos obtidos do levantamento de campo, executa-se o módulo de planejamento do URMS para se obter as atividades de M&R em nível de rede, assim como os Índices de Prioridade das seções, o ano recomendado para a execução das atividades de M&R e o custo estimado.

A seguir, foi desenvolvido o programa *Interface*, elaborado na linguagem de programação Visual Basic, com o propósito de criar uma interface de trabalho entre o programa aplicativo de gerência de pavimentos URMS e o programa aplicativo de SIG TransCAD.

O programa *Interface* permite a leitura do arquivo de resultados *URMSPI*, gerado pelo URMS, e a adição desses resultados ao arquivo *Interface.dbf*, da base de dados do TransCAD, permitindo assim que todos os resultados obtidos pelo programa de gerência URMS sejam visualizados graficamente mediante a criação de mapas temáticos no TransCAD.

Os dados contidos no arquivo *URMSPI* incluem, para cada seção, as seguintes informações: código, nome da rua à qual pertence a seção, início e fim, tipo de pavimento, comprimento, largura, número de faixas, ano de construção, tráfego, taxa de crescimento do tráfego, porcentagem de caminhões, Índice da Condição do Pavimento (ICP), estratégia de M&R, Índice de Prioridade (IP), ano recomendado para a execução da estratégia de M&R e custo. A listagem do programa é apresentada por completo no Anexo B.

5.3.3 – Uso do TransCAD como Plataforma para o Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbano

Na Figura 5.3 recomenda-se uma forma de trabalho integrado das infra-estruturas públicas, passível de ser realizada com o uso do TransCAD como plataforma para a criação e gerenciamento das bases de dados do pavimento e das outras infra-estruturas (água, esgoto, energia elétrica, telefone, gás). Por exemplo, na Figura 5.3, indica-se a ocorrência de um problema que poderia acontecer em qualquer uma das redes mencionadas, o qual pode ser facilmente localizado no SIG e, então, solucionado pelas equipes de manutenção. Durante o reparo é feito o levantamento da condição da rede para atualização da base de dados no SIG, sendo que este procedimento pode permitir também o estabelecimento de regras ou padrões na ocorrência de problemas que permitam a identificação, por semelhança de características, de áreas críticas que possam vir a apresentar os mesmos problemas. Com a identificação das áreas críticas das redes localizadas embaixo do pavimento, a equipe responsável pela gerência dos pavimentos urbanos terá maiores informações para fazer um melhor planejamento das suas atividades.

Figura 5.3 – Método de um Sistema Global de gerenciamento da infraestrutura pública urbana.

Foram criadas duas bases de dados no programa TransCAD. A primeira base de dados, *Pavement.dbf*, contém os seguintes campos de informação sobre cada seção:

- **ID:** código de identificação da seção;
- **PAVIMENTO:** indica o tipo de pavimento, F (flexível), R (rígido) ou P (paralelepípedo);
- **COMPRIMENT:** comprimento da seção;
- **LARGURA:** largura da seção;
- **FAIXAS:** número de faixas da rua;
- **CLASS_FUNC:** indica a classe funcional da rua, A (arterial), C (coletora) ou L (local);
- **IDADE:** idade do pavimento (desde a última atividade de M&R);
- **TRAFEGO:** indica o volume de tráfego diário médio;
- **POR_CAMINH:** porcentagem de caminhões;
- **VOL_CAMINH:** volume de caminhões;
- **ICP:** Índice da Condição do Pavimento;
- **ESTRATEGIA:** indica a estratégia de M&R em nível de rede;
- **IP:** Índice de Prioridade das seções em nível de rede;
- **S_TFADIGA:** indica a severidade das trincas por fadiga do revestimento;
- **E_TFADIGA:** indica a extensão das trincas por fadiga;
- **S_TBLOCOS:** severidade das trincas em blocos;
- **E_TBLOCOS:** extensão das trincas em blocos;
- **S_TLATERAL:** severidade das trincas laterais;
- **S_TLONGITU:** severidade das trincas longitudinais;
- **S_TREFLEXA:** severidade das trincas por reflexão;
- **S_TTRANSVE:** severidade das trincas transversais;
- **S_REMENDOS:** severidade dos remendos;

- **S_PANELAS:** severidade das panelas;
- **S_DPERMANE:** severidade da deformação permanente da trilha de roda;
- **S_CORRUGAC:** severidade da corrugação;
- **S_EXSUDACA:** severidade da exsudação;
- **S_AGPOLIDO:** severidade de agregados polidos;
- **S_DESGASTE:** severidade do desgaste;
- **DESN_PISTA:** indica a existência de desnível entre a pista e o acostamento;
- **BOMBEAMENT:** indica a presença de bombeamento.

A segunda base de dados que foi criada, chamada *Red_Agua.dbf*, contém as seguintes informações sobre a rede de distribuição de água:

- **ID:** código de identificação do trecho de rede;
- **IDADE:** idade da tubulação
- **MATERIAL:** tipo de material (aço galvanizado, ferro fundido ou PVC);
- **TIPO_REDE:** tipo de rede (adutora, de distribuição ou secundária);
- **DIAMETRO:** diâmetro da tubulação;
- **PINICIO:** profundidade no início da seção;
- **PFIM:** profundidade no fim da seção;
- **COTA_INICIO:** cota do início da seção;
- **COTA_FIM:** cota do fim da seção.

Para o gerenciamento dos pavimentos e identificação de seções que podem ser consideradas críticas dentro da rede de distribuição de água foi criado o programa *SGPUSP*. Elaborado na linguagem de programação Visual Basic, o programa *SGPUSP* consiste, basicamente, de três módulos: planejamento em nível de rede do pavimento, manutenção e reabilitação em nível de projeto e identificação de seções críticas da rede de abastecimento de água (Figura 5.4).

Figura 5.4 – Estrutura do programa *SGPUSP*.

A Figura 5.5 mostra a janela de execução do programa SGPUSP, com destaque para os três módulos integrantes do programa.

Figura 5.5 – Janela de execução do programa *SGPUSP*.

O Módulo 1, “Planejamento Nível de Rede”, executa o planejamento da malha viária, determinando as estratégias de manutenção e reabilitação e o índice de prioridade das seções, preenchendo os respectivos campos na base de dados sobre o pavimento (*Pavement.dbf*). São adotados 6 tipos de estratégias em nível de rede:

- Estratégia 0 : não fazer nada;
- Estratégia 1 : manutenção de rotina;
- Estratégia 2 : manutenção preventiva;
- Estratégia 3 : recapeamento médio;
- Estratégia 4 : recapeamento espesso;
- Estratégia 5 : reconstrução.

Para a determinação das estratégias foram considerados: condição do pavimento (ICP), idade, classe funcional e tráfego (VDM). Os critérios de avaliação para essas variáveis são mostrados na Figura 5.6. Utiliza-se árvore de decisão análoga à apresentada por CHEN et al. (1994). Para a determinação do Índice de Prioridade dessas estratégias foi utilizado o método apresentado por CHEN et al. (1994), descrito no Capítulo 2 e também utilizado pelo programa URMS.

Índice de Condição do Pavimento (ICP)

	1 - Ruim	2 - Pobre	3 - Regular	4 - Bom	5 - Excelente
ICP	< 30	30 - 50	50 - 70	70 - 90	≥ 90

Idade (anos)

	1 - Muito Velho	2 - Velho	3 - Médio	4 - Novo	5 - Muito Novo
Idade	> 20	20 - 15	15 - 10	10 - 5	≤ 5

Tráfego (VDM)

VDM (x1000)	1 - Muito Pesado	2 - Pesado	3 - Médio	4 - Leve	5 - Muito Leve
Tráfego	> 4	4 - 3	3 - 2	2 - 1	≤ 1

Figura 5.6 – Critérios de avaliação dos fatores considerados na análise em nível de rede (adaptada de CHEN et al., 1994).

Na Figura 5.7 é mostrado o fluxograma de trabalho do Módulo 1, Planejamento Nível de Rede, do programa *SPGUSP*.

Figura 5.7 – Fluxograma do Módulo 1 – Planejamento em nível de rede.

O Módulo 2, “*M&R Nível de Projeto*”, determina as atividades de manutenção e reabilitação da malha viária atuando em nível de projeto. Essas atividades são determinadas considerando-se os tipos de defeitos presentes no pavimento (com suas severidades e extensões) e o tráfego (quando causa do defeito). O Módulo 2 do programa *SGPUSP* considera os 15 tipos de defeitos do Manual de Defeitos de Pavimentos Flexíveis do SHRP (1993b), mostrados na Tabela 2.1 do Capítulo 2 desta dissertação.

Os critérios para a severidade, extensão e tráfego utilizados no Módulo 2 são indicados na Figura 5.8.

Severidade do Defeito

	1	2	3
Severidade	Baixa	Média	Alta

Extensão do Defeito

	1	2
Extensão	Pequena	Grande

Tráfego (VDM)

VDM (x1000)	1 - Leve	2 - Médio	3 - Pesado
Tráfego	< 1	1 – 5	> 5

Figura 5.8 – Critérios para classificação dos fatores utilizados na análise em nível de projeto (adaptada de CHEN et al., 1994).

Na base de dados sobre o pavimento (*Pavement.dbf*), criada no TransCAD, os campos que indicam a severidade e a extensão de cada defeito devem ser preenchidos segundo os critérios mostrados na Figura 5.8. Por exemplo, no caso de existir o defeito “trincas por fadiga do revestimento” o campo “S_TFADIGA” deve ser preenchido com o número 1, 2 ou 3, dependendo do tipo de severidade apresentado. O mesmo acontece com o campo correspondente a extensão do defeito (E_TFADIGA). No caso do tráfego, o Módulo 2 (“*M&R Nível de Projeto*”) é quem se encarrega de classificá-lo nas categorias mostradas na Figura 5.8. Este tipo de opção de preenchimento da base de dados foi adotada com o propósito de minimizar a ocorrência de erros na utilização da mesma.

Foram construídas árvores de decisão para cada tipo de defeito com o propósito de determinar as atividades de manutenção e reabilitação em nível de projeto, levando-se em consideração os critérios mostrados na Figura 5.8. Foram adotados 14 tipos de atividades de M&R:

- Não fazer nada;
- Capa selante;
- Lama asfáltica;
- Tratamento superficial;
- Selante de trincas;
- Preenchimento de buracos;
- Remendo;
- Regularização;
- Drenagem;
- Reciclagem;
- Recapeamento;
- Reconstrução;
- Recomposição do acostamento;
- Aplicação de areia quente.

As atividades de M&R para cada uma das situações apresentadas nas árvores de decisão foram determinadas de uma forma subjetiva e baseadas na experiência

Na Figura 5.9 é mostrada a janela de execução e o fluxograma do Módulo 2 do programa *SGPUSP*.

Figura 5.9 – Janela de execução e fluxograma do Módulo 2 (M&R Nível de Projeto) do programa SGPUSP.

As árvores de decisão, para cada tipo de defeito, foram criadas especificamente para o desenvolvimento deste trabalho e são mostradas a seguir:

1) TRINCAS POR FADIGA DO REVESTIMENTO

2) TRINCAS EM BLOCOS

3) TRINCAS LATERAIS

4) TRINCAS LONGITUDINAIS

5) TRINCAS POR REFLEXÃO

6) TRINCAS TRANSVERSAIS

7) REMENDOS

8) PANELAS

9) DEFORMAÇÃO PERMANENTE NAS TRILHAS DE RODA

10) CORRUGAÇÃO

11) EXSUDAÇÃO

12) AGREGADOS POLIDOS

13) DESGASTE

14) DESNÍVEL ENTRE PISTA E ACOSTAMENTO

Recomposição do acostamento com material não erodível e boa capacidade de suporte.

15) BOMBEAMENTO

Drenagem e capa selante, tratamento superficial ou recapeamento.

O Módulo 3, “*Identificação de seções críticas*”, seleciona as seções que podem ser consideradas prioritárias dentro da rede de distribuição de água com base na idade e material da tubulação e no tipo de rede à qual a tubulação pertence. Na Figura 5.10 são mostrados os intervalos de valores adotados para as variáveis consideradas na construção da árvore de decisão utilizada para a identificação das seções críticas (Figura 5.11). Deve-se destacar que a definição dos critérios e a árvore de decisão foram realizados com a colaboração de técnicos do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE).

Idade da Tubulação (anos)

	1 - Velho	2 - Médio	3 - Novo
Aço Galvanizado	> 20	20 – 10	< 10
Ferro Fundido	> 30	30 – 20	< 20
PVC	> 40	40 – 20	< 20

Material da Tubulação

1	2	3
Aço Galvanizado	Ferro Fundido	PVC

Tipo de Rede

1	2	3
Adutora d > 200 mm	Distribuição 200 ≥ d ≥ 100	Tubulação Secundária d < 100

Figura 5.10 – Classificação dos fatores utilizados para a identificação de seções críticas na rede de distribuição de água.

Figura 5.11 – Árvore de decisão para identificação de seções críticas prioritárias na rede de distribuição de água.

A listagem completa do programa SGPUSP é apresentada no Anexo B desta dissertação.

5.4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste tópico são apresentados os diferentes tipos de análise e os resultados que podem ser obtidos com o uso de um SIG (TransCAD) e, principalmente, com as ferramentas complementares desenvolvidas neste trabalho, que possibilitam não só a gerência dos pavimentos urbanos mas também a compatibilização desta com as atividades de concessionárias de serviços públicos urbanos.

As Figuras 5.12 a 5.15 mostram mapas temáticos indicando os volumes de tráfego, idade e condição do pavimento e a classe funcional das ruas, na área da aplicação piloto, de acordo com os critérios apresentados na Figura 5.6. As diferenças de espessuras apresentadas nas seções selecionadas são devido à definição de imagem do programa e não fazem parte dos mapas temáticos.

As Figuras 5.16 e 5.17 mostram, mediante a utilização de mapas temáticos, os resultados do Módulo 1 (Planejamento Nível de Rede) do programa *SGPUSP*: estratégias de M&R e Índice de Prioridade para cada seção.

As Figuras 5.18 e 5.19 indicam como podem ser visualizados os resultados obtidos pela gerência em nível de projeto (Módulo 2 do programa *SGPUSP*). A Figura 5.18 indica uma seleção por condição, realizada com as ferramentas de análise do TransCAD, de seções com a presença de defeitos que são considerados associados ao tráfego (trincas por fadiga, trincas por reflexão, deformação permanente da trilha de roda) com nível de severidade 3 (severidade alta). A Figura 5.19 indica como podem ser visualizados os outros tipos de defeitos contidos nas seções selecionadas na figura anterior e também as atividades de M&R recomendadas.

As Figuras 5.20 e 5.21 mostram a deformação permanente da trilha de roda e panelas, respectivamente, nas seções que apresentam esses tipos de defeitos. Essas figuras são um outro tipo de mapa que pode ser obtido, no qual as seções são selecionadas com um padrão diferente de linha e não por cores como nas figuras anteriores.

As Figuras de 5.22 a 5.24 mostram mapas com as camadas *vias* e *água* superpostas, indicando também a idade, material e diâmetro da tubulação da rede de distribuição de água, respectivamente.

A Figura 5.25 mostra um mapa com as duas camadas (*vias* e *água*) e indica os resultados (campo CRITICO da base *Red_Agua.dbf*) obtidos com o Módulo 3 (Identificação de seções críticas) do programa SGPUSP.

Finalmente, a Figura 5.26 resume um dos objetivos deste trabalho que é o desenvolvimento de uma base de dados comum geograficamente referenciada, que permite a visualização das redes de infra-estrutura pública urbana. Nessa figura é mostrado um mapa com as duas camadas *vias* e *água*. Foram selecionadas em vermelho as seções de pavimento com um Índice de Condição do Pavimento menor do que 60 (condição regular) e indicado o campo CRITICO (prioridade das seções da rede de distribuição de água). No caso de existir uma seção com um pavimento que precise de algum tipo de manutenção e uma rede de distribuição de água em condição crítica, num Sistema de Infra-estrutura Urbana a manutenção na rede de distribuição de água deve ser feita antes de fazer alguma intervenção de manutenção no pavimento.

Figura 5.12 – Mapa temático mostrando o volume de tráfego.

Figura 5.13 – Mapa temático mostrando a idade do pavimento.

Figura 5.14 – Mapa temático mostrando a condição do pavimento (ICP).

Figura 5.15 – Mapa temático mostrando a classe funcional das ruas dentro da área para a aplicação piloto.

Figura 5.16 – Mapa temático mostrando as estratégias de M&R em nível de rede.

Figura 5.17 – Mapa temático mostrando o Índice de Prioridade das seções dentro da área piloto para a aplicação do TransCAD.

Figura 5.18 – Seleção de seções que apresentam defeitos associados ao tráfego.

Figura 5.19 – Execução do Módulo 2 (M&R Nível de Projeto) do programa SGPUSP para a seção com ID = 6419, da rua 15 de Novembro, selecionada anteriormente.

Figura 5.20 – Mapa temático mostrando a severidade da deformação permanente da trilha de roda nas seções que apresentam este defeito.

Figura 5.21 – Mapa temático mostrando as seções que apresentam painelas com seu nível de severidade.

Figura 5.22 – Mapa mostrando as camadas “vias” e “água”, onde o campo IDADE da rede de distribuição de água é indicada utilizando-se a função *Automatic Label* do TransCAD.

Figura 5.23 – Mapa mostrando as camadas “vias” e “água”, onde o campo MATERIAL da rede de distribuição de água é indicada utilizando-se a função *Automatic Label* do TransCAD.

Figura 5.24 – Mapa mostrando as camadas “vias” e “água”, onde o campo DIAMETRO da rede de distribuição de água é indicada utilizando-se a função *Automatic Label* do TransCAD.

Figura 5.25 – Considerando os campos IDADE, MATERIAL e TIPO_REDE, o Módulo 3 do programa SGPUSP determina e preenche o campo CRITICO (prioridade das seções da rede de distribuição de água).

Figura 5.26 – Mapa mostrando a condição do pavimento (ICP<60) e a rede de distribuição de água com o campo CRITICO indicado (prioridade das seções).

6 – Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Esta dissertação apresenta uma revisão bibliográfica abordando os principais tópicos sobre os Sistemas de Gerência de Pavimentos, Sistemas de Informação Geográfica, aplicações do SIG na gerência de pavimentos e apresenta também uma aplicação piloto do SIG com o propósito de desenvolver um Sistema de Gerência da Infra-estrutura Pública Urbana.

Durante o levantamento de informações junto às prefeituras e concessionárias de serviços públicos constatou-se a inexistência de sistemas racionais para o gerenciamento das infra-estruturas públicas (pavimento, água, esgoto, energia elétrica, telefone, gás). Além da inexistência desses sistemas dentro das prefeituras e concessionárias de serviços públicos, outro problema que se pode destacar é a falta de comunicação entre os setores de administração pública municipal, os quais fazem uso de uma forma independente do espaço físico da malha viária.

O trabalho desenvolvido alcança plenamente os objetivos propostos. Para a minimização dos conflitos entre as atividades de construção e manutenção da infra-estrutura de pavimentos e as atividades das concessionárias de serviços públicos (água, esgoto, energia elétrica, telefone, gás) são propostas duas alternativas (os programas *Interface* e *SGPUSP*) para a compatibilização dos

diversos setores através de um sistema de gerência da infra-estrutura pública urbana. Apesar de diferenças conceituais, ambas as alternativas têm potencial para dar apoio à tomada de decisão sobre intervenções nas vias públicas em todos os setores que compartilham o espaço físico da malha viária.

O programa *Interface*, desenvolvido com o propósito de integrar o programa de gerência de pavimentos URMS e o aplicativo de SIG TransCAD, consegue ler o arquivo de resultados do URMS e adicioná-lo à base de dados sobre pavimentos criada no TransCAD (*Interface.dbf*). Permite, assim, a análise em mapas temáticos de todas as interferências das concessionárias de serviços públicos sobre os pavimentos.

O programa *SGPUSP*, desenvolvido com o propósito de fazer parte das ferramentas do TransCAD, é de fácil utilização, particularmente a criação e atualização das bases de dados. O SGPUSP consiste de três módulos, dos quais o Módulo 1, “Planejamento - Nível de Rede”, define as estratégias de manutenção e reabilitação (M&R) mediante árvore de decisão e faz a priorização das seções com base na condição do pavimento (ICP), na idade, na classe funcional e no volume de tráfego.

O Módulo 2, “M&R - Nível de Projeto”, seleciona as atividades de manutenção e reabilitação levando em consideração os 15 defeitos considerados no Programa SHRP. Essas atividades de M&R são obtidas mediante árvores de decisão construídas para cada um dos 15 defeitos, considerando-se a severidade e extensão dos mesmos e o volume de tráfego, quando este influencia a ocorrência do defeito. A saída de resultados desse módulo é mediante janela gráfica que permite observar os defeitos presentes na seção de pavimento que está sendo analisada e as atividades de M&R recomendadas para cada tipo de defeito encontrado.

O Módulo 3, “Identificação de Seções Críticas”, determina as seções prioritárias para intervenções na rede de distribuição de água. Para isto, são considerados os fatores “idade”, “material” e “tipo de rede” na árvore de decisão elaborada junto com os técnicos do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE).

A análise dos resultados obtidos quando da utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para a gerência de pavimentos urbanos, levando em consideração as atividades das outras infra-estruturas urbanas (rede de distribuição de água), permitiu verificar que o TransCAD é um aplicativo de SIG com ferramentas poderosas e flexíveis, capaz de integrar informações sobre localização geográfica com informações alfanuméricas, possibilitando assim a integração da gerência dos pavimentos com as atividades de outras infra-estruturas urbanas.

Como sugestões para o desenvolvimento de trabalhos complementares, tem-se:

1. dar continuidade à elaboração de critérios para seleção das atividades de manutenção e reabilitação necessárias à solução dos problemas das redes de concessionárias públicas nas seções críticas identificadas através da árvore de decisão desenvolvida neste trabalho;
2. estender as análises do estudo piloto desenvolvido neste trabalho (rede de água de abastecimento) a outras infra-estruturas urbanas (esgoto, energia elétrica etc.);
3. analisar o potencial de outros aplicativos de SIG, como por exemplo o MapInfo, recém adquirido pelo Departamento de Transportes da EESC-USP e muito citado como capaz de facilitar a compatibilização da gerência de infra-estrutura urbana com os Sistemas de Gerência de Pavimentos.

Referências Bibliográficas

ABI-ACKEL, M. V. et al. (1997). *Projeto Gemini Mapeamento e Gerência da rede de Distribuição de Energia Elétrica*. III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento – GIS Brasil 97. Curitiba.

ABKOWITZ, M.; WALSH, S.; HAUSER, E.; MINOR, L. (1990). *Adaptation of Geographic Information Systems to Highway Management*. Journal of Transportation Engineering. vol. 116, n. 3, p.310-327.

AL-SWAILMI, S. (1994). *Framework for Municipal Maintenance Management Systems*. Transportation Research Record 1442. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.03-10.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1986). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Apêndice K: Typical Pavement Distress Type-Severity Descriptions. Washington, D.C.

BERNUCCI, L. B.; BALBO, J. T.; TONDO, C. M.; FARES GUALDA, N. D. (1993). *Sistema Gerencial para a manutenção de Pavimentos Urbanos-Aplicação no Município de São Paulo*. Anais da 4ª Reunião de Pavimentação Urbana. ABPv, Maceió. p. 98-111.

BERTOLLO, S. A. M. (1997). *Considerações sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede*. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

BOWEN, G. E.; LEE, K. W. (1991). *Implementation of a Pavement Management System for Municipally Maintained Roads in Rhode Island*. Transportation Research Record 1311. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.248-255.

- BUZAI, G. D.; DURÁN, D. (1997). *Ensenar e Investigar com Sistemas de Informação Geográfica (SIG)*. Editorial Troquel. Buenos Aires, Argentina.
- CAREY, W. N.; IRICK, P. E. (1960). *The Pavement Serviceability-Performance Concept*. Highway Research Board Bulletin 250, p.40-58.
- CASTRO, L. J. C.; SANTIAGO, L. A. (1997). *Geoprocessamento no Estado de São Paulo*. III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento – GIS Brasil 97. Curitiba.
- CHEN, X.; WEISSMANN, J.; DOSSEY, T.; HUDSON, W.R. (1993). *URMS: Graphical Urban Roadway Management System at Network Level*. Transportation Research Record 1397. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.103-111.
- CHEN, X.; DOSSEY, T.; HUDSON, W. R. (1994). *Development of Project-Level Urban Roadway Management System*. Transportation Research Record 1455. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p. 62-68.
- DOMINGUES, F. A. A. (1993). *MID - Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos*. São Paulo. LDTT/PTR/EPUSP.
- FERNANDES JR., J. L. (1996). *Sistemas de Gerência de Pavimentos*. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.
- 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.; BERTOLLO, S. A. M. (1997). *Considerações sobre a gerência de pavimentos urbanos em nível de rede*. 9^o Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Asunción-Paraguay. Tomo 2, p.1123-1136.
- FERRARI, G. V. (1997). *Santa Catarina. Panorama do Geoprocessamento*. III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento – GIS Brasil 97. Curitiba.
- FHWA (1989). *Road Surface Management for Local Governments*. Course Workbook. U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Austin, Texas, dec.

- FLETCHER, D. R.; KRUEGER, M. (1990). *Pavement Management Decision to Support Using a Geographic Information System*. Report No. FHWA-AS-91-005. Federal Highway Administration - Department of Transportation. Washington, D.C.
- HAAS, R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Co. Malamar, Florida.
- HUDSON, W. R.; HASS, R.; PEDIGO, R. D. (1979). *Pavement Managemnt System Development*. NCHRP Report 215.
- HUXHOLD, W. E. (1991). *An Introduction to Urban Geographic Informations Systems*. Oxford University Press, Inc.
- JOHNSON, B. H.; DEMETSKY, M. J. (1994). *Geographic Information System Decision Support System for Pavement Management*. Transportation Research Record 1429. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.74-83.
- KHEDR, S. A.; EL DIMEERY, I. A. (1994). *Pavement Management System for Provinces in Developing Countries: Implementation in Fayoum, Egypt*. Transportation Research Record 1455. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.101-110.
- KORTE, G. B. (1997). *The GIS Book*. Fourth Edition. OnWord Press. Santa Fe, USA:
- MAPC (1986). *Pavement Management - A Manual for Communities*. U. S. Department of Transportation. Metropolitan Area Planning Council, Boston, MA.
- NCHRP (1991). *Implementation of Geographic Information System (GIS) in State DOTs*. Research Result Digest No. 180. Transportation Research Board. National Research Council.
- OSMAN, O.; HAYASHI, Y. (1994). *Geographic Information Systems as Platform for Highway Pavement Management Systems*. Transportation Research Record 1442. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.19-30.
- PAREDES, M.; FERNANDO, E.; SCULLION, T. (1990). *Pavement Management Aplications of GIS: A Case Study*. Transportation Research Record 1261. TRB. National Research Council. p. 20-26.

- PEIXOTO, R. S. S. L. (1997). *Utilização de Sistemas de Informações Geográficas para Gerenciamento de Cidades de pequeno porte*. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- PMS - *Pavement Management System v. 3.0* - User Instructions and Input Guide. Resource International Engineering Consultants - ESRI.
- SARASWATULA, S. R.; AMIRKHANIAN, S. N. (1992). - *Pavement Management System - State of the Art*. American Society For Testing And Materials - ASTM STP 1121.
- SCHIEBLER, E.; MACHADO, A. L. T. (1997). *Geoprocessamento no auxílio de um novo modelo de Administração da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR*. III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento – GIS Brasil 97. Curitiba.
- SHRP (1993). *Asphalt Pavement Repair Manuals of Practice*. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science. SHRP-H-348. Washington, D.C. p. 47-62.
- SHRP (1993b). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies*. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science. Washington, D.C.
- SILVA, A. N. R.; VAN DER WAERDEN, P. (1997). *First Steps with a Geographic Information System for Transportation*. São Francisco, Ribeirão Preto.
- SILVA, A. N. R.; FERRAZ, A. C. P. (1991). *Densidades Urbanas x Custos dos Serviços Públicos – Análise do caso de São Carlos*. Revista de Administração Municipal 199. p. 57-65.
- SIMKOWITZ, H. J. (1990). *Using Geographic Information System Technology to Enhance the Pavement Management Process*. Transportation Research Record 1261. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.10-19.
- STAR, J.; ESTES, J. (1990). *Geographic Information Systems - An Introduction*. Prentice Hall Co. Englewood Cliffs, New Jersey.
- TAVAKOLI, A.; LAPIN, M. S.; FIGUEROA, J. L. (1992). *PMSC: Pavement Management System for Small Communities*. Journal of Transportation Engineering. vol.118, n.2, p.270-280.

- TransCAD User's Guide (1995) - version 3.0 for Windows. Caliper Corporation.
- URMS - *Urban Roadway Management System v. 1.0 (1993). User's Guide.* Center for Transportation Research - University of Texas at Austin.
- VIVIANI, E.; SÓRIA, M. H. A. (1995). *Aplicação de um SIG no Desenvolvimento de Sistema de Gerência de Vias Não-Pavimentadas.* Anais do Congresso Nacional da ANPET, 9, São Carlos. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, vol.3, p.1148-1153, nov.
- ZHANG, Z.; DOSSEY, T.; WEISSMANN, J.; HUDSON, W. R. (1994). *GIS Integrated Pavement and Infrastructure Management in Urban Areas.* Transportation Research Record 1429. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.84-89.

ANEXO A

DADOS DO INVENTÁRIO E LEVANTAMENTO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

TABELA A.1 – Dados de Inventário e Levantamento da Condição do Pavimento.

NOME_RUA	INÍCIO	FIM	CLASSE FUNCIONAL	LARGURA	COMPRIMENTO	PAVIMENTO	FAIXAS	ICP	TRÁFEGO
28 de Setembro	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	110	F	1	80	3500
28 de Setembro	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	100	F	1	80	3500
28 de Setembro	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	110	F	1	60	3500
28 de Setembro	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	60	3500
28 de Setembro	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	120	F	1	60	3500
28 de Setembro	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	90	F	1	60	3500
28 de Setembro	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	60	3500
28 de Setembro	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	100	F	1	60	3500
28 de Setembro	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	110	F	1	60	3500
28 de Setembro	Sao Paulo	Campos Salles	C	8,5	90	F	1	50	3500
Carlos Botelho	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	110	F	1	80	6000
Carlos Botelho	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	90	F	1	50	6000
Carlos Botelho	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	110	F	1	80	6000
Carlos Botelho	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	60	6000
Carlos Botelho	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	110	F	1	60	6000
Carlos Botelho	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	100	F	1	60	6000
Carlos Botelho	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	80	6000
Carlos Botelho	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	100	F	1	80	6000
Carlos Botelho	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	110	F	1	80	6000
Carlos Botelho	Sao Paulo	Campos Salles	C	8,5	110	F	1	60	6000
15 de Novembro	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	100	F	1	60	6000
15 de Novembro	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	100	F	1	60	6000
15 de Novembro	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	110	F	1	60	6000
15 de Novembro	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	40	6000
15 de Novembro	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	120	F	1	60	6000
15 de Novembro	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	100	F	1	20	6000

TABELA A.1 – Dados de Inventário e Levantamento da Condição do Pavimento (continuação).

NOME_RUA	INÍCIO	FIM	CLASSE FUNCIONAL	LARGURA	COMPRIMENTO	PAVIMENTO	FAIXAS	ICP	TRÁFEGO
15 de Novembro	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	60	6000
15 de Novembro	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	100	F	1	60	6000
15 de Novembro	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	110	F	1	60	6000
15 de Novembro	Sao Paulo	Campos Salles	C	8,5	110	F	1	60	6000
Sao Sebastião	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	110	F	1	60	3000
Sao Sebastião	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	100	F	1	40	3000
Sao Sebastião	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	110	F	1	60	3000
Sao Sebastião	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	60	3000
Sao Sebastião	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	110	F	1	40	3000
Sao Sebastião	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	90	F	1	40	3000
Sao Sebastião	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	60	3000
Sao Sebastião	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	100	F	1	80	3000
Sao Sebastião	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	100	F	1	60	3000
Sao Sebastião	Sao Paulo	Campos Salles	C	8,5	100	F	1	80	3000
Pe. Teixeira	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	100	F	1	80	3000
Pe. Teixeira	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	110	F	1	40	3000
Pe. Teixeira	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	100	F	1	60	3000
Pe. Teixeira	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	40	3000
Pe. Teixeira	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	110	F	1	60	3000
Pe. Teixeira	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	90	F	1	60	3000
Pe. Teixeira	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	60	3000
Pe. Teixeira	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	100	F	1	80	3000
Pe. Teixeira	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	100	F	1	80	3000
Pe. Teixeira	Sao Paulo	Campos Salles	C	8,5	100	F	1	60	3000

TABELA A.1 – Dados de Inventário e Levantamento da Condição do Pavimento (continuação).

NOME_RUA	INÍCIO	FIM	CLASSE FUNCIONAL	LARGURA	COMPRIMENTO	PAVIMENTO	FAIXAS	ICP	TRÁFEGO
Mal. Deodoro	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	100	F	1	40	5000
Mal. Deodoro	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	100	F	1	60	5000
Mal. Deodoro	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	110	F	1	40	5000
Mal. Deodoro	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	40	5000
Mal. Deodoro	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	120	F	1	60	5000
Mal. Deodoro	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	90	F	1	60	5000
Mal. Deodoro	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	60	5000
Mal. Deodoro	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	100	F	1	40	5000
Mal. Deodoro	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	100	F	1	80	5000
Mal. Deodoro	Sao Paulo	Campos Salles	C	8,5	100	F	1	40	5000
7 de Setembro	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	100	F	1	40	5000
7 de Setembro	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	100	F	1	40	5000
7 de Setembro	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	100	F	1	60	5000
7 de Setembro	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	40	5000
7 de Setembro	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	120	F	1	80	5000
7 de Setembro	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	90	F	1	90	5000
7 de Setembro	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	60	5000
7 de Setembro	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	100	F	1	20	5000
7 de Setembro	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	100	F	1	40	5000
7 de Setembro	Sao Paulo	Ant. Rodr	C	8,5	210	F	1	80	5000
Maj Jose Inácio	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	100	F	1	60	5000
Maj Jose Inácio	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	100	F	1	40	5000
Maj Jose Inácio	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	110	F	1	60	5000
Maj Jose Inácio	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	60	5000
Maj Jose Inácio	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	120	F	1	80	5000

TABELA A.1 – Dados de Inventário e Levantamento da Condição do Pavimento (continuação).

NOME_RUA	INÍCIO	FIM	CLASSE FUNCIONAL	LARGURA	COMPRIMENTO	PAVIMENTO	FAIXAS	ICP	TRÁFEGO
Maj Jose Inácio	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	90	F	1	60	5000
Maj Jose Inácio	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	60	5000
Maj Jose Inácio	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	100	F	1	60	5000
Maj Jose Inácio	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	100	F	1	60	5000
Maj Jose Inácio	Sao Paulo	Ant. Rodr	C	8,5	210	F	1	60	5000
Conde do Pinhal	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	100	F	1	60	4000
Conde do Pinhal	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	100	F	1	60	4000
Conde do Pinhal	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	110	F	1	40	4000
Conde do Pinhal	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	60	4000
Conde do Pinhal	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	120	F	1	80	4000
Conde do Pinhal	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	90	F	1	60	4000
Conde do Pinhal	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	40	4000
Conde do Pinhal	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	100	F	1	40	4000
Conde do Pinhal	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	100	F	1	60	4000
Conde do Pinhal	Sao Paulo	Campos Salles	C	8,5	80	F	1	60	4000
13 de Maio	Aquidaban	Jose Bonifácio	C	8,5	60	F	1	60	6000
13 de Maio	Jose Bonifácio	9 de Julho	C	8,5	100	F	1	40	6000
13 de Maio	9 de Julho	Episcopal	C	8,5	110	F	1	60	6000
13 de Maio	Episcopal	Av. Sao Carlos	C	8,5	100	F	1	60	6000
13 de Maio	Av. Sao Carlos	Alexandrina	C	8,5	120	F	1	60	6000
13 de Maio	Alexandrina	Sao Joaquim	C	8,5	90	F	1	60	6000
13 de Maio	Sao Joaquim	Don Pedro II	C	8,5	100	F	1	60	6000
13 de Maio	Don Pedro	Rui Barbosa	C	8,5	90	F	1	40	6000
13 de Maio	Rui Barboosa	Sao Paulo	C	8,5	100	F	1	60	6000
13 de Maio	Sao Paulo	Campos Salles	C	8,5	100	F	1	40	6000

TABELA A.1 – Dados de Inventário e Levantamento da Condição do Pavimento (continuação).

NOME_RUA	INÍCIO	FIM	CLASSE FUNCIONAL	LARGURA	COMPRIMENTO	PAVIMENTO	FAIXAS	ICP	TRÁFEGO
Aquidaban	28 de Setembro	Carlos Botelho	C	8,5	100	F	1	80	3000
Aquidaban	Carlos Botelho	15 de Novembro	C	8,5	110	F	1	60	3000
Aquidaban	15 de Novembro	Sao Sebastião	C	8,5	100	F	1	80	3000
Aquidaban	Sao Sebastião	Pc. Teixeira	C	8,5	100	F	1	80	3000
Aquidaban	Pc. Teixeira	Mal. Deodoro	C	8,5	100	F	1	80	3000
Aquidaban	Mal. Deodoro	7 de Setembro	C	8,5	100	F	1	60	3000
Aquidaban	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	C	8,5	100	F	1	60	3000
Aquidaban	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	C	8,5	100	F	1	60	3000
Aquidaban	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	90	F	1	80	3000
Aquidaban	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	30	F	1	60	3000
Jose Bonifácio	28 de Setembro	Carlos Botelho	C	8,5	110	F	1	80	3500
Jose Bonifácio	Carlos Botelho	15 de Novembro	C	8,5	100	F	1	60	3500
Jose Bonifácio	15 de Novembro	Sao Sebastião	C	8,5	100	F	1	60	3500
Jose Bonifácio	Sao Sebastião	Pc. Teixeira	C	8,5	100	F	1	60	3500
Jose Bonifácio	Pc. Teixeira	Mal. Deodoro	C	8,5	100	F	1	60	3500
Jose Bonifácio	Mal. Deodoro	7 de Setembro	C	8,5	100	F	1	60	3500
Jose Bonifácio	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	C	8,5	100	F	1	40	3500
Jose Bonifácio	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	C	8,5	90	F	1	40	3500
Jose Bonifácio	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	120	F	1	40	3500
Jose Bonifácio	13 de Maio	Jesuino de Arruda	C	8,5	100	F	1	60	3500
9 de Julho	28 de Setembro	Carlos Botelho	C	8,5	100	F	1	60	6000
9 de Julho	Carlos Botelho	15 de Novembro	C	8,5	100	F	1	60	6000
9 de Julho	15 de Novembro	Sao Sebastião	C	8,5	100	F	1	40	6000
9 de Julho	Sao Sebastião	Pc. Teixeira	C	8,5	100	F	1	60	6000
9 de Julho	Pc. Teixeira	Mal. Deodoro	C	8,5	100	F	1	40	6000

TABELA A.1 – Dados de Inventário e Levantamento da Condição do Pavimento (continuação).

NOME_RUA	INÍCIO	FIM	CLASSE FUNCIONAL	LARGURA	COMPRIMENTO	PAVIMENTO	FAIXAS	ICP	TRÁFEGO
9 de Julho	Mal. Deodoro	7 de Setembro	C	8,5	110	F	1	60	6000
9 de Julho	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	C	8,5	100	F	1	40	6000
9 de Julho	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	C	8,5	100	F	1	40	6000
9 de Julho	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	120	F	1	40	6000
9 de Julho	13 de Maio	Jesuino de Arruda	C	8,5	100	F	1	60	6000
Episcopal	28 de Setembro	Carlos Botelho	C	8,5	110	F	1	80	6000
Episcopal	Carlos Botelho	15 de Novembro	C	8,5	100	F	1	60	6000
Episcopal	15 de Novembro	Sao Sebastião	C	8,5	100	F	1	60	6000
Episcopal	Sao Sebastião	Pe. Teixeira	C	8,5	100	F	1	60	6000
Episcopal	Pe. Teixeira	Mal. Deodoro	C	8,5	100	F	1	60	6000
Episcopal	Mal. Deodoro	7 de Setembro	C	8,5	110	F	1	60	6000
Episcopal	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	C	8,5	110	F	1	40	6000
Episcopal	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	C	8,5	90	F	1	60	6000
Episcopal	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	120	F	1	80	6000
Episcopal	13 de Maio	Jesuino de Arruda	C	8,5	100	F	1	80	6000
Av. Sao Carlos	28 de Setembro	Carlos Botelho	A	8,5	90	F	2	60	15000
Av. Sao Carlos	Carlos Botelho	15 de Novembro	A	8,5	120	F	2	80	15000
Av. Sao Carlos	15 de Novembro	Sao Sebastião	A	8,5	100	F	2	80	15000
Av. Sao Carlos	Sao Sebastião	Pe. Teixeira	A	8,5	110	F	2	80	15000
Av. Sao Carlos	Pe. Teixeira	Mal. Deodoro	A	8,5	100	F	2	60	15000
Av. Sao Carlos	Mal. Deodoro	7 de Setembro	A	8,5	100	F	2	80	15000
Av. Sao Carlos	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	A	8,5	100	F	2	60	15000
Av. Sao Carlos	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	A	8,5	110	F	2	80	15000
Av. Sao Carlos	Conde do Pinhal	13 de Maio	A	8,5	100	F	2	80	15000
Av. Sao Carlos	13 de Maio	Jesuino de Arruda	A	8,5	100	F	2	60	15000

TABELA A.1 – Dados de Inventário e Levantamento da Condição do Pavimento (continuação).

NOME_RUA	INÍCIO	FIM	CLASSE FUNCIONAL	LARGURA	COMPRIMENTO	PAVIMENTO	FAIXAS	ICP	TRÁFEGO
Alexandrina	28 de Setembro	Carlos Botelho	C	8,5	110	F	1	60	6000
Alexandrina	Carlos Botelho	15 de Novembro	C	8,5	100	F	1	90	6000
Alexandrina	15 de Novembro	Sao Sebastião	C	8,5	100	F	1	90	6000
Alexandrina	Sao Sebastião	Pe. Teixeira	C	8,5	100	F	1	80	6000
Alexandrina	Pe. Teixeira	Mal. Deodoro	C	8,5	100	F	1	80	6000
Alexandrina	Mal. Deodoro	7 de Setembro	C	8,5	110	F	1	80	6000
Alexandrina	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	C	8,5	100	F	1	80	6000
Alexandrina	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	C	8,5	100	F	1	80	6000
Alexandrina	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	110	F	1	60	6000
Alexandrina	13 de Maio	Jesuino de Arruda	C	8,5	100	F	1	60	6000
Sao Joaquim	28 de Setembro	Carlos Botelho	C	8,5	110	F	1	80	4000
Sao Joaquim	Carlos Botelho	15 de Novembro	C	8,5	110	F	1	80	4000
Sao Joaquim	15 de Novembro	Sao Sebastião	C	8,5	100	F	1	80	4000
Sao Joaquim	Sao Sebastião	Pe. Teixeira	C	8,5	100	F	1	60	4000
Sao Joaquim	Pe. Teixeira	Mal. Deodoro	C	8,5	100	F	1	60	4000
Sao Joaquim	Mal. Deodoro	7 de Setembro	C	8,5	110	F	1	60	4000
Sao Joaquim	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	C	8,5	100	F	1	60	4000
Sao Joaquim	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	C	8,5	90	F	1	60	4000
Sao Joaquim	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	120	F	1	60	4000
Sao Joaquim	13 de Maio	Jesuino de Arruda	C	8,5	100	F	1	20	4000
Don Pedro II	28 de Setembro	Carlos Botelho	C	8,5	110	F	1	90	3000
Don Pedro II	Carlos Botelho	15 de Novembro	C	8,5	100	F	1	40	3000
Don Pedro II	15 de Novembro	Sao Sebastião	C	8,5	100	F	1	40	3000
Don Pedro II	Sao Sebastião	Pe. Teixeira	C	8,5	100	F	1	80	3000
Don Pedro II	Pe. Teixeira	Mal. Deodoro	C	8,5	100	F	1	60	3000

TABELA A.1 – Dados de Inventário e Levantamento da Condição do Pavimento (continuação).

NOME_RUA	INÍCIO	FIM	CLASSE FUNCIONAL	LARGURA	COMPRIMENTO	PAVIMENTO	FAIXAS	ICP	TRÁFEGO
Don Pedro II	Mal. Deodoro	7 de Setembro	C	8,5	110	F	1	60	3000
Don Pedro II	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	C	8,5	110	F	1	40	3000
Don Pedro II	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	C	8,5	90	F	1	40	3000
Don Pedro II	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	120	F	1	60	3000
Don Pedro II	13 de Maio	Jesuino de Arruda	C	8,5	100	F	1	60	3000
Rui Barbosa	28 de Setembro	Carlos Botelho	C	8,5	110	F	1	80	2000
Rui Barbosa	Carlos Botelho	15 de Novembro	C	8,5	100	F	1	40	2000
Rui Barbosa	15 de Novembro	Sao Sebastião	C	8,5	100	F	1	60	2000
Rui Barbosa	Sao Sebastião	Pc. Teixeira	C	8,5	100	F	1	40	2000
Rui Barbosa	Pc. Teixeira	Mal. Deodoro	C	8,5	100	F	1	60	2000
Rui Barbosa	Mal. Deodoro	7 de Setembro	C	8,5	110	F	1	60	2000
Rui Barbosa	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	C	8,5	110	F	1	80	2000
Rui Barbosa	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	C	8,5	90	F	1	40	2000
Rui Barbosa	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	110	F	1	80	2000
Rui Barbosa	13 de Maio	Jesuino de Arruda	C	8,5	100	F	1	60	2000
Sao Paulo	28 de Setembro	Carlos Botelho	C	8,5	110	F	1	80	2000
Sao Paulo	Carlos Botelho	15 de Novembro	C	8,5	100	F	1	80	2000
Sao Paulo	15 de Novembro	Sao Sebastião	C	8,5	110	F	1	80	2000
Sao Paulo	Sao Sebastião	Pc. Teixeira	C	8,5	100	F	1	80	2000
Sao Paulo	Pc. Teixeira	Mal. Deodoro	C	8,5	100	F	1	80	2000
Sao Paulo	Mal. Deodoro	7 de Setembro	C	8,5	110	F	1	60	2000
Sao Paulo	7 de Setembro	Maj Jose Inácio	C	8,5	100	F	1	80	2000
Sao Paulo	Maj Jose Inácio	Conde do Pinhal	C	8,5	90	F	1	80	2000
Sao Paulo	Conde do Pinhal	13 de Maio	C	8,5	120	F	1	80	2000
Sao Paulo	13 de Maio	Jesuino de Arruda	C	8,5	100	F	1	60	2000

ANEXO B

LISTAGEM DOS PROGRAMAS *INTERFACE* E *SGPUSP*

1 - Programa *INTERFACE*

```

Private Sub processar_Click()
Dim count As Long, codigo As String
Dim path As String
Dim tmp As Variant
Dim ws As Workspace
Dim interf As Recordset, urms As Recordset
Dim mdb As Database

    path = "y:\jgomez\macros\interface"
    Set ws = Workspaces(0)
    Set mdb = ws.OpenDatabase(path, True, False, "dBASE IV;")
    Set interf = mdb.OpenRecordset("interfac.dbf")
    Set urms = mdb.OpenRecordset("urmsp1.dbf")
    Me.Show
    urms.MoveFirst
    bar.Max = urms.RecordCount
    count = 0
    While Not urms.EOF

        codigo = urms("codigo")
        interf.MoveFirst
        On Error GoTo no_existe
        While Not interf.EOF And interf("codigo") <> codigo
            interf.MoveNext
        Wend
        GoTo normal
    no_existe:

```



```
MsgBox "Não existe código " & código
End

normal:
If interf("código") = código Then
    interf.Edit
    For i = 2 To 17
        tmp = urms.Fields(i)
        interf.Fields(i) = tmp
    Next
    interf.Update
End If
urms.MoveNext
count = count + 1
bar.Value = count
Label = "Processando " & count & " de " & urms.RecordCount
Me.Refresh
Wend
Label = "Fim " & count & " de " & urms.RecordCount
interf.Close
urms.Close
mdb.Close
End Sub
```

2 - Programa *SGPUSP*

Módulo 1 : Planejamento em nível de rede

```
Private Sub Start_Click()
```

```
Dim base As Database
```

```
Dim dbf As Recordset
```

```
Dim ws As Workspace
```

```
Dim n As Long, count As Long
```

```
Dim matriz(1 To 5, 1 To 5) As Integer
```

```
Dim cicp As Integer, cidade As Integer, ctrafego As Integer
```

```
Dim est As Integer
```

```
matriz(1, 1) = 1: matriz(1, 2) = 2: matriz(1, 3) = 3: matriz(1, 4) = 4: matriz(1, 5) = 5
```

```
matriz(2, 1) = 6: matriz(2, 2) = 7: matriz(2, 3) = 8: matriz(2, 4) = 9: matriz(2, 5) = 10
```

```
matriz(3, 1) = 11: matriz(3, 2) = 14: matriz(3, 3) = 17: matriz(3, 4) = 19: matriz(3, 5) = 20
```

```
matriz(4, 1) = 12: matriz(4, 2) = 15: matriz(4, 3) = 18: matriz(4, 4) = 21: matriz(4, 5) = 22
```

```
matriz(5, 1) = 13: matriz(5, 2) = 16: matriz(5, 3) = 23: matriz(5, 4) = 24: matriz(5, 5) = 25
```

```
Set ws = Workspaces(0)
```

```
Set base = ws.OpenDatabase("y:\jgomez\mapas\", True, False, "dBASE  
IV;")
```

```
Set dbf = base.OpenRecordset("paviment.dbf")
```

```
Me.Show
```

```
dbf.MoveFirst
```

```
bar.Max = dbf.RecordCount
```

```
count = 0
```

```
While Not dbf.EOF
```

```

icp = dbf("ICP")
cicp = Int((icp - 10) / 20 + 1)
idade = dbf("IDADE")
cidade = Int(5 - Min(idade / 5, 4))
matriz1 = matriz(cicp, cidade)

```

```

trafego = dbf("trafego")
ctrafego = Int(5 - Min(trafego / 1000, 4))
cf = dbf("Class_Func")
ccf = InStr("ACL", cf)
matriz2 = (ctrafego - 1) * 3 + ccf

```

```

dbf.Edit
dbf("ip") = 0.7 * matriz1 + 0.3 * matriz2
est = arvore(cicp, cidade, ctrafego)
dbf("estrategia") = est
dbf.Update

```

```

bar.Value = count
If (count Mod 50 = 0) Then
    Label = "Processando " & count & " de " & dbf.RecordCount
    Me.Refresh
End If
count = count + 1
dbf.MoveNext

```

```
Wend
```

```
dbf.Close
```

```
base.Close
```

```
End Sub
```



```
Private Function arvore(icp As Integer, idade As Integer, trafego As Integer)
As Integer
    Select Case icp
        Case 1 To 2
            Select Case idade
                Case 1 To 2
                    Select Case trafego
                        Case 1 To 2
                            arvore = 5
                        Case 3 To 5
                            arvore = 4
                    End Select
                Case 3
                    Select Case trafego
                        Case 1 To 2
                            arvore = 5
                        Case 3
                            arvore = 4
                        Case 4 To 5
                            arvore = 3
                    End Select
                Case 4 To 5
                    Select Case trafego
                        Case 1 To 3
                            arvore = 4
                        Case 4 To 5
                            arvore = 3
                    End Select
            End Select
        End Select
    End Select
End Function
```

End Select

Case 3

Select Case idade

Case 1 To 2

Select Case trafego

Case 1 To 3

arvore = 3

Case 4 To 5

arvore = 2

End Select

Case 3

Select Case trafego

Case 1 To 2

arvore = 3

Case 3

arvore = 2

Case 4 To 5

arvore = 1

End Select

Case 4 To 5

Select Case trafego

Case 1 To 3

arvore = 2

Case 4 To 5

arvore = 0

End Select

End Select

Case 4 To 5

Select Case idade

```
Case 1 To 2
  Select Case trafego
    Case 1 To 2
      arvore = 1
    Case 3 To 5
      arvore = 0
  End Select
Case 3
  Select Case trafego
    Case 1 To 2
      arvore = 1
    Case 3 To 5
      arvore = 0
  End Select
Case 4 To 5
  arvore = 0
End Select
End Select
End Function
```


Módulo 2 – M&R em nível de projeto

```
Private Sub exibir_Click()
```

```
    If Not procurar Then
```

```
        MsgBox "O código: " & id.Text & " não existe ..."
```

```
        GoTo saida
```

```
    End If
```

```
    count_row = 1
```

```
    defeito1
```

```
    defeito2
```

```
    defeito3
```

```
    defeito4
```

```
    defeito5
```

```
    defeito6
```

```
    defeito7
```

```
    defeito8
```

```
    defeito9
```

```
    defeito10
```

```
    defeito11
```

```
    defeito12
```

```
    defeito13
```

```
    defeito14
```

```
    defeito15
```

```
    '    levar na tela
```

```
saida:
```

```
End Sub
```

Módulo 3 – Identificação de seções críticas

```
Private Sub Form_Load()  
    Dim idade As Integer, material As Integer, tipo_rede As Integer  
    Dim tmp As Integer  
    Dim count As Long  
  
    'Abrir a base de dados (água)  
  
    Me.Show  
    agua.MoveFirst  
    bar.Max = agua.RecordCount + 1  
    count = 0  
    For i = 1 To agua.RecordCount  
        idade = agua("idade")  
        material = agua("material")  
        tipo_rede = agua("tipo_rede")  
        agua.Edit  
        agua("critico") = critico(idade, material, tipo_rede)  
        agua.Update  
        continuar:  
        bar.Value = count  
        If (count Mod 50 = 0) Then  
            Label = "Processando " & count & " de " & agua.RecordCount  
            Me.Refresh  
        End If  
        count = count + 1  
        agua.MoveNext  
    Next
```

'Fechar a base da rede de distribuição (água)

End Sub

Private Function critico(idade As Integer, material As Integer, tipo_rede As Integer) As Integer

Dim rpta As Integer, tmp As Integer

idade = idade - 1

material = material - 1

tipo_rede = tipo_rede - 1

tmp = idade * 9 + material * 3 + tipo_rede + 1

Select Case tmp

Case 1 To 5

critico = 1

Case 6 To 10

critico = 2

Case 11 To 15

critico = 3

Case 16 To 20

critico = 4

Case 21 To 27

critico = 5

End Select

End Function

ANEXO C

**RESUMO DAS BASES DE DADOS SOBRE O PAVIMENTO
(PAVEMENT.DBF) E A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
(RED_AGUA.DBF)**

Resumo da base de dados sobre o pavimento - Pavement

ID	NOME_RUA	PAVIMENTO	COMPRIMENT	LARGURA	FAIXAS	CLASS_FUNC	IDADE
6398	28 de Setembro	F	100	8,5	1	C	12
6406	Carlos Botelho	F	100	8,5	1	C	7
6417	15 de Novembro	F	100	8,5	1	C	10
6428	Sao Sebastião	F	100	8,5	1	C	22
6516	Pc. Teixeira	F	100	8,5	1	C	12
6531	Mal. Deodoro	F	100	8,5	1	C	8
6545	7 de Setembro	F	100	8,5	1	C	10
6559	Maj Jose Inácio	F	100	8,5	1	C	7
8296	Conde do Pinhal	F	100	8,5	1	C	17
7389	13 de Maio	F	100	8,5	1	C	7
7461	Aquidaban	F	100	8,5	1	C	16
7474	Jose Bonifácio	F	100	8,5	1	C	16
7487	9 de Julho	F	100	8,5	1	C	8
6387	Episcopal	F	100	8,5	1	C	12
6452	Av. Sao Carlos	F	100	8,5	2	A	4
6498	Alexandrina	F	100	8,5	1	C	4
6502	Sao Joaquim	F	100	8,5	1	C	7
6506	Don Pedro II	F	100	8,5	1	C	12
6510	Rui Barbosa	F	100	8,5	1	C	16
6514	Sao Paulo	F	100	8,5	1	C	22

Resumo da base de dados sobre o pavimento - Pavement (continuação).

ID	TRAFEGO	POR_CAMINH	VOL_CAMINH	ICP	ESTRATEGIA	IP	S_TFADIGA	E_TFADIGA
6398	3500	+	160	60	3	12,5	1	2
6406	6000	+	240	60	2	13,9	1	2
6417	6000	+	240	40	5	6,2	3	2
6428	3000	+	160	60	3	9,2	1	2
6516	3000	+	160	40	5	7,1	3	2
6531	5000	+	200	40	5	6,2	1	2
6545	5000	+	200	40	5	6,2	3	2
6559	5000	+	200	60	2	13,9	1	2
8296	4000	+	200	60	3	10,4	1	2
7389	6000	+	200	60	2	13,9	1	2
7461	3000	+	160	60	3	11,3	1	2
7474	3500	+	160	60	3	10,4	1	2
7487	6000	+	240	60	3	12,5	1	2
6387	6000	+	240	60	3	12,5	1	2
6452	15000	+	600	80	0	15	1	2
6498	6000	+	240	90	0	17,4	1	1
6502	4000	+	240	75	0	15,3		
6506	3000	+	200	40	5	7,1	1	2
6510	2000	+	160	40	4	7,3	1	2
6514	2000	+	160	70	0	10,8	1	2

Resumo da base de dados sobre o pavimento - Pavement (continuação).

ID	S_TBLOCOS	E_TBLOCOS	S_TLATERAL	S_TLONGITU	S_TREFLEXA	S_TTRANSVE	S_REMENDOS	S_PANELAS
6398	2	2				2	3	
6406				1				
6417	3	2			1			2
6428	1	1			2			
6516	1	2		2	3		1	3
6531	1							
6545				3			3	
6559	1	2						
8296	1	2						
7389	1	2						
7461	1	2						
7474	1	2						
7487	1	2						
6387	1	2	2	2	2	2	2	2
6452			1	1	1			
6498	2	2			1			
6502					1			
6506	2	2					1	
6510								
6514								

Resumo da base de dados sobre o pavimento - Pavement (continuação).

ID	S_DPERMANE	S_CORRUGAC	S_EXSUDACA	S_AGPOLIDO	S_DESGASTE	DESN_PISTA	BOMBEAMENT
6398			2				
6406							
6417		2		1			
6428							
6516		2		1	2		1
6531							
6545							
6559							
8296							
7389							
7461							
7474							
7487							
6387	2	2	2	2	2	1	
6452	1			1			
6498							
6502		1			1		
6506							
6510							
6514							

Resumo da base de dados da rede de distribuição de água - Red_Agua.

ID	IDADE	MATERIAL	TIPO_REDE	DIAMETRO	PINICIO	PFIM	COTA_INICIO	COTA_FIM	CRITICO
164	3	3	3	50					5
145	2	1	2	200					3
151	2	3	3	50					4
1255	3	3	3	50					5
255	2	3	3	75					4
259	2	3	3	50					4
287	3	3	3	50					5
265	1	2	1	250					1
238	1	1	2	200					1
368	3	3	3	50					5
31	3	3	3	50					5
136	3	3	3	50					5
140	3	3	3	75					5
147	3	3	3	75					5
155	3	3	3	50					5
584	3	3	3	50					5
588	2	3	3	75					4
581	1	1	2	200					1
595	2	3	3	50					4
1275	3	3	3	50					5