

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**CONTRIBUIÇÃO À MODELAGEM DE UM SISTEMA DE
GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO DE RODOVIAS
NÃO PAVIMENTADAS EM EMPREENDIMENTOS DE
EXPLORAÇÃO FLORESTAL**

Paulo Ricardo Rodrigues Pinto

Porto Alegre
2009

PAULO RICARDO RODRIGUES PINTO

**CONTRIBUIÇÃO À MODELAGEM DE UM SISTEMA DE
GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO DE RODOVIAS NÃO
PAVIMENTADAS EM EMPREENDIMENTOS DE
EXPLORAÇÃO FLORESTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia. Orientação: Prof. Dr. Jorge Augusto Pereira Ceratti.
Orientação: Prof. Dr. Washington Peres Núñez.

Porto Alegre
2009

P659c Pinto, Paulo Ricardo Rodrigues

Contribuição à modelagem de um sistema de gerenciamento da manutenção de rodovias não pavimentadas em empreendimentos de exploração florestal / Paulo Ricardo Rodrigues Pinto. – 2009.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2009.

Orientadores: Prof. Dr. Jorge Augusto Pereira Ceratti e Prof. Dr. Washington Peres Núñez

1. Rodovias não pavimentadas - Manutenção. 2. Rodovias - Gestão. 3. Rodovias – Aspectos ambientais. I. Ceratti, Jorge Augusto Pereira, orient. II. Núñez, Washington Peres, orient. III. Título

CDU-625.8(043)

PAULO RICARDO RODRIGUES PINTO

**CONTRIBUIÇÃO À MODELAGEM DE UM SISTEMA DE
GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO DE RODOVIAS NÃO
PAVIMENTADAS EM EMPREENDIMENTOS DE
EXPLORAÇÃO FLORESTAL**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Geotecnia, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, 28 de agosto de 2009.

Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti
DSc.pela COPPE-UFRJ
Orientador

Prof. Washington Peres Núñez
Dr. pela UFRGS
Orientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
PhD pela University of Leeds, Grã Bretanha
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luciano Pivoto Specht (UNIJUÍ)
Dr. pela UFRGS

Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna (UFRGS)
PhD. pela University of Oxford, Inglaterra

Prof. Luiz Antônio Bressani (UFRGS)
PhD. pela University of London. Inglaterra

Prof^ª. Suyen Matsumura Nakahara (UFRGS)
Dr.^a. pela EPUSP

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Ciso e Marilene, e
aos meus irmãos e irmãs;
à minha esposa Ionara e
meus filhos Talita e Emanuel:
este trabalho é integralmente dedicado a vocês.

*Ando devagar porque já tive pressa
E levo esse sorriso
Porque já chorei demais
Hoje me sinto mais forte
Mais feliz quem sabe
eu só levo a certeza de que muito pouco eu sei
Nada sei
Conhecer as manhas e as manhãs
O sabor das massas e das maçãs
É preciso amor pra poder pulsar
É preciso paz pra poder sorrir
E é preciso a chuva para florir
Penso que cumprir a vida seja simplesmente
Compreender a marcha e ir tocando em frente.
Como um velho boiadeiro levando a boiada,
Eu vou tocando os dias pela longa estrada, eu vou,
Estrada eu sou*

Tocando em frente (Almir Sater e Renato Teixeira)

AGRADECIMENTOS

Ao chegar até esse ponto da vida, da formação intelectual e profissional, não me resta outra conclusão: a de que a Providência Divina pontilhou toda minha existência de pessoas – companheiros, amigos, mestres, orientadores e gurus – e oportunidades que moldaram a maneira de eu ser e chegar onde cheguei. Sou-Lhe muito grato.

Ao Prof. Dr. Jorge Augusto Pereira Ceratti, orientador nesta jornada, pela paciência e confiança no desiderato deste trabalho. E ao Prof. Dr. Washington Peres Nuñez, dileto amigo e companheiro, incentivador desde as primeiras horas, agradeço-lhe pela disposição, compreensão, apoio e pela crítica sempre bem-vinda, se cheguei até aqui é porque acreditastes em mim, quando convidou e incentivou a fazer o mestrado.

À Banca Examinadora, os Prof. Luciano Pivoto Specht (UNIJUÍ), Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna (UFRGS), Prof. Luiz Antônio Bressani (UFRGS), à Prof^a. Suyen Matsumura Nakahara (UFRGS), pelo feliz momento em que a Providência os colocou em meu caminho, já nos conhecíamos de antes e de alguma maneira esse venturoso encontro contribuiu para esse trabalho. Agradeço o tempo investido, à disposição e às horas dedicadas à leitura crítica desta pesquisa, pelas gentis palavras, pelas valiosas contribuições e sugestões.

À Direção do Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem, nas pessoas dos Srs. Roberto Niederauer, José Luiz Rocha Paiva, Eudes Missio, Gilberto Cunha e Vicente Britto Pereira, pela dispensa para frequentar o Mestrado, e aos colegas do DAER. Ao Niederauer e à Nancy pelo apoio e incentivo e pela oportunidade de convivência e confiança depositada.

A minha grande família: meus pais, Ciso Pinto e Marilene, em reconhecimento aos seus esforços e sacrifícios para oportunizar educação superior aos oito filhos; aos meus sete irmãos e irmãs: FuzNaval e Adv. José Cimar, Bioq. Myriam Christine, Med. Márcia Beatriz, MSc. Luis Felipe, Bioq. e Odont. Ana Lúcia, Publ. Antônio Fernando e o CComp. Tarcisio (o ‘Tio Tatá’ pelo auxílio para decompor e entender o problema). À minha esposa Ionara Barcellos Amaral, pelo amor e dedicação imensuráveis, compreensão e tolerância com a bagunça e desarrumação do ‘escritório’, e pelo incentivo, sacrifício e esforço incansável para tornar esse sonho real. À Talita e ao Emanuel, por me aceitarem como parte de sua família. E à família Barcellos Amaral, em especial à Vó Maria, que me acolheu como um dos seus.

Aos companheiros e amigos Prof. Dr. Régis Martins Rodrigues, Prof. Dr. Fernando Pugliero, MSc. Elemar Taffe Jr., Eng. Paulo Francisco (Chiquinho) pela paciência, pelas longas horas de discussão, pelos ensinamentos e disposição. Agradeço pela oportunidade e disponibilização dos *softwares* de propriedade da Pavesys, o SGP e o SGM.

Ao World Bank eu credito um imenso reconhecimento, por sua política de disseminação de conhecimento e disponibilização de publicações de forma gratuita e acessível, tornando quase universal suas publicações. E aos amigos que fiz no Banco Mundial, Aymeric-Albin Meyer, Jacques Cellier, Jean-Claude Sallier, Rodrigo Archondo-Callao e César Queiroz, pela confiança depositada, ensinamentos e experiências compartilhadas, pelas longas conversas e discussões, paciência ao longo do aprendizado, e especialmente pela intermediação junto aos especialistas no assunto.

Aos professores do mestrado, aos servidores do PPGEC, e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tenho certeza que não foi fácil a administração desse estudante serôdio e cheio de compromissos profissionais, pela acolhida, paciência e pela compreensão. Aos colegas do mestrado no PPGEC e PPGEF, entre os quais os ‘sem-soninhos’ agora Mestres Fábio, Samuel e Amanda.

E a todos os amigos *in corde* que permanecerão inominados, pelo incentivo, pelo carinho, pela amizade e pela compreensão. Sou reconhecido e agradecido a todos que contribuíram, de uma forma ou outra, para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

PINTO, Paulo R. R. Contribuição à Modelagem de um Sistema de Gerenciamento da Manutenção de Rodovias Não Pavimentadas em Empreendimentos de Exploração Florestal. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Tudo que merece ser mantido e preservado merece ser gerenciado e o gerenciamento da manutenção alcança seu ápice quando tratado na forma de sistema. A sistematização do gerenciamento da manutenção, em que pese ser uma abordagem relativamente recente na ciência e envolver a aproximação dos níveis estratégico e operacionais, é considerada essencial na busca de vantagens competitivas, redução de custos, confiabilidade na produção e prestação de serviços. Desde que as rodovias são consideradas um patrimônio e como tal digno de preservação e gerenciamento, mister que essa gerência da manutenção seja conduzida de forma sistêmica. As rodovias, no caso presente, são as rodovias não pavimentadas localizadas no âmbito de empreendimentos de exploração florestal para extração de celulose. Esse estudo apresenta uma proposta conceitual para a modelagem de um sistema de gerenciamento da manutenção de rodovias não pavimentadas no âmbito de empreendimentos de exploração florestal para extração de celulose. Nesse processo, o estudo tratará de sistemas de gerenciamento da manutenção de rodovias, particularizando os entendimentos de sistemas, gerenciamento e manutenção aplicados às rodovias, assim como apresentará uma visão particularizada da evolução do gerenciamento da manutenção e tratará das abordagens do gerenciamento da manutenção em nível de rede e de projetos. As rodovias não pavimentadas é outro tópico tratado destacando-se as abordagens relacionadas à caracterização e importância dessas rodovias, o conceito de serventia aplicado às rodovias não pavimentadas, os mecanismos de deterioração, modelos de previsão de desempenho e alternativas de manutenção para essas vias, assim como benefícios associados à manutenção, caminhos para priorização seja das intervenções, seja para a seleção das vias, e análises econômicas e financeiras. Outra seção tratará dos empreendimentos florestais de exploração de celulose, oferecendo uma visão geral desses empreendimentos, um panorama do sistema de colheita florestal, trará uma discussão sobre a manutenção de rodovias em empreendimentos privados e as vantagens econômicas de gerenciar a manutenção de redes de rodovias não pavimentada. Todos os conceitos tratados anteriormente são os fundamentos do sistema de gerenciamento da manutenção de rodovias não pavimentadas que se propõe, entre os quais a utilização da ferramenta ‘Relational Unified Process’, uma proposta para condução do processo de gerenciamento da rede não pavimentada, sugestões de políticas e alternativas de intervenções de manutenção, e formas de encaminhamento para a apropriação de dados relativos à frota de veículos e à condição da rede de rodovias. Apresentam-se, ainda, propostas de árvores de decisão para seleção de intervenções de manutenção, conforme a extensão e severidade dos defeitos identificados.

PALAVRAS-CHAVE

Palavras-chave: rodovias não pavimentadas; rodovias florestais; gerenciamento da manutenção de rodovias; sistema de gerência; modelos de desempenho.

ABSTRACT

PINTO, Paulo R. R. Contribution for Modeling an Unpaved Roads Maintenance Management System within an Entrepreneurship of Forestry Exploration. 2009. Dissertation (Master in Engineering) – Program of Graduation in Civil Engineering, UFRGS, Porto Alegre.

Everything that deserves to be maintained and preserved, deserves to be managed, and the maintenance management reaches its highest level when we deal with it as a system. The systematization of the maintenance management – although it is quite a recent approach as a subject of science that demands putting the strategic and operational levels closer – is considered essential in the search for certain competitive advantages like cost reduction, production pipeline reliability, and service providing. Since roads are viewed as assets worth preserving and managing, such managing has to be carried out in a systemic way. The roads here are the unpaved roads located into forestry exploration entrepreneurship for cellulose extraction. This research presents a conceptual proposal to model an unpaved road maintenance management system located into forestry exploration entrepreneurship for cellulose extraction. This research deals with road maintenance management systems, management and maintenance applied to roads as well as presents a particular point of view related to the evolution of the road maintenance management, and it also deals with the two approaches related to maintenance management, the network-level and the project-level approaches. This work also deals with unpaved roads, characterization and importance of such roads, an approach on the concept of serviceability applied to unpaved roads, mechanisms of deterioration, models to forecast performance, and alternatives of interventions addressed to maintain those roads. It also pinpoints benefits associated with the maintenance, ways to prioritize interventions or roads, and some economic and financial analysis. It also works with the forestry exploration entrepreneurship for cellulose extraction, shows a broad vision of that entrepreneurship, approaches the forestry harvesting system, brings a brief discussion about the road maintenance under private entrepreneurs and discusses economic advantages of managing the maintenance of unpaved road network. All concepts previously discussed are the foundation of the proposed unpaved road maintenance management system. Among such concepts is the use of Relational Unified Process tool, a proposal addressed to carry on the unpaved road network management process, suggestions for maintenance polices and alternatives of maintenance interventions, and ways of collecting data related to the vehicle fleet and the condition of the road network. At the end, it presents some decision trees addressed to the selection of maintenance interventions, such trees take into account the length and the severity of the defects identified.

KEYWORDS

Keywords: unpaved roads; forestry roads; road maintenance; maintenance management system; performance models.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	12
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Problema de Pesquisa e Justificativa.....	14
1.2 Objetivos	15
1.3 Metodologia.....	16
1.4 Abrangência e Delimitação do Assunto	16
1.5 Estrutura da Dissertação	17
2 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO DE RODOVIAS	19
2.1 Sistemas de Gerenciamento da Manutenção	19
2.1.1 <i>Sistemas, Gerenciamento e Manutenção</i>	19
2.1.2 <i>Sistemas de Gerenciamento e Sistemas Especialistas</i>	25
2.1.3 <i>O Gerenciamento da Manutenção</i>	29
2.2 O Gerenciamento da Manutenção de Rodovias	33
2.3 A Evolução do Gerenciamento da Manutenção de Rodovias	39
2.3.1 <i>A Conserva Responsiva e Emergencial</i>	40
2.3.2 <i>A Priorização das Intervenções de Manutenção</i>	42
2.3.3 <i>O Gerenciamento das Intervenções de Manutenção</i>	42
2.3.4 <i>Gerenciamento de Projetos de Manutenção</i>	44
2.4 Níveis de Gerência em Manutenção de Rodovias.....	45
2.4.1 <i>Gerenciamento em Nível de Rede</i>	46
2.4.2 <i>Gerenciamento em Nível de Projeto</i>	49
2.4.3 <i>Comparação Entre as Abordagens</i>	50
2.5 Sistemas de Gerenciamento da Manutenção de Rodovias	52
3 RODOVIAS NÃO PAVIMENTADAS	57
3.1 Caracterização	57
3.2 Importância.....	60
3.3 O Conceito de Serventia em Rodovias Não Pavimentadas.....	63
3.4 Mecanismos de Deterioração	66
3.4.1 <i>Deterioração em Regime Seco</i>	68
3.4.2 <i>Deterioração em Regime Úmido</i>	69
3.4.3 <i>Deterioração em Regime Úmido e Camada de Revestimento Deficiente</i>	69
3.4.4 <i>Deterioração em Regime Úmido com Camada de Subleito Deficiente</i>	70
3.5 A Manutenção em Rodovias Não Pavimentadas	72
3.6 Modelos de Previsão de Deterioração e Desempenho	74
3.6.1 <i>A Evolução da Irregularidade Longitudinal</i>	74
3.6.2 <i>O Efeito da Laminagem ou Patrolamento</i>	76

3.6.3	<i>A Irregularidade Média Durante o Ano de Análise</i>	78
3.6.4	<i>Os Ciclos de Conservação da Irregularidade</i>	80
3.6.5	<i>A Perda de Material</i>	81
3.6.6	<i>A Obturação de Depressões</i>	82
3.7	Os Benefícios da Manutenção	83
3.7.1	<i>Vida Restante e Valor Residual</i>	84
3.7.2	<i>Custos para os Usuários das Rodovias</i>	85
3.8	Priorização de Intervenções	89
3.9	Análise Econômica das Alternativas	90
4	EMPREENDIMENTOS FLORESTAIS DE EXPLORAÇÃO DE CELULOSE.....	94
4.1	Considerações Preliminares	94
4.2	Breve Descrição do Sistema de Colheita Florestal	97
4.2.1	<i>Corte</i>	97
4.2.2	<i>Extração</i>	98
4.2.3	<i>Processamento</i>	99
4.2.4	<i>Transporte</i>	100
4.3	A Manutenção de Rodovias em Empreendimentos Privados	101
4.4	Vantagens Econômicas de Gerenciar a Manutenção da Rede	105
5	O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO PARA REDES DE RODOVIAS NÃO PAVIMENTADAS	107
5.1	<i>O Relational Unified Process</i>	107
5.2	Conhecimento da Rede Não Pavimentada	109
5.2.1	<i>Levantamento da Rede</i>	109
5.2.2	<i>Frota de Veículos</i>	110
5.2.3	<i>Levantamento de defeitos</i>	111
5.3	Políticas de Manutenção	118
5.3.1	<i>As Intervenções de Manutenção</i>	118
5.3.2	<i>Serviços de Manutenção</i>	121
5.4	O Sistema de Gerenciamento da Manutenção Proposto	124
5.5	Modelo Conceitual de Dimensionamento e Manutenção	127
5.6	Os Dados da Rede Rodoviária	129
5.6.1	<i>Dados Genéricos</i>	129
5.6.2	<i>Dados Específicos</i>	130
5.7	Os Dados da Frota de Veículos	131
5.7.1	<i>Dados Genéricos</i>	131
5.7.2	<i>Dados Específicos</i>	131
5.8	Os Dados das Intervenções e Políticas de Manutenção	131
5.8.1	<i>Dados Genéricos</i>	132
5.8.2	<i>Dados Específicos</i>	132
5.9	Árvores de Decisão	132
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	142
	REFERÊNCIAS	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de Manutenção	24
Figura 2: Esquema básico de um sistema de gerenciamento da manutenção	31
Figura 3: Estrutura básica conceitual do gerenciamento de rodovias	34
Figura 4: HDM-4 Arquitetura do Sistema.....	35
Figura 5: Comparação das estratégias preservar versus deixar deteriorar.....	36
Figura 6: Evolução dos custos em função da condição do pavimento	37
Figura 7: Esquema de gerenciamento de redes	41
Figura 8: Esquema clássico de um sistema de gerência de pavimentos.....	55
Figura 9: Inter-relacionamento entre áreas rurais e urbanas.....	61
Figura 10: Processo de deterioração em rodovias não pavimentadas	67
Figura 11: Efeito intervalo de patrolamento sobre a irregularidade.....	81
Figura 12: Feller-Buncher	98
Figura 13: Skidder	98
Figura 14: Forwarder	99
Figura 15: Descascador	99
Figura 16: Harvester	100
Figura 17: Carregador de Esteira.....	100
Figura 18: Carregador de Rodas.....	101
Figura 19: Ábaco para aplicação da metodologia URCI.....	112
Figura 20: Ilustração do defeito atoleiro.....	114
Figura 21: Ilustração do defeito trilha de roda	115
Figura 22: Ilustração do defeito segregação de agregados	116
Figura 23: Ilustração do defeito buracos e painelas.....	117
Figura 24: Ilustração do defeito drenagem lateral	117
Figura 25: Representação de subidas e descidas ao longo de um trecho	125
Figura 26: Representação dos ângulos centrais ao longo de um trecho.	125

Figura 27: Sistema conceitual para avaliação de dimensionamento e manutenção	128
Figura 28: Árvore de decisão para o defeito ‘atoleiro’	133
Figura 29: Árvore de decisão para o defeito ‘trilha de roda’	134
Figura 30: Árvore de decisão para o defeito ‘corrugação’	135
Figura 31: Árvore de decisão para o defeito ‘segregação de agregado’	136
Figura 32: Árvore de decisão para o defeito ‘abaulamento’	137
Figura 33: Árvore de decisão para o defeito ‘panelas’	138
Figura 34: Árvore de decisão para o defeito ‘drenagem longitudinal’	139
Figura 35: Defeito ‘atoleiro’, Extensão (Média) e Severidade (Tolerável).....	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Referência para os vários tipos de laminagem	78
Tabela 2: Parâmetros de referência para diversos traçados de rodovia.....	129
Tabela 3: Parâmetros de referência para diversos tipos de materiais	130

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possuiu uma área aproximada de 528,383 milhões de hectares de florestas nativas ricas em biodiversidade e aproximadamente 4,750 milhões de hectares de reflorestamento, sendo 2,920 milhões com espécies de *Eucalyptus spp.*, 1,690 milhão de *Pinus spp.* e 138 mil hectares de outras espécies. O setor florestal brasileiro tem como seus principais produtos: madeira roliça, serrados, painéis, chapas de fibras, laminados, carvão e celulose. Essa produção precisa ser escoada desde o ponto de colheita até as indústrias beneficiadoras, passando por rodovias internas, vicinais, coletoras e troncais.

Para que esses produtos alcancem competitividade nacional ou internacional, a redução das despesas com transporte deve se constituir em processo ininterrupto, tanto quanto a busca por reduzir a participação de outros fatores na composição de custo dos produtos. Isto se evidencia nos sistemas computacionais para o gerenciamento da produção, do plantio, da colheita, dos recursos hídricos. Entretanto, na medida em que esses sistemas de gerenciamento se impõem e assumem as redes da produção, percebe-se a pouca atenção dispensada ao transporte que vai desde o local de colheita até a porteira.

Menos atenção ainda se verifica em relação ao gerenciamento da manutenção das vias internas não pavimentadas. Após um enorme investimento em pesquisa e tecnologia para aumento e melhoria da produção e da qualidade do produto, não poucas vezes, todo esse esforço é desperdiçado nas vias internas ou de ligação entre o ponto de armazenagem até a saída lavoura, fazenda, granja ou outra unidade de exploração econômica.

Mais grave ainda é que, a partir do preço final do produto, definido pelo mercado, inicia-se uma conta inversa de retirada de parcelas, entre as quais, as dos custos de armazenagem, de embarques e desembarques, do transporte marítimo, rodoviário ou ferroviário e outros. Aquilo que sobra corresponde ao que o produtor recebe para cobrir despesas com plantio, armazenagem, transportes internos, insumos, combustíveis e todos os demais custos. Isto sem incluir as taxas de importação, exportação, subsídios, isenções e outras. Por isto, muitas vezes

se ouvem notícias de que o montante recebido pelo produtor é inferior aos custos de produção. Anos seguidos de prejuízo determinam o empobrecimento rural e a perda de competitividade.

Há que se perceber que a deficiência no gerenciamento dessa rede não pavimentada vai ocasionar prejuízos não somente à empresa e ao empreendimento, mas também às comunidades circunvizinhas que dela dependem, à região econômica onde o negócio se estabelece, ao estado e à própria nação. As perdas mais perceptíveis são as econômicas, mas perde-se com a evasão de investimentos, com a redução dos postos de trabalho, com a piora da qualidade de vida, com o isolamento econômico.

Empreendimentos gerencialmente sustentáveis são fatores de desenvolvimento, geração de empregos e de melhoria na qualidade de vida. Pretende-se, com o presente estudo, propor a modelagem de um sistema computacional para o gerenciamento das atividades de manutenção de uma rede rodoviária não pavimentada em um empreendimento de exploração florestal, tomando por referência a extração de celulose. Com este propósito, abordam-se as variáveis principais, os processos de deterioração das rodovias, as medidas de correção e os processos de decisão associados às intervenções de manutenção, os modelos utilizáveis, as alternativas de intervenções possíveis.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

O problema de pesquisa sustenta-se no fato de que, no Brasil, ainda são poucos os estudos voltados ao desenvolvimento de sistemas computacionais para o gerenciamento da manutenção de redes rodoviárias não pavimentadas e, mais especificamente, aplicáveis à empreendimentos de exploração florestal. De modo semelhante a outros sistemas de gerenciamento, este ora em estudo pode se converter em uma vantagem competitiva para o empreendimento tanto quanto pode provê-lo de uma ferramenta necessária e suficiente para a redução de custos, para a melhoria nas políticas de manutenção de rodovias e para a redução da impedância ao transporte.

Nesse contexto, aprofunda-se o estudo no tema, avaliando os fatores preponderantes, importantes ou relevantes a serem considerados no gerenciamento de uma malha não pavimentada, sob a ótica de um empreendimento de exploração florestal. Propõem-se, pois, o

seguinte questionamento: Quais os principais fatores a serem considerados no desenvolvimento de um sistema computacional para o gerenciamento de uma rede de rodovias não pavimentadas, sobretudo considerando-se um viés dessa rede não pavimentada no âmbito de um empreendimento de exploração florestal?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho de pesquisa é contribuir para a modelagem de um sistema computacional para o gerenciamento da manutenção de uma rede rodoviária não pavimentada em um empreendimento florestal, tomando por referência a extração de celulose.

Objetivos específicos são:

- compreender o processo de degradação das rodovias não pavimentadas, causada por tráfego e cargas, variáveis ambientais, estrutura das rodovias, capacidade de suporte e resistência ao desgaste e deterioração;
- buscar modelos matemáticos capazes de descrever o comportamento dessas estruturas rodoviárias, que auxiliem na previsão de seus desempenhos futuros;
- sugerir um conjunto de alternativas de intervenções, capazes de constituir uma verdadeira política para a manutenção das rodovias, conforme os defeitos apresentados;
- propor um conjunto de rotinas de alternativas de encaminhamento dos processos de manutenção, de forma a obter, como resultado final, o indicativo de um conjunto de intervenções a serem realizadas, uma estimativa dos desembolsos, e os benefícios de adoção de uma ou outra alternativa de manutenção;
- discutir os modelos oferecidos pelo *Highway Design and Maintenance Model* (HDM-III) e *Highway Development & Management* (HDM-4), para aplicação ao gerenciamento de redes não pavimentadas em empreendimentos florestais.

1.3 METODOLOGIA

Do ponto de vista de sua natureza, o método de pesquisa adotado enquadra-se na categoria de pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa. Quanto ao objetivo, a presente pesquisa é classificada como pesquisa exploratória, pois objetiva proporcionar maior familiaridade com o tema ou problema (GIL, 1991), por estar fundamentada na revisão bibliográfica sobre o assunto.

Assim como muitos temas interdisciplinares, esse é fascinante, instigante e desafiador. Eis que demanda olhar – tanto isoladamente quanto de forma conjunta – os diversos saberes envolvidos, tais como sistemas, gerenciamento e manutenção em sentido lato, sistemas informatizados de gerenciamento, atividades para manutenção, redes rodoviárias, rodovias não pavimentadas, empreendimentos de exploração econômica. Face a isto, a pesquisa estende-se além do convencional a fim de contemplar e discutir as principais variáveis envolvidas.

Buscou-se suporte nas áreas de sistemas de gerência e sistemas de manutenção, sistemas computacionais, modelos de previsão de desempenho, rodovias não pavimentadas, manutenção de rodovias, análises econômicas, entre outras. A primeira tarefa, e talvez a mais dura, foi a seleção e exclusão de referências bibliográficas sobre os assuntos mencionados, justamente para se identificarem e compilarem os diversos saberes dispersos, ao ponto de se construir um bloco consistente e aplicável.

Optou-se por inserir a revisão da literatura junto aos diversos capítulos, de forma a dar sustentação ao método e aproximar as referências bibliográficas do tópico em discussão, a fim de promover a aproximação entre a literatura considerada e as diversas áreas tratadas pela pesquisa.

1.4 ABRANGÊNCIA E DELIMITAÇÃO DO ASSUNTO

A pesquisa buscou uma visão ampla de todo o processo envolvido. Ao estabelecer como meta essa visão geral, não permitiu muito aprofundamento, senão nas áreas mais relacionadas ao gerenciamento das atividades de manutenção e modelos de previsão de deterioração e desempenho. Buscou-se também orientar o processo de encaminhamento de levantamentos da rede, definição de elementos para o sistema de gerenciamento e, de forma seminal, a sugestão

de um conjunto de intervenções para manutenção das rodovias. Teve-se a intenção de aqui lançar os primeiros fundamentos, para posterior desenvolvimento do sistema conceitualmente proposto.

O estudo não construiu o modelo completo computadorizado para a gerência de redes não pavimentadas nem avançou sobre questões de elaboração de *softwares* e codificação de sistemas de computação. Como forma de subsidiar e facilitar aqueles que pretendem seguir os caminhos abertos por esse trabalho, foram feitas algumas referências à engenharia de *software* envolvida, aos requisitos de dados mínimos, aos modelos disponíveis, entre outros.

O estudo restringiu-se à discussão dos fatores e variáveis considerados relevantes para modelagem, tais como políticas de manutenção, programação de recursos e previsão de desempenhos. Nesse mesmo caminho, promoveram-se algumas considerações sobre os diversos modelos disponíveis, suas vantagens e desvantagens. A solução deve, no entanto, ser customizada para cada tipo de problema. Tem-se que os modelos estão disponíveis e a proposta conceitual apenas os customizou.

São apresentadas diversas ponderações conceituais, ao se tratar das análises em nível de rede e de projeto, ou a questão do custo total de transporte para agências, usuários, concessionários ou proprietários de redes viárias, e relacionadas com a priorização das intervenções e dos investimentos.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente estudo estrutura-se em seis capítulos. O Capítulo 1, de Introdução, apresenta a importância do tema e sua localização no atual ambiente da Engenharia de Transportes; a proposta do trabalho; os objetivos; a metodologia de pesquisa utilizada, a abrangência e a delimitação do assunto.

O Capítulo 2, Sistemas de Gerenciamento da Manutenção de Rodovias, oferece uma visão abrangente de sistemas, gerenciamento e manutenção. O Capítulo 3, As Rodovias Não Pavimentadas, trata de caracterização e importância destas rodovias; mecanismos de deterioração e estratégias de manutenção; modelos de previsão de deterioração e desempenho; benefícios da manutenção; priorização das intervenções; aspectos da análise econômica das alternativas.

No Capítulo 4, Empreendimentos Florestais de Exploração de Celulose, apresenta-se o ambiente no qual se insere o tema da pesquisa. O Capítulo 5, Sistema de Gerenciamento da Manutenção para Redes de Rodovias Não Pavimentadas, consolida os tópicos discutidos até esse ponto, em especial, a proposta de abordagem por meio do *Relational Unified Process*; o inventário da rede não pavimentada; as políticas de manutenção; o sistema de gerenciamento da manutenção proposto; o modelo conceitual; a aquisição de dados relacionados com a rede de rodovias e com a frota de veículos; as intervenções e as políticas de manutenção. Ao final do capítulo apresentam-se diversas árvores de decisão elaboradas com base na literatura e na experiência do autor. No Capítulo 6, estão as conclusões e sugestões para a continuidade dos estudos.

2 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO DE RODOVIAS

Esta seção aborda diversos conceitos considerados relevantes para o presente trabalho, entre eles sistemas, gerenciamento e manutenção, os quais são aprofundados para sistemas de gerenciamento e para gerenciamento da manutenção. O gerenciamento da manutenção de rodovias é tratado genericamente e através dele se procura demonstrar que gerenciar a preservação de bens ou serviços insere-se num conjunto de conceitos tratados de forma sistemática ou sistêmica. Apresenta-se também uma visão particularizada da evolução do gerenciamento da manutenção. Segue com a abordagem dos níveis de gerenciamento considerados na manutenção de rodovias – de rede e de projeto – e uma comparação entre eles. Conclui-se o capítulo com a visão geral de sistemas de gerenciamento para a manutenção de rodovias.

2.1 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO

Esta subseção busca demonstrar que o processo sistemático de gerenciamento da manutenção, embora recente, já conta com um arcabouço teórico a lhe dar suporte. O gerenciamento da manutenção ainda cria, contudo, algum constrangimento, vez que une as áreas estratégicas e operacionais de uma organização, obrigando os gerentes a pensarem como operadores do sistema e os responsáveis pela manutenção a pensarem como administradores. Promove-se também uma breve distinção entre sistemas de gerenciamento e sistemas especialistas e uma abordagem sobre o gerenciamento da manutenção.

2.1.1 Sistemas, Gerenciamento e Manutenção

O patrimônio das empresas pode ser avaliado por seu patrimônio físico e tangível, pelo patrimônio intangível, ou por uma composição de ambos. Entende-se por patrimônio físico ou bem tangível as instalações e os equipamentos, os estoques de produtos acabados ou matérias

primas e o capital financeiro depositado ou a realizar. Por patrimônio intangível, entende-se o capital intelectual e tecnológico (predominante em empresas fabricantes de *software* como Google, Microsoft, Adobe, ou em empresas de consultoria e auditoria como JPMorgan, Goldman Sachs, Merrill Lynch, McKinsey), pelos clientes atuais ou potenciais e pela marca da empresa cujo nome fala por si mesmo (como IBM, Dell, Ferrari, Caterpillar e Gillette). Não há como se falar em patrimônio sem se falar em gerenciamento e manutenção.

Empresas grandes ou pequenas aplicam-se, em maior ou em menor grau, ao gerenciamento (promoção do crescimento, melhor utilização dos recursos, esforço contra os desperdícios) e na manutenção (minimizar e conter o desgaste e a degradação, estender a vida de serviço, reduzir os custos por quebras e interrupções, oferecer estabilidade aos processos produtivos) para manter e fazer crescer seu patrimônio. O melhor é quando esses esforços podem ser maximizados ao serem tratados de forma sistemática ou de sistema. Eis por que se fala em sistemas de gerenciamento para recursos humanos, da marca, de clientes, de ativos, financeiro, de estoques, de forma semelhante ao que se faz com o gerenciamento de instalações, recursos, estoques, matéria prima. Tudo que vale o esforço de ser gerenciável deve ser mantido.

2.1.1.1 Sistemas

A necessidade de o homem entender a natureza – seja para minimizar seus efeitos sobre as colheitas, seja para prever eventos que se sucediam aparentemente de forma errante – determinou que passasse a coletar dados, agrupá-los, organizá-los, estruturá-los, decompô-los para então tentar explicá-los e assim se antecipar aos acontecimentos. Diz-se que os Sumérios, por volta de 2.500 a.C., estruturaram a contagem dos dias de maneira que pudessem prever as estações, organizar as plantações e colheitas, antecipar-se à chegada da temporada das chuvas e das cheias, ou do clima mais frio. Tal sistema foi posteriormente chamado de calendário.

Essa busca, ainda que intuitiva, por um ordenamento ou encadeamento lógico de eventos que se sucedem representa uma das primeiras tentativa de ‘sistematização’. De acordo com Houaiss (2001), a palavra sistema, de origem grega, designa ‘reunião, juntura’. Ela já aparece em Aristóteles [384 a.C.-322 a.C.], expressando “um corpo no seu conjunto” e, em Platão [428 a.C.- 347 a.C.], para designar “conjunto de doutrinas, de instituições, constituição política”. Em sua evolução, a expressão passou a representar um conjunto de elementos

interdependentes que interagem com objetivos comuns formando um todo. A palavra evoluiu como a própria humanidade. Aparece em Agostinho [354 – 430], em o homem anômico ou desorganizado, e sua vocação natural para o homem pleno e integral, da *Civitas Diaboli*, para a *Civita Dei*. Aparece no *Leviatã*, de Hobbes [1587-1666], para demonstrar a organização humana e a estruturação da sociedade e da *polis*. Ela também é usada por Webber, Watt, Newton, Galileu, Lincoln.

No apanhado histórico que Drucker (1986) faz sobre a evolução do gerenciamento, verifica-se que os Estados Unidos, por ocasião da 2ª Guerra Mundial e, posteriormente, na Guerra Fria, buscavam se antecipar às ações do lado oposto, tendo sido envidados diversos esforços no sentido de formalizar previamente procedimentos ordenados conforme conceitos, funções, estruturas e processos. Havia a necessidade de antever, de forma ‘sistemática’, os eventos que se sucederiam caso uma determinada ação fosse adotada. Essas ferramentas de análise e previsão passaram a contar com duas ferramentas de apoio: a probabilidade e o grau de confiança da previsão. Nos anos 70, tudo que era moderno haveria de ser ‘sistêmico’ e a palavra sistema passou, então, a designar uma forma ordenada e estruturada de capturar uma realidade (sistemas respiratório, planetário, de saúde, de computação, de baixa ou alta pressão atmosférica, abastecimento, de camadas, de transporte).

A representação contida na descrição do sistema não é a própria realidade ou natureza, mas a redução dessa realidade, conforme permitido pelo nível de percepção e pelas ferramentas disponíveis (MYERS e KAPOSI, 2004), ou a redução ao nível de detalhamento para ordenamento dos eventos, previsão ou descrição do comportamento pretendido. Myers e Kaposi referem à existência de um ambiente complexo onde os eventos ocorrem, o qual será decomposto em favor da simplicidade e para que possa ser representado em termos de sistema. A partir do entendimento e descrição do sistema, desenvolvem-se modelos que procuram explicar e prever, de forma simplificada, o comportamento desse ambiente complexo.

No âmbito desse trabalho, adotou-se que sistema é um conjunto de elementos interdependentes que interagem com objetivos comuns, formando um todo, no qual cada um dos elementos componentes comporta-se como um sistema cujo resultado é maior do que o resultado que as unidades poderiam ter, se funcionassem independentemente. O advento da computação eletrônica conferiu nova significação ao termo ‘sistema’, pois, a partir de então, tornou-se possível realizar as mesmas atividades de forma muito mais rápida.

2.1.1.2 Gerenciamento

Conforme ressalta Peter Drucker (1986), referindo-se à expressão inglesa *management*, ou gerenciamento como a palavra é traduzida para a língua portuguesa, algumas definições podem ser tão adequadas quanto outras, a depender do enfoque que se pretende oferecer. Drucker, denominado ‘o pai do gerenciamento’, admite tratar-se de palavra genuinamente americana, difícil de ser traduzida mesmo para o inglês falado na Inglaterra. Ela está carregada do sentido prático dos colonos instalados no Novo Mundo, que dispõem os protocolos formalistas e processuais de seus conterrâneos do outro lado do Atlântico. Assim, este vocábulo ora denota função, ora obrigação, assim como pode denotar posição social e hierárquica ou se referir à disciplina e ao campo de estudo. Na mesma publicação, Drucker faz um apanhado e um histórico da evolução da palavra e da prática do gerenciamento. Drucker ressalta a tendência de definir gerenciamento no campo de atuação, por exemplo: gerenciamento de risco, gerenciamento de poços de petróleo, gerenciamento financeiro, para escapar das armadilhas de uma definição pura.

Entre as definições restritas à palavra gerenciamento, encontradas na revisão da literatura, está a de Alecian e Foucher (2001, p. 23) para quem gerenciamento é “a atividade que consiste em conduzir” um grupo de pessoas ao “atingimento comum de um ou diversos objetivos de acordo com as finalidades da organização”. Para Márquez (2007), gerenciamento é o processo de liderar e conduzir toda ou parte da organização, por meio do desdobramento e manejo dos recursos disponíveis (humanos, financeiros, materiais, intelectuais, ou intangíveis) a um objetivo estabelecido. Tais definições são um pouco mais amplas que a proposta por Chiavenato (2000, p. 5) para quem o gerenciamento é “fazer as coisas por meio de pessoas de maneira eficiente e eficaz”.

A expressão ‘conduzir’, em Alecian e Foucher (2001), pode ser bem substituída por ‘planejar, organizar ou coordenar, dirigir ou supervisionar e controlar’, de forma a comportar as funções do gerenciamento, os modelos organizacionais, os métodos e processos executivos e as técnicas de execução. As metas organizacionais são representadas em termos de variáveis como prazo, qualidade, custo e risco, buscando-se atingir eficiência, eficácia e efetividade. No âmbito desta pesquisa, entende-se que ‘eficiência’ significa fazer mais com menos ou dar plena utilização aos recursos disponíveis, ‘eficácia’ significa fazer bem feito ou atingir o desempenho esperado e a palavra ‘efetividade’ significa resolver o problema de forma eficiente e efetiva. Tem-se também que ‘adequada’ é a solução que resolve o problema.

No âmbito deste trabalho, o vocábulo gerenciamento representa o conjunto de atividades, envolvendo o planejamento, a organização ou coordenação, a direção ou supervisão e o controle para condução de um grupo de pessoas, de forma eficiente, eficaz e efetiva, visando ao atingimento de um ou diversos objetivos coerentes com as finalidades da organização. Promovendo-se uma simplificação ao proposto por Márquez (2007), há ainda duas outras etapas para o processo todo: a ‘execução’ apresentada como a função responsável por ‘fazer as coisas acontecerem’ e a ‘operação’ que é a função de ‘manter as coisas funcionando’ ou continuarem acontecendo.

O gerenciamento planeja, organiza, dirige e controla para as coisas acontecerem; a execução as faz acontecer; a operação as mantém acontecendo. Contudo, Bossidy e Charan (2004), em um livro cujo título é quase uma provocação – Execução: a disciplina para atingir resultados – introduzem o processo de execução como requisito básico ao bom gestor. Bossidy e Charan descartam os gerentes intelectuais, aqueles que são apenas estrategistas e não se envolvem com a execução.

Nunca é demasiado ressaltar a imperiosa necessidade de a organização estabelecer uma meta, um resultado ou um objetivo a ser alcançado, um lugar para onde vai se dirigir. Essa meta deve estar representada, tanto quanto possível, por um ou mais números tão amplos quanto os processos envolvidos e representativos das atividades da organização, associados a um conjunto de unidades relacionadas. Em termos rodoviários, por exemplo, esses números estão associados a custo de operação (a redução do custo médio da manutenção por quilômetro, por ano); conforto dos usuários (a manutenção de um índice de irregularidade em metros por quilômetro de rodovia); segurança (redução do número de acidentes por quilômetro, por ano) ou sintetizados no Índice de Serventia Atual, entre outros. Para que essas metas sejam atingidas é preciso manter a organização operando continuamente, com um mínimo de interrupções, aqui entra a manutenção.

2.1.1.3 Manutenção

Algo semelhante ao que ocorre com a palavra gerenciamento acontece com a palavra manutenção. A ela se atribuem diversos sentidos e entendimentos, muitos deles equivocados, ou dela se subtraem partes do significado. Para muitos, a manutenção é simplesmente uma atividade de conserto e reparo (obturação de buracos na rodovia, desobstrução de bueiros), ainda que essa seja uma de suas funções. Para outros, a manutenção deve ser preventiva e

evitar o desgaste prematuro (patrolamento e valetamento), em que pese a manutenção contemplar também essa finalidade. Para outros ainda, manutenção é o corre-corre, urgente e emergencial, para reparar algo que se esvai (a ruptura de um aterro, um escoamento superficial a provocar erosão), o que também faz parte da manutenção. A Figura 1 ilustra esses vários tipos da manutenção.

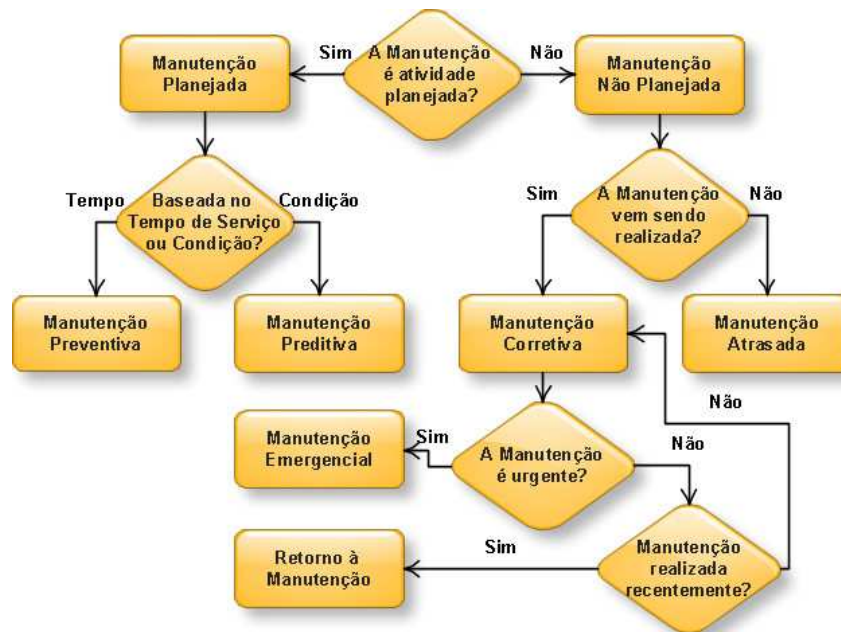


Figura 1: Tipos de Manutenção

Fonte: Adaptado de Cruzan (2009)

Conforme Dhillon (2006), em que pese o fato de a humanidade reparar, consertar ou prevenir coisas desde os primórdios, o surgimento da engenharia de manutenção é uma consequência do surgimento de máquinas mais complexas, neste caso, da invenção da máquina a vapor (1769) de James Watt (1736 – 1819), na Grã-Bretanha. Tão logo as máquinas a vapor demandaram a construção de estradas de ferro para se deslocarem com maior velocidade, houve a necessidade de publicar um compêndio sobre como manter máquinas e redes funcionando de forma adequada. Em 1882, nos Estados Unidos, na Revista *Factory*, surge a primeira referência à manutenção e, em 1886, surge a primeira publicação tratando da manutenção de ferrovias. Em Dhillon, a manutenção é definida como o conjunto de ações necessárias para preservar um item de equipamento ou restaurá-lo a uma condição especificada.

Para Helms (2006), manutenção é a conjugação de técnicas disponíveis e ações administrativas orientadas a poupar um item ou retorná-lo para um estado no qual possa desempenhar as funções para os quais foi criado. Ressalta o aspecto de as empresas, na busca de vantagem competitiva e ganhos de produtividade entre outros aspectos, haverem se voltado para a manutenção como forma de se diferenciarem de seus concorrentes em custos, qualidade, pontualidade e serviços. A manutenção passou a ser vista como uma das principais ferramentas de diferenciação, essencial para o desempenho e lucratividade dos sistemas de produção. A evolução apresentada na seção denominada ‘A Evolução da Gerência da Manutenção de Rodovias’ toma por referência as etapas propostas por Helms.

2.1.2 Sistemas de Gerenciamento e Sistemas Especialistas

No âmbito desse trabalho, preferiu-se a designação sistema de gerenciamento em detrimento à expressão sistema especialista, bem mais restrita. Na prática, entretanto, verifica-se a utilização das expressões sistemas de gerenciamento e sistemas especialistas indiscriminadamente, para a mesma função. Entendeu-se relevante, no âmbito dessa pesquisa, promover a distinção entre elas, especialmente para esclarecer a opção por uma designação em detrimento da outra.

De acordo com Haas e Hudson (1978) e Hudson *et al.* (1997), sistemas de engenharia compreendem um conjunto de conhecimentos, os quais vem sendo desenvolvidos e são reconhecidos como eficientes para planejamento, projetos e implementação de novos sistemas. Eles também se prestam para a estruturação de um novo conjunto de conhecimentos a partir de um sistema existente ou da modelagem da operação desse sistema.

O *Office of Technology Assessment* (OTA, 1991) inclui os sistemas de informação entre os sistemas de gerenciamento e trata os sistemas de apoio à tomada de decisão entre os sistemas especialistas (*Expert Systems*). O OTA faz a ressalva que tanto um quanto outro permitem diversas utilizações e são constituídos de inúmeras ferramentas, variando em uso, conforme a maior ou menor utilização de bancos de dados, a aplicação de inteligência artificial e de modelos de decisão.

A diferença mais significativa entre sistemas de gerenciamento e sistemas especialistas é a prevalência dos denominados bancos de dados no primeiro, os quais permitem aos gerentes definirem e programarem atividades prioritárias e elaborarem inúmeros relatórios gerenciais (OTA). Ainda em OTA, sistemas especialistas compõem-se de um ou alguns módulos

específicos, trabalham apenas com os dados necessários, demandam enorme poder de processamento e cálculos para os modelos de decisão e de inteligência artificial.

Verifica-se, contudo, que, em algum momento e até por vocação natural, um sistema de gerência, especialmente aqueles desenvolvidos para atuação em áreas tecnológicas, é compelido a avançar para além do simples gerenciamento e tornar-se *expert system* ou um sistema especialista. Sistemas especialistas, como opção para alargar seus horizontes, aumentarem o montante de dados para refinamento dos modelos de decisão, tomarão o rumo para se tornarem sistemas de gerenciamento.

Sistemas de gerenciamento na engenharia, por exemplo, não conduzem às decisões finais, dado que as alternativas oferecidas não chegam ao nível de detalhe e demandam refinamento por ‘especialistas’ em engenharia. Não são raros os casos em que a janela de viabilidade econômica e financeira aberta pelo sistema de gerência não é larga o suficiente para contemplar a solução técnica de engenharia demandada pela condição da rodovia, sendo esta tipicamente uma deficiência nesses sistemas. O sistema especialista faz a conta inversa, ao buscar a viabilidade econômica e financeira consistente com as necessidades técnicas, de forma que a solução técnica resolve apenas o problema localizado, deixando desassistidos inúmeros outros itens a serem mantidos.

É importante também perceber que, sistemas de gerência e especialistas utilizam, em maior ou menor escala, diversos modelos matemáticos. Muitos desses modelos já existiam ou estavam disponíveis, especialmente aqueles construídos sobre equações diferenciais. Eles, entretanto, não atingiam viabilidade prática por conta das inúmeras variáveis a serem tratadas ou da enormidade de cálculos requerida, ou ainda, por conta do tempo demandado para processar variáveis e cálculos. Esses obstáculos foram removidos com o advento da computação e, mais ainda, após a popularização do computador pessoal e a disponibilização de computadores mais rápidos a cada dia.

Mencionou-se, anteriormente, que sistemas especialistas trabalham apoiados de forma predominante sobre modelos de decisão, modelos matemáticos, modelos de análise, entre outros. De acordo com Vogt (2002), modelos teóricos da ciência, de inspiração lógica-matemática, são reducionistas por definição. Tais modelos, segundo Vogt e na mesma linha de Myers e Kaposi (2004), abstraem do fenômeno a ser explicado apenas as características relacionais com alto potencial de conceitualização e conseqüente poder de generalização.

Vogt ressalta que as modelagens são um produto dessa sofisticação teórica da ciência e o seu objetivo é constituir objetos mais simples com as ferramentas da matemática. Tais modelos prestam-se não apenas para uma compreensão adequada de um determinado fenômeno e de suas tendências no tempo, mas também a formulação de programas de intervenção que possam ordenar, organizar, mudar, prever e mesmo prevenir, no que diz respeito à sua ocorrência e seus desdobramentos, sejam eles físicos, naturais, sociais ou culturais.

2.1.2.1 Sistemas de Gerenciamento

Tomando-se por referências as definições apresentadas anteriormente, pode-se estabelecer que um sistema de gerenciamento é um conjunto de elementos interdependentes que interagem, formando um todo, objetivando o planejamento, a organização ou coordenação, a direção ou supervisão, o controle dos recursos disponíveis, de forma eficiente, eficaz e efetiva, para atingir um ou diversos objetivos estabelecidos. O que se pretende, neste trabalho, é um sistema que oriente o planejamento, a organização, a direção e o controle (ARANTES, 1998) das atividades de manutenção da rede – prestando-se de apoio à tomada de decisão por parte dos gerentes do empreendimento e como ferramenta de suporte aos donos do negócio.

Três ferramentas são consideradas essenciais para os sistemas de gerenciamento, para aumentar a eficiência das decisões, expandir os horizontes de análise, permitir análise de consequências e dar consistência às decisões tomadas nos diversos níveis da organização. Elas são os bancos de dados; os modelos de previsão do comportamento ou desempenho do patrimônio em análise; os módulos de análise e priorização das intervenções.

Os modelos de previsão, aplicados ao patrimônio registrado no banco de dados, processarão a avaliação preliminar das alternativas de intervenção em busca de economia, segurança e conforto, por meio de planejamento, programação, orçamentação, análises de custo no ciclo de vida, planos plurianuais de trabalho. Esses modelos podem ser elaborados com base na correlação de valores obtidos pela análise técnica (modelos matemáticos) ou conseguidos pela correlação de dados observados (probabilísticos) ou por uma composição de ambos. Os módulos de análise consolidam as diversas informações geradas a partir dos dois módulos anteriores e oferecem uma sequência de intervenções ou um conjunto de intervenções para otimizar os recursos disponíveis, para atingir determinada meta.

Para que possa desempenhar adequadamente as funções para as quais foi desenvolvido, precisa comportar, ao menos, um banco de dados composto dos itens do patrimônio a serem mantidos e os registros de entrada em operação, intervenções de manutenção sofridas ao longo da vida e condição atual desses itens. Os modelos de previsão devem permitir, com base no histórico de intervenções e condição atual, estimar o comportamento futuro e estabelecer novas medidas de manutenção ao longo dos anos seguintes. Ao fim, tem-se o plano plurianual de necessidades de manutenção e o orçamento para diversas estratégias submetidas à análise, permitindo a priorização dessas medidas, conforme diversos níveis de orçamento, para diversos desempenhos, de acordo com os custos no ciclo de vida, ou com base no custo-benefício das intervenções. As ordens de serviço expedidas devem retornar com o realmente executado, como forma de realimentar o sistema e permitir novas análises futuras.

Na medida em que os planos plurianuais (no nível estratégico) são transformados em programas de manutenção (ao nível tático), os projetos a serem implementados são convertidos em ordens de serviço (no nível operacional), e os processos vão agregando mais dados, informações e detalhes. Não raras as vezes, as medidas indicadas nos planos plurianuais e nos programas de manutenção (analisadas em termos econômicos e financeiros) não são suficientes para devolver o item à condição de desempenho estabelecida, basicamente por não serem os modelos de previsão adequados para reproduzir o comportamento do item.

2.1.2.2 Sistemas Especialistas

Sistemas especialistas são módulos menores ou subsistemas desenvolvidos para finalidades específicas dentro de um sistema de gerenciamento ou de informações. Dentre essas finalidades, estão as de inferir a proliferação de bactérias (num sistema de gerenciamento da saúde pública, por exemplo); fazer prognósticos da meteorologia (num sistema de gerenciamento meteorológico); modelar a contaminação das águas de um manancial (sistema de gerenciamento hídrico); especular o comportamento das ações de determinada empresa (sistema de gerenciamento de investimento em ações).

De forma mais direta, Ismail *et al.* (2009) propõem que os sistemas de gerenciamento não se prestam como ferramenta específica para elaboração de projetos, por exemplo. Os autores referem que um sistema de gerência pode auxiliar na identificação da localização dos problemas e dos tipos de estratégias de intervenção e oferecer fundamentos para o

entendimento geral e as possíveis consequências das políticas de manutenção alternativas, mas não chega ao detalhamento necessário do projeto de engenharia.

Ismail *et al.* referem que os especialistas consultados lançam mão de seus conhecimentos, julgamentos e experiências para promoverem inferências e propor soluções de projeto. Esse é um ponto a ser explorado por sistemas especialistas. Ismail *et al.* consideram o fato que os especialistas, por serem raros e caros, nem sempre estão disponíveis para conduzir o tipo de análise necessária para elaboração de projetos de engenharia. Eles são mais raros ainda em organizações rodoviárias e muito caros para organizações privadas. Sistemas especialistas, têm o potencial de resolver tais problemas e ser alternativa para suprir, em âmbito geral, a carência desses especialistas.

De acordo com Gonçalves (1997), um sistema especialista é um programa de computador ‘inteligente’ ou que lança mão de algoritmos de inteligência artificial. Ele usa conhecimento e procedimentos inferenciais para resolver problemas que são bastante difíceis e que requererem, para sua resolução, muita perícia humana. Em Gonçalves, encontra-se uma discussão mais aprofundada sobre sistemas especialistas, tais como etapas básicas no desenvolvimento de um *Expert System*, arquitetura, base de conhecimento, mecanismos de inferência, aquisição do conhecimento, representação do conhecimento.

Timmermans (2005) sugere que os usuários do sistema sejam convidados a trazer novos conhecimentos e a utilizar a intuição e o julgamento adquirido, relacionados aos aspectos ‘imodeláveis’, a fim de contribuírem na solução do problema. Muito além de desejável, é imprescindível que planejadores, tomadores de decisão e executores trabalhem em conjunto durante a implementação de sistemas especialistas. A partir de uma formulação inicial para o problema, em qualquer estágio da solução, o processo deve permitir aos usuários avaliar as soluções oferecidas e revisar as especificações do problema.

2.1.3 O Gerenciamento da Manutenção

Gerenciamento da manutenção é uma expressão bastante recente, surgida pela necessidade de se conferir maior confiabilidade à produção e pela percepção de que mesmo a manutenção precisa ser conduzida de forma sistemática e segundo um processo de gerenciamento eficiente, eficaz e efetivo. Ben-Daya *et al.* (2009) reconhecem o fato de o termo criar algum tipo de embaraço e estranheza porque, ao se pensar nos níveis da organização (estratégico,

tático e operacional), o gerenciamento da manutenção impõe uma interface entre dois níveis não contíguos: o estratégico (gerenciamento) e o operacional (manutenção).

Ocorre que os processos de gerenciamento e de manutenção devem ser conduzidos de forma integrada, ainda que sejam atividades distintas. A integração do gerenciamento à manutenção tão somente consolida um longo processo de evolução. Sendo ela exigência recente e estranha ao processo organizacional, conforme ressaltado por Ben-Daya *et al.* (2009), o engenheiro de manutenção há de assumir funções de técnico e de gerente de forma concomitante, de tal maneira que em alguns momentos estará desempenhando funções de engenheiro-gerente e, em outros, as de gerente-engenheiro.

2.1.3.1 Definições e Objetivos

De acordo com Ben-Daya *et al.*, o gerenciamento da manutenção é uma abordagem sistemática e ordenada para planejamento; programação; condução e monitoramento; avaliação das atividades de manutenção e seus custos. Consiste em planejar, organizar, dirigir e controlar as atividades de manutenção, pois demanda planejar as atividades de manutenção que serão encaminhadas, organizar e providenciar a alocação de recursos (pessoal, capital, materiais, etc.), dirigir ou orientar a realização e a consecução de metas, e controlar o processo, o uso dos recursos até se atingir as metas previstas.

Um sistema de gerenciamento da manutenção adequado apoiado por uma equipe capaz e perspicaz, consegue estender a vida de serviço das instalações e equipamentos, reduzindo significativamente as interrupções na produção por causas previsíveis, ameaças à saúde e segurança e danos ambientais, resultando em baixo custo de operação e elevada qualidade de vida de serviço (MARQUÉZ, 2007). A Figura 2 é uma representação genérica de um sistema de gerenciamento da manutenção, bem como de seus principais componentes, sintetizada a partir de Marquéz. Para tal autor, são requisitos de entrada para o processo de gerenciamento da manutenção as seguintes informações:

- dados cadastrais dos itens do patrimônio, quantidade e localização;
- conjunto de alternativas viáveis para intervenção e reparos;
- fatores de custo;
- disponibilidade de recursos e pessoal;

- condição do item e histórico de manutenção;
- restrições e políticas de manutenção.

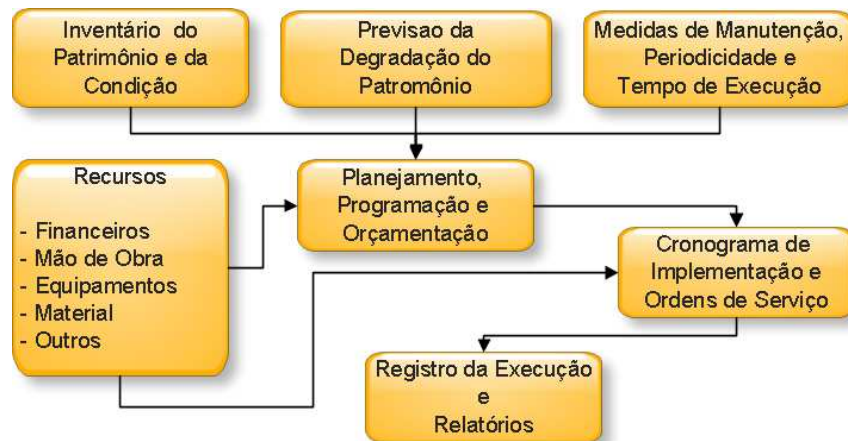


Figura 2: Esquema básico de um sistema de gerenciamento da manutenção

Fonte: Baseado em Márquez (2007)

O resultado desse processo de análise deve servir para operacionalizar um plano de manutenção para cada item a ser mantido e estabelecer uma sequência de tarefas a serem implementadas, consistente com as restrições à utilização dos recursos disponíveis. O gerenciamento da manutenção é esquematizado na forma de sistema para se atingir o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, conforme referido por Márquez, por meio de:

- estabelecimento de uma frequência ótima e extensão da manutenção preventiva a ser desenvolvida;
- redução do montante de suporte de recursos exigido pelo sistema;
- garantia da máxima utilização das instalações e equipamentos;
- redução da frequência das intervenções de manutenção;
- redução da complexidade das intervenções de manutenção e da especialização dos envolvidos.

Para tanto, o gerenciamento da manutenção lança mão de procedimentos padronizados, para documentar e priorizar o atendimento às necessidades das instalações e equipamentos, para reportar e controlar os resultados alcançados. É uma ferramenta de gerenciamento no que se

refere a planejamento, programação das atividades de manutenção corretiva, preventiva ou emergencial demandada, para reparos ou substituição do todo ou parte do patrimônio. É realizada tanto no nível de gerência quanto no nível de operação. Os registros apropriados antes, durante e depois da realização da manutenção permitem a produção de relatórios, os quais oferecem uma variedade de dados necessários ao aprimoramento dos processos, das técnicas, dos códigos de procedimentos e encaminhamento da tomada de decisão (U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE, 2002).

2.1.3.2 Considerações Complementares

Sobre o gerenciamento da manutenção, Ben-Daya *et al.* (2009) ressaltam a necessidade de se definirem alguns aspectos práticos, de extrema relevância para a condução dos processos, especialmente quando se está diante da distribuição das atividades de manutenção. Entre esses aspectos, incluem-se:

- a dimensão da manutenção a ser realizada (pois envolve mobilização de equipes, equipamentos, espaço de acomodação, entre outros);
- atividades de manutenção centralizadas numa equipe sob supervisão da sede ou descentralizadas com gerenciamento distribuído (visto que interferem nas definições da dimensão da manutenção);
- atividades conduzidas por pessoal próprio (administração direta) ou manutenção contratada (terceirização).

Tais considerações são necessárias porque há diversas definições subsequentes a serem alcançadas, entre as quais a distribuição de funções e responsabilidades, o arranjos para controle efetivo das intervenções, a supervisão e os relatórios de andamento das atividades, treinamentos específicos e custos envolvidos em cada um dos aspectos mencionados (BEN-DAYA *et al.*, 2009). Focado nas funções do gerenciamento, Ben-Daya *et al.* propõem que:

- na fase de planejamento, sejam estabelecidos os objetivos e desempenhos e decidido como se pretende alcançá-los;
- na fase de organização, seja constituída a estrutura e definidas a divisão das tarefas, a disponibilidade e a disposição dos recursos (financeiros, materiais e

humanos), a coordenação das atividades para desempenhar as tarefas de manutenção;

- na fase de execução, a implementação dos planos desenvolvidos para atingir os objetivos e desempenhos estabelecidos (importante referir que a execução não é tradicionalmente considerada função do gerenciamento, mas foi mantida por Ben-Daya *et al.*);
- na fase de controle, o encaminhamento de medições de desempenho concomitantes à manutenção, confrontando ao planejado e adotando ações preventivas e corretivas para reorientar para atingir do planejado (desejado).

Essas são definições preliminares, relacionadas ao próprio negócio e devem ser do conhecimento dos operadores do sistema de gerência, por fazerem parte da própria gerência da manutenção.

2.2 O GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO DE RODOVIAS

Até aqui se procurou demonstrar que o gerenciamento da manutenção de rodovia harmoniza-se perfeitamente no âmbito do apresentado de forma genérica para outros itens de infraestrutura, equipamentos ou instalações. Ou seja, os conceitos do gerenciamento da manutenção prestam-se perfeitamente à preservação do patrimônio representado pelas rodovias. Como todo e qualquer item a ser gerenciado, há que se fixar um conjunto de requisitos e objetivos a serem alcançados com a manutenção, para que se possa preparar um conjunto de medidas de intervenção; inferir os custos envolvidos; incluir restrições à utilização de recursos disponíveis, entre outras atividades gerenciais.

Robinson *et al.* (1998), citados por Kerali (2000), apresentaram um ciclo de gerenciamento da manutenção para rodovias, conforme apresentado como na Figura 3, em substituição ao tradicional sistema de preparação de orçamentos e programação baseado tão somente na atualização monetária do orçamento preparado para o ano anterior. O ciclo de gerenciamento apresentado é denominado ‘abordagem objetiva baseada em necessidades’, levando em consideração o fato de responder outra questão: ‘porque fazer?’.

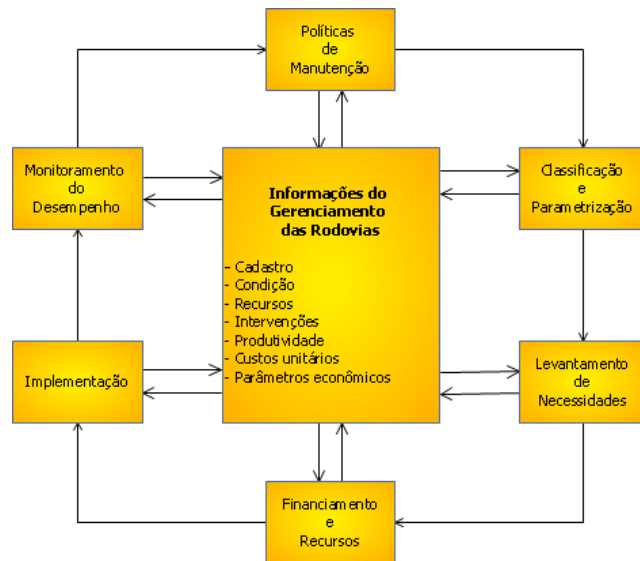


Figura 3: Estrutura básica conceitual do gerenciamento de rodovias

Fonte: Kerali (2000)

Neste caso, toma-se em consideração o conhecimento da rede, a estrutura, as condições das rodovias gerenciadas, as necessidades de manutenção. A Figura 3 mostra, de forma muito apropriada, o depósito dos dados como componente central do processo. Kerali propõe que planejamento, programação, preparação e operação são funções adequadas ao ambiente conceitual (*framework*) dentro da qual a abordagem baseada em necessidades (*necessity-based approach*) pode operar. Para Kerali (2000), o ciclo de gerenciamento representado oferece uma série de passos bem definidos para auxiliar o processo de gerenciamento, através do processo de tomada de decisões.

Tecnologicamente, a arquitetura mais conhecida e estudada para o gerenciamento da manutenção em redes de rodovias é a apresentada em Kerali (2000), conforme a Figura 4, por ser financiada e divulgada pelo Banco Mundial. Chama-se a atenção para os módulos de gerenciamento dos dados (*Data Managers*), que são o depósito dos inventários, para os modelos (*Models*) de deterioração e previsão de desempenho e para as ferramentas de análise (*Analysis Tools*). Considera-se que essa arquitetura, a mesma do sistema HDM, está suficientemente testada e adequada aos objetivos do presente trabalho e consistente com a teoria para sistemas de gerenciamento da manutenção.

Relativamente à manutenção de rodovias, Parker (1981), referindo-se às rodovias não pavimentadas, propõe que o processo deve ter como objetivo manter a superfície de rolamento razoavelmente lisa, firme e livre da perda excessiva de material solto, bem como a declividade transversal do leito da rodovia. Para a OECD (1990), a manutenção das estradas

não pavimentadas é um conjunto de atividades executadas para minimizar seus defeitos e, conseqüentemente, reduzir os custos operacionais dos veículos, prolongar a vida de serviço e proporcionar aos usuários um meio seguro, econômico e confortável de acesso a áreas rurais. Diversas definições enfatizam a necessidade de se trazerem as condições da estrutura, a qualidade ao rolamento, a segurança de tráfego próximas às condições originais de projeto.

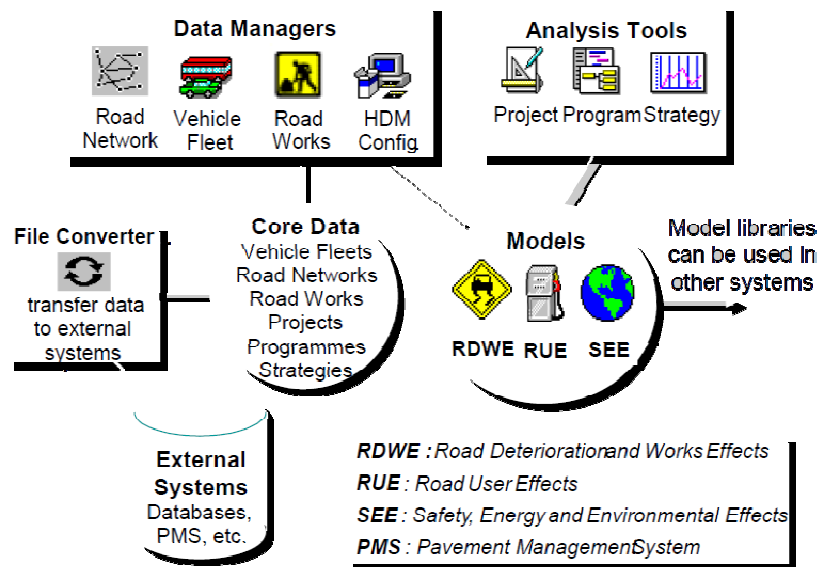


Figura 4: HDM-4 Arquitetura do Sistema

Fonte: Kerali (2000)

A preocupação de Srombom (1987) para o encaminhamento de uma definição para manutenção de rodovias é razoável, em especial quanto à dificuldade de se estabelecer uma zona limite entre manutenção e reabilitação ou restauração. Cita que a definição pode se basear em diversos critérios, cada um focando uma característica específica da manutenção, como: a) atividades envolvidas (a manutenção efetua reparos, restabelece as condições previamente existentes, a reabilitação promove acréscimos às funcionalidades existentes); b) necessidade ou não de projetos específicos (a manutenção reconforma ou traz aos padrões estabelecidos e dispensa projetos, a reabilitação demanda projetos específicos para cada situação); ou c) recursos aplicados (a manutenção utiliza recursos de custeio ou ordinários, as restaurações e reconstruções utilizam recursos de investimento ou de capital).

No Brasil, a destinação dos recursos consignados em orçamento é o aspecto determinante para se definir se uma intervenção será de conservação (muitas vezes denominada manutenção) ou restauração (também denominada reabilitação). Os recursos de conservação são ditos de custeio e os de restauração, de investimento. Na denominada ‘zona cinza’, entre conserva e a restauração, encontram-se inúmeras restrições legais, orçamentárias e financeiras, as quais criam alguma limitação às intervenções posicionadas entre a conserva pesada e a restauração leve. Para transpor tal dificuldade, não raro, tomadores de decisão estendem a conservação até que as restaurações tornem-se viáveis.

Sobre esse aspecto, estudos conduzidos por Walls e Smith (1998) e FHWA (2002) concluíram que a prática tradicional de recuperar rodovias, somente quando os reparos tornam-se mais necessários, é uma forma muito cara de operar um sistema rodoviário. Análises econômico-financeiras demonstraram, ao contrário do que se pensava, que as intervenções preventivas são as opções mais rentáveis (maior benefício-custo). Esses estudos demonstram claramente ser muito mais econômico preservar as rodovias do que postergar os reparos até a restauração, e da restauração até a reconstrução (conforme Figura 5).

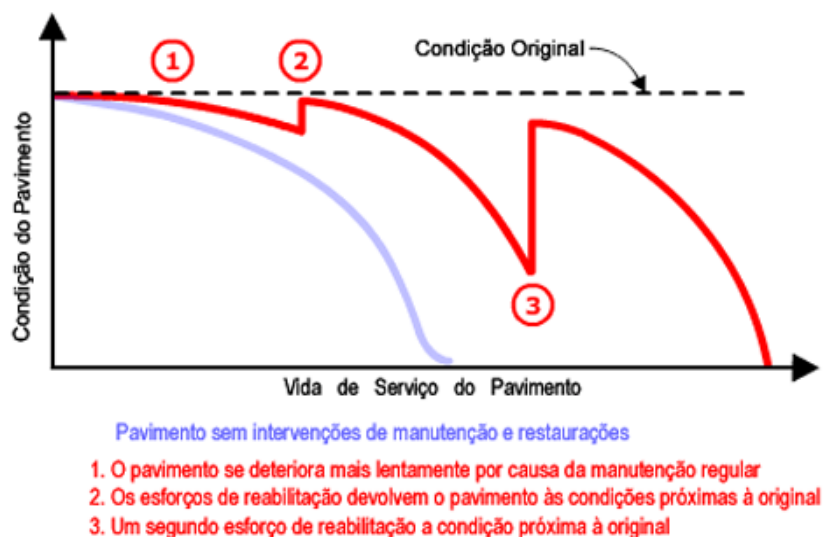


Figura 5: Comparação das estratégias preservar versus deixar deteriorar

Fonte: Pinto (2005)

O grande volume de capital concentrado no tempo necessário às restaurações não consegue atingir uma relação benefício-custo tão favorável quanto aquela alcançada pela conservação (rotineira, leve e pesada) aplicada em momento adequado. A conclusão alcançada é que, se a conservação for aplicada sistematicamente de forma apropriada (efetiva, eficiente e eficaz),

está se adotando uma política de manutenção preventiva, a qual conduz à redução de custo no ciclo de vida no longo prazo, na medida em que as intervenções tendem a reduzir a velocidade de deterioração dos pavimentos, levando a que as restaurações futuras possam ser postergadas, como ilustrado pela linha vermelha na Figura 5. Minimiza-se, portanto, o custo financeiro das intervenções robustas, atinge-se o desempenho estabelecido para a rede e se reduz o custo no ciclo de vida.

A Figura 6, elaborada a partir dos parâmetros da rede estadual gaúcha, com base em levantamentos realizados último trimestre de 2004 e sob uma relação do Real frente ao Dólar americano de R\$ 2,75/US\$, ilustra a evolução dos custos estimados para intervenções de manutenção, conforme as condições do pavimento se deterioram.

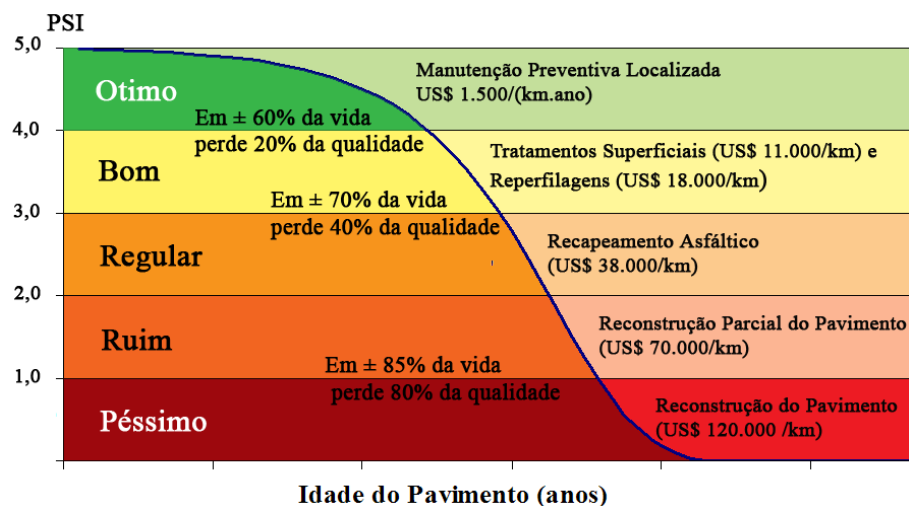


Figura 6: Evolução dos custos em função da condição do pavimento

Fonte: Pinto (2005)

Seguindo essa lógica, a gerência da manutenção deve buscar intervenções efetivas (que resolvem o problema), de mais baixo custo possível (eficientes) e suficientes para elevar a rodovia ao nível de desempenho estabelecido (eficazes). Do ponto de vista da execução orçamentária, o país continuará desperdiçando recursos, porque ou se tem recursos para conservação, ou se tem recursos para restauração, e não se pensa em manutenção.

Relativamente ao termo manutenção aplicado à rodovias, o presente estudo adota a designação proposta por Haas e Hudson (1978) para rodovias pavimentadas, no que é acompanhado por Srombom (1987). Em prol da simplificação, o termo manutenção engloba todo o espectro de atividades: as conservas rotineira e periódica, também designadas conserva

leve; a conserva média e pesada; as recuperações rotineiras e as funcionais; as restaurações estruturais. Haas e Hudson promovem uma distinção entre as atividades de restauração e conservação, propondo que a primeira é historicamente tratada como investimento, como os projetos tradicionais ou como os contratos de novas construções, inclusive quanto à elaboração de projetos específicos, o que não ocorre com a conserva tradicional.

Contudo, Haas e Hudson (1978) sugerem a utilização do termo manutenção como adequado à utilização em sistemas de gerenciamento (de pavimentos). De outra forma, haveria necessidade de designar e considerar os sistemas de gerenciamento das atividades de conservação e restauração separadamente. Não se quer dizer que as intervenções não podem ser discretizadas ou que não podem contemplar inúmeras intervenções aparentemente semelhantes, por exemplo, uma lama asfáltica fina, média, grossa, com material betuminoso com ou sem a adição de polímeros. A designação utilizada por Haas e Hudson permite transpor as dificuldades de estabelecer os limites das atividades de conservação e restauração, obstáculos correntes nas definições tradicionais, tais como a apresentada pelo DNIT (BRASIL, 2005).

Entende-se que a busca de eficiência, eficácia e efetividade das atividades de manutenção não podem ficar confinadas à incapacidade de as definições cobrirem todo o espectro de intervenções possíveis. Conforme verifica-se na prática rodoviária, diversas intervenções apresentam-se na interface de uma e outra, ora como conserva leve ou pesada, ora como restauração leve, usualmente referidas como ‘recuperação’ ou ‘revitalização’ (BRASIL, 2005). A aplicação de lama asfáltica sobre uma rodovia pavimentada seria incluída nos recursos de custeio, se caracterizada como conserva pesada, ou tratada como investimentos de capital, se caracterizada como restauração leve – a intervenção não se altera, a designação sim. Ainda há os microrrevestimentos com ou sem polímero, os tratamentos superficiais mais capa selante, as reperfilagens ou massas fina, com espessuras inferiores a 2,5cm. Diante da impossibilidade de resolver o problema orçamentário associado à intervenção, não parece razoável tratar as intervenções de manutenção apenas como conserva rotineira num extremo e restaurações pesadas no outro.

Em rodovias não pavimentadas tem-se, no mesmo caso, a reconformação da plataforma. Tal intervenção implica: escarificar o material depositado sobre a pista; recuperar para a plataforma de rolamento o material carreado para as valetas laterais; revolver toda a camada recomposta; reconformar a plataforma; compactar o material; laminar. Tal intervenção bem

pode ser considerada como conserva pesada (limpeza de valeta) ou como recuperação, revitalização ou restauração leve (reconformação da plataforma).

2.3 A EVOLUÇÃO DO GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO DE RODOVIAS

O objetivo desta seção é enfatizar a evolução das demandas por manutenção e do próprio gerenciamento. Não se pretende, em nenhum momento, afirmar que não havia nem gerência nem manutenção, mas ressaltar o fato de que esse processo de gerenciar a manutenção vem sendo enfrentado de maneira diferente, com a utilização de diferentes ferramentas, objetivando diferentes resultados. Sob essa ótica, propõe-se uma evolução da prática do gerenciamento da manutenção de rodovias, baseada na incorporação de conhecimentos e ferramentas mais modernas, entre elas, a incorporação da informática e os novos entendimentos do processo.

Um dos entendimentos agregados é o de que o sistema de transporte é constituído por dois componentes ou subsistemas: a via e o veículo (SCHLIESSLER, 2004). O Código de Trânsito Brasileiro (instituído por meio da Lei Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997), no entanto, considera três: via, veículo e homem. Haas e Hudson (1978) usam usuário, veículo, superfície de rolamento e interação entre esses. Segundo Schliessler (2004), os componentes são interdependentes, mas, funcionalmente, um não subsiste sem o(s) outro(s). A ressalva alerta para que não se pense a manutenção de vias pavimentadas ou não pavimentadas como um fim em si mesmo.

Para que se perceba essa evolução, há de se ter em mente que gerenciar, em sua função de planejar, coordenar, executar e controlar, precisa primeiro estabelecer prioridades – *do lat. prior, oris, primeiro de dois, anterior (no espaço ou no tempo)*, conforme Houaiss (2001) – especialmente por que os recursos (tempo, humano, material ou financeiro) são escassos e finitos. Ao se considerar a via, o condutor/usuário e a priorização dos recursos é possível de estabelecer algumas etapas ou degraus vencidos ou trilhados pelas intervenções de conserva e restauração para que se alcance o patamar de gerenciamento da manutenção que se tem.

Para ilustrar um desses saltos evolucionários, um técnico do Banco Mundial costuma referir um marco divisor no gerenciamento de rodovias. Menciona que, a partir de determinado

‘momento’, a manutenção de rodovias deixa de se preocupar ‘com a pista de rolamento para baixo’ (a via) e volta seu olhar para o que ‘está acima do revestimento’ e a incorporar ‘preocupações’ com o tráfego sobre ela (veículos e homens). Esse momento, indefinido no espaço e no tempo, bem poderia ser a publicação dos primeiros resultados dos estudos de inter-relacionamento dos custos rodoviários – entre os quais o de Weille (1966, *apud* BENNETT e GREENWOOD), *Quantification of Road User Savings* e o *The Highway Cost Performance Model* (WORLD BANK, 1970).

Em tais estudos, assim como em outros posteriores, restou revelado que o custo para os usuários das rodovias, em relação ao custo total do transporte, chega a 50% numa rodovia com 50 veículos por dia e até 97% numa rodovia com 5000 veículos por dia, invertendo radicalmente a lógica de alocação de recursos. Até que esses estudos fossem divulgados, a maior preocupação era com os gastos da agência rodoviária (menor que 3% no último caso). Ou seja, conforme o maior ou menor volume de tráfego, o custo mais relevante não é o da agência rodoviária, mas o custo para os usuários.

2.3.1 A Conserva Responsiva e Emergencial

A manutenção promove a conserva responsiva e emergencial, mas não apenas essa. A evolução do conceito de gerenciamento da manutenção aqui esboçado tem o primeiro degrau justamente na conserva rotineira, periódica e emergencial, de reparação e substituição de equipamentos rodoviários danificados. Nesse degrau, o nível de esforço dedicado às rodovias é igual para toda e qualquer rodovia – etapa obrigatória para todo o sistema e que dispensa análises técnicas, econômicas ou financeiras mais aprofundadas – seu procedimento não leva em consideração aspectos de priorização entre rodovias. Podem ser considerados exemplos, Parker (1981), Santos *et al.* (1985), Srombom (1987), KLTAP (2004), Skorseth e Selim (2000), exceto pelo apêndice D, PIARC (1994).

A ressalva importante, nesse aspecto, conforme Cigolini *et al.* (2009), é que as intervenções de manutenção tendentes a recuperar a estrutura somente eram implementadas quando o pavimento começava a apresentar sinais avançados de desgaste e deterioração (*run-to-failure*). Tradicionalmente, contratava-se (ou se contrata ainda hoje) a restauração apenas para segmentos bastante deteriorados e diagnosticava-se a conserva rotineira e periódica para os demais segmentos em boas condições. Essa ainda é a estratégia básica de muitos sistemas de gestão ou de manutenção de rodovias: a conserva rotineira indiscriminada e a restauração

em circunstâncias específicas. Essa é a ‘receita de sucesso’ dos denominados Contratos de Manutenção e Restauração (CREMA). Segundo Cigolin *et al.*, intervenções de manutenção preventivas eram consideradas um desperdício.

Há alguns anos, o extinto DNER determinava a realização de um levantamento das condições das rodovias e disponibilizava recursos para serem alocados àquelas em piores condições. Esse processo era conhecido como Programa Anual de Trabalho e Orçamento ou simplesmente ‘PATO’. Com tal procedimento, mantinham-se as rodovias no limite da vida de serviço, ao mesmo tempo em que se impedia a malha rodoviária pavimentada de se deteriorar, com a súbita extinção dos recursos do Fundo Rodoviário Nacional, o lado mais dramático desse processo de tomada de decisão veio à tona: de um momento para outro a malha rodoviária, mantida à beira da ruptura, começou a entrar em colapso, num processo de desagregação crescente ano após ano. Em que pese os recursos suplementares obtidos emergencialmente pelo denominado ‘Selo Pedágio’, tal esforço não foi suficiente para recuperação da malha.

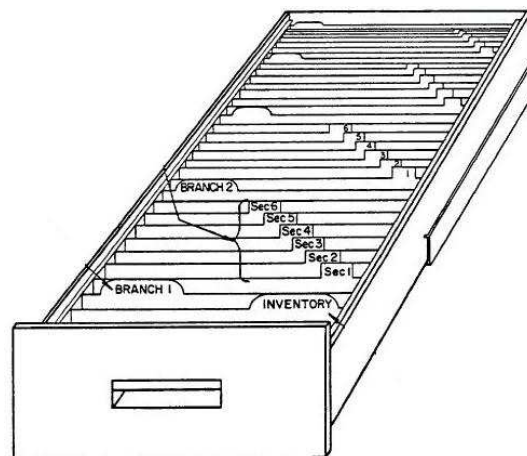


Figura 7: Esquema de gerenciamento de redes

Fonte: USACE (1982)

Conforme Finn (1998), o que se chamava ‘gerenciamento’ consistia em anotações em fichas (o que o tornava sistemático), nas quais se identificavam as rodovias, os limites, o cadastro de dispositivos rodoviários, a condição geral do segmento, entre outros registros. Esta atividade gerava enorme quantidade de informações a serem analisadas, classificadas e processadas. Na Figura 7, tem-se uma ilustração do inventário das rodovias, conforme apresentado em USACE (1982) e Eaton e Beaucham (1992). Entretanto, segundo Finn, em 1980, apenas cinco

estados americanos — Arizona, Califórnia, Idaho, Utah, Washington – reportaram algum estágio de desenvolvimento sistemático de procedimentos para gerenciamento da rede pavimentada.

2.3.2 A Priorização das Intervenções de Manutenção

Um degrau acima, nessa escala evolucionária, encontra-se a manutenção que introduz alguma relativização ao processo de priorização das atividades, qual seja, tratar de forma diferenciada, por sua própria natureza e utilização, rodovias diferentes. Considera-se que atendem essa classificação: Eaton e Beaucham (1992) ou o seu equivalente DoA (1995), Baesso e Gonçalves (2003) e Oda (1995).

A manutenção tal qual apresentada em Baesso e Gonçalves é o que, em literatura nacional, se tem de mais detalhado sobre a condução das atividades de manutenção numa rede de rodovias não pavimentadas. Todos os aspectos da manutenção são discutidos em profundidade, desde a operação e a mecânica dos equipamentos, a sinalização, a preservação ambiental, os cuidados com o material até a exploração de jazidas. A publicação desce ao nível de detalhe para aqueles que vão conduzir as atividades de manutenção, superando muitas publicações estrangeiras. Em Oda (1995), tem-se o aprofundamento das questões do levantamento da rede, fundamentais para as fases de gerenciamento, especialmente no que diz respeito ao conhecimento e aos defeitos dessa rede de rodovias.

Ainda que se busque a priorização, o aprofundamento das atividades de manutenção e o olhar diferenciado sobre as expectativas dos usuários, não há, entretanto, qualquer análise econômica ou financeira ou a contraposição de custos ou benefícios. Conforme salientado no Guia de Gerência de Pavimentos (DNER, 1983, p. 2.5), a seleção não ocorre “após todos os outros projetos selecionados serem considerados, considerando-se também as limitações dos recursos e de outras restrições”.

2.3.3 O Gerenciamento das Intervenções de Manutenção

No terceiro degrau da evolução do gerenciamento que se está a propor, encontra-se a fase na qual se trazem para dentro do processo decisório os critérios econômicos e financeiros. Neste patamar evolutivo, faz-se com que cada intervenção seja ponderada em relação a um conjunto de outras intervenções igualmente viáveis e concorrentes (DNER, 1983), considerando a alternativa que melhor satisfaz a tríade via, veículo, condutor, levando em consideração as

restrições impostas pelas limitações orçamentárias. Algumas referências relacionadas ao assunto estão em SADC (2003), Archondo-Callao (2004) e na extensa literatura relacionada com os HDM-III e HMD-4. Nesse patamar de gerenciamento, mesmo os custos das intervenções de conserva rotineira ou periódica são contrabalançadas aos benefícios, havendo casos em que há opção declarada por um mínimo de manutenção e até por bloqueio e advertência sobre o uso¹, conforme Smith (2006).

Paralelamente a isso, houve o desenvolvimento da computação ou da informática – a informação automática. Antes disso, a disseminação da computação eletrônica, o processamento de modelos de tomada de decisão complexos somente se tornava viável em modernos laboratórios de pesquisas e centros de processamento de dados. O desenvolvimento e a popularização de computadores mais rápidos permitiram que maior número de fatores fosse considerado e que os resultados fossem obtidos em tempo razoavelmente menor. Computadores pessoais, disponibilizados após a década de 80, foram o impulso que faltava para a área de pesquisa, pois viabilizaram a manipulação de um número cada vez maior de dados e informações e a introdução de uma complexidade cada vez maior ao processo de análise.

Esse crescente número de dados e informações envolve a análise de mais de uma estratégia de manutenção, composta por alternativas de intervenção, formadas por diversos serviços básicos, avaliações que abrangem tanto longos períodos de análise, para cada um dos diversos segmentos homogêneos de uma rodovia e para toda a extensão da rede, quanto verificações

¹ “Counties are then obligated to provide only minimum maintenance (MM) on these roads. In the case of level C roads, counties can also restrict access (...) **Activities for Level C Roads:** - Install gates or other barriers to restrict access at all access points from other public roads. - Install and maintain appropriate regulatory signs (for example, bridge postings)”. Tradução livre: Os municípios, então, estão obrigados a oferecer um mínimo de manutenção (MM) a estas rodovias. No caso de rodovias do nível C, os municípios podem também restringir o acesso (...) **Atividades para Rodovias no Nível C:** - instalar portões ou outras barreiras para restringir a entrada em todos os pontos de acesso de outras rodovias públicas. – Instalar e manter sinalização de regulamentação apropriada (por exemplo, placas de pontes).

para diferentes taxas econômicas e inflação variável, frota composta por diferentes veículos circulando. Qualquer análise mais profunda tornava-se, pois, simplesmente inviável.

Pode-se dizer, portanto, que um sistema de gerenciamento ou tomada de decisões que não considere as variáveis econômicas e financeiras, não pode ser assim denominado. Ele pode ser chamado de sistema de manutenção ou de organização de atividades de manutenção, mas não de gerência ou apoio à tomada de decisão.

2.3.4 Gerenciamento de Projetos de Manutenção

As ferramentas construídas sobre o modelo *Highway Design and Maintenance* (HDM) prestam-se muito bem à alocação, priorização e avaliação de consequências da aplicação de recursos. Ou seja, as ferramentas desenvolvidas sobre o modelo HDM prestam-se fundamentalmente às análises realizadas nos níveis mais alto da Administração. Uma etapa seguinte e obrigatória, após a programação orçamentária estabelecida pelo HDM, é a contratação e o desenvolvimento dos projetos de engenharia, por exemplo, para restauração das rodovias. Esta é a fase de contratação de especialistas à qual se referem Ismail *et al.* (2009).

O HDM busca soluções que satisfaçam um espectro de custo benefício ou valor presente líquido, com base em valores de intervenções fornecidos, para retorno das rodovias às condições previamente estabelecidas, quando submetidas aos modelos de deterioração e desempenho empíricos desenvolvidos. Os modelos embutidos nas ferramentas HDM-III e HDM-4 não se prestam, em nenhum momento, como ferramenta de dimensionamento de pavimentos ou de rodovias não pavimentadas.

É desejável, tanto quanto possível, que os sistemas de gerenciamento de rodovias, concomitante à análise em nível de rede, incorporassem conhecimentos e processassem o desenvolvimento dos projetos de engenharia para as estratégias otimizadas no nível anterior; que incluíssem ferramentas de análise do comportamento das camadas do pavimento ao tráfego existente e previsto, utilizando ferramentas de elementos finitos ou equivalentes; que encaminhassem o dimensionamento das restaurações ou construções, segundo critérios mecanístico-empíricos, entre outros, nitidamente no campo dos *expert systems*. Esta seria uma oportunidade de validar as premissas adotadas pelo sistema de gerência, trabalhando-se sobre os projetos de engenharia.

O *AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) atualmente disponível na rede mundial de computadores preencheria a função de promover a análise do comportamento das camadas do pavimento ao tráfego existente e previsto, utilizando-se de modelos mecanístico-empíricos, entre outros. No entanto, o MEPDG não se presta ao gerenciamento ao nível de rede e, neste caso, o sistema informatizado para essa finalidade seria o PASER, o qual, porém, até onde se pode ir com as pesquisas, não faz o gerenciamento em nível de projeto. Uma abordagem dos diversos sistemas de gerenciamento ou especialistas pode ser encontrada em Mizusawa (2008).

Sistema que atenda o critério de cumprir os requisitos de gerenciamento em nível de rede e, simultaneamente, atenda o gerenciamento em nível de projeto, até os delineamentos do próprio projeto de engenharia, o autor identificou apenas o PAVEYS[®], desenvolvido pela empresa de mesmo nome. Segundo Esse e Rodrigues (2003, p. 4), apesar de o sistema ser constituído por modelos de previsão de desempenho mecanístico-empírico, “os parâmetros utilizados são os comumente utilizados em projetos de boa qualidade, o que não gera significativos aumento nos custos”.

2.4 NÍVEIS DE GERÊNCIA EM MANUTENÇÃO DE RODOVIAS

Em um processo de tomada de decisão gerencial, uma das primeiras diz respeito à precisão ou à qualidade das informações. Para uma discussão sobre a qualidade das informações, veja-se Bennett e Paterson (1999), no item 5.2 *Concept of Information Quality Level (IQL)*. Tal definição é necessária, especialmente para estabelecer o grau de risco a ser assumido pela decisão. A afirmativa de Bernstein (1997, p.139) que “reduzir incertezas custa caro” vai no mesmo sentido da expressão ‘qual o custo de se aumentar a precisão em mais uma casa decimal’. Se tempo é dinheiro e um levantamento de dados demanda tempo, a tarefa torna-se mais ou menos dispendiosa dependendo da profundidade e da abrangência do conhecimento que se pretende abstrair dos levantamentos.

A busca por eficiência, eficácia e efetividade constitui um processo sem fim no mundo gerencial e no ambiente de gerenciamento. Hamel (2000) chama a isso de ‘mantra’ da sociedade de consumo: ‘melhor, mais rápido, mais barato’. O dilema consiste em contrabalançar a redução dos riscos e das incertezas com a necessidade de otimização dos recursos disponíveis. A solução de contorno está em se compatibilizar abrangência e

profundidade, com precisão e riscos aceitáveis na tomada de decisão. No caso de sistemas de apoio ao processo de decisão ou de gerenciamento da manutenção, a abordagem tende a atacar o problema por dois meios:

- o *top-down*, no qual se analisa primeiro a rede de forma generalizada, passando-se, em seguida, para a análise individual mais profunda dentre os segmentos dessa rede destacados durante o processo;
- o *bottom-up*, no qual se inicia a análise pelo nível de projeto de engenharia para, posteriormente, consolidar o conjunto de resultados individuais.

Tanto uma quanto outra abordagem é válida, dependendo do detalhamento ou da generalidade, da quantidade e da qualidade dos dados disponíveis, entre outros fatores.

Em PMSGRT (1994), a diferença entre os níveis de rede e projeto está também relacionada ao tipo, à qualidade e à quantidade de dados requeridos. O levantamento de dados é tarefa cara e com muita frequência – logo no início e até que algum tenha sido coletado – não se sabe exatamente quais e quantos são os dados necessários. Sobre os excessos de dados nas fases iniciais, esse *Review Team* chama a atenção para o fato de que o processo de coletar tantos dados quanto forem possíveis ou o excesso de dados têm criado diversos problemas na implementação de sistemas de gerência de rodovias, os quais permanecem após sua implantação.

2.4.1 Gerenciamento em Nível de Rede

Quando se busca a tomada de decisões para uma rede de rodovias, diz-se gerência em nível de rede. Nesse nível, muito adequado para as decisões da alta administração, trabalha-se com toda a rede de rodovias, analisam-se as políticas de manutenção e a estimativa de orçamentos globais, testando circunstâncias hipotéticas, projetando cenários futuros, buscando responder a questões do tipo ‘o que aconteceria se’. Nessa etapa, submete-se cada um dos constituintes da rede a análises econômico-financeiras e de custo-benefício, às políticas de manutenção e reabilitação previamente estabelecidas, buscando identificar aquele conjunto de intervenções que leve à melhor utilização dos recursos, ao longo do período de análise. É também produto dessa etapa um conjunto de rodovias, priorizadas por conta de seu potencial para oferecer maior retorno aos investimentos realizados, para as quais se demanda maior quantidade e maior detalhamento dos dados (DNER, 1983).

Para NRCC (2003), a gerência em nível de rede deve elucidar ‘onde fazer’ (*the right section*) e ‘quando fazer’ (*the right time*) e a gerência em nível de projeto deve definir ‘o que fazer’ (*the right treatment*). A tomada de decisões relacionadas com a manutenção, reabilitação ou reconstrução de rodovias, pavimentadas ou não pavimentadas, deve estar, portanto, integrada ao ciclo de planejamento anual, orçamentação, projetos de engenharia, implementação das ações (execução do planejado). Há oito passos para o ciclo de gerenciamento anual proposto por NRCC:

- revisão e estabelecimento dos níveis de serviço;
- levantamento da rede;
- identificação das necessidades;
- priorização;
- orçamentação;
- definição dos projetos de engenharia;
- implementação dos projetos de engenharia;
- monitoramento do desempenho.

Em USDOT (2002) são sugeridos alguns tipos de informações a serem disponibilizadas pelos sistemas de gerência em nível de rede, entre as quais:

- qual o nível de investimento de capital é justificado em termos de benefício-custo?
- qual o custo para os usuários que resultará de um dado fluxo de investimentos?
- qual o investimento necessário para que o patamar de custo para os usuários seja mantido?
- qual é o custo para os usuários e quais os impactos fiscais de se variar o fluxo de investimentos (por exemplo, retardar ou desistir dos melhoramentos de correção de deficiências)?

- qual a relação entre investimentos de capital e desempenho do sistema rodoviário? Se o total de investimentos é menor do que o patamar economicamente eficiente qual é o tamanho da perda em benefícios menores?
- qual o custo, ao longo de 20 anos de análise, de se corrigir de todas as deficiências rodoviárias existentes e surgidas?
- para determinado cenário de investimento, qual será a porcentagem de veículos, por quilômetro, que percorrerão rodovias em condições abaixo do padrão mínimo tolerável?
- dado um fluxo de investimentos, qual é o *mix* mais rentável entre melhoramentos na rede e manutenção da infraestrutura? O desempenho geral piorará ou melhorará em relação ao ano base?

Para AASHTO (2001), os propósitos e metas de um processo de gerenciamento em nível de rede estão normalmente relacionados ao processo de orçamentação e incluem: 1) identificar as necessidades de manutenção, reabilitação e reconstrução; 2) estabelecer a quantidade de fundos necessários para atender essas necessidades; 3) selecionar entre cenários financeiros possíveis, as estratégias a serem testadas; 4) determinar o impacto desses cenários financeiros para a condição geral das rodovias, em termos estruturais e funcionais; 5) oferecer um conjunto de opções e estratégias de financiamento; 6) selecionar as seções a serem recomendadas para investimento para a opção e estratégia de financiamento selecionada.

Em PMSGRT (1994), a abordagem em nível de rede para o gerenciamento (pavimentos) de rodovias utiliza o conceito de sistemas para combinar métodos, procedimentos, dados, *software*, políticas e decisões para gerar soluções que são otimizadas para a totalidade da rede de rodovias (pavimentadas), num dado período de análise estabelecido. A publicação refere que o *The Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-4)* é um bom exemplo de sistema de gerência em nível de rede.

Para esse *Review Team*, o propósito do gerenciamento em nível de rede está associado ao processo de preparação de orçamentos, porque o resultado primário inclui as necessidades de manutenção e reabilitação, as demandas por financiamento, a listagem das seções que necessitam atenção em ordem de prioridade, a previsão das condições futuras de rede para

vários cenários financeiros. O montante de dados exigidos na análise em nível de rede é significativamente menor do que a quantidade exigida para decisões em nível de projeto.

2.4.2 Gerenciamento em Nível de Projeto

Quando se analisam individualmente componentes menores da rede – rodovias, trechos ou segmentos –, diz-se que o gerenciamento ocorre em nível de projeto. Ele está mais próximo aos níveis mais baixos da administração, cujo envolvimento organizacional está relacionado à condição das vias, necessidade de manutenção, restauração ou reconstrução e com os custos unitários das atividades – identificam-se com maior acurácia o tipo, as causas e a extensão dos defeitos.

No nível de projeto, o propósito é oferecer o melhor projeto, a estratégia possível e viável de intervenção de manutenção ou reabilitação para a seção avaliada, de acordo com os recursos financeiros disponíveis. Nesse nível, já não se trabalha com a seleção entre diversas políticas genéricas, mas promove-se a comparação entre alternativas específicas de intervenções de manutenção, restauração ou reconstrução. Dito de outra forma, a análise em nível de rede justifica a intervenção segundo um determinado custo para se atingir um benefício; tanto os custos quanto os benefícios são premissas de entrada para o projeto. Não raras vezes, após priorização de determinado segmento rodoviário pelo gerenciamento em nível de rede, os projetos de engenharia são elaborados segundo as necessidades da rodovia, em nada espelhando as premissas de benefício custo elencadas para priorização (PMSGRT, 1994).

O resultado primário da análise em nível de projeto inclui a avaliação das causas da deterioração; identificação das estratégias possíveis de manutenção ou reabilitação; seleção da melhor estratégia dentro das restrições orçamentárias estabelecidas. Conforme PMSGRT (1994), a abordagem de gerenciamento em nível de projeto combina métodos, procedimentos, dados, *software*, políticas e decisões para produzir soluções específicas para a rede.

Nesta abordagem, utilizam-se dados específicos da seção (tráfego, carregamento, levantamentos, condição das rodovias) para determinar a estratégia ótima de intervenções, em termos de manutenção, reabilitação e restauração, entre os projetos priorizados, confirmando-se ou excluindo-se segmentos selecionados na análise em nível de rede. Essa etapa demanda um maior detalhamento e uma quantidade considerável de dados. Nem todos os dados necessários e específicos para condução da análise de uma determinada seção em nível de

projeto, são necessários às decisões em nível de rede. Talvez esse seja um dos grandes atrativos dos sistemas de gerência:

- a possibilidade de se fazerem inferências nos níveis de projeto com dados necessários apenas para o gerenciamento em nível de rede (análise *top-down*) ou refinar;
- a avaliação do processo de tomada de decisão em nível de rede com os dados disponíveis e necessários para a análise em nível de projeto (análise *bottom-up*).

Segundo o PMSGRT (1994), quando se adota uma abordagem inicial do tipo *bottom-down*, (ou seja, iniciando-se o processo de gerenciamento pelo nível de projeto), as decisões são tomadas com maior acurácia e conduzem a estratégias nas seções otimizadas. Entretanto, essas estratégias individualizadas, quando consolidadas para a rede, podem ou não resultar na otimização geral dos recursos, determinando que se despenda esforço extra para coordenação e compatibilização das soluções individualizadas às metas globais da organização.

De acordo com o PMSGRT, a abordagem em nível de projeto pode ser muito útil e constitui a maior parte dos sistemas de gerenciamento de pavimentos em operação. Muitos dos sistemas de gerenciamento em departamentos ou administrações locais (nos Estados Unidos) são classificados como em nível de projeto. Como resultado, apesar de menos capaz de produzir soluções globais otimizadas para cenários sujeitos às restrições, a abordagem em nível de projeto é vantajosa porque preserva as informações necessárias do nível de projeto para decisões bem consolidadas neste patamar de decisão.

O processo *top-down*, *bottom-up* pode ser realizado diversas vezes até se alcançar a estratégia que otimiza a utilização dos recursos e conduz a resultados compatíveis com as expectativas da administração (PMSGRT, 1994).

2.4.3 Comparação Entre as Abordagens

Nesta seção, apresenta-se uma breve comparação das vantagens e desvantagens de cada uma das abordagens, conforme apresentado por PMSGRT (1994). Naturalmente, a vantagem da abordagem em determinado nível corresponde à desvantagem da abordagem em outro, ou seja, uma vantagem da abordagem em nível de rede (otimizar as soluções e os recursos para a

totalidade da rede) constitui a fraqueza da abordagem em nível de projeto em otimizar a alocação dos recursos.

Assim a abordagem em nível de rede, caracterizada pela lógica *top-down* – otimização do sistema, dados agregados, quantidade de dados e recursos e modelos sofisticados – tem como vantagens:

- otimização da solução com uma análise que considera a totalidade da rede;
- permitir a comparação entre seções rodoviárias e a priorização daquelas que conduzem às melhores opções de investimento;
- programação e orçamentação visando atingir metas globais no período de análise;
- muito apropriada ao planejamento de médio e longo prazo;
- rapidez e acurácia para descerrar cenários sujeitos às restrições (opção declarada por um tipo de intervenção, aumento do limite da carga legal, redução drástica no financiamento);
- oferecer a possibilidade de se inferir as consequências resultantes do ajuste das variáveis de decisão, permitindo comparar cenários;
- possibilitar inferir genericamente as principais intervenções requeridas pela rede antes do desenvolvimento dos projetos;
- oferecer a oportunidade de se demonstrarem as consequências dos diversos cenários de decisão para os tomadores de decisão dos níveis mais altos, via de regra granjeando a simpatia da alta gerência para a implementação do sistema.

A abordagem em nível de projeto, conforme PMSGRT (1994), caracterizada por modelos mais simples, menor quantidade de dados agregados ainda que mais específicos, modelos mais próximos do entendimento do nível técnico e intervenções planejadas com maior nível de confiabilidade, apresenta como vantagens:

- dados mais confiáveis (visto que o fato de agregar dados, no nível de rede, introduz imprecisões decorrentes da agregação ou generalização);

- permitir utilização apenas para uma seção específica e por conseguinte dados daquela seção apenas;
- utilização para gerenciamento de pequenas redes de rodovias;
- ser mais eficaz para tratar segmentos menores e individualizados da rede, tratados de forma genérica na abordagem em nível de rede;
- dispensar a necessidade de calibração e retroalimentação contínua, uma vez que mais próximo do processo de decisão baseado em critérios técnicos.

2.5 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO DE RODOVIAS

Antes de tratar mais especificamente do assunto objeto desta pesquisa, há que se fazer algumas ressalvas. A primeira delas, conforme se verificou até aqui, refere-se à constatação de que o gerenciamento da manutenção transcende às rodovias, mais ainda à diferença entre rodovias pavimentadas e não pavimentadas. Sob esse aspecto, conceitualmente, as diferenças não são tão significativas, diferindo basicamente nas modelagens do desempenho e degradação dos ativos. A segunda ressalva diz respeito à escassez de referências encontradas para gerenciamento de rodovias não pavimentadas. Relativamente a essa dificuldade, e com intuito de se transpor essa limitação, optou-se por estender diversos conceitos aplicáveis ao gerenciamento de pavimentos para rodovias não pavimentadas. Ao assim proceder, manteve-se a expressão ‘pavimentada’ entre parênteses, de forma a não se perder a referência original.

Um sistema de gerência aplicável às atividades de manutenção de uma rede de rodovias, pavimentadas ou não, constitui um conjunto de ferramentas ou métodos para auxiliar aqueles que tomam decisões a definir o que fazer, onde fazer e quando fazer, de forma mais rentável (*cost-effective*) e a manter essa rede de rodovias em condição funcional aceitável, durante certo período de tempo (FHWA, 1989, citado por KAY *et al.*, 1993). No caso, a função desses sistemas é aumentar a eficiência e a consistência das decisões tomadas, expandir sua abrangência, fornecer retrospecto das decisões, facilitar a coordenação das diversas atividades dentro da organização (TIMMERMANS, 2005).

Para Gonçalves (1997), sistemas de gerência são estruturados dentro do conceito de Engenharia de Sistemas, em que as atividades necessárias à gerência de uma rede viária são interligadas de forma que as decisões possam ser embasadas e o monitoramento das condições da rede forneça um *feedback* para todo o processo, ao longo do tempo. Com tais ferramentas é possível efetuar ‘correções de rota’, por meio da análise crítica do grau com que os objetivos do sistema estão sendo atingidos.

Haas e Hudson (1978) propõem que sistema de gerência (de pavimentos) consiste em um conjunto amplo e coordenado de atividades associadas com planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de (pavimentos). O DNER (1983) considera que sistema de gerência (de pavimentos) compreende um vasto espectro de atividades, incluindo planejamento ou programação de atividades de dimensionamento, construção, manutenção e avaliação periódica de comportamento.

O conceito proposto Shahin (1990) considera sistema de gerência (de pavimentos) um método sistemático e consistente para selecionar necessidades e prioridades de manutenção e reabilitação, e para determinar o tempo ótimo de intervenção. Uma definição que talvez mais se aproxime do conceito de implementação, oferecendo caminhos a serem percorridos e metas a serem atingidas, é a proposta por Rodrigues (2003, p. 76), para quem, a finalidade básica de um sistema de gerência (de pavimentos) é auxiliar a organização responsável pela administração de uma rede viária a responder a seguinte questão:

sob certas restrições orçamentárias, quais as medidas de conservação e de restauração deveriam ser executadas, bem como quando e onde, de modo a se preservar o patrimônio representado pela infraestrutura existente e se obter o máximo retorno possível dos investimentos a serem realizados? Além disso, qual parcela de recursos disponíveis deveria ser alocada para novas pavimentações?

Assim sendo, no nível de gerência, os modelos de previsão de desempenho são utilizados para previsão da condição da rede, planejamento de orçamentos, programação de levantamentos e ensaios, planejamento de intervenções. No nível de projeto, os modelos são utilizados para selecionar entre alternativas de restauração que contemplam exigências do tráfego, variações climáticas, análises econômicas e financeiras.

Uma vez que esses modelos de desempenho oferecem oportunidade de se estimar o comportamento (do pavimento) dessas rodovias frente às diversas variáveis, permitem também elaborar prognósticos da condição da malha rodoviária; simular o comportamento

das rodovias, quando submetidas às diversas intervenções de manutenção; avaliar as diversas políticas alternativas de forma a otimizar a utilização dos recursos e a condição geral (do pavimento) das rodovias; vislumbrar as consequências das diversas políticas para a rede; estabelecer cenários de investimento – desde o mínimo necessário à manutenção da condição da rede até o cenário sem restrições orçamentárias, para as diversas alternativas de intervenções (DNER, 1983).

O sistema deve disponibilizar informações sobre intervenções de manutenção – como, quando e onde – serão executadas; as medidas devem estar orientadas a preservar o patrimônio e a obter o máximo retorno possível dos investimentos realizados; considerar recursos para o melhoramento da rede. De acordo com a AASHTO (1990), citado por Kay *et al.* (1993), sistemas de gerenciamento de rodovias (pavimentadas) são compostos por módulos independentes, os quais atuam de forma conjunta para alcançar os objetivos estabelecidos. Os três componentes típicos existentes em sistemas de gerenciamento, entre os quais os de rodovias, conforme referido na subseção 2.1.2.1 Sistemas de Gerenciamento, são: os banco de dados; os modelos de desempenho, análise e otimização; os processos de relatório e realimentação.

A Figura 8 apresenta um esquema clássico de um sistema de gerência de pavimentos, conforme apresentado em Haas *et al.* (1994), igualmente válido para concepção de um sistema de gerenciamento de rodovias não pavimentadas. O banco de dados, sem o qual não se tem sistema de gerenciamento, inclui, ao menos, os registros do patrimônio a ser mantido (inventário, condições atuais, histórico de intervenções desde a entrada em operação, fatores de deterioração, as intervenções-tipo de manutenção e custos dessas intervenções). No caso de rodovias, os fatores de deterioração podem ser, por exemplo, dados sobre o tráfego e o clima, constituição da estrutura da rodovia e materiais, geometria horizontal e vertical e acidentes (geometria e acidentes são considerados opcionais pela AASHTO, conforme Kay *et al.*, 1993). Os modelos de análise, segundo Kay *et al.*, podem ser agrupados em três categorias: modelos de análise das condições da rodovia (promovem a seleção das intervenções elegíveis, conforme a condição da rodovia); modelos de atribuição de ordens de prioridade (ferramentas que fazem com que os diversos trechos em análise sejam confrontados uns com os outros); modelos de otimização (ferramentas que buscam atingir o objetivo perseguido, entre as várias estratégias de análise, entre os quais a otimização do custo de transporte, da condição geral da rede, do benefício-custo).

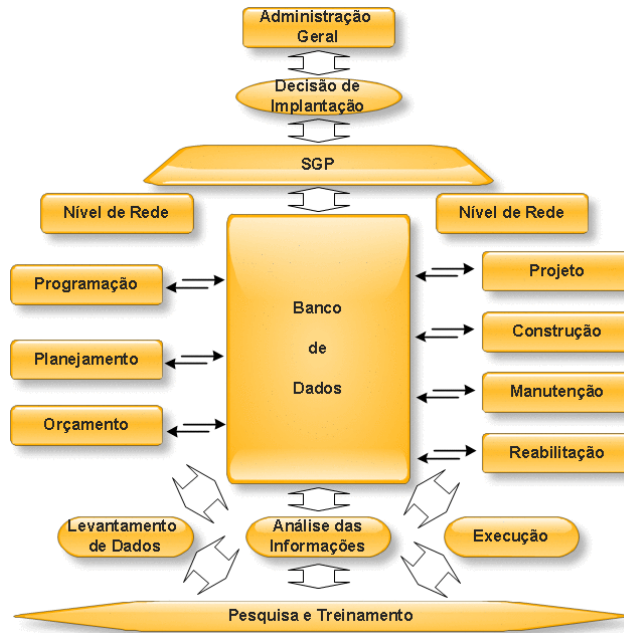


Figura 8: Esquema clássico de um sistema de gestão de pavimentos

Fonte: Marques (2005)

Conforme Gonçalves (1997), o sistema de gerenciamento deve oferecer para a Administração (nível de gerência) respostas para questões como: o que esperar da condição geral da rede, conforme a disponibilidade de recursos alocados para a manutenção, ou qual conjunto de intervenções oportunizará os menores custos para o transporte, o máximo retorno para os investimentos ou a melhor relação custo benefício. Ao nível de engenharia (nível de projetos), ele deve se constituir numa ferramenta de soluções técnicas de construção, manutenção ou melhoramento mais efetivas, respondendo a questões como: quais as estratégias de intervenção a serem adotadas, quando, como e onde e a que custo, com ou sem restrições orçamentárias, ou como forma de justificar os recursos de manutenção disponibilizados pela administração da organização.

Contudo, os Modelos HDM II, III e IV, patrocinados pelo Banco Mundial e utilizados mundialmente, não incorporam a expressão ‘sistema de gerenciamento’. Na segunda edição, o *The Highway Design and Maintenance Standards* (HDM II) considera-se um programa de computador para analisar o custo total do transporte das alternativas de melhorias em rodovias e estratégias de manutenção (ARCHONDO-CALLAO, 1994a). Em sua terceira edição, o *software* adicionou a expressão ‘modelo’, passando a se chamar *The Highway Design and Maintenance Standards Model* – HDM-III (WATANADA et. al, 1987b). A quarta edição do HDM, denominada *The Highway Development and Management Tool* – HDM-4 (KERALI,

2000), proporciona a aproximação de um sistema harmonizado para o gerenciamento de rodovias, como ferramentas de *software* adaptáveis e interface amigável aos usuários.

Alternativamente aos modelos HDM, há o Sistema de Necessidades Econômicas das Rodovias, o *Highway Economic Requirements System-State Version* ou simplesmente HERS-ST. É uma versão estatal porque o FHWA, que desenvolveu o projeto, recomenda sua utilização pelos departamentos de transporte americanos (DOTs) para seleção e priorização de projetos. A designação sistemas de necessidades econômicas das rodovias refere-se ao fato de o sistema HERS-ST comparar cada dólar aplicado em intervenção de manutenção e priorizar os diversos projetos concorrentes com base em análises de custo-benefício (USDOT, 2002).

3 RODOVIAS NÃO PAVIMENTADAS

Esta seção trata de rodovias não pavimentadas e aborda sua caracterização e importância para a vida econômica das comunidades rurais e também para a economia e a vida das cidades. Apresenta-se uma breve discussão sobre a serventia de rodovias não pavimentadas, passando-se, a seguir, aos principais mecanismos de deterioração, à manutenção em rodovias não pavimentadas e aos modelos de previsão de deterioração e desempenho. O objetivo do capítulo é proporcionar uma visão geral sobre rodovias não pavimentadas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO

As rodovias não pavimentadas, sob responsabilidade da União, dos estados e dos municípios representam, aproximadamente, 80% (1,368 milhões de quilômetros) da extensão da malha rodoviária brasileira (aproximadamente 1,712 milhões de quilômetros), conforme divulgado pelo DNIT (2009). Somente sob circunscrição dos municípios, são aproximadamente 1,235 milhões de quilômetros de rodovias não pavimentadas. Infere-se que não devem estar incluídas nessa extensão aquelas não pavimentadas existentes no âmbito de propriedades rurais; assentamentos; lavouras diversas; empreendimentos de exploração de florestas, o que permite supor que essa extensão é estimativa. Avalia-se também que esse número deve ser bem maior do que a extensão revelada pelo DNIT.

Neste estudo, optou-se por adotar a designação não pavimentada (*unpaved*), por entender que comporta maior número de tipos de rodovias do que outras expressões correlatas. No caso, a denominação ‘não pavimentada’ pode englobar as denominadas: não revestidas (*unsurfaced roads*), como as carroçáveis; de chão ou em terra (*earth roads*); pulverulentas (*dusty roads*), cuja camada superficial é constituída de solo local, sem a presença de agregado granular.

Sob a designação de não pavimentadas pode-se contemplar, igualmente, as denominadas rodovias carroçáveis ou sem revestimento primário (*dirt roads*, em BERKSHIRE, 2001), ou

revestidas com cascalho (*gravel roads*), com solo local incluindo agregado granular (*granular surfaced roads*, em CTRE, 2006), com cascalho ou basalto decomposto, latossolo, entre outros. A designação comporta ainda tanto as rodovias em solo ou revestimento primário melhoradas, por exemplo, com cimento, betume, cal, como as rodovias em empreendimentos florestais (*forest roads* ou *forest haul roads*), objeto deste estudo.

Conforme Paterson (1987), rodovias não pavimentadas têm seu comportamento e desempenho governado primordialmente pelo material de cobertura (*surfacing*) e do subleito de fundação (*roadbed*) e são influenciadas diretamente pelas ações combinadas do tráfego e do ambiente. O material de cobertura presta-se tanto à camada revestimento quanto à camada de suporte, devendo proporcionar resistência suficiente e espessura de cobertura aos esforços das cargas do tráfego aplicadas. Quando o material de superfície e o subleito de fundação apresentam espessuras suficientes para suportar e distribuir as cargas, Paterson o designa como pavimento (*paved*).

Tendo-se em consideração que o revestimento de cobertura é composto por material em estado natural, resulta ser ele naturalmente permeável. Contudo, a permeabilidade pode ser reduzida em alguns casos, como nos cascalhos misturados com material plástico ou materiais cimentados (tais como as lateritas, ferricretes e calcretes²). Se forem permeáveis, tanto as propriedades dos materiais constituintes quanto a pluviometria e a drenagem superficial influenciam fortemente o comportamento do revestimento sob tráfego. Da mesma forma o baixo coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) associado a deficiências na drenagem

² Ferricrete (couraça) – acumulação endurecida de ferro sob a forma de hematita e goethita, mostrando ainda importantes concentrações de caulinita e também de quartzo; a gibbsita pode estar presente. Pode apresentar diferentes estruturas, como nodulares, pisolíticas, maciças ou vermiformes. Calcrete - materiais superficiais, tais como os cascalhos ou areias cimentados por carbonato de cálcio (CaCO₃), como resultado de concentração por evaporação em clima seco, a partir das águas intersticiais próximas à superfície. Muitas vezes é chamado de caliche, embora calcrete seja mais adequado quando a composição for carbonática.

lateral concorre para o encharcamento do subleito e, por consequência, para a redução da capacidade de suporte.

Relativamente ao tráfego, ainda que as rodovias em empreendimentos florestais pudessem ser enquadradas como rodovias com baixo volume de tráfego (*low-volume roads*), por conta do número menor que 200 veículos diários médios por ano (VDMA), a elevada carga transportada e a sazonalidade do tráfego não o permitem. Os modelos do Banco Mundial DETOUR (ARCHONDO-CALLAO, 1999a) e RED (ARCHONDO-CALLAO, 2003) ou VOC (ARCHONDO-CALLAO e FAIZ, 1987b) preferem tratar com VDMs (*Average Daily Traffic* – ADT ou *Annual Average Daily Traffic* – AADT), enquanto o modelo da AASHTO classifica Rodovias de Baixo Volume de Tráfego aquelas cujo número equivalente (N) de operações de um eixo-padrão não exceda a 10^6 durante o período de projeto escolhido (BERNUCCI, 1995).

Por meio eletrônico, Archondo-Callao³ oferece a alternativa de se ajustarem a equações desenvolvidas para os modelos HDM e RED as configurações dos eixos e cargas por eixos praticadas, permitindo dessa forma, transpor essa etapa. Essas e outras dificuldades são transpostas, promovendo-se os ajustes necessários para superação das dificuldades, valendo-se dos próprios modelos desenvolvidos, sobretudo daqueles que derivam de bases empíricas, como os modelos HDM do Banco Mundial, os quais podem ser adaptados às condições locais da região em que se está trabalhando (ROHDE *et al.*, 1997).

³ From: "Rodrigo Archondo-Callao"; To: "Paulo Ricardo Rodrigues Pinto"; Sent: Monday, February 25, 2008 2:05 PM; Subject: Re: Informações sobre V.O.C.: *Prezado Paulo; No HDM-4 e no RED temos o "Articulated Truck" que tem 5 eixos e 18 rodas. O caminhão de voce é maior então a solução e adotar o "Articulated Truck" e calibrar (modificar) o "Articulated Truck" tomando em conta as características do caminhão de voces. Voces tem que: a) Utilizar o "RED - HDM-4 VOC (version 3.2).xls". b) Na pagina "Basic Imput Data", definir um "Truck Articulated" com um dos veículos na estrada. c) Na pagina "Calibartion Data" , na linha 21, calibrar o Articulated Truck, trocando as suas características. Voces teriam que ver o que voces podem modificar com a informação que voces tem do caminhão de voces. Fundamentalmente, voces tem que ajustar o numero de eixos (I), o numero de rodas (H), e a potencia do veículo (AU, AW, AY). O peso do vehiculo e definido no "Basic Imput Data". O Volume 5 do HDM-4 que vai anexo, tem alguma informacao sobre a cailbracao do HDM-4.*

3.2 IMPORTÂNCIA

Rodovias não pavimentadas desempenham importante papel socioeconômico para as comunidades tanto rurais como urbanas, pois correspondem à primeira parte do escoamento da produção agrícola. As rodovias municipais não pavimentadas estendem-se por 1,235 milhões de quilômetros de rodovias, de forma que não se comete qualquer exagero ao afirmar que 72% de todas as rodovias nacionais estão sob gestão municipal e não são pavimentadas. Às comunidades rurais, os benefícios ou prejuízos da falta de acessibilidade parecem evidentes: isolamento social e econômico, visto constituírem o principal meio de ligação – algumas vezes o único – entre pessoas, bens e produtos das zonas rurais e os centros urbanos. Rodovias não pavimentadas também representam uma necessidade estratégica, por serem o único acesso a instalações e equipamentos de infraestrutura, como barragens, estações de eletricidade, ou às regiões de fronteira.

O isolamento das comunidades rurais nem sempre é totalmente percebido pela população urbana e frequentemente é considerado decorrente de outros fatores. O encarecimento de produtos hortifrutigranjeiros em épocas de elevada pluviometria, por exemplo, é atribuído genericamente ‘ao clima’, não se percebendo a dificuldade de escoamento da produção, o enorme desperdício de tempo em atoleiros, o esvaziamento da carga para remoção do veículo. A Figura 9 ilustra esse inter-relacionamento.

Via de regra, a parcela da população dos grandes centros urbanos que melhor percebe as dificuldades causadas pela falta de acessibilidade é a dos prestadores de serviço ou fornecedores de bens e produtos a essas comunidades. Acostumados que estão a percorrerem os caminhos pavimentados até as populações urbanas, esses fornecedores depararam-se com enormes dificuldades para alcançar as comunidades rurais. Algumas vezes, produtos comuns, porém rapidamente perecíveis – como sorvetes, produtos resfriados ou congelados – sequer são comercializados nessas comunidades, seja por se tornarem muito caros, seja por chegarem deteriorados, encharcados, embarrados, totalmente empoeirados.

Não raramente, médicos de diversas especialidades atendem as comunidades somente nos períodos em que a trafegabilidade e a acessibilidade oferecem melhores condições ou quando o tráfego é permitido. Ressalte-se ainda as dificuldades para remoção de doentes ou pacientes necessitados de atendimento de urgência ou emergência. A saída das populações dessas comunidades servidas por rodovias não pavimentadas é frequentemente dificultada ou até

impedida. Não poucas às vezes, a população em idade escolar fica impedida de assistir às aulas ou é obrigada a fazer longas caminhadas até o ponto de embarque em veículos (com a obrigatória troca de roupas e calçados embarrados por limpos), porque os veículos de transporte não conseguem alcançar suas residências ou comunidades.

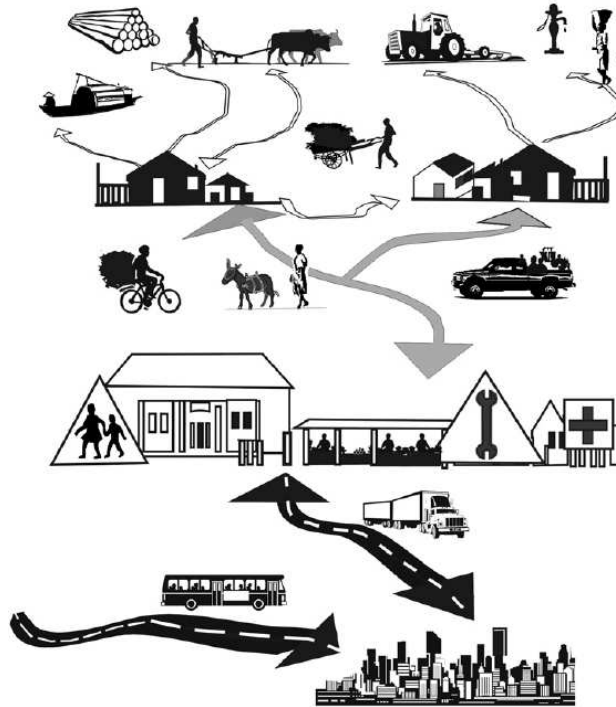


Figura 9: Inter-relacionamento entre áreas rurais e urbanas

Fonte: STARKEY, 2007

Rodovias rurais não pavimentadas são o primeiro e principal meio de escoamento agrícolas. A produção agrícola – desde os hortifrutigranjeiros, às criações como avicultura, suinocultura, piscicultura, pecuária – e todo o conjunto de produtos e serviços que geram são um dos principais fatores de fixação das populações rurais e representam as principais fontes de abastecimento das comunidades urbanas. As rodovias, em meio a empreendimentos de exploração econômica, podem sofrer enormemente com a perda da acessibilidade.

Em que pese sua importância para as populações urbanas, rodovias rurais não pavimentadas, de maneira geral, apresentam condições de trafegabilidade que oscilam entre ruim e péssima. Tradicionalmente, a manutenção dessas rodovias é negligenciada, sobretudo por serem os recursos insuficientes para atender a rede toda (pavimentadas e não pavimentadas) ou simplesmente porque a manutenção das rodovias pavimentadas encontra-se em ordem de prioridade superior à das não pavimentadas, sendo os recursos insuficientes para atender os

dois tipos. Verifica-se que os modelos de decisão baseados em lógica econômica e financeira – construídos predominantemente sobre custos para os usuários de rodovias (condições de trafegabilidade, custos de atraso, de operação, de acidentes) – determinam que haja muito mais recursos para aplicação em uma (com maior número de veículos e em melhores condições) do que em outra (com menor tráfego e em piores condições).

Conforme apresentado em Hine *et al.* (2003), não há qualquer dúvida de que as rodovias alimentadoras pavimentadas são indutoras de desenvolvimento regional assim como oferecem maiores reduções nos custos de transporte, entre tantos outros benefícios. Entretanto, as rodovias não pavimentadas seguem a reboque dessa lógica. Para se contrapor a essa lógica, o processo de gerenciamento da manutenção deve buscar intervenções viáveis, seja como meio de se alcançar o equilíbrio entre a redução nos custos totais do transporte, a diminuição nos tempos de viagem e a otimização na aplicação dos recursos disponíveis, seja como forma de atender pressupostos socioeconômicos da manutenção e não apenas os econômico-financeiros.

Diz-se que a igualdade, em princípio, é alcançada tratando-se desigualmente os desiguais, pois ao se oferecer tratamento desigual aos iguais, gera-se a desigualdade e ao tratar igualmente os desiguais, preserva-se a desigualdade. O mesmo princípio pode ser estendido às rodovias não pavimentadas. Neste caso, as avaliações econômicas são absolutamente necessárias como forma de quebrar o paradigma de que somente a pavimentação de rodovias gera desenvolvimento (HOBAN *et al.*, 1994), usado tanto para não pavimentar rodovias que não justificam tal investimento, como para não perpetuar o atraso econômico de localidades cuja pavimentação rodoviária justifica-se (ADLER, 1987).

Uma das políticas adotadas pelo Banco Mundial é integrar ações de melhoramento rodoviário com desenvolvimento agrícola e social, seja na área de projeto e avaliação (LEBO e SCHELLING, 2001), seja na área de gerenciamento e financiamento (CALVO, 1998). Para tanto, há um conjunto de projetos ligados às rodovias não pavimentadas (BEENHAKKER e CHAMMARI, 1979), pois que projetos de investimentos em melhoria das rodovias rurais têm proporcionado sensível redução da pobreza e crescimento econômico (VAN DE WALLE, 2000 e FERNIQUE, 2000).

Da mesma forma que os projetos do Banco Mundial direcionados para rodovias pavimentadas foram aproveitados pela iniciativa privada, mormente as concessões de rodovias, há

expectativa de que os projetos desenvolvidos para rodovias não pavimentadas sejam igualmente considerados, a exemplo do ROADEX e do *Forestry Commission Scotland* (JOHANSSON, 2004), que utilizam os modelos do Banco Mundial para gerenciamento de rodovias não pavimentadas. Conforme Heggie e Vickers (1998, p. v), o Banco Mundial tem expectativa que, mesmo as rodovias sob administração pública, sejam geridas sob uma ótica comercial e como negócio (*roads are big business and should be managed like a business*) e não como serviços sociais sem expectativas de retorno (*In other words, the road sector should be commercialized*).

Diversos fatores identificados, relacionados às condições de trafegabilidade das rodovias, impactam diretamente o desenvolvimento socioeconômico nas áreas circunvizinhas a uma rodovia. Entre eles estão irregularidade, trilhas de rodas, capacidade de suporte, deformações laterais, geometria horizontal ou vertical, largura da pista, restrições às cargas, interrupções sazonais, limites de velocidade. Tais fatores causam forte impedância ou restrição à propagação do desenvolvimento econômico e social. Uma rodovia que não opera de forma satisfatória exerce forte desestímulo a negócios, investimentos, serviços, turismo, na região e mesmo à vida social de pessoas e comunidades (LEBO e SCHELLING, 2001). Lebo e Schelling (p. 4) apresentam evidências de quanto a falta de acessibilidade contribui para o empobrecimento das comunidades e para a manutenção da situação de pobreza dessas populações.

Conforme Granlund (2004), que avaliou motoristas de caminhões, indivíduos atendidos por rodovias de pouca serventia permanecem expostos a riscos inaceitáveis à saúde (dores nas costas, estômago, coluna, cabeça, fadiga, etc.) e à segurança (derrapagens e capotagens). Esses riscos ameaçam desde o público em geral até os veículos comerciais de transporte de madeira, objeto do estudo de Granlund.

3.3 O CONCEITO DE SERVENTIA EM RODOVIAS NÃO PAVIMENTADAS

O gerenciamento precisa estabelecer metas a serem atingidas. Algumas delas transformam-se em indicadores a serem alcançados ou permanecerem como parâmetro de referência a ser buscado (*benchmark*). Esse é o caso do índice de serventia ou a capacidade de a rodovia servir aos propósitos para os quais foi construída. A serventia, contudo, não é conceito

exclusivamente aplicável às rodovias, mas a todo o tipo de patrimônio, designando a capacidade de o bem ou patrimônio servir aos propósitos de existência ou o grau de facilidade ou dificuldade de um item ser recolocado em condições de operação (DHILLON, 2006). A extensão do conceito de serventia às rodovias não pavimentadas trata-se, pois, de questão relevante para o presente estudo.

Este conceito, em sua aplicação a rodovias, foi desenvolvido inicialmente para vias pavimentadas. Em que pese o conceito poder ser transposto de pronto, remanesce a necessidade de estabelecer, conforme referido por Haas e Hudson (1978), uma forma de avaliar objetivamente a sensibilidade e a percepção humana, incluindo os efeitos das perturbações causadas pelo deslocamento e suas causas. Essa é a base para que se comece a pensar em gerenciamento, ou seja, estabelecer uma meta e um padrão de desempenho a serem atingidos.

Conforme proposto por Haas e Hudson, há cinco pressupostos básicos associados ao conceito de serventia (de pavimentos). Entende-se que tais premissas podem ser transpostas sem perda para rodovias não pavimentadas. Tomando-as por base, Carey e Irick (1962), citados por Haas e Hudson (1978), desenvolveram o Índice de Serventia Atual (*Present Serviceability Index – PSI*):

- rodovias são construídas para oferecer conforto, segurança e conveniência aos que se deslocam sobre ela;
- a opinião dos usuários, de como estão sendo servidos pela rodovia, importa ainda que seja uma avaliação amplamente subjetiva;
- há características nas rodovias que podem ser mensuradas objetivamente, as quais podem ser correlacionadas às avaliações subjetivas dos usuários de como a rodovia os serve;
- a serventia de uma rodovia pode ser expressa por uma média da avaliação atribuída por todos os usuários das rodovias;
- o desempenho é entendido como uma avaliação geral do histórico de serventia (do pavimento) da rodovia, tomando-se por referência a serventia inicial de quando foi construída.

A partir disso, conclui-se, *mutatis mutandis*, ser possível estender o conceito de serventia às rodovias não pavimentadas, tomando-se por parâmetro um dos mais conhecidos e utilizados métodos para avaliação de rodovias não pavimentadas: o índice de condição para rodovias não-revestidas (*Unsurfaced Roads Condition Index – URCI*), apresentado por Eaton e Beaucham (1992).

A metodologia URCI propõe que o usuário, primeiro, atribua escores à condição da rodovia durante uma inspeção de dentro do carro (*windshield inspection*) e, posteriormente, promova um levantamento mais detalhado das rodovias objetos de intervenção. Assim procedendo, o avaliador vai classificando os defeitos em termos de nível de severidade (baixa, média e alta) e densidade ou extensão do defeito. Tal ocorre de forma idêntica ao procedimento utilizado para cálculo do *Pavement Condition Index – PCI* (USACE, 1982), semelhante à metodologia VIZIR (AUTRET e BROUSSE, 1992) ou OECD (1990).

FHWA (1998) trata diretamente do assunto, quando reconhece que, ainda que rodovias encascalhadas (*gravel roads*) não sejam projetadas e construídas com os mesmos padrões demandados das rodovias interestaduais (pavimentadas), elas precisam atender certas exigências mínimas para prover ‘serviços’ adequados. Menciona explicitamente que o número terminal para a perda da serventia não deve ser inferior a 2,00, no caso de rodovias não pavimentadas ou não revestidas. Entre os requisitos mínimos estão:

- integridade estrutural (devem ser projetadas e construídas para serem robustas, estáveis e com subleitos bem drenados, como forma de resistir aos esforços, evitar desagregação, deformações, trilhas de rodas, entre outros);
- trafegabilidade (rodovias encascalhadas devem proporcionar desempenho – *smoothness* – para um deslocamento suave, de maneira que os usuários não sejam obrigados a mudanças bruscas de percursos ou frenagens para evitar defeitos na superfície, alinhamento horizontal e vertical adequados, e dispositivos de drenagem suficientes;
- segurança (rodovias em cascalho devem ser construídas e mantidas para oferecer segurança, e redobrados esforços com aderência, distância de frenagem e sinalização nos cruzamentos).

Não se pode perder de vista alguns indicadores de desempenho que devem ser avaliados tanto para infraestrutura, quanto para rodovias como as vias não pavimentadas. Eles são demandados para a infraestrutura de maneira geral, para uma infraestrutura específica (rodovias em geral) ou para uma parte dessa infraestrutura (rodovia não pavimentada). Tais indicadores propostos por Hudson *et al.* (1997) podem ser agrupados em quatro amplas categorias: qualidade e continuidade dos serviços sob a ótica dos usuários; segurança e suficiência dos serviços oferecidos; condições físicas; integridade estrutural e capacidade de suportar as cargas – nessa ordem em que aparecem.

3.4 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO

Rodovias não pavimentadas têm seu comportamento determinado pelo material de cobertura e do subleito de fundação e são influenciadas diretamente pelas ações combinadas de tráfego e ambiente. O material de cobertura presta-se tanto à camada revestimento quanto à camada de suporte aos esforços das cargas do tráfego aplicadas.

Os mecanismos de deterioração atuam de forma muito mais acentuada em rodovias não pavimentadas do que sobre as pavimentadas. Paterson (1987) ressalta que o processo de deterioração verificado durante os períodos úmidos e chuvosos é diferente daquele que ocorre nos períodos secos e são mais ou menos acentuados conforme a maior ou menor resistência do material de revestimento e do subleito. O mesmo autor refere que rodovias não pavimentadas são afetadas por três mecanismos principais de deterioração:

- remoção e abrasão do material de superfície em decorrência do tráfego;
- deformação da camada de revestimento e constituinte do subleito, decorrente das cargas do tráfego e ou condições de umidade;
- erosão da camada superficial devido a tráfego, água e ou vento.

Para o FHWA (1998) assim como para BERKSHIRE (2001), os fatores mais comuns que afetam o desempenho de rodovias não pavimentadas são:

- tráfego (os danos causados pelo rodado dos veículos está relacionado à carga e ao número de eixos);

- qualidade do substrato (na medida em que rodovias não pavimentadas necessitam de substratos adequados para suportar os esforços do tráfego);
- técnicas de construção e manutenção (a escolha de materiais e práticas adequadas contribuem enormemente para estender a vida de serviço das rodovias não pavimentadas);
- programas de manutenção (rodovias não pavimentadas requerem regularidade nas ações de manutenção rotineira e preventiva, pois a identificação prematura de defeitos possibilita evitar maiores desembolsos depois – *pay now or pay more later*);
- água (80% dos problemas existentes em rodovias não pavimentadas têm entre suas causas na presença de água, por drenagem insuficiente, no entanto nem toda água é ruim para a rodovia – especialmente no auxílio à compactação; na preservação da vegetação que auxilia o combate à erosão; quando confere maior trabalhabilidade à laminagem).

A Figura 10 ilustra alguns dos principais fatores concorrentes para a deterioração em rodovias não pavimentadas (ALZUBAIDI, 2001). Os defeitos determinados pelo congelamento do solo, citado por Alzubaidi, por terem probabilidade de ocorrência bastante reduzida nos países tropicais, não são abordadas no presente estudo.

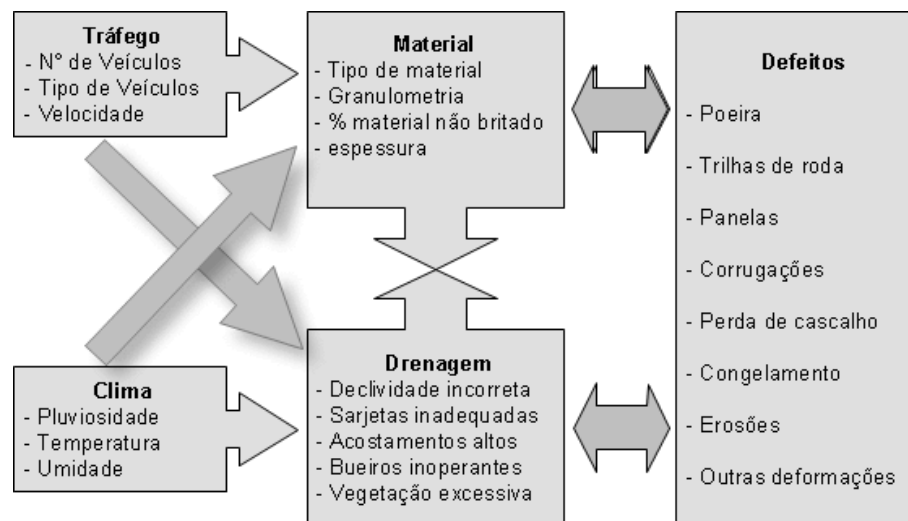


Figura 10: Processo de deterioração em rodovias não pavimentadas

FONTE: Alzubaidi (2001)

Tanto em FHWA (1998) e BERKSHIRE (2001) quanto em Alzubaidi (2001) não incluem a geometria horizontal e vertical ou a influência das intervenções de manutenção, tais como patrolamento e compactação. Esses fatores, entretanto, são considerados nos modelos de desempenho propostos pelo HDM-III e HDM-IV.

Relativamente ao processo de deterioração em rodovias não pavimentadas, Visser (1981) propõe quatro principais modos de abordar o problema, para subsidiar a elaboração de modelos de previsão do comportamento dessas vias e dar apoio às medidas de manutenção. Os quatro principais processos de deterioração propostos por Visser são:

- deterioração em regime seco;
- deterioração em regime úmido;
- deterioração em regime úmido com revestimento deficiente;
- deterioração em regime úmido e camada de subleito deficiente.

3.4.1 Deterioração em Regime Seco

Na deterioração em regime seco os mecanismos que mais se destacam são:

- remoção de material ou abrasão da camada superficial, que resulta em perda de material e trilha de rodas;
- perda do material superficial por arrancamento ou poeira;
- perda de materiais nas corrugações sob a ação do tráfego;
- desagregação da superfície, nos casos em que não há coesão suficiente para manter a superfície intacta.

Esses mecanismos provocam irregularidade e perda de material, sendo a progressão da deterioração função primária das propriedades do material revestimento/superficial. A modelagem do mecanismo de deterioração utiliza a abordagem empírica, dada a ausência de modelos teóricos.

Conforme Paterson (1987), citando Visser (1981), há consenso que algum cuidado com a granulometria do material de cobertura pode contribuir para a minimização dos mecanismos

de deterioração e prolongar a vida útil do revestimento. Uma proporção adequada de finos ($P_{075} > 14\%$, a qual contribui para aumentar a coesão, onde P_{075} = percentagem de material mais fino que 0,075mm ou o material passante na peneira #200) aparece como o fator primário para prevenir desagregação e perda, e reduzir a tendência ao aparecimento de corrugações.

3.4.2 Deterioração em Regime Úmido

Em regimes úmidos, a ruptura por cisalhamento é o padrão determinante de deterioração. Conforme Paterson (1987) e Visser (1981), quando a resistência ao cisalhamento dos materiais da superfície e fundação da rodovia é suficiente para suportar as tensões geradas pelo tráfego, a deterioração ocorre somente na superfície. Tal situação prevalece, de maneira geral, tanto onde as condições de drenagem são boas quanto onde a qualidade dos materiais utilizados é boa. Os principais tipos de deterioração, neste caso, são:

- erosões superficiais decorrentes das condições ambientais e da ação do tráfego;
- perda e abrasão da superfície decorrentes da ação do tráfego, causando trilha de roda e perda do material de superfície;
- formação de panelas e buracos decorrentes da ação do tráfego (a pressão da água superficial acumulada nas depressões provocada pelos pneus dos veículos contra os grãos do revestimento causa a desagregação e a suspensão do material fino e a água com material em suspensão é também forçada para fora da depressão, gerando e ampliando depressões, buracos e panelas).

3.4.3 Deterioração em Regime Úmido e Camada de Revestimento Deficiente

Conforme Paterson (1987) e Visser (1981), quando a camada de superfície apresenta resistência ao cisalhamento inadequada, sob condições de drenagem normais, para suportar as tensões geradas pelas cargas do tráfego, a rodovia rompe por cisalhamento e uma deformação ocorre. A superfície da rodovia torna-se cediça e lamacenta sob umidade, até permitindo que poucos veículos passem, mas as condições de trafegabilidade vão piorando na medida em que ocorre nova passagem. Conforme os autores, tradicionalmente, ensaios simples de resistência ao cisalhamento como o Índice de Suporte Califórnia têm sido utilizados para identificar a resistência dos materiais. Salientam, porém, que outras propriedades dos materiais, como

índice de plasticidade, limites de liquidez e módulo de finura permitem prever o comportamento do material sob as condições descritas.

De acordo com Paterson (1987), os trabalhos desenvolvidos por Visser (1981) demonstraram que o Índice de Suporte Califórnia submerso é mais confiável para inferir o comportamento do material de superfície do que os índices de plasticidade e percentagem de finos. Para Visser, há clara demarcação entre aquelas seções que se tornam intransitáveis e aquelas que preservam comportamento adequado. Empiricamente, Visser propõem a equação 1:

$$\text{SFCBR} \geq 8,25 + 3,75 \log_{10}(\text{ADT}) \quad 1$$

Onde:

SFCBR = é o Índice de Suporte Califórnia submerso (*soaked California Bearing Ratio*), em percentual, para o Proctor Normal (600kJ/m^3), o qual é o mínimo para assegurar a trafegabilidade, e

ADT = é o número de veículos diários médios (*average daily traffic*) em ambas as direções, em veículos por dia.

3.4.4 Deterioração em Regime Úmido com Camada de Subleito Deficiente

Nos locais onde o solo do subleito é deficiente, um reforço precisa ser aplicado, de forma a proteger o subleito e limitar as deformações provocadas pelo tráfego para níveis aceitáveis. Quando esse reforço ou subleito são inadequados e submetidos a tensões elevadas, as deteriorações assumem a forma de afundamentos ou deformações permanentes na trilha de rodas.

Essas deteriorações são frequentes nas áreas onde a drenagem superficial e subsuperficial é pobre ou nas rodovias sobre subleitos com baixa capacidade de suporte. A espessura e a rigidez da camada de revestimento (normalmente uma única camada sobre o subleito) devem ser suficientes para receber e transmitir os esforços, para que as tensões e deformações provocadas dentro do subleito sejam reduzidas a níveis em que as tensões e a deformação permanente do material sejam aceitáveis.

Os níveis de tensão são influenciados fortemente por volume e carga do tráfego e pela resistência de cisalhamento do material do subleito local, o qual depende da densidade de compactação e da umidade (que está associada às condições climáticas e de drenagem).

Tradicionalmente, a espessura e a resistência do material exigidas têm sido determinadas por métodos empíricos, entre os quais, o critério desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros dos

Estados Unidos (USACE). Segundo essa metodologia, apresentada na equação 2, a espessura de cobertura é definida em termos da resistência do subleito e dos materiais de revestimento, condicionado e simplificado para carga equivalente por roda simples de 40kN.

$$\log_{10} HG = 1,40 + 12,3.C_1^{-0,466} .C_2^{-0,142} .NE^{0,124} .RD_C^{-0,5} \quad 2$$

Onde:

HG = a espessura de revestimento de cascalho (mm);

C_1 = CBR submerso do material de revestimento (%);

C_2 = CBR submerso do material do subleito (%);

NE = numero de eixos acumulados de projetos, equivalentes a 40kN, de eixo simples a pressão de pneu de 550kPa;

RD = afundamento máximo permitida da trilha de roda (mm), definida pelo usuário, inferior a 2,5 ou 5,0cm conforme Skorseth e Selim (2000), enquanto Paterson (1987) trabalha com 7,5 a 10,0mm.

Segundo Paterson (1987), nos casos mais gerais o coeficiente 12,3, apresentado na equação 2, é substituído pela equação 3.

$$0,856.P^{0,235} .Q^{0,285} \quad 3$$

Onde:

P_1 = carga equivalente por roda simples (kN);

Q = pressão do pneu (kPa);

NE é substituído por N, o número de coberturas da carga (P, Q)

Estudos adicionais – contemporâneos aos de Visser (1981), mormente Greenstein e Livneh (1981), citados por Paterson (1987), a partir de estudos desenvolvidos na Tailândia e no Equador – chegaram à equação 4, para estimativa da resistência do material necessária às rodovias não pavimentadas, para um afundamento máximo permitido de 7,5mm na trilha de roda.

$$C_2 = 0,0138(N^{0,175})(P^{0,580})(Q^{0,490}) \quad 4$$

Onde:

P, Q e N têm os mesmos significados já mencionado.

3.5 A MANUTENÇÃO EM RODOVIAS NÃO PAVIMENTADAS

As medidas de manutenção aplicáveis às rodovias não pavimentadas, conforme a revisão dos conteúdos e da literatura realizada pela pesquisa, são o assunto deste tópico. Verificou-se um vasto conjunto de providências de manutenção, havendo diversas publicações que vão ao detalhe da técnica de conduzir essas intervenções, conforme referido na seção sobre a evolução do gerenciamento da manutenção, entre as quais as de Parker (1981), Santos *et al.* (1985), KLTAP (2004) e Baesso e Gonçalves (2003).

De acordo com Skorseth e Selim (2000), a manutenção de rodovias não pavimentadas, de maneira geral, depende de dois princípios básicos: uso intensivo e adequado de motoniveladoras (ou outra forma de espalhamento, conformação e nivelamento) e utilização de revestimentos que ofereçam boa condição de rolamento. Outro ponto ressaltado pelos autores, no que são acompanhados por OCDE (1990), diz respeito ao incremento das cargas transportadas: caminhões e equipamentos agrícolas tiveram enorme evolução em termos da carga transportada e potência dos motores (relação peso-potência), ao passo que as rodovias permanecem praticamente com o mesmo processo de dimensionamento.

As motoniveladoras são utilizadas tanto para se proporcionar uma boa superfície de rolamento quanto para sulcar os dispositivos de drenagem para a rodovia. Entretanto, o uso de materiais adequados nem sempre é respeitado, de forma que o aparecimento de segregação de agregados ou corrugações sobre a superfície de rolamento é atribuída ao patrolamento quando, porém, tem sua maior causa na utilização de material inadequado. Tal é particularmente preocupante quando se pensa em rodovias em empreendimentos florestais, lançadas sobre solos com baixa capacidade de suporte e submetidas a solicitações significativas. Outro aspecto destacado pelos mesmos autores é a necessidade de pensar cuidadosamente sobre a drenagem das rodovias, como forma de evitar a perda da capacidade de suporte decorrente do excesso de umidade acumulada.

Para Paterson (1987) e Watanatada (1987b) e mais recentemente Morosiuk *et al.* (2004), em rodovias não pavimentadas, com materiais de substrato e espessuras da camada de revestimento adequadas de uma forma geral, os principais efeitos da deterioração a serem tratados pela manutenção são:

- irregularidade longitudinal, a qual cresce ao longo do tempo sob a ação do tráfego e do ambiente e é definida em uma escala padrão de IRI (*International*

Roughness Index ou Índice Internacional de Irregularidade) em m/km. A medida recomendada para redução da irregularidade longitudinal é o patrolamento ou a laminagem;

- perda de material da superfície, cuja ocorrência se deve à ação do tráfego (por meio do arrancamento do agregado graúdo e perda de finos) e da erosão pela água e vento e é configurada na alteração da espessura média do material depositado sobre a camada de revestimento. A perda do material de superfície é corrigida pelo encascalhamento.

Os outros modos de deterioração são aqueles que demandam intervenções de ‘projeto’ ou especificação de materiais, seja na construção ou na restauração das rodovias não pavimentadas:

- trilha de roda – decorre do tráfego quando o revestimento ou o subleito são constituídos de materiais com resistência ao cisalhamento inadequada para suportar as cargas do tráfego e ou prevalecem as condições de umidade, sendo medidas, por exemplo, como uma média da profundidade na trilha das rodas. A trilha de roda é tratada, até determinado ponto, com laminagem e, após esse, com encascalhamento;
- desgaste da superfície – afeta a trafegabilidade, a aderência e a segurança dos veículos e é medida em termos da redução da espessura da camada. É sugerida a laminagem até determinado ponto e, após esse, o encascalhamento;
- intrafegabilidade – ocorre quando o material de revestimento tem resistência inadequada (usualmente em decorrência da saturação ou encharcamento), para permitir aos veículos trafegarem pela superfície. A interrupção do tráfego é tratada com a sobreposição de camadas de cascalho.

Os fenômenos de deterioração a serem recuperados pela manutenção, enumerados nesta seção, são controlados, sobretudo, por resistência, adequação e espessura dos materiais depositados sobre a superfície e em consonância com os critérios de dimensionamento apresentados anteriormente. Muito mais do que ocorre nas rodovias pavimentadas, em que pese a semelhança entre as características das estradas e mesmo das regiões, os procedimentos para manutenção aplicáveis a determinado leito não pavimentado não são totalmente

aplicáveis a outro, conforme salientado por Visser e Hudson (1983). A essa conclusão também chegou Oda (1995).

3.6 MODELOS DE PREVISÃO DE DETERIORAÇÃO E DESEMPENHO

Nesta subseção, são apresentados os modelos de previsão de deterioração e desempenho, entre os quais a evolução da irregularidade longitudinal, o efeito da laminagem ou patrolamento sobre a irregularidade, o parâmetro de irregularidade média durante o ano de análise, os ciclos de conservação da irregularidade, o cálculo da perda de material pelo uso e intempéries, o volume para obturação de depressões.

Modelos de deterioração e desempenho são importantes porque os sistemas de gerenciamento e sua consequente orientação em relação às intervenções mais recomendáveis – seja em termos econômicos e financeiros, seja em termos de soluções técnicas para combater os defeitos identificados –, tem o seu ‘cérebro’ nesses modelos de previsão. Nesse sentido, a abordagem sistêmica permite, a partir de dado contexto, inferir uma condição para a rodovia em determinado período de tempo; confrontar as diversas alternativas de intervenção para tratar a deterioração; avaliar seus custos e benefícios econômicos e financeiros.

Os modelos para rodovias não pavimentadas não foram objeto de atualização durante o *International Study of Highway Development and Management Tools* (ISOHDM), conforme ressaltado por Morosiuk *et al.* (2004). Dessa forma, os modelos considerados no HDM-4 são efetivamente aqueles desenvolvidos por ocasião do HDM-III e as referências, neste caso, continuam sendo os trabalhos de Visser (1981), Paterson (1987) e Watanatada (1987b). Verifica-se também o fato de o trabalho desenvolvido por Visser (1981) ser bem mais detalhado do que o conteúdo apresentado por Paterson (1987) e Watanatada (1987b) e ambos mais detalhados que a breve descrição incluída em Morosiuk *et al.* (2004).

3.6.1 A Evolução da Irregularidade Longitudinal

A irregularidade longitudinal de rodovias não pavimentadas cresce, segundo Paterson (1987), por meio de cisalhamento, desintegração e erosão do material de revestimento primariamente como função do tráfego acumulado e erosão causada pelo escoamento de águas. O processo reinicia a cada laminagem e existem outros fatores relacionados não diretamente ao tráfego, a quem pode ser atribuído o aumento da irregularidade, e vento, por exemplo. Segundo

Paterson, o mecanismo mais importante para incremento da irregularidade é a fricção entre o material de superfície e o tráfego, fricção essa que aumenta sob condições secas.

Aparentemente, condições de chuvas leves e moderadas, em presença de boas condições de drenagem, proporcionam boa coesão entre o material e a preservação da compactação, permitindo interromper o crescimento da irregularidade. Os estudos que levaram ao HDM-III demonstram que, durante longos períodos de observação sem intervenções de laminagem, a irregularidade eventualmente atingia níveis muito elevados, mas nem sempre, demonstrando que a máxima irregularidade prevista é predominantemente uma função das características da rodovia (MOROSIUK *et al.*, 2004).

A irregularidade máxima, RI_{Max} , demonstrou ser uma função das propriedades dos materiais constituintes do leito estradal, da geometria da rodovia e da pluviosidade. Tais características são essencialmente independentes de tráfego, idade e intervenções de manutenção, e representam o comportamento potencial para uma rodovia sem intervenções de manutenção. Ainda que as características dos materiais não apareçam de forma explícita na fórmula geral, elas são contemplados no parâmetro ‘b’ (PATERSON, 1987).

O modelo de previsão da irregularidade longitudinal tratado na equação 5 é o apresentado por Morosiuk *et al.* (2004).

$$RI_{TG2} = RI_{max} - b [RI_{max} - RI_{TG1}] \quad 5$$

Onde:

RI_{TG1} , RI_{TG2} = irregularidade longitudinal nos tempos TG_1 e TG_2 , em m/km, respectivamente;

TG_1 , TG_2 = tempo decorrido desde a última laminagem, em dias;

$RI_{max} = \max \{ [21,5 - 32,4.(0,5-MGD)^2 + 0,017.HC - 0,764.RF.(MMP/1000)]; 11,5 \}$;

$b = \exp [c (TG_2 - TG_1)]$ onde $0 < b < 1$

$c = \{-0,001 [0,461 + 0,0174.ADL + 0,0114.ADH - 0,0287.ADT.(MMP/1000)]\}$

ADL = tráfego leve médio diário, peso bruto < 3.500kg, em ambas as direções, em veículos por dia;

ADH = tráfego pesado médio diário, peso bruto \geq 3.500kg, em ambas as direções, em veículos por dia;

ADT = tráfego médio diário total, em ambas as direções, em veículos por dia;

MMP = precipitação média mensal, em mm/mês;

RF = o gradiente vertical médio longitudinal, *rise and fall*, em m/km;

HC = média de curvatura horizontal, *horizontal curvature*, em graus/km;

MGD = razão quantidade de poeira do material ($MGD = P075 / P425$, se $P425 > 0$ ou $MGD = 1$, se $P425 < 0$)

P425 = total do material que passa na peneira 0,425mm, em percentual de massa;

P075 = total do material que passa na peneira 0,075mm, em percentual de massa;

Outro parâmetro a ser integrado à fórmula é a presença ou não de compactação mecânica. Conforme referido por Morosiuk *et al.* (2004), Paterson (1987) observou que, nas construções ou reabilitações onde se utilizava a compactação mecânica, a irregularidade longitudinal crescia a uma taxa menor do que aquela dada pelo modelo. Inclui-se então um fator de redução da progressão da irregularidade, conforme a equação 6.

$$c' = c \{ \min [1; 0,25(t) \max (1; n^{0,33})] \} \quad 6$$

Onde:

t = tempo transcorrido desde o encascalhamento ou construção com compactação mecânica, em anos;

n = frequência da laminagem, em ciclos/anos;

$$b' = \exp \left[365 \left(\frac{c'}{n} \right) \right]$$

Quando a compactação mecânica é utilizada, b' e c' assumem o lugar de b e c, na equação 5, respectivamente. Morosiuk *et al.* (2004) propôs a alteração apresentada na equação 7.

$$c = K_c \min [1; \text{COMPGR} (t) \max (1; n^{0,33})] \{-0,001 [0,461 + 0,0174.ADL + 0,0114.ADH - 0,0287.ADT (MMP/1000)]\} \quad 7$$

Onde:

COMPGR = tipo de compactação usada durante a construção ou encascalhamento, utilizando-se 1, quando não há compactação mecânica durante a construção ou encascalhamento e 0,25, quando há compactação mecânica.

K_c = fator de calibração para progressão da irregularidade (default = 1,0);

As demais variáveis como definidas anteriormente.

3.6.2 O Efeito da Laminagem ou Patrolamento

A laminagem ou patrolamento de rodovias não pavimentadas é a forma de manutenção mais comum e frequente de se controlar a irregularidade. Na laminagem, promove-se a redistribuição do material de revestimento, o nivelamento da plataforma, a reintrodução dos finos depositados nas sarjetas e valetamento, como forma de, uma vez recomposta a superfície, se reiniciar o processo de progressão da irregularidade. Reconhecendo que o

processo é cíclico, o modelo desenvolvido pelo HDM-III prevê o crescimento da irregularidade e o efeito da laminagem sobre essa separadamente.

De acordo com Paterson (1987), o modelo estabelece que a taxa de crescimento da irregularidade está relacionada a tráfego, pluviometria, tempo e que a máxima irregularidade estimada é função das propriedades do material de revestimento e da geometria da rodovia. A irregularidade mínima, igualmente, é função das propriedades do material de revestimento, mormente, o tamanho máximo do agregado e as características do material de granulometria mais grossa.

A irregularidade máxima aumenta com a curvatura horizontal, primariamente, em função dos efeitos da erosão sobre a superfície e da tração dos veículos nas curvas. A eficácia da laminagem em reduzir a irregularidade está condicionada, primariamente, à irregularidade existente antes da laminagem e, secundariamente, ao tamanho máximo da partícula do agregado e à granulometria do material de revestimento. Paterson (1987) faz referência à habilidade do operador da motoniveladora: ele tem impacto significativo na redução da irregularidade, podendo representar 34% de sua redução.

O modelo de previsão da eficácia da laminagem sobre a irregularidade longitudinal tratado na equação 8 é apresentado por Morosiuk *et al.* (2004).

$$RI_{ag} = \min [RI_{\min} + a (RI_{bg} - RI_{\min}); RI_{bg}] \quad 8$$

Onde:

$$a = K_a \max \{ 0,5; \min [\text{GRAD} (0,533 + 0,23. \text{MGD}); 1] \}$$

RI_{\min} = mínimo de irregularidade alcançável após a laminagem, em m/km;

$$RI_{\min} = \max \{ 0,8; \min [7,7; 0,36.D95.(1 - 2,78.MG)] \}$$

K_a = fator de calibração para o efeito da laminagem

GRAD = depende do tipo de laminagem (conforme Tabela 1)

RI_{ag} = irregularidade depois da laminagem, em m/km;

RI_{bg} = irregularidade antes da laminagem, em m/km;

D95 = máximo tamanho da partícula de material, definida como a peneira pela qual passam 95% de material, em mm;

MG = inclinação média da granulometria do material;

MGD = MGD = razão quantidade de poeira do material.

A inclinação média da granulometria do material é calculada conforme a equação 9.

$$MG = \min [MGM; (1-MGM); 0,36]$$

9

Onde:

$$MGM = \frac{MG075 + MG425 + MG02}{3}$$

$$MG075 = \frac{\log_e \left(\frac{P075}{95} \right)}{\log_e \left(\frac{0,075}{D95} \right)} \text{ se } D95 > 0,4; \text{ MG075} = 0,3 \text{ nos demais casos}$$

$$MG425 = \frac{\log_e \left(\frac{P425}{95} \right)}{\log_e \left(\frac{0,425}{D95} \right)} \text{ se } D95 > 1,0; \text{ MG425} = 0,3 \text{ nos demais casos}$$

$$MG02 = \frac{\log_e \left(\frac{P02}{95} \right)}{\log_e \left(\frac{2,0}{D95} \right)} \text{ se } D95 > 4,0; \text{ MG02} = MG425 \text{ nos demais casos}$$

Tabela 1: Referência para os vários tipos de laminagem

Tipo de laminagem	GRAD
Laminagem não motorizada, arraste de vegetação ou pneus	1,40
Laminagem motorizada leve, pouca ou nenhuma água, sem compactação	1,00
Laminagem motorizada pesada, com água e compactação mecânica	0,75
Processamento completo da camada de revestimento, com água e compactação pesada	0,25

Fonte: Morosiuk *et al.* (2004)

3.6.3 A Irregularidade Média Durante o Ano de Análise

Os modelos de previsão descritos anteriormente trataram do crescimento da irregularidade entre duas laminagens consecutivas e da redução da irregularidade por meio de laminagens. Ao longo de um ano, há contudo, haverá diversos ciclos de crescimento da irregularidade e regressão decorrente das ações de manutenção (mormente o patrolamento). O HDM-III, contudo, utiliza a média da irregularidade ao longo do ano como parâmetro de referência para outros modelos, em especial o modelo de custo para os usuários da rodovia.

É necessário, portanto, que se encontre o valor médio da irregularidade para o ano de referência ou de análise. Esse valor médio da irregularidade é calculado combinando-se o modelo de crescimento da irregularidade com o do efeito da laminagem. A sequência para o cálculo do valor médio anual é apresentada em Morosiuk *et al.* (2004). Nos casos em que $t \cdot n > 1$, a irregularidade média durante o ano t , RI_{avg} , é dada pela equação 10:

$$RI_{avg} = (1 - y) RI_{max} + S_N (y/n) \quad 10$$

Onde:

$$y = (b-1) \left(\frac{n}{365c} \right)$$

$$S_N = \frac{n.k + [1 - (a.b)^n].RI_a - k \frac{[1 - (a.b)^n]}{1 - (a.b)}}{1 - (a.b)^n}$$

$$k = (1 - a).RI_{min} + a(1 - b).RI_{max}$$

RI_{avg} = média da irregularidade durante o ano t, em m/km

RI_a = a irregularidade no início do ano t, em m/km

RI_{min} = irregularidade mínima para o material especificado, calculado na seção O Efeito da Laminagem, em m/km

RI_{max} = irregularidade máxima para o material especificado, calculado na seção O Efeito da Laminagem, em m/km

t = tempo desde o encascalhamento ou construção com compactação mecânica, em anos

n = frequência das laminagens ou patrolamentos, em ciclos /ano

a = como definido na seção O Efeito da Laminagem

b = como definido na seção A Evolução da Irregularidade Longitudinal

c = como definido na seção A Evolução da Irregularidade Longitudinal

A irregularidade no início do ano, RI_a , para o primeiro ano de análise, após o encascalhamento ($t = 1$), é definida normalmente pela equação 5. Para os anos seguintes, a irregularidade no início do ano é calculada como a irregularidade no final do ano imediatamente anterior ($t-1$), RI_b , pela equação 11

$$RI_b = (a.b)^n . RI_a + \frac{k[1 - (ab)^n]}{(1 - ab)} \quad 11$$

Se $t.n < 1$, a irregularidade média durante o ano, RI_{avg} , é dada pela equação 12.

$$RI_{avg} = RI_{max} - (RI_{max} - RI_a) \cdot \left(\frac{\exp(365c) - 1}{365c} \right) \quad 12$$

A irregularidade ao final do ano, RI_b , é dada pela equação 13.

$$RI_b = RI_{max} - (RI_{max} - RI_a) . \exp(365c) \quad 13$$

3.6.4 Os Ciclos de Conservação da Irregularidade

A pesquisa de Paterson (1987) demonstrou que, quando as laminagens são realizadas a intervalos regulares, seja a períodos de tempo constante ou a intervalos regulares de veículos acumulados, a irregularidade tende a se manter em determinado patamar. Este estado de conservação é caracterizado por uma linha tipo ‘dente de serra’, ao longo do tempo, na qual os topos e as depressões correspondem às irregularidades imediatamente antes e depois das intervenções de patrolamento. Os picos e as depressões, expressos por RI_H e RI_L , respectivamente, são estimados pelas equações 14 e 15.

$$RI_L = \frac{(1-a).RI_{\min} + a.(1-b).RI_{\max}}{(1-ab)} \quad 14$$

e

$$RI_H = \frac{(1-b).RI_{\max} + b.(1-a).RI_{\min}}{(1-ab)} \quad 15$$

Onde:

RI_L = irregularidade imediatamente após o patrolamento, em m/km

RI_H = irregularidade imediatamente anterior ao patrolamento, em m/km

As outras variáveis são as já definidas.

Conforme Paterson (1987), a equação 16 estima o valor para o qual o índice de irregularidade tende, mantidas as intervenções periódicas de patrolamento e a equação 17 apresenta a estimativa do número de dias entre as operações de patrolamento para a manutenção de um determinado patamar de irregularidades.

$$RI_{lta} = RI_{\max} + (1-a).(1-b) \cdot \left(\frac{RI_{\max} - RI_{\min}}{(1-ab) \log_e b} \right) \quad 16$$

Onde:

RI_{lta} = tendência da irregularidade média, no longo prazo, em m/km,

e as outras variáveis são as já definidas.

$$RI_{lta} = \left(\frac{1}{c} \right) \log_e \left\{ \frac{(RI_{\max} - RI_{\max o})}{[RI_{\max} - (1-a).RI_{\min} - a.RI_{\max o}]} \right\} \quad 17$$

Onde:

$RI_{\max o}$ = irregularidade máxima estabelecida para análise, em m/km

RI_{\min} , RI_{\max} , a e c já foram definidos anteriormente. Os picos e depressões referidos acima são ilustrados na Figura 11, assim como a tendência teórica de estabilização em um determinado patamar de irregularidade. A ilustração foi elaborada para um volume de 300 veículos diários médios, sendo 30% tráfego pesado e intervalo de patrolamento de 30 dias, 90 dias e 360 dias.

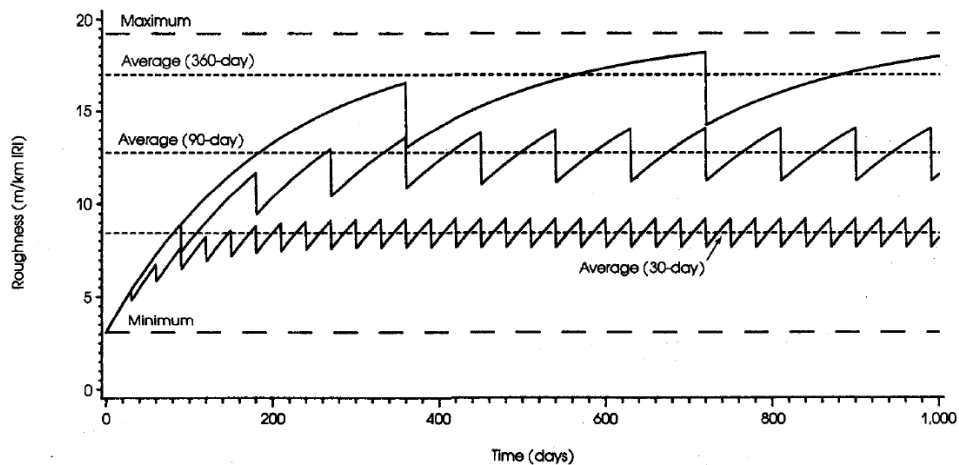


Figura 11: Efeito intervalo de patrolamento sobre a irregularidade

Fonte: Paterson (1987)

3.6.5 A Perda de Material

A perda de material é definida como a alteração na espessura da camada de cascalho ao longo do tempo. A diferença entre a espessura de cascalho colocada e a perda de material em determinado momento representa o remanescente da camada aplicada e é utilizada para definir o limite mínimo e a necessidade de novo encascalhamento. O encascalhamento é a alternativa que se contrapõe à perda de material, quando o patrolamento de recuperação de material das valetas já não é suficiente para recompor a plataforma da rodovia. O encascalhamento é a alternativa equivalente ao recapeamento, em rodovias pavimentadas segundo Morosiuk *et al.* (2004).

A perda do material da superfície de rolamento se dá devido ao efeito de arrancamento por tráfego e erosão. Decorre, primariamente, devido ao volume de tráfego e, secundariamente, devido a chuvas, curvatura horizontal, gradiente vertical e largura da rodovia, plasticidade e

teor de finos do material (PATERSON, 1987). A equação 18, apresentada na sequência, estima a perda anual de material em função da quantidade de chuvas mensais, volume de tráfego, geometria da rodovia e características do cascalho (em caso de rodovia revestida) e do subleito (no caso das não revestidas).

$$MLA = K_{gl} \cdot 3,65 [3,46 + 0,246 \cdot (MMP/1000) \cdot (RF) + (KT) \cdot (AADT)] \quad 18$$

Onde:

$$KT = K_{kt} \max [0, 0,022 + 0,969 \cdot (HC/57300) + 0,00342 \cdot (MMP/1000) \cdot (P075) - 0,0092 \cdot (MMP/1000) \cdot (PI) - 0,101 \cdot (MMP/1000)]$$

MLA = perda anual de material, em mm/ano

KT = coeficiente de arrancamento induzido pelo tráfego do material

AADT = tráfego diário médio anual, em veículos/dia

MMP = precipitação média mensal, em mm/mês

RF = média de subidas e descidas para a rodovia, em m/km

HC = média da curvatura horizontal da rodovia, em graus/km

PI = índice de plasticidade do material, em %

K_{gl} = fator de calibração para perda de material

K_{kt} = fator de calibração para o coeficiente de arrancamento do material induzido pelo tráfego

3.6.6 A Obturação de Depressões

A obturação de buracos ou painelas permite o reparo de áreas localizadas com depressões severas, aparecendo como uma das principais intervenções rotineiras para redução da irregularidade longitudinal. De acordo com Morosiuk *et al.* (2004), as áreas onde a medida de irregularidade alcança patamares na ordem de 15m/km estão invariavelmente associadas à grande quantidade de depressões. Nesse caso, a obturação de buracos e painelas é medida considerada eficaz.

No HDM-III e no HDM-4, essa intervenção é considerada mais comumente em termos de metros cúbicos, por quilômetros, por ano ou, eventualmente, como uma porcentagem da perda de cascalho ou material do subleito a ser reposta por ano. Assume-se que o material utilizado para a obturação é constituído do mesmo material da camada à qual se pretende reparar. De acordo com o modelo estabelecido por Paterson (1987), o volume de material aplicado na obturação de buracos incrementa a camada obturada em determinada espessura, conforme a equação 19.

$$\Delta THGS = \frac{VGS}{(CW + SW)} \quad 19$$

Onde:

$\Delta THGS$ = acréscimo na espessura de cascalho devido à obturação, em mm

VGS = volume de cascalho adicionado no local devido à obturação, em m³/km

CW = largura da plataforma de rolamento, em m

SW = largura do acostamento, em m.

O modelo estabelecido por Paterson (1987) para a redução da medida de irregularidade por aplicação de obturação de depressões, reproduzido por Morosiuk *et al.* (2004), é apresentada na equação 20. À equação estão implícitas as hipóteses de que a irregularidade associada ao volume de depressões é da ordem de 0,15m/km por m³/faixa/km, tornando a obturação de depressões eficaz em apenas 60% (ou seja, 0,09 m/km por m³/faixa/km), e adotando uma largura efetiva da faixa de rolamento de 3,0m (WATANATADA *et al.*, 1987b, citados por MOROSIUK *et al.*, 2004):

$$RI_{avg(aw)} = \max \left\{ 11,5, \left[RI_{avg(bw)} - \min \left(0,077, \frac{RI_{avg(bw)} - 11,5}{3,1} \right) \cdot \frac{3,6 \cdot VGS}{CW} \right] \right\} \quad 20$$

Onde:

$RI_{avg(aw)}$ = irregularidade média após os trabalhos de obturação, em m/km

$RI_{avg(bw)}$ = irregularidade média antes dos trabalhos de obturação, em m/km

e demais variáveis já definidas anteriormente.

3.7 OS BENEFÍCIOS DA MANUTENÇÃO

As intervenções de manutenção representam custo para as agências rodoviárias. Especula-se que, por assim serem percebidas são vistas com olhos enviesados, uma vez que só carregam gastos consigo. A mesma percepção oferecia (ou oferece) aos governos e aos governantes o suporte técnico necessário para se dedicarem a propostas de expansão da malha em detrimento da preservação do patrimônio. Quando estudos posteriores demonstraram que os maiores dispêndios eram de fato os realizados pelos usuários das rodovias, lamentavelmente, essa lógica já estava enraizada na mente dos engenheiros rodoviários. Ainda nos dias de hoje, não é difícil encontrar técnicos que justificam a necessidade de manutenção apenas para se recompor a estrutura das rodovias, como um fim em si mesmo.

Para que essas intervenções possam ser relativizadas monetária e temporalmente ou mesmo para que sejam comparadas entre si, é importante que se introduzam, no outro lado da equação, os benefícios e a valoração econômica e financeira. Dois benefícios diretos podem ser percebidos: do revestimento para baixo (recomposição estrutural e foco do interesse dos técnicos acima referidos) e do revestimento para cima (para os usuários das rodovias e fonte de redução global de despesas).

3.7.1 Vida Restante e Valor Residual

As intervenções de manutenção têm entre seus objetivos o de recuperar a degradação, o de reduzir preventivamente o desgaste do item mantido e o de estender a vida de serviço. Ao longo de um período de análise, para um dado momento, um item objeto de manutenção dispõe de uma vida de serviço restante estimada. Essa vida de serviço pode ser prolongada por remoção dos agentes danosos, minimização dos fatores agressivos, restauração às condições originais e outros artifícios, ou pode ser acelerada pela supressão de toda e qualquer manutenção, deixando o item exposto aos agentes agressivos e à deterioração.

Na medida em que o item degrada-se e sofre deterioração, desvaloriza-se no montante equivalente ao valor necessário para sua recomposição. A diferença entre o valor original do item e o valor necessário para recompô-lo é denominado 'valor residual', ou seja, é o valor remanescente do item. A vida restante é o número de anos que deve transcorrer antes que o item necessite ser restaurado à condição próxima à original. De forma prática, algumas intervenções têm a capacidade de estender a vida de serviço por alguns anos a determinado custo e, dessa forma, é possível comparar alternativas de intervenções de custos diferentes e vidas de serviço diferenciadas.

Tais conceitos aplicam-se às rodovias pavimentadas ou não pavimentadas, porque as rodovias representam um patrimônio a ser preservado. A vida restante de uma estrutura rodoviária é um valor monetário atribuído a essa estrutura em determinado período de análise. Em rodovias não pavimentadas, as intervenções ordinárias têm vida efêmera. Talvez por isso, não se tenha encontrado referência à vida restante ou valor residual de intervenções. É possível também que o esforço para calcular a vida restante e o valor residual seja demasiadamente elevado para uma vida de serviço tão exígua. Dessa forma, optou-se apenas por registrar a necessidade de inferir esses itens, ainda que não se pretenda utilizar esses conceitos no âmbito desta pesquisa.

3.7.2 Custos para os Usuários das Rodovias

O segundo benefício percebido das intervenções de manutenção é a redução dos custos para os usuários, para quem circula sobre o revestimento. As pesquisas demonstraram que uma parcela significativa dos custos para os usuários de rodovias está associada à irregularidade longitudinal (PATERSON, 1987), de modo que a redução da irregularidade traz consigo economia. A estimativa desses custos é uma forma direta de se computar os benefícios e envolve o cálculo da velocidade dos veículos, dos custos de operação e dos custos de viagem para cada seção e para cada tipo de veículo, em determinado ano de análise.

Ressalte-se: os modelos desenvolvidos para as rodovias não pavimentadas não foram objeto da atualização promovida pelo *International Study of Highway Development and Management Tools* (ISOHDM), conforme registrado por Morosiuk *et al.* (2004). Dessa forma, no que se refere aos custos para os usuários e aos custos de operação em rodovias não pavimentadas a referência permanece Watanatada (1987a). Um sumário dos relacionamentos e adaptações operacionais pode ser encontrado em Archondo-Callao e Faiz (1994). Para o cálculo dos custos referidos, os principais parâmetros para cada um dos veículos considerados são:

- geometria da via, incluindo-se dados do desenvolvimento horizontal e vertical, fatores de impedância lateral, comprimento da seção, número e largura das faixas de rolamento;
- relacionamento velocidade-fluxo, inclui informações sobre a capacidade da rodovia e os parâmetros que determinam a velocidade de operação e características do fluxo a diferentes níveis de tráfego;
- padrões de fluxo do tráfego, incluindo os parâmetros que descrevem o uso da rodovia em termos da distribuição do fluxo horário do tráfego e são usados para determinar o taxa de ocupação equivalente dos carros de passageiros por hora para cada período do fluxo de tráfego;
- condições da rodovia, compreendendo os dados da média anual da irregularidade e outros indicadores, parâmetros esses provenientes dos modelos de deterioração da rodovia;

- tráfego, compreendendo o volume do tráfego em termos de tráfego diário médio anual, composição e crescimento, para cada seção da rodovia;
- custos unitários, que incluem os custos dos componentes para os veículos (entre os quais custo por litro de combustível, pneus, aquisição, etc.), definidos em termos de valores econômicos e financeiros e o valor do tempo apenas em termos de valor econômico.

O custo total para os usuários compreende o custo de operação dos veículos motorizados e não motorizados, custo do tempo de viagem dos veículos motorizados e não motorizados e o custo de acidentes e emissões de poluentes. No âmbito do presente estudo, não se pretende avaliar os custos dos veículos não motorizados, por se distanciarem do objeto da pesquisa. Tal levantamento, contudo, pode ser demandado para justificar investimentos baseados em critérios socioeconômicos.

Importante referir também que, com alguma frequência, os iniciantes no uso da ferramenta HDM tendem a confundir os custos financeiros com os custos econômicos, referidos nos modelos HMD-III e HMD-IV. Segundo Archondo-Callao e Faiz (1994), custos financeiros são os custos suportados por operadores e proprietários de veículos para trafegar sobre uma dada seção de rodovia. Os custos econômicos são os custos reais para a economia da propriedade e operação, de forma a ajustá-los aos valores e distorções de mercado, tais como impostos ou subsídios, restrições cambiais de importação, etc.

A estimativa dos custos de operação para os usuários das rodovias não pavimentadas, por meio dos modelos HDM-III, não é tarefa complexa. O maior cuidado envolve escolher os diversos veículos de interesse; conservar a correta configuração para as diversas variáveis; manter a sequência do algoritmo de cálculo. Nesta subseção, não se apresentarão fórmulas, pois elas estão publicadas e pouco acrescentariam ao estudo. Para uma referência sobre as equações, veja-se Klein (2005) ou Archondo-Callao e Faiz (1994).

Tem-se conhecimento da existência de módulos de programação prontos com essas rotinas, de forma que sequer haveria necessidade de serem desenvolvidas. Apresenta-se, a seguir, a sequência proposta por Archondo-Callao e Faiz (1994), a qual deve ser reproduzida no sistema, caso venha a ser implementado.

- computar a velocidade média de operação para cada tipo de veículo em dada seção: a velocidade sem restrições; velocidades em congestionamentos para diferentes níveis de tráfego; velocidade média de operação; velocidade média para o tráfego anual, ponderada pela média de todos os veículos.
- computar o total de recursos consumidos por 1000 veículos.km para: consumo de combustível; consumo de lubrificante; desgaste de pneus; tempo da tripulação; tempo dos passageiros; retenção da carga; trabalho de manutenção; peças; depreciação; taxa de interesse; administração.
- aplicar os custos unitários dos recursos consumidos ao montante dos recursos consumidos por 1000 veículos.km, computados no item anterior.
- somar os custos de operação de cada um dos componentes para computar total do custo operacional dos veículos por 1000 veículos.km.

Segundo Watanatada *et al.* (1987b), uma decisão, logo nos primeiros momentos do programa de sustentação do HDM-III, restringiu os esforços de pesquisas nos custos de operação dos veículos. Em que pese o conhecimento dos custos de acidentes e do tempo de viagem, esses parâmetros de cálculo somente foram desenvolvidos posteriormente e integram o HDM-IV. Segue-se com o proposto por Odoki e Kerali (2000), específicos para rodovias não pavimentadas, conforme trazido pelo HDM-IV – ISOHDM.

- calcular o tempo de viagem, em termos de horas de passageiro, durante o período de trabalho ou não, e o período de retenção de cargas.
- computar o custo para o veículo e o custo do tempo de viagem.
- calcular o acréscimo do custo de operação, decorrente dos períodos de interrupção do tráfego e danos sérios às rodovias não pavimentadas.
- resumir e armazenar os dados, para uso nas análises subsequentes e relatórios.

3.7.2.1 Custo de Operação para os Usuários

Os custos de operação dos veículos para os usuários envolvem as despesas diretas da propriedade do veículo e seus custos para trafegar. Entre esses estão consumo de combustível;

consumo de lubrificante; desgaste de pneus; tempo da tripulação; tempo dos passageiros; retenção da carga; trabalho de manutenção; peças; depreciação; taxa de interesse; administração. Há forte correlação entre o aumento dos custos para os usuários e o aumento da irregularidade, pois, com o aumento da irregularidade, aumentam desgaste dos pneus, degradação da suspensão, consumo de combustível, entre outros (PATERSON, 1987). Contribuem também para o aumento dos custos de operação o aumento das declividades e a ocorrência de curvas muito fechadas.

3.7.2.2 Custo do Tempo de Viagem e Acidentes

O valor do tempo de viagem é considerado em termos de horas dos passageiros, durante o período de trabalho e fora deste, e de tempo de retenção da carga. O valor do tempo de viagem é mais bem representado em termos de valor econômico. Os tempos de retenção, decorrentes de períodos intransitáveis das rodovias não pavimentadas também são considerados em termos de valor econômico.

O aumento da irregularidade longitudinal também promove a elevação dos custos do tempo de viagem, uma vez que provoca a redução na velocidade de percursos, mantendo o veículo por mais tempo em trânsito. O mesmo ocorre com as declividades elevadas e as curvas acentuadas.

Os custos dos acidentes são parâmetros importantes para melhoria da segurança das rodovias, de maneira que sua redução compõe parcela significativa para a computação dos benefícios. No Brasil, o IPEA/DENATRAN/ANTP (2006) realizaram uma pesquisa abrangente sobre esses custos, lançando luzes sobre os reais prejuízos da insegurança viária no Brasil. Contudo, ainda que a geometria horizontal e vertical e a irregularidade excessiva ou condições precárias de trafegabilidade possam concorrer para o aumento do número de acidentes, as estatísticas têm demonstrado que a maior parte dos acidentes ocorre durante o dia, com boas condições meteorológicas, em retas e envolvendo um único veículo.

3.7.2.3 Custo das Emissões de Poluentes

A estimativa dos custos decorrentes das emissões de poluentes foi introduzida pelo HDM-IV e não integra o modelo HDM-III. No caso, tem-se que a melhoria ou a piora das condições da rodovia ou o traçado dela levam a um consumo maior ou menor de combustível e, daí, incrementam ou decrescem as emissões de poluentes para a atmosfera. Aplica-se, também,

aos congestionamentos de veículos, quando há concentração de emissões, enquanto os veículos permanecem praticamente parados.

3.8 PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES

A priorização das intervenções é uma das etapas mais importantes do processo de gerenciamento, dada a necessidade de se elegerem os segmentos a serem recuperados ou apenas mantidos, ou seja, os segmentos não priorizados para intervenções de restauração ou recuperação são simplesmente conservados. A priorização busca atingir parâmetros globais para a malha, definidos na fase de gerenciamento em nível de rede, uma vez que não há muito sentido em priorizar intervenções em segmentos rodoviários, como é o caso tratado no gerenciamento em nível de projeto. Alguns parâmetros seriam, por exemplo, manter a totalidade da rede acima de um nível mínimo de conforto, ou não permitir segmentos intrafegáveis durante todo o ano, ou reduzir ao máximo o custo do transporte e outros, ou uma composição desses.

A revisão da literatura encontrou alguns algoritmos específicos para redes não pavimentadas como o de Coulter *et al.* (2006), focado ao planejamento da manutenção em ambiente de florestas e o de Burger *et al.* (2007), para as intervenções de manutenção em rodovias não pavimentadas. Encontrou-se, em Misra (2003), um índice de priorização bastante genérico, apresentado na equação 21, para o qual Misra sugere seja adaptado às condições locais. Por seu caráter genérico, a equação permite adaptação às rodovias não pavimentadas.

$$IP = \{ [0.65 \times PCI] + [0.10 \times TF] + [0.05 \times FC] + [0.10 \times LF] + [0.05 \times MH] + [0.05 \times PRQ] \} \quad 21$$

Onde:

IP = Índice de Prioridade, quanto mais baixo maior a prioridade.

PCI = Índice de condição da rodovia (pavimentada), variando de 0 a 100;

TF = Fator associado ao tráfego, 0 para maior volume e 100 para mais baixo;

FC = Fator associado à classificação funcional, 0 para as vias arteriais;

LF = Fator associado à localização da rodovia; 0 para rodovias urbanas;

MH = Fator associado ao custo da manutenção; 0 muito alto e 100 muito baixo;

PRQ = Fator associado à irregularidade do percurso, 0 para péssimo.

Outras alternativas de priorização são as que envolvem análises econômicas e financeiras, como a maximização dos benefícios econômicos líquidos ou das relações benefício-custo, ou outras, conforme tratado na próxima seção. De forma bastante simplista e genérica, o que se pretende com a priorização é que as rodovias de mais baixo grau de priorização sejam aquelas nas quais as estratégias de manutenção aplicadas contribuam significativamente para o sistema todo atingir o objetivo estabelecido, seja a redução do custo da manutenção, a redução do custo de transporte, ou outro caracterizado na priorização.

De acordo com Hine *et al.* (2003), o processo de priorização deve atender alguns requisitos, entre os quais ser: transparente e simples para ser bem compreendido; auditável para oferecer confiabilidade; isonômico para não esconder preferências; adequado à descentralização das decisões; dotado de razoabilidade econômica; consistente com uma metodologia de análise.

3.9 ANÁLISE ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS

Um conjunto de alternativas de intervenções realmente otimizado não deve se fixar apenas numa solução técnica que pareça, à primeira vista, a mais adequada. Quase sempre existe mais do que uma alternativa e elas, após satisfeitos critérios técnicos preestabelecidos, devem ser avaliadas em termos econômicos, antes de a escolha recair sobre uma solução final. Satisfeitos os requisitos técnicos e econômicos, conforme mencionado por Visser (1981), há que se estabelecer um conjunto de outros parâmetros suplementares suficientes para contemplar avaliações subjetivas e encaminhamento do processo decisório.

Entende-se que o processo de avaliação econômica e financeira das intervenções de manutenção deve se concentrar nas questões diretamente relacionadas ao negócio da exploração, agregando, tanto quanto possível, outros critérios. O presente estudo, voltado para empreendimento privado, concentra-se, sobretudo, em buscar a redução dos custos de operação, custos de manutenção, custos de tempo de viagem e redução de acidentes, por meio de melhorias e gerenciamento efetivo da rede de rodovias não pavimentadas. Não basta a simples comparação entre a redução de custo do transporte por rodovias e do transporte fora de estrada, referido por Dahlin e Fredriksson (1995). Conforme bem salientado por Anderson e Vandervoort (1982), efetividade não é somente atingir os resultados planejados, mas também ser sustentável para ser efetivo.

A redução de acidentes entre veículos e equipamentos vinculados ao processo produtivo e ou particulares das comunidades circunvizinhas deve ser uma preocupação real do empreendimento. As indenizações decorrentes desses acidentes podem drenar recursos substanciais do negócio. Considera-se que a análise econômica, neste momento, não deve avançar sobre a redistribuição de renda e outros benefícios, tais como a redução no tempo de viagem e o desenvolvimento econômico para as comunidades influenciadas pelo empreendimento, salvo necessidade devidamente comprovada. Numa etapa seguinte, até mesmo por envolvimento com a comunidade, esses parâmetros terão de ser trazidos à análise.

Adler (1987) dedica uma seção (*Road Projects*, p. 69-122) aos benefícios econômicos dos investimentos em infraestrutura rodoviária para as comunidades para demonstrar a questão.

A presente pesquisa, entretanto, não avança nas alternativas de avaliação econômica, dado o extenso número de procedimentos envolvidos. Entre os métodos de avaliação econômica aplicados tradicionalmente aos projetos rodoviários, encontram-se o cálculo do valor presente líquido (VPL ou NPV – *Net Present Value*); a taxa interna de retorno do investimento (TIR ou IRR – *Internal Rate of Return*); a análises de benefício-custo (BCA – *benefit-cost analysis*); a análise multicritério ou a análise de custo no ciclo de vida (LCCA – *life-cycle cost analysis*); as avaliações por processos heurísticos.

Propõem-se, contudo, que as análises econômicas sejam, preliminarmente, conduzidas por meio da análise de custo no ciclo de vida ou custo total do transporte, uma vez que atende o requisito de oferecer um valor para comparação entre as estratégias (o próprio custo durante o período de análise). Elas prestam-se também para incluir no processo de avaliação as diversas estratégias alternativas, inclusive o valor da implantação e das manutenções e os custos para os usuários, ao longo do período de análise.

A análise de custo no ciclo de vida, para Walls e Smith (1998), é uma técnica de análise construída sobre bem fundados princípios de análise econômica para avaliação de eficiência econômica de longo prazo, envolvendo opções de alternativas de investimentos concorrentes. Não está orientada à equidade de resultados. A análise engloba custos iniciais e futuros para a agência, usuários e outros custos relevantes durante a vida dos investimentos concorrentes. Ela procura identificar o melhor valor (o menor custo no longo prazo que satisfaz os objetivos de desempenho estabelecidos) para a realização de investimentos. A análise de custo no ciclo de vida envolve as etapas que seguem, apresentadas de forma bastante resumida:

- estabelecer uma estratégia alternativa inicial e os parâmetros de decisões, de forma que a LCCA possa ser encaminhada;
- estimar os custos associados, sejam os custos próprios (uma agência pública ou proprietário do empreendimento), sejam os custos para os usuários, ou outros igualmente relevantes para a análise;
- comparar as alternativas, calculadas em termos de parâmetros econômicos de comparação comuns, como o Valor Presente Líquido ou Relação Benefício-Custo;
- analisar os resultados e reavaliar as alternativas, após a análise criteriosa de custos mais relevantes, fatores envolvidos e hipóteses assumidas. Uma análise de sensibilidade é frequentemente utilizada para isso. As estratégias bases da análise devem ser reavaliadas de forma a se alcançar efetividade no processo.

Com tal procedimento, acreditam Walls e Smith (1998), o resultado final de uma análise de custo no ciclo de vida bem sucedida não será simplesmente a seleção de uma alternativa sobre outras, mas a seleção da alternativa de projeto mais efetiva para dada situação. Oferece a oportunidade, também, de se aprofundar o conhecimento dos fatores onerosos envolvidos para alcançar a efetividade da solução.

Nos casos normalmente referidos pela literatura, fala-se de rodovias com volume de veículos médio, alto ou altíssimo – referencialmente, algo como 2000, 5000 e 30000 veículos diários, respectivamente. Conforme constatou Archondo-Callao (1999), tomando por referência o custo total do transporte (custo para a agência mais custo para os usuários), o custo para os usuários representa aproximadamente 75% e 97%, para rodovias com 300 e 5000 veículos por dia, respectivamente. Nesses casos, as análises de custo benefício ou benefícios econômicos líquidos fazem todo o sentido.

É razoável que o esforço para a redução do custo total do transporte concentre na redução do custo para os usuários, vez que sobre ele – mesmo que de forma difusa e imperceptível – deposita-se a maior parcela do custo total do transporte. A agência assume – de forma concentrada e transparente nos orçamentos públicos – 25% ou 3% do custo total do transporte, conforme o caso referido anteriormente.

Não é o caso das rodovias não pavimentadas objeto do estudo, nas quais o número de veículos encontra-se na ordem de 100 ou 200 veículos diários médios, em ambos os sentidos. Nessas rodovias, o custo de manutenção tende a ser maior do que os custos para os usuários, de forma que os benefícios econômicos líquidos não são totalmente percebidos. Conforme se verificou na literatura, os ganhos, quando acontecem, não têm a magnitude dos benefícios verificados mesmo para as rodovias de baixo volume de tráfego.

Alternativamente, se poderia utilizar diretamente a fórmula do custo total do transporte e verificar a variação desse custo frente às medidas de manutenção. A fórmula do custo total do transporte aparece na Equação 22, desdobrada na Equação 23.

$$\text{C.T.T.} = \text{Custo para Agência} + \text{Custo para Usuários} \quad 22$$

$$\text{C.T.T.} = [\text{CI} + \text{C}_{\text{Man}}] + [\text{C}_{\text{COV}} + \text{C}_{\text{CAc}} + \text{C}_{\text{CTV}}] \quad 23$$

Onde:

C.T.T = Custo total do transporte;

CI = Custo de implantação;

$$\text{C}_{\text{Man}} = \text{Custo de Manutenção, dado pela fórmula } \sum_{i=0}^{\text{PA}} \frac{\text{C}_{\text{Man}}(1+k_{\text{infl}})}{(1+j_{\text{TIR}})};$$

$$\text{C}_{\text{COV}} = \text{Custo de operação dos veículos, dado pela fórmula } \sum_{i=0}^{\text{PA}} \frac{\text{C}_{\text{COV}}(1+k_{\text{infl}})}{(1+j_{\text{TIR}})};$$

$$\text{C}_{\text{CAc}} = \text{Custo de acidentes, dado pela fórmula } \sum_{i=0}^{\text{PA}} \frac{\text{C}_{\text{CAc}}(1+k_{\text{infl}})}{(1+j_{\text{TIR}})};$$

$$\text{C}_{\text{CTV}} = \text{Custo do tempo de viagem, dado pela fórmula } \sum_{i=0}^{\text{PA}} \frac{\text{C}_{\text{CTV}}(1+k_{\text{infl}})}{(1+j_{\text{TIR}})};$$

PA = Período de análise;

K_{infl} = Taxa de inflação estimada para o período;

J_{TIR} = Taxa interna de retorno, de interesse;

Neste caso, o benefício seria representado pela economia proporcionada por meio de uma intervenção alternativa, confrontada com a alternativa básica, composta por obturação de buracos e patrolamento.

4 EMPREENDIMENTOS FLORESTAIS DE EXPLORAÇÃO DE CELULOSE

Esta trata de empreendimentos florestais de exploração de celulose. Abordam-se, inicialmente, algumas considerações preliminares sobre a importância desses empreendimentos para a economia nacional, segue com uma breve descrição do sistema de colheita florestal e a discussão sobre a manutenção de rodovias em empreendimentos privados. Conclui-se o capítulo abordando as vantagens econômicas de gerenciar a manutenção da rede de rodovias no empreendimento em estudo. O objetivo do capítulo é oferecer uma visão geral dos empreendimentos florestais para exploração de celulose.

4.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Empreendimentos de exploração florestal para obtenção de celulose ganham dia a dia maior relevância na balança comercial brasileira e na soma das riquezas nacionais. De acordo com Birro *et al.* (2002, p. 526), a área florestal brasileira é responsável por aproximadamente “4% do Produto Interno Bruto (PIB), movimentando algo como 600.000 empregos diretos, US\$ 450 milhões em arrecadação de impostos e US\$ 4,1 bilhões em divisas de exportações” (GARLIPP, 1995 citado por BIRRO *et al.*, 2002). Para Minette *et al.* (2008), entretanto, o setor florestal movimenta aproximadamente 5% do Produto Interno Bruto. Acredita-se que a divergência em relação ao percentual de representatividade no PIB decorre do período no qual os artigos foram escritos e às variações na conversão para a moeda americana.

Os produtos de origem florestal a partir de matas cultivadas têm aumentado sua importância no âmbito das ações de preservação ambiental e de redução dos desmatamentos, uma vez que proporcionam a preservação das áreas nativas. Entre os produtos oferecidos pelo setor florestal brasileiro, têm-se, entre outros, madeira roliça, serrados, painéis, chapas de fibras, laminados, carvão e celulose (VALVERDE, 2000 citado por BIRRO *et al.*, 2002). Para atender a essa demanda, surgiram em torno de 4,750 milhões de hectares de reflorestamento

no Brasil, dos quais 2,920 milhões com espécies de *Eucalyptus spp.*, 1,690 milhão de *Pinus spp.* e 138 mil hectares de outras espécies. Estes números continuam em constante crescimento.

No caso do eucalipto, cuja área plantada representava algo como 6 milhões de hectares nos anos 90, ela praticamente duplicada na virada do milênio (ASSIS, 2005). Algo semelhante ocorreu com a produtividade média, medida em termos de tonelada seca/hectare/ano (st/ha/ano). Na década de 70, ela situava-se em torno de 12 st/ha/ano, tendo alcançado 40 st/ha/ano no início do milênio. Há pretensões de que alcance 60 st/ha/ano em 2010 (ASSIS). Dado que a produtividade e as áreas de plantação tendem a aumentar, quaisquer ganhos na operação de transporte, desde o local de depósito até a indústria de beneficiamento podem representar valores consideráveis em função dos altos custos destas operações.

Para Minete *et al.* (2008, p. 315), referindo-se às atividades florestais, “as operações de colheita e transporte contribuem na maioria das vezes com mais de 50 % do custo final da madeira”. Ele propõe a necessidade de “implementar estratégias no sentido de racionalizar e dinamizar tais operações, contribuindo significativamente para o aumento da produtividade e, conseqüentemente para a redução dos custos”.

Em Veríssimo *et al.* (1992), citados tanto por Rezende *et al.* (2005) quanto por Oliveira *et al.* (1999), tem-se uma referência dos valores envolvidos na exploração e no transporte de madeira até as serrarias. Veríssimo *et al.* (1992) encontraram um custo total de US\$ 22,00/m³ para exploração e transporte de florestas nativas na região de Paragominas, no Pará. Oliveira *et al.* (1999) chegam a um custo total médio (exploração US\$ 21.88/m³ + transporte US\$ 16.40/m³) de US\$ 38.29/m³, bem superior ao encontrado por Veríssimo *et al.* (1992).

O custo de exploração encontrado por Veríssimo foi de US\$ 12,41/m³, assim distribuídos: compra dos direitos de exploração (15%); salários e benefícios (20%); alimentação (5%); combustível (9%); taxa florestal (12%); manutenção dos equipamentos (17%); depreciação (22%). O custo de transporte de toras até os pátios das serrarias foi estimado em US\$8,23/m³, composto por salários (15%); combustível (24%); manutenção (20%); depreciação (41%). A literatura consultada não traz valores de referência para empreendimentos de exploração de celulose.

Três referências oferecem uma idéia da grandeza dos montantes envolvidos. A produção florestal no Rio Grande do Sul é estimada entre 40 e 85 m³/ha/ano, conforme mapa

apresentado em Fernandes Filho *et al.* (2009), ficando entre 40 e 50 na região do extremo sul e 50 e 60 no centro sul do estado gaúcho. A Aracruz Celulose, instalada no Rio Grande do Sul, dispõe de aproximadamente 75 mil hectares próprios de áreas de plantio e reservas nativas, distribuídos em hortos florestais próximos à Guaíba/RS (ARACRUZ, 2009). A Stora Enzo já adquiriu 46 mil hectares, dos quais 25 mil já foram plantados. Silveira (2009) diz que “chegam 105 caminhões de madeira [às instalações da Aracruz em Guaíba], cada um com 40m³ totalizando uma média diária de 4.200m³”, o que permite inferir o baixo número de veículos médios pesados por dia.

Para Arce *et al.* (2004), citado por Minette *et al.* (2008), a colheita florestal coroa o ciclo de produção florestal, processo no qual são obtidos os produtos mais valiosos. Tal operação é uma das principais responsáveis pela rentabilidade da exploração florestal, sendo, talvez, uma das que mais visadas pelo processo de mecanização, quer na busca por aumento na produtividade, quer como forma de reduzir os custos de produção (FONTES, 1996, citado por MINETTE *et al.*, 2008). Daí, a urgência em se buscar técnicas que otimizem a colheita e o beneficiamento da madeira, visando ao maior aproveitamento do material lenhoso (JACOVINE *et al.*, 2001, citado por MINETTE *et al.*, 2008).

Minette *et al.* (2008) consideram a extração uma atividade suficientemente estruturada nas empresas florestais a ponto de dizer que mesmo com atuação intensiva nesta operação, os ganhos de produtividade não são expressivos. Pondera que os ganhos podem representar valores consideráveis, em função dos altos custos que estas operações representam. Esclareça-se que a operação de extração refere-se à movimentação da madeira desde o local de corte até a estrada, ao carregador ou ao pátio intermediário.

Pensamento semelhante é desenvolvido por Bettinger *et al.* (2009) quem propõem que o processo de planejamento é facilitado pelas informações recolhidas (dados de campo, processos gerenciais, alternativas de cultivo, entre outras) e oferece suporte para o meio empresarial transpor os cenários de constantes mudanças na área ambiental, econômica, percepção da sociedade, legislação e outras.

4.2 BREVE DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE COLHEITA FLORESTAL

Quando se utiliza a expressão ‘colheita florestal’ logo vem à imaginação a derrubada de uma árvore ou de um conjunto delas. O termo, entretanto, ainda que contemple a derrubada de árvores, não fica restrito a isso, uma vez que engloba uma série de outras atividades. O processo de ‘colheita’ vai desde o tombamento das árvores, passando por processamento, carregamento da madeira, transporte até um destino final – uma serraria ou indústria. Os resultados da presente pesquisa têm início nessa última etapa da colheita, ou seja, visa à melhoria das condições das vias para o transporte.

Como forma de ilustrar, em linhas gerais, o processo mecanizado, utilizou-se o sequenciamento da colheita florestal apresentado por Freitas (2005). O processo de colheita florestal pode ser totalmente mecanizado, manual ou semimecanizado. Ele é dividido em quatro etapas: corte, extração, processamento e transporte.

4.2.1 Corte

O trator florestal derrubador-embandeirador de disco (denominado *Feller-Buncher*, conforme Figura 12) é uma escavadeira hidráulica com esteiras ou rodas e um cabeçote de corte acumulador com disco de corte. Inicialmente, esta máquina fixa suas garras em determinada altura da árvore fazendo um corte raso. Logo após, a árvore é estocada no braço acumulador, se houver, até a capacidade total da máquina. Em seguida, as árvores são amontoadas na própria floresta, em feixes, de forma a facilitar a próxima etapa.



Figura 12: Feller-Buncher

Fonte: <http://home.furb.br/erwin/index.htm>

4.2.2 Extração

Consiste no arraste das madeiras amontoadas na etapa anterior até a margem da estrada. O modo de transporte ocorre com o traçamento e arraste do feixe de madeiras por um Skidder (Figura 13), ou Forwarder (Figura 14), ou por tratores arrastadores, projetados com finalidades exclusivas para as operações de exploração florestal.



Figura 13: Skidder

Fonte: <http://home.furb.br/erwin/index.htm>



Figura 14: Forwarder

Fonte: <http://home.furb.br/erwin/index.htm>

4.2.3 Processamento

Nesta fase, a madeira acumulada na beira da estrada é transformada em feixes menores e padronizados. Para isso utiliza-se um traçador (Figura 15) ou descascador (Figura 16) florestal, que é uma máquina de esteiras ou rodas projetada para trabalhar no desganhamento e desbaste. Este procedimento facilita a secagem das toras, previne a ocorrência de animais peçonhentos, como cobras e escorpiões, e permite melhor manuseio (Figura 15).



Figura 15: Descascador

Fonte: <http://home.furb.br/erwin/index.htm>



Figura 16: Harvester

Fonte: <http://home.furb.br/erwin/index.htm>

4.2.4 Transporte

Após o processamento, faz-se o empilhamento dos feixes de madeira, por meio de um carregador florestal (Figura 17), em caminhões transportadores (Figura 18). Esses caminhões são responsáveis por levar os feixes até a unidade de processamento.



Figura 17: Carregador de Esteira

Fonte: <http://home.furb.br/erwin/index.htm>



Figura 18: Carregador de Rodas

<http://home.furb.br/erwin/index.htm>

4.3 A MANUTENÇÃO DE RODOVIAS EM EMPREENDIMENTOS PRIVADOS

O aspecto mais relevante na manutenção de rodovias em empreendimentos privados é o fato de que todos os custos da operação são absorvidos pelo dono do negócio. Dessa forma, a lógica da manutenção e operação rodoviária, tal qual a praticada pelas agências rodoviárias ou concessionárias de rodovias precisa sofrer alguma adaptação.

Primeiro, é importante perceber que o processo de tomada de decisão envolvendo rodovias públicas, no âmbito do processo de planejamento público, tende a sublimar as questões que envolvem os custos de operação para os usuários. A tendência é os tomadores de decisão fixarem-se basicamente nas despesas e disponibilidades orçamentárias e, eventualmente, em atingir indicadores de segurança e conforto.

No caso, as variáveis mais relevantes para o processo de tomada de decisão são o custo total para a agência rodoviária e a preservação do patrimônio representado pela infraestrutura implantada. Tal decorre do fato de os custos de operação para os usuários serem difusos e pouco percebidos pelos contribuintes, enquanto os dispêndios em manutenção, especialmente as restaurações, são localizados no tempo e concentrados no espaço. Além disso, na maioria das vezes, o diretor-presidente da agência é responsabilizado diretamente pela preservação do patrimônio e não pelo conforto dos usuários.

No outro extremo, está o processo de tomada de decisão dos acionistas de empreendimentos rodoviários sob concessão, envolvendo rodovias públicas. Neste caso, os acionistas não são diretamente responsabilizados pela preservação do patrimônio, exceto em relação aos indicadores de desempenho que tratam da questão, tanto quanto adotam a mesma ótica de que os custos dos usuários são difusos e passam despercebidos.

Tomando-se os indicadores de desempenho para infraestrutura, propostos por Hudson *et al.* (1997) – serviço e percepção do usuário, segurança e suficiência, condição física e integridade estrutural/capacidade de suportar cargas (nessa ordem) –, vê-se que os concessionários de rodovias são monopolistas na questão do serviço e ficam premidos entre os indicadores de suficiência de serviço, conforto e segurança para os usuários. Eles são instados à manutenção de tarifas módicas (de interesse muito mais do concedente e usuários) e à necessidade de gerar lucro para ser dividido entre os acionistas (a verdadeira razão para entrar no negócio).

Em ambos os casos – nas redes públicas sob gerenciamento público e nas redes públicas sob gerenciamento privado –, as rodovias tendem a ser mantidas com investimentos apenas necessários para mantê-las dentro dos parâmetros contratados. O papel das agências reguladoras, fundamental na defesa dos contribuintes-usuários-clientes, tende a trazer a balança para o lado do público, uma vez que as balanças ora pendem para o proprietário da rede (agência pública) ora para o concessionário (privado).

Contudo, na ótica privada, de gerenciamento privado, de um empreendimento privado, o processo carece ser mais bem estudado e não deve, por suposição, simplesmente seguir as lógicas anteriormente descritas. O dono do negócio pode até não ser o proprietário da infraestrutura (casos de arrendamento), mas é também um usuário da rede (quando não o único usuário) e é quem assume o financiamento de manutenção e melhoria da infraestrutura implantada. Os custos de transportes são repassados diretamente para o custo final do produto e, daí, ao processo de divisão de lucro entre os acionistas.

Conforme apresentado por Pires (2005), o dono do negócio (de exploração de florestas de eucalipto, por exemplo) pode terceirizar diversas etapas da produção: a propriedade da terra (arrendamento); as intervenções de implantação e manutenção da rede (empreiteiros); a extração e transporte da colheita (transportadores); o processamento da colheita. De acordo com Pires (2005), a terceirização chega a 60% nos processos de corte, extração, carregamento e descarregamento e chega a 100% no transporte.

O dono do negócio ainda permanece responsável pelo custo final do produto e à necessidade de colocá-lo de forma competitiva no mercado. Propõe-se, pois, a variável mais relevante para a decisão das intervenções de gerenciamento da manutenção das rodovias não pavimentadas, neste caso, é o custo total do transporte, uma vez que permite uma demonstração mais acurada dos benefícios e custos ou do custo total no ciclo de vida do projeto e sua interferência no custo final dos produtos.

Existem de três tipos básicos de rodovias não pavimentadas num empreendimento de exploração econômica: as rodovias permanentes, existentes há longa data, que prestam serviços não somente ao empreendimento, mas também às comunidades circunvizinhas; as rodovias sazonais e internas ao empreendimento, de uso ordinário durante um longo período ainda que apenas para remoção da colheita; as rodovias temporárias, as quais se prestam somente para uso intensivo e temporário. Esse estudo trata das duas últimas, na forma ampla de gerenciamento, ainda que ofereça alguma contribuição em termos de dimensionamento e indicação para o subleito.

O conjunto das rodovias implantadas para utilização sazonal obedece a uma lógica de exploração e colheita, a qual considera a frequência de acesso, as cargas a serem retiradas, o tráfego estimado, a duração da colheita. Em Tan (1999), encontra-se uma referência sobre avaliação econômica prévia à implantação dessa rede. Daí considerou-se que um sistema de gerenciamento das intervenções de manutenção pode contribuir para encaminhamento de avaliações dessa natureza, permitindo confrontar alternativas como melhorar uma rodovia sazonal existente ou implantar novas vias temporárias.

Outro aspecto relevante na questão da manutenção de rodovias em empreendimentos privados refere-se à sazonalidade do tráfego e das cargas. Não é raro que a extração da produção ocorra apenas em determinada época do ano ou em determinados anos, ocasião em que as rodovias são muito mais solicitadas do que em outros períodos. Em casos de exploração agrícola (soja, cana, milho, arroz, etc.), a solicitação maior ocorre durante e logo após a colheita, enquanto nos empreendimentos de exploração florestal de eucaliptos, por exemplo, a sazonalidade é septenal.

Tal sazonalidade destoa da prática rodoviária de manutenção, na qual se pode considerar a ocorrência de um tráfego anual diário médio e as intervenções de manutenção ocorrem de forma rotineira e periódica. Esses longos períodos, transcorridos em estações chuvosas ou

secas conforme a safra, introduzem pressão sobre o processo de gerenciamento, pois as intervenções de manutenção não só devem ocorrer de forma eficiente, eficaz e efetiva, mas também durante os períodos de interstício. Em Wang (1994), encontra-se uma discussão sobre as dificuldades de colheita e transporte, na China, nas diversas estações climáticas.

A sazonalidade oferece vantagens e desvantagens ao gerenciamento das atividades de manutenção. Como vantagem tem-se, por exemplo, todo o período de interstício para efetuar as intervenções de recuperação, reabilitação e melhoramentos sem a pressão pela liberação do tráfego e sem o tráfego a prejudicar a execução dos serviços. Na condição de desvantagem, tem-se, na situação extrema, o oposto, ou seja, não se admite que as intervenções de manutenção venham a interromper o tráfego durante o período de colheita, exceto as intervenções emergenciais absolutamente inadiáveis, de forma a não se atrasar a retirada das colheitas.

No meio termo entre os sistemas de gerência e os sistemas de manutenção responsiva à condição da rede, encontra-se o sistema *Optigrade*, desenvolvido pelo *Forest Engineering Research Institute of Canadá*, para o gerenciamento das atividades de patrolamento de rodovias não pavimentadas de transporte de cargas do Canadá. O sistema é composto de um acelerômetro e de um dispositivo de GPS, instalados em um caminhão que trafega rotineiramente sobre determinada rodovia. Faz parte do *Optigrade* um sistema computadorizado projetado para indicar aos gerentes da manutenção da rede a necessidade de patrolamento e estabelecer a frequência dos patrolamentos (DOUGLAS, 2007).

Outro fator que traz preocupação, quando a referência é a manutenção de redes rodoviárias, em especial as não pavimentadas, diz respeito às cargas transportadas e à carga por eixo das composições. Equipamentos próprios para o controle de peso durante o transporte no meio florestal foram desenvolvidos, conforme apresentado por Lopes *et al.* (2005). O foco do trabalho de Lopes *et al.* são as balanças acopladas em carregadores florestais, as quais garantem maior precisão no peso da carga total e sua melhor distribuição sobre os eixos dos veículos. Outra vantagem identificada no sistema de pesagem é a possibilidade de evitar que os veículos trafeguem acima ou abaixo de limite de peso estabelecido pela legislação, oferecendo maior segurança, maior vida útil aos veículos, redução dos custos de manutenção das estradas e otimização do transporte florestal. Lopes *et al.* encontraram um erro médio de 0,72% e 2,23% para veículos até 30t e 45t, respectivamente.

4.4 VANTAGENS ECONÔMICAS DE GERENCIAR A MANUTENÇÃO DA REDE

As vantagens econômicas de se gerenciar a manutenção de redes não pavimentadas é assunto pouco estudado no âmbito da engenharia civil brasileira, especialmente quando se trata de empreendimentos de exploração florestal. A maior parte dos trabalhos encontrados sobre as avaliações econômicas foi junto à engenharia florestal, os quais estão muito focados em geometria da via e carregamentos ou voltados para otimização das fases da colheita florestal (corte, extração e processamento).

Impõe-se, então, levar ao cabo estudos mais detalhados sobre o gerenciamento da rede não pavimentada, pois a melhoria e a redução de custos no transporte oferece vantagem competitiva ao negócio e ganhos maiores ou perdas menores para o proprietário do empreendimento. O gerenciamento da manutenção traz inúmeras vantagens econômicas, seja para o próprio negócio, seja para as comunidades circunvizinhas.

As vantagens mais diretas são a redução de consumo de combustíveis e lubrificantes; desgaste da suspensão dos veículos; tempos de parada mecânica. De forma agregada, têm-se o crescimento no nível de emprego; os benefícios do desenvolvimento econômico da região; o aumento do nível geral de renda; a melhor arrecadação de impostos; o incremento do consumo de produtos e serviços.

Na revisão da literatura encontrou-se em Carvalho (2005) um estudo relacionando condição da rede (irregularidade, geometria vertical e traçado) e custos de transporte, tomando por base dados disponibilizados por ‘clientes’ do escritório no qual Carvalho trabalha. Carvalho menciona que utilizou “o programa VOC-HDM, desenvolvido para rodovias asfaltadas e adaptado para as condições florestais” (p. 52). Não informa, porém, como procedeu a adaptação, se utilizou os modelos desenvolvidos para redes não pavimentadas, nem aprofunda o estudo com intervenções de manutenção de laminagem ou encascalhamento.

A pesquisa de Carvalho calcula os benefícios e os limites de investimentos para diversas alternativas de intervenção numa rede de 1,654km, contribuindo para demonstrar a cautela exigida ao se propor melhorias nas condições das rodovias desses empreendimentos. Carvalho cria um cenário de redução da irregularidade longitudinal e conclui que “a melhoria da rugosidade superficial não poderia custar mais que R\$ 22.402,45/km” (p.58) nos vinte anos de

análise, ou um custo inferior a R\$ 1.120/(km.ano). Ele também avalia a retificação de rampas, concluindo que tal alternativa não se viabilizaria, pois os ganhos adicionais, em valor presente, seriam R\$ 4.736,84 contra um acréscimo de custo de R\$ 103.183,86.

Em Pulkki (1996), são analisados os efeitos da recuperação, remoção ou implantação de bueiros sobre os custos de transporte de madeira. Sua conclusão é que há mais benefícios do que custos e que os investimentos decorrentes da implantação ou substituição de bueiros danificados geraram economias na ordem de \$ 70.000 e \$ 75.000, em dólares canadenses, durante o transporte de aproximadamente 1,2 milhão de metros cúbicos, ou algo próximo a 22.000 viagens de caminhão. O autor não refere o tempo de duração do transporte.

Após a revisão da literatura, restou sedimentado um entendimento: os benefícios econômicos e financeiros das intervenções de manutenção não são tão evidentes quanto aqueles revelados na avaliação de intervenções em rodovias pavimentadas. Avaliações do tipo benefício-custo, neste caso, restarão prejudicadas, quando não negativas, reforçando o entendimento de que a análise do custo total do transporte é um caminho seguro.

Considerou-se razoável, neste aspecto, que a avaliação das vantagens econômicas do gerenciamento das intervenções de manutenção deve focar a variação do Custo Total do Transporte, para um período de análise tão longo quanto 25 anos (quatro colheitas, no caso de exploração de florestas de eucalipto), por exemplo. Com base na mesma literatura consultada, assume-se que outras vantagens sociais, econômicas e financeiras advirão em consequência da redução do custo do transporte. A avaliação por períodos longos é uma forma de contornar a depreciação dos investimentos em melhoria, especialmente considerando os longos períodos de inatividade da rede e a continuidade da manutenção realizada nas rodovias não pavimentadas do empreendimento.

Há que se considerar sempre o fato de o nível de tráfego ser bastante reduzido. Conforme os dados apresentados em Carvalho, não são mais do que 15,2 veículos diários médios (VDM), desconsiderando-se o tráfego local. A rigor, para esse volume de tráfego, apenas a conserva rotineira justificaria viabilidade em termos econômicos e financeiros, não fosse a carga transportada pelos caminhões. Mesmo nos anos de colheita, acredita-se, o tráfego de carga chega próximo a 100 veículos diários médios (retornando vazio), permanecendo muito baixo para ser percebido pelas avaliações econômicas.

5 O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO PARA REDES DE RODOVIAS NÃO PAVIMENTADAS

Este capítulo trata do sistema de gerenciamento da manutenção para redes de rodovias não pavimentadas, consolidando os diversos saberes e entendimentos alcançados até este ponto. Introduz o método *Relational Unified Process* de desenvolvimento de soluções para problemas, focado na redução do risco associado à decisão. Aborda a necessidade de se conhecer a rede a ser mantida (inventário da rede), propondo alguns levantamentos a serem realizados e apresentando algumas políticas de manutenção sugeridas. O objetivo é proporcionar uma visão do gerenciamento da manutenção de rodovias não pavimentadas que se propõe.

5.1 O RELATIONAL UNIFIED PROCESS

Primeiro, abre-se espaço para uma breve apresentação do *Relational Unified Process*, desenvolvido pela *International Business Machine* (IBM), com objetivo de propor um encaminhamento de solução para um dos dilemas clássicos do tomador de decisão. Pergunta: Quanto vai custar? Resposta: Depende do que se vai fazer. Pergunta: Então, o que se vai fazer? Resposta: Depende de quanto vai querer gastar.

Sem uma ferramenta que se interponha nesse diálogo, a tendência é o primeiro, ‘o dono do negócio’, aplique um mínimo de recursos, por desconhecer detalhes do processo de execução e as incertezas quanto ao resultado final do processo; e que o segundo, o ‘operador’, vir a se frustrar porque nunca haverá recursos sequer necessários para o desenvolvimento do processo, conforme recomenda a ‘boa técnica’. Ocorre que o técnico não se atém às questões comerciais, econômicas ou financeiras e espera que o dono do negócio lhe faculte oportunidade para explicar o processo todo, enquanto o empreendedor não está muito

interessado nos detalhes técnicos e não tem tempo nem paciência para expor isso ao técnico. Enfim, este parece um diálogo impossível.

Em Boehm (1998), consolida-se uma proposta de modelo para o desenvolvimento de *softwares* denominado ‘*Rational Unified Process*’ (RUP), mais tarde aperfeiçoado, conforme Boehm (2000), Bostelaar (2000) e Kitaoka (2000). A metodologia, pertencente à IBM, foi inicialmente aplicada ao desenvolvimento de *softwares* e, posteriormente utilizada para diversos tipos empreendimentos (*projects*), por exemplo, desenvolvimento de aeronaves, naves espaciais, armas de guerra e lançamento de produtos.

O *Relational Unified Process* permite a interposição entre o dono do negócio e o operador. Na condição de modelo, fica condicionado a alguns pressupostos. A primeira premissa é de que se está tratando de processo rotineiro e relativamente bem conhecido, no qual os diagnósticos seguem um padrão de previsibilidade e os custos de levantamentos e das soluções também são relativamente previsíveis (muito associado ao desenvolvimento de *softwares*). A segunda premissa está em que o operador é alguém proficiente (*expert*) nos problemas a serem resolvidos e nas soluções possíveis, o que assegura ao dono do negócio que ele não gastará muito para receber um diagnóstico preliminar consistente e um orçamento estimativo para a solução e que o diagnóstico e o orçamento serão coerentes com a realidade.

A terceira premissa revela uma das fragilidades do modelo. Há um risco implícito embutido em cada etapa do processo, associado ao maior ou menor detalhamento, à qualidade dos dados levantados e às incertezas do próprio processo. O modelo trabalha, sobretudo, com os riscos da decisão em cada etapa do processo, os quais tendem a ser reduzidos na medida em que novos levantamentos e elementos são introduzidos no processo (BOSTELAAR, 2000).

Assim, começa-se com o levantamento expedito do problema, o diagnóstico geral e o estabelecimento de restrições para a solução (prazo, financeiro, resultado), trabalhando muito com indicadores referenciais. Segue-se com a identificação de soluções referenciais possíveis e genéricas, as quais constituem a proficiência do operador na solução de problemas, aqui se avaliam as alternativas de solução e seus riscos. Continua-se com a elaboração de um orçamento preliminar e concluiu-se com o registro dos encaminhamentos realizados. O processo é finalizado com a proposição de levantamentos mais detalhados para refinamentos dos dados levantados, melhor análise das soluções e avaliação dos riscos até essa etapa.

Em nova rodada, avaliam-se as soluções consideradas na etapa anterior, reconhecem-se novas restrições, delimitam-se as alternativas, buscando minimizar os riscos. E assim sucessivamente, num processo que, ao mesmo tempo em que encarece o processo de levantamento de dados e informações também vai refinando as soluções e mitigando os riscos. Essa metodologia, não toda ela, já foi utilizada com sucesso para o planejamento do Programa CREMA/RS (PINTO, 2001) e posteriormente para a fase de análise da viabilidade técnica do II Programa CREMA/RS (PINTO, 2005), apresentada ao Banco Mundial e ao Governo do Estado do Rio Grande do Sul.

O gerenciamento da manutenção em redes de rodovias não pavimentadas que se propõe permite incorporar o modelo de processo unificado relacional, no âmbito da arquitetura de gerenciamento proposta em Kerali (2000). No escopo deste trabalho, são considerados apenas os módulos de gerenciamento dos dados (*Data Managers*), modelos (*Models*) e ferramentas de análise (*Analysis Tools*). Os modelos de previsão de deterioração e desempenho foram apresentados nos capítulos anteriores. As ferramentas de análise são os módulos de relatório propriamente ditos, envolvendo a emissão dos resultados das análises econômicas, priorização, custos para os usuários, de forma que são tratados apenas superficialmente, porque somente serão apropriados pelo modelo, se a presente proposta for implementada.

5.2 CONHECIMENTO DA REDE NÃO PAVIMENTADA

O conhecimento da rede não pavimentada envolve a realização de pesquisas em escritório ou em campo, levantamentos e ensaios de campo. Esses estudos devem prover dados sobre a rede de rodovias, a frota de veículos e o estabelecimento de uma política de manutenção. A análise preliminar demanda o conhecimento das condições climáticas da região onde está localizada a rede de rodovias e o tráfego ao qual ela está exposta. É importante conhecer os níveis de pluviometria anuais ou sua variação mensal, visto que a pluviosidade é um componente relevante para a deterioração da rede.

5.2.1 Levantamento da Rede

O levantamento da rede inclui a necessidade de conhecer as rodovias integrantes da rede, dividida em tramos ou trechos e subtrechos. Esses subtrechos são divididos em tantos segmentos homogêneos quantos necessários. As rodovias, tramos ou trechos e subtrechos são

caracterizados em termos de extensão rodoviária. Há que se identificar, também, pontos notáveis da rede, tais como interseções rodoviárias, pontes, rios e córregos, entre outros. As rodovias, tramos ou trechos e subtrechos ainda são caracterizados em termos de largura da plataforma e acostamentos, se houver, e em termos de geometria vertical (*rise&fall*) e geometria horizontal (*horizontal curvature*).

Outra linha de levantamentos vai no sentido de se conhecer o terreno de fundação sobre o qual estão assentadas as rodovias e as camadas adicionais sobre esse subleito. Importa conhecer as espessuras de cascalho ou outro revestimento (se houver) e a data da última intervenção de recobrimento (se houver). Há que se conhecer as características físicas da camada final, especialmente em termos de granulometria, tamanho máximo do agregado, Índice de Suporte Califórnia e Índice de Plasticidade, visto serem relevantes para os modelos de deterioração e desempenho.

Não se cogita a realização de levantamentos de irregularidade longitudinal, especialmente pelas discrepâncias nesses dados em rodovias não pavimentadas. Há que se considerar a grande variabilidade desse indicador ao longo do ano, afetado fortemente pelas intempéries em rodovias não pavimentadas, a ponto de não chegarem a representar a condição da via, conforme referido por Archondo-Callao (1999b). De acordo com Archondo-Callao (1999c), os equipamentos do tipo resposta não conseguem repetibilidade nas leituras ou frequentemente restam danificados. Archondo-Callao (1999c) propõe que tal índice seja obtido por outros meios, mormente inferências baseadas na condição do segmento da rodovia. Os modelos de deterioração do HDM-III e HDM-4 possibilitam inferir o índice de irregularidade longitudinal por meio das características do material utilizado para revestimento da superfície, clima e políticas de manutenção (equação 5).

5.2.2 Frota de Veículos

Os modelos de deterioração e desempenho e de custos para os usuários demandam o conhecimento das características da frota. Neste caso, caracteriza-se a frota conforme os tipos de veículos e composições (caminhões, bitrens, treminhões, tetraminhões, rodotrens, etc.); o número desses veículos que trafegam sobre as rodovias, trechos, subtrechos e segmentos homogêneos; a carga transportada e a carga por eixo, crescimento ou não do tráfego; a possibilidade de estarem ou não sujeitos a qualquer tipo de congestionamento.

Em Fawcett e Ollerenshaw (2001) é apresentado um modelo expedito para contagem de tráfego, quando essas contagens não estão disponíveis. O procedimento proposto foi testado pelo autor, quando os resultados da contagem expedita foram comparados com os disponíveis (por exemplo, o número de veículos passantes na praça de pedágio na RS-135, em Coxilha/RS), com resultados satisfatórios e boa aproximação. O tráfego de carga ligado ao empreendimento também pode ser estimado dividindo-se a carga total a ser transportada pela carga padrão das composições em serviço. A carga total pode ser obtida pela divisão da área plantada pela produção média estimada por hectares.

5.2.3 Levantamento de defeitos

O propósito do levantamento das condições da rodovia é obter dados da condição funcional, superficial e estrutural da rede, de maneira geral. Com tal levantamento: a) avalia-se a condição geral das rodovias integrantes da rede; b) identificam-se aquelas seções ou segmentos da rede que demandam manutenção rotineira, as que se encontram em estado mais crítico, as que necessitam recomposição estrutural, entre outros; c) identificam-se os segmentos com danos severos e que requerem atenção imediata.

Foram encontrados diversos métodos para levantamento de defeitos em rodovias não pavimentadas, mormente o URCI tratados em USACE (1982) e Eaton e Beaucham (1992); os VIZIR e VIZIRET tratados em Autret e Brousse (1992) e OCDE (1990). No Brasil, o método URCI foi estudado em profundidade por Oda (1995). Há, também, o Gravel-Paser (WALKER, ENTINE, KUMMER, 2002), um método de levantamento bastante simples baseado na atribuição de notas para os segmentos, permitindo a avaliação global da rede e a priorização, tomando por referência a comparação entre as notas atribuídas aos segmentos.

Para efeito de desenvolvimento de um sistema de gerência, propõe-se uma metodologia semelhante ao VIZIR ou VIZIRET, baseado em ponderações da extensão e severidade dos defeitos. Isso porque o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem – DAER já possui larga experiência com o VIZIR e VIZIRET, os quais, juntamente ao processo de avaliação, endereçam à estimativa de quantidades de manutenção com boa aproximação.

A opção não recai sobre o URCI porque essa metodologia traz consigo uma série de ábacos de densidade dos defeitos e valores de dedução, conforme o modelo apresentado na Figura 19. Tais ábacos dificultam sua transferência para modelos computadorizados, uma vez que as equações ou modelos que deram origem aos gráficos não foram encontrados na literatura

consultada. A metodologia que se espelha no VIZIR é mais direta e intuitiva e está igualmente suficientemente testada com sucesso.

A utilização da metodologia VIZIR ou VIZIRET não dispensa a elaboração de coeficientes de ponderação. Conforme a extensão da ocorrência (alta, média e baixa) e a severidade do defeito (aceitável, tolerável e intolerável), há que se elaborar um conjunto desses coeficientes para todos os tipos de defeitos, em termos de extensão e severidades, de forma a inferir as quantidades de serviços necessárias para correção de cada defeito. Independentemente da metodologia de levantamentos, considera-se importante que sejam levantados ao menos os defeitos apresentados na sequência.

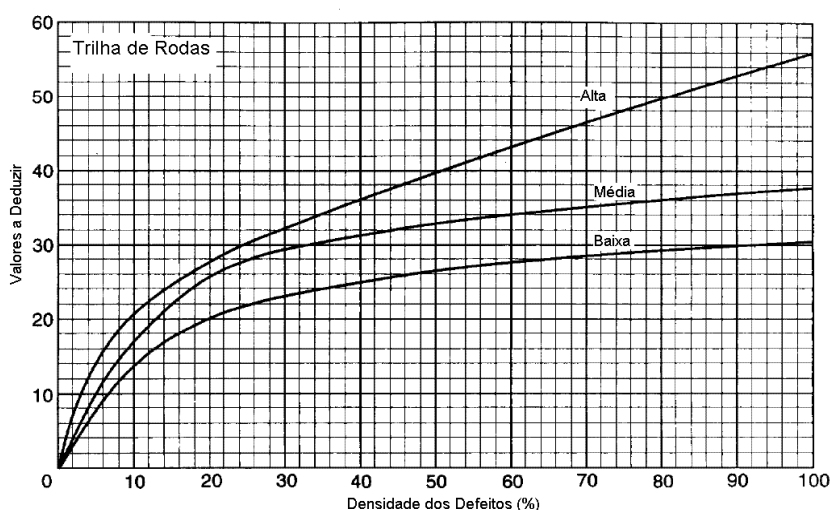


Figura 19: Ábaco para aplicação da metodologia URCI

Fonte: USACE, 1982

5.2.3.1 Sobre a Extensão e Severidade dos Defeitos

Consoante as metodologias VIZIR e VIZIRET e OCDE (1990), cada tipo de defeito a ser registrado, selecionado por sua relevância em condicionar o desempenho (funcional ou estrutural) futuro da rodovia, é categorizado em três níveis de severidade e três de extensão. Os níveis de severidade são definidos pelo grau de comprometimento da condição estrutural e ou funcional introduzido pelo defeito devido a sua presença. Os níveis de severidade são:

- ‘aceitável’ – corresponde ao defeito em sua condição inicial de aparecimento;
- ‘tolerável’ – indica que se deve esperar velocidades progressivamente crescentes de aumento da severidade e da extensão do defeito;

- ‘intolerável’ – associado a um grau de severidade em que uma intervenção imediata se faz necessária, a fim de evitar danos maiores à rodovia e ou ao usuário.

Para cada registro da presença de determinado tipo de defeito na severidade que for predominante dentro da área avaliada, será anotada a extensão em que se manifesta, utilizando-se os seguintes níveis:

- ‘alta’ para extensão alta (acima de 50% da área);
- ‘média’ para extensão média (entre 10 e 50% da área);
- ‘baixa’ para extensão baixa (menos de 10% da área).

Com relação à definição dos segmentos homogêneos, não se considera o estado de superfície, exceto nos casos de segmentos com defeitos graves localizados. Os parâmetros a serem considerados na definição dos segmentos são: as variações significativas da estrutura do revestimento existente; o tráfego atuante (avaliado considerando entroncamentos, acessos, etc.); a geometria da via (variações importantes da geometria vertical e horizontal, ou seja, rampas e curvas).

5.2.3.2 Segmentos Homogêneos

Propõe-se, nesta fase de definições conceituais, adotar o valor de 1 km como média para as extensões dos segmentos homogêneos, podendo existir segmentos homogêneos com extensões menores, face às condições mencionadas no parágrafo anterior. Assim, podem ser organizados os dados de quilômetro em quilômetro, cuidando apenas para que as fronteiras dos subtrechos sejam facilmente identificáveis no campo por meio de marcos apropriados (placas de quilometragem, obras de arte especiais como pontes e viadutos, acessos e entroncamentos). Durante a fase de implementação, há que se avaliar se tais segmentos homogêneos não são extensos demais para representar a rede, cuidando para que não sejam curtos demais, gerando inúmeros segmentos homogêneos com as mesmas características.

5.2.3.3 Atoleiros (AT)

Este é um defeito de ocorrência frequente e pontual em rodovias não pavimentadas. Ele caracteriza-se pela perda da capacidade de suporte da plataforma de rolamento e pelo

aparecimento de saliências e afundamentos longitudinais ('camaleões'). Tem sua origem em uma conjugação de diversos fatores danosos, tais como material constituinte de baixa capacidade de suporte, compactação insuficiente, umidade excessiva e presença de água, escoamento difícil e drenagem ausente ou deficiente, trilha de roda profunda (Figura 20).



Figura 20: Ilustração do defeito atoleiro

Fonte: FHWA

5.2.3.4 Trilha de Rodas (TR)

A trilha de roda é uma deformação permanente na plataforma da via. Tem sua causa na ação das rodas dos veículos, devido às cargas repetidas; à perda da capacidade de suporte originada nos períodos de chuvosos ou pelo acúmulo de umidade; ao deslocamento do material de revestimento e, em continuidade, do subleito. A Figura 21 apresenta uma ilustração da trilha de roda. Dependendo do material de revestimento e subleito e das condições de drenagem, a trilha de roda tende a evoluir para um atoleiro.

5.2.3.5 Corrugações (CR)

As corrugações, também conhecidas por 'ondulações', 'costeletas' ou 'costelas de vaca', são deformações permanentes regulares e perpendiculares à direção do tráfego. Elas podem ser mais profundas que 7,5cm. A ocorrência é causada pela movimentação do material da superfície por ação do tráfego, baixa coesão do material, má compactação. Expõem a superfície à abertura de buracos e panelas, a perda de finos ou materiais de baixa resistência. Ocorrem, de maneira geral, em pontos de aceleração ou desaceleração do tráfego. Este defeito provoca sério desconforto aos usuários à velocidade constante e causa danos aos veículos.

5.2.3.6 Ravinas (RA)

Diferentemente das trilhas de rodas, causadas pela ação do tráfego, as ravinas são deformações permanentes, na forma de erosões longitudinais ou transversais ao eixo da rodovia. São causadas pelo escoamento das águas superficiais por sobre a plataforma de rolamento da rodovia pouco compactada e ou sensível à ação da água (OCDE, 1990). As ravinas podem ser longitudinais nas subidas ou descidas; ou transversais na transição das superelevações.



Figura 21: Ilustração do defeito trilha de roda

5.2.3.7 Segregação de Agregados (SA)

Decorre do descolamento dos materiais graúdos e miúdos, conforme ilustrado na Figura 22, os quais são carregados pelo tráfego para o centro ou para as laterais da pista ou para as sarjetas, definindo perfeitamente as faixas preferenciais de tráfego. Produzem a perda de aderência dos pneus com a pista, concorrendo contra a segurança dos usuários. Eventualmente, podem ser projetados na direção de outros veículos ou pessoas que trafegam em sentido contrário ou no mesmo sentido.

5.2.3.8 Abaulamento (AB)

Leva em conta essencialmente a declividade da seção transversal. Uma rodovia não pavimentada precisa dispor de uma declividade adequada ao escoamento das águas de

precipitação. A seção apresenta problemas de abaulamento, seção inadequada, quando a superfície não está nivelada adequadamente para conduzir as águas para fora da plataforma até as valetas laterais de drenagem.



Figura 22: Ilustração do defeito segregação de agregados

5.2.3.9 Buracos e Panelas (BP)

São depressões localizadas, na superfície da estrada, em forma de bacia (*pothole*). Definem-se buracos como as depressões com profundidade menor que 2,5cm e diâmetro circunscrito da depressão menor que 30cm. Painelas são depressões com profundidade maior que 2,5cm e diâmetro circunscrito maior que 30cm, suficientes para comportar a roda de um veículo leve, causando desconforto e redução da velocidade. Elas são causadas por acúmulo de água sobre a pista, ou irregularidade ou má compactação do revestimento, e agravadas pela passagem dos veículos que, primeiro, promovem a desagregação do material sob o efeito das rodas e, posteriormente, os lançam fora pela pressão da água com a superfície.

5.2.3.10 Drenagem Lateral (DL)

A drenagem lateral é responsável pela coleta das águas que escoam da plataforma. A drenagem lateral deficiente causa a retenção de água nas laterais, o umedecimento da plataforma e a perda da capacidade de suporte da plataforma, conforme apresentado na Figura 24. A drenagem deve permitir o escoamento de forma paralela ao eixo da rodovia e, posteriormente, a condução para longe do corpo estradal.



Figura 23: Ilustração do defeito buracos e panelas

5.2.3.11 Drenagem Transversal (DT)

Ela é caracterizada pela ocorrência de águas que passam de um lado para outro do corpo estradal, por sobre a plataforma de rolamento, caracterizando deficiência na drenagem superficial. A ocorrência de bueiros deve ser referenciada entre os pontos notáveis, dada sua importância para a condição geral da via. A condição funcional dessas estruturas deve ser registrada (livre, obstruído, erodido, danificado, etc.) para inclusão nos programas de manutenção.



Figura 24: Ilustração do defeito drenagem lateral

5.2.3.12 Sinalização Vertical e Dispositivos de Segurança

Ainda que se considere o caráter privado da rede em estudo, não há razões para desconsiderar os cuidados com a segurança. O inventário de defeitos deve considerar a suficiência, deficiência ou inexistência de dispositivos de segurança, tanto quanto oferecer indicativos de sua condição mostrando, por exemplo, indicando seu estado: sujo, danificado, ausente. Há que se prever espaço na planilha de levantamento para advertência sobre a ausência de determinado dispositivo e o risco que introduz – para ele ser incluído na manutenção urgente e emergencial.

5.2.3.13 Outros

Há ainda outros defeitos que podem ser considerados, os quais devem ser submetidos à realidade prática do próprio sistema, por exemplo, o excesso de ‘Poeira’, considerado por USACE (1982) e Eaton e Beaucham (1992) como defeito a ser avaliado.

5.3 POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO

As políticas de manutenção definem o conjunto de intervenções a serem avaliadas e aplicadas. Elas são divididas em três categorias: estratégias; intervenções; serviços de manutenção. As estratégias são compostas de diversas intervenções consideradas e as intervenções são implementadas por meio de diversos serviços de manutenção.

As estratégias de manutenção são compostas por um agrupamento de intervenções de manutenção, de forma a constituírem uma política a ser considerada. A estratégia básica, de comparação às outras estratégias, é aquela na qual se realiza apenas a obturação de buracos e panelas, laminagem e encascalhamento. A estratégia de referência introduz as intervenções básicas e referenciais descritas a seguir enquanto uma terceira estratégia pode incluir a restabilização com adição de cal, betume ou cimento. É importante que cada intervenção seja associada a uma árvore de decisão, para que possa ser considerada pelo sistema.

5.3.1 As Intervenções de Manutenção

As intervenções de manutenção consideradas são: conserva de rotina; implantação de valetas; implantação de drenos; abaulamento e ou valetamento; laminagem leve ou média; restabilização e ou agulhamento; encascalhamento; reconstrução sem ou com

encascalhamento; restabilização com recicladora com adição de cal, cimento, betume; elevação do greide c/cascalho; limpeza de ponte; implantação de bueiros.

Na revisão da literatura, não se encontraram modelos de previsão de deterioração e desempenho para diversas intervenções como restabilizações com cal, cimento ou betume. Para transpor essa dificuldade, propõem-se que as intervenções de laminagem sejam tratadas pelos modelos de patrolamento e as de agulhamento, encascalhamento, reconstrução com ou sem encascalhamento sejam tratadas no modelo de encascalhamento. Na etapa seguinte, há que se ajustar coeficientes oferecidos pelo modelo até que outros sejam desenvolvidos.

5.3.1.1 Conserva Rotineira

Compreende, entre outros, serviços de capina, limpeza de valas, obturação de buracos, desobstrução manual ou mecânica de bueiros e valas de longitudinais de drenagem, remoção ou reposição manual de agregados sobre a plataforma. Tais atividades devem ser realizadas periodicamente ao longo do ano, para reduzir os demais custos das intervenções.

5.3.1.2 Implantação de Valetas ou Drenos

Consiste na implantação de valetas para condução das águas recolhidas para fora do corpo estradal ou a implantação de drenos profundos para coleta das águas sub-superficiais.

5.3.1.3 Abaulamento ou Valetamento

Consiste no serviço de simples laminagem, como forma de restabelecer a declividade transversal da superfície pista, ou a simples recomposição das valetas de drenagem longitudinal, devolvendo o material fino, ali depositado, para a superfície da pista.

5.3.1.4 Laminagem Leve

Consiste na simples laminagem com motoniveladora ou no patrolamento da plataforma, seguida de umedecimento, se for o caso, para restabelecer o desempenho da superfície. Não contempla o abaulamento ou valetamento.

5.3.1.5 Laminagem Média

Consiste em escarificação da superfície, revolvimento do material, umedecimento, se for o caso, e laminagem, seguida de compactação, preferencialmente, com rolo pneus.

5.3.1.6 Restabilização e ou Agulhamento

Consiste na adição (finos, areia ou cascalho) e revolvimento do material, umedecimento, se for o caso, e laminagem, seguida de compactação com, preferencialmente, com rolo pneus.

5.3.1.7 Encascalhamento

Consiste em adição de uma camada suplementar de cascalho (na ordem de 20cm), deposição de material graúdo estabilizado, espalhamento, umedecimento, se for o caso, e laminagem, seguida de compactação, preferencialmente, com rolo pneus. De acordo com Morosiuk *et al.* (2004), o encascalhamento é o equivalente ao recapeamento em rodovias pavimentadas.

5.3.1.8 Reconstrução

Consiste em remoção total ou parcial do material, se houver necessidade, adição de uma camada suplementar (na ordem de 20cm) de material graúdo estabilizado, espalhamento, umedecimento, se for o caso, e laminagem, seguida de compactação, preferencialmente, com rolo pneus. Há casos de o material estar tão encharcado que a alternativa mais viável é a remoção do material e substituição por outro, em vez da simples secagem.

5.3.1.9 Restabilização Profunda

Estratégia de manutenção a ser incorporada ao processo, que consiste no revolvimento do material existente e mais a incorporação de aditivos (cal, cimento, betume), de forma a ampliar as características da pista (durabilidade, impermeabilização, estabilidade, entre outras). Em Gayle Maurer e Polish (2008), encontra-se uma discussão sobre diversas alternativas de restabilização profunda.

5.3.1.10 Implantação de Bueiros

Trata-se da implantação de uma linha ou mais de tubos de bueiros transversalmente ao eixo longitudinal da rodovia, como forma de se remover as águas superficiais que correm sobre a superfície da rodovia, promovendo a acumulação de umidade, reduzindo a resistência ao cisalhamento, entre outros. Neste caso, há que se promover canalização das águas, elevação do greide (se for o caso), construção de berços e alas. Em Pulkki (1996), é apresentado um estudo da interferência das passagens de água no transporte sobre rodovias não pavimentadas, e os custos e benefícios da correção desses pontos, a remoção de bueiros ou implantação de novos dispositivos.

5.3.1.11 Elevação do Greide

A elevação do greide é uma medida que se impõe nos pontos onde o leito estradal percorre segmento de baixa capacidade de suporte ou desenvolve-se muito próximo à região de umidade. A providência vem combinada com encascalhamento, drenagem, valetamento e, eventualmente, implantação de bueiros transversais.

A utilização de rolo de pneus é indicada pela versatilidade de uso e fica condicionada aos materiais de revestimento e disponibilidade. Não há restrições para que seja substituído por rolo liso ou tipo chapa para os materiais granulares e pé de carneiro para materiais plásticos.

5.3.2 Serviços de Manutenção

Nesse item, incluem-se todos os serviços de manutenção. São serviços básicos da engenharia rodoviária, os quais permitirão a composição de preços unitários, para avaliação financeira das intervenções de manutenção. Recomenda-se a adoção de normas e especificações produzidas pelos departamentos de estradas de rodagem como forma de estabelecer processos de execução, procedimentos de controle e parâmetros de qualidade.

Propõe-se que, para cada serviço de manutenção, seja associada determinada quantidade por quilômetro e por faixa de largura de um metro. Dessa forma, uma intervenção de manutenção é composta por uma série de serviços de manutenção, cujas quantidades por quilômetro permitirão a construção de composições de custos unitários.

Por exemplo, a intervenção de encascalhamento pode ser decomposta em: escavação, carga e descarga de cascalho ($m^3/km/m$); transporte de cascalho até a pista ($m^3/km/m$); espalhamento de cascalho ($m^2/km/m$); revolvimento com grade de disco ($m^2/km/m$); umedecimento com caminhão pipa ($m^2/km/m$); reconformação da plataforma com motoniveladora ($m^2/km/m$); compactação com rolo liso ($m^2/km/m$); compactação com rolo de pneus ($m^2/km/m$). A inclusão da largura real da rodovia no segmento considerado promove a remoção do fator ‘/m’ e a inclusão da extensão do segmento considerado a do fator ‘/km’, restando tão somente a unidade de trabalho.

Os serviços de manutenção considerados até o momento foram:

- capina ($m/km/m$);

- roçada ($m^2/km/m$);
- limpeza manual de valetas longitudinais de drenagem ($m/km/m$);
- limpeza mecânica de valetas longitudinais de drenagem ($m/km/m$);
- desobstrução e limpeza de bueiros ($m^3/km/m$);
- implantação/escavação mecânica de valas de drenagem ($m^3/km/m$);
- limpeza manual de valas de drenagem ($m/km/m$);
- limpeza mecânica de valas de drenagem ($m/km/m$);
- implantação de drenos profundos ($m/km/m$);
- assentamento de tubos de bueiro ($m/km/m$);
- obturação de buracos ($m^3/km/m$);
- remoção manual de agregados sobre a plataforma ($m^3/km/m$);
- remoção mecânica de agregados sobre a plataforma ($m^3/km/m$);
- deposição manual de agregados sobre a plataforma ($m^3/km/m$);
- deposição mecânica de agregados sobre a plataforma ($m^3/km/m$);
- valetamento com motoniveladora ($m/km/m$);
- reconformação da plataforma com motoniveladora ($m^2/km/m$);
- laminagem com motoniveladora ($m^2/km/m$);
- umedecimento com caminhão pipa ($m^2/km/m$);
- escarificação com motoniveladora ($m^2/km/m$);
- revolvimento com grade de disco ($m^2/km/m$);
- compactação com rolo pé-de-carneiro ($m^2/km/m$);

- compactação com rolo liso ($m^2/km/m$);
- compactação com rolo de pneus ($m^2/km/m$);
- escavação, carga e descarga de cascalho ($m^3/km/m$);
- transporte de cascalho até a pista ($m^3/km/m$);
- espalhamento de cascalho ($m^2/km/m$);
- escavação, carga e descarga de material de jazida ($m^3/km/m$);
- transporte do material de jazida até a pista ($m^3/km/m$);
- espalhamento de material de jazida ($m^2/km/m$);
- remoção, carga e descarga camada de pista ($m^2/km/m$);
- transporte até o bota-fora ($m^2/km/m$);
- restabilização com recicladora com adição de cal ($m^2/km/m$);
- restabilização com recicladora com adição de cimento ($m^2/km/m$);
- restabilização com recicladora com adição de betume ($m^2/km/m$);
- limpeza de ponte (m^2/km).

No entanto, para que essas intervenções possam ser consideradas pelos sistemas de gerenciamento da manutenção, elas carecem de modelos de previsão de deterioração e desempenho associados. No outro extremo, as medidas de manutenção indicadas para prevenir, combater ou corrigir determinado processo de deterioração, relacionadas aos modelos HDM-III e HDM-4, e para as quais existem modelos de desempenho desenvolvidos, resumem-se a: obturação de buracos e panelas; laminagem ou patrolagem; encascalhamento. A proposta, neste caso, é apropriar os modelos disponíveis até que outros mais consistentes sejam desenvolvidos.

5.4 O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO PROPOSTO

O modelo conceitual de gerenciamento da manutenção que se propõe toma por referência o *Relational Unified Process*, no sentido de as análises terem início com uns poucos dados necessários, ainda que insuficientes para avaliação geral do empreendimento. Nessa etapa, promove-se avaliação geral das rodovias do empreendimento, como forma de estabelecer estimativa de custos (manutenção e custo de operação de veículos), e possíveis benefícios. Há que se ter presente que o dono do negócio deve ser convencido de que o processo pode trazer maiores benefícios e lucros.

Para processarem análises, sistemas de gerenciamento necessitam algumas informações econômicas, tais como: taxas internas de retorno para avaliação dos investimentos; inflação anual; ano de referência para início das análises; período de análise e, eventualmente, uma moeda estrangeira e sua taxa de conversão para referência e comparação. A aplicação dos modelos HDM desenvolvidos para rodovias não pavimentadas demanda, ainda, dados preliminares da política de manutenção, tais como: o período entre laminagens; quantidade referencial em metro cúbico por quilômetro-ano para obturação de buracos e painéis; espessura básica para os encascalhamentos; espessura mínima para que a rodovia seja reencascalhada; definição se a compactação será mecânica ou não. É possível ainda definir, para os modelos de deterioração e desempenho, os limites mínimos e máximos de irregularidade longitudinal (IRI).

Conforme verifica-se em Archondo-Callao (1999a), com um mínimo de informações já é possível fazer algumas avaliações econômico-financeiras em relação a políticas limitadas de manutenção (mormente obturação de buracos, laminagem, e encascalhamento). Com tal procedimento já é possível direcionar melhor o nível e o detalhamento dos levantamentos a serem realizados. Eis o motivo de essa fase de pré-análise não ser colocada nem na fase de análise em nível de rede e nem na fase em nível de projeto.

O operador, de posse de um mapa geral do empreendimento identifica a rede de rodovias e as áreas de colheita e estima a carga a ser retirada e a contribuição de cada setor para o tráfego, como forma de se estabelecer o número de veículos médios diários. Pode, eventualmente, começar as análises pelos pontos onde ‘percebe’ a possibilidade de melhores resultados para o dono do negócio.

A utilização de ferramentas de geoprocessamento, conforme apresentado por Carvalho (2005), demonstra ser uma alternativa viável nesta fase de análise, especialmente para obtenção de indicadores de extensão, largura, declividade (*rise and fall*) e sinuosidade (*horizontal cruvature*) da rede. O gradiente vertical médio longitudinal ou a média das subidas e descidas (ou *rise and fall*, ou RF) é a somatória das distâncias entre os pontos de máxima cota e de mínima cota de curvas verticais adjacentes, dividida pelo comprimento total do trecho, conforme apresentado na equação 24, associada à Figura 25.

$$RF = \frac{R_1 + F_1 + R_2 + F_2 + R_3}{L_{\text{Total}}} \quad 24$$

Onde:

RF = média das subidas e descidas (m/km);

R_i = distância vertical entre os pontos de mínimas e máximas cotas, entre duas curvas verticais adjacentes, em m;

F_i = distância vertical entre os pontos de máximas e mínimas cotas, entre duas curvas verticais adjacentes, em m;

L_{total} = comprimento total do trecho, em km.

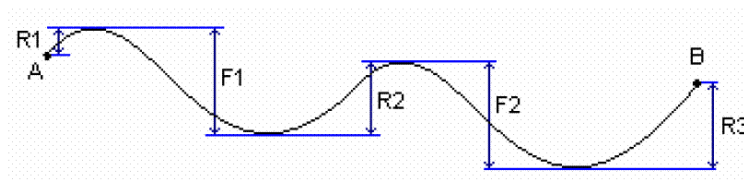


Figura 25: Representação de subidas e descidas ao longo de um trecho

Fonte: Klein (2005)

O indicador da média da curvatura horizontal (H_c) é a razão do somatório dos ângulos centrais das curvas pelo comprimento total do trecho, conforme equação 25 e Figura 26.

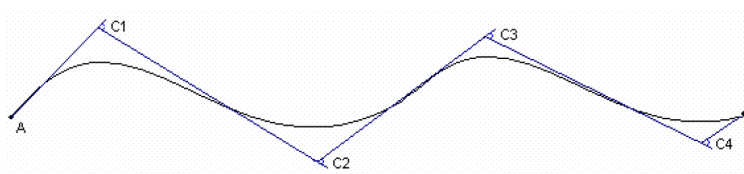


Figura 26: Representação dos ângulos centrais ao longo de um trecho.

Fonte: Klein (2005)

$$H_c = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}{L_{total}} \quad 25$$

Onde:

H_c = média da curvatura horizontal, em graus / km;

C_i = ângulos centrais das curvas ao longo do trecho, em graus;

L_{total} = comprimento total do trecho, em km.

Archondo-Callao (1999) oferece valores *default* para:

- funcionamento dos modelos, tais como granulometria, tamanho máximo da partícula, índice de plasticidade, percentuais passantes nas peneiras 2,0mm, 0,425mm e 0,075mm, pluviosidade mensal ou anual;
- intervenções e políticas de manutenção, tais como conserva rotineira, laminagem, encascalhamento, as quais podem ser definidas e calculadas com preços unitários referenciais;
- frota de veículos, trabalhando-se com composições padrões previamente definidas, tais como bitrem, treminhão, etc.

Com os elementos assim definidos, já é possível processar uma análise de viabilidade econômica e de limites para as intervenções. Essas análises são encaminhadas com um mínimo de dispêndio, praticamente sem se sair do escritório, oferecendo uma visão geral, mas também, a um risco considerável. É possível, contudo, inferir o nível de custo para operação dos veículos e possibilidades de sua redução por meio de intervenções adequadas.

A etapa seguinte, vislumbrada, na fase de implementação do sistema, ocorre quando o dono do negócio já manifestou formalmente o interesse na continuidade do processo e está disposto a aplicar algum recurso no expediente. Há que se promover um levantamento de campo, para definir as extensões e larguras reais; os defeitos nas rodovias; identificar melhor o material de constituição das fundações e revestimento das rodovias; possibilidades de intervenções pontuais; dividir o empreendimento em trechos, tramos ou subtrechos, segmentos menores/homogêneos; identificar passagens de água sobre a pista, atoleiros, etc.

Encaminha-se, então, nova análise com dados mais detalhados e, assim, até a fase de execução, propriamente dita, quando as intervenções de manutenção recomendadas pelo

sistema são implementadas. Nesta fase, já se estará trabalhando com dados reais dos materiais de campo, declividades e sinuosidade verdadeiras, produtividades dos equipamentos rodoviários ajustados às condições do empreendimento, entre outros.

Da forma como se está pensando a concepção do sistema, haverá cinco módulos de entrada de dados: gerais econômicos e do empreendimento; da rede rodoviária; da frota de veículos; das intervenções e políticas de manutenção; de configuração do sistema (que não estão tratados neste trabalho).

Os modelos de deterioração e previsão de desempenho são os mesmos do HDM-III citados por Paterson (1987), visto que sofreram poucas alterações para o HDM-4. Não se aplicam ao presente trabalho: incorporação de maior variedade de tipos e estruturas de pavimentos e condições de utilização; efeitos de congestionamentos em climas frios, aspectos relacionados a acidentes; efeitos ambientais, em especial as emissões de poluentes; incremento do tempo de viagem em congestionamentos.

Os relatórios do sistema devem ser mais bem definidos em etapa posterior, ainda que já se tenha estabelecido que as intervenções devem ser dispostas: dos maiores para os menores benefícios; com detalhamento das intervenções previstas para cada segmento; com irregularidade média estimada para cada segmento após as intervenções de manutenção; com comportamento médio geral da rede para diversas políticas de manutenção e restrições orçamentárias, entre outros.

5.5 MODELO CONCEITUAL DE DIMENSIONAMENTO E MANUTENÇÃO

O modelo contido na Figura 27 é apresentado em Visser (1981). O esquema preenche a lacuna de um procedimento conceitual para avaliação do dimensionamento das estruturas e avaliação das estratégias de manutenção para determinação de intervenções de referência para as rodovias não pavimentadas.

Relativamente à entrada de dados, em vez da designação em nível de rede e em nível de projeto, preferiu-se a designação ‘dados genéricos’ e ‘dados específicos’, pois se há de promover algumas adaptações para a transposição da proposição conceitual para a implementação no mundo real. A designação ‘genéricos’ e ‘específicos’ é apenas cautelar.

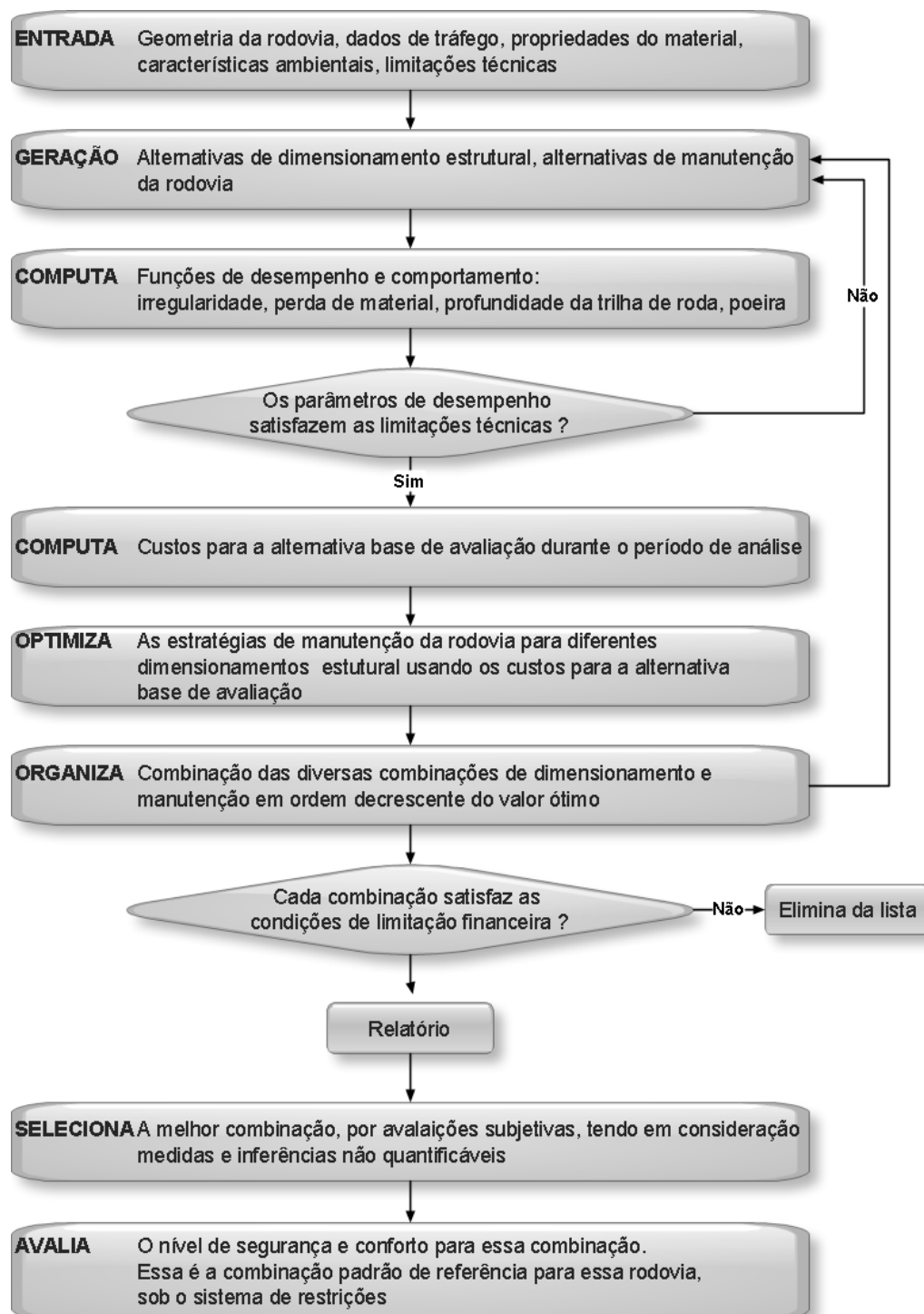


Figura 27: Sistema conceitual para avaliação de dimensionamento e manutenção

Fonte: Visser (1981), traduzido pelo autor

Na condição de inserção de ‘dados genéricos’ para a rede, inclui-se a taxa média de pluviosidade da região, fornecida por centro de meteorologia. Incluem-se, também: períodos entre as laminagens; valor de referência para obturação de buracos; espessura mínima para se disparar o gatilho; espessura mínima de cascalho para re-encascalhamento; compactação

mecânica ou não; gatilhos para mínima e máxima irregularidade longitudinal. São dados básicos para a primeira avaliação.

Esses dados são refinados para cada rodovia e segmento rodoviário nas etapas seguintes, incluindo-se, entre outros: variações de pluviosidade entre diferentes áreas da propriedade; variações entre períodos de laminagens; estimativas para obturação de buracos.

5.6 OS DADOS DA REDE RODOVIÁRIA

Os dados da rede rodoviária, para análise preliminar do empreendimento, são obtidos por: mapas ou informações georeferenciadas; outras informações que o dono do negócio ou seus prepostos queiram passar.

5.6.1 Dados Genéricos

Para análise em nível de rede, considera-se suficiente a descrição de trecho, extensão, largura e informações gerais sobre a geometria horizontal (reta, sinuosa ou curvilínea) e vertical (plano, ondulado ou montanhoso) do trecho. Os modelos HDM-III, HDM-4, e o RED, sugerem valores de referência, para estimativas preliminares (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetros de referência para diversos traçados de rodovia

Fonte	Descrição	Rise & Fall (m/km)	Curvatura Horizontal (°/km)
HDM-4	Reta e Plana	1	3
HDM-4	Praticamente reta e pouco ondulada	10	15
HDM-4	Pouco sinuosa e praticamente plana	3	50
HDM-4	Pouco sinuosa e pouco ondulada	15	75
HDM-4	Pouco sinuosa e muito ondulada	25	150
HDM-4	Sinuosa e pouco ondulada	20	300
HDM-4	Sinuosa e muito ondulada	40	500
HDM-III	Terreno plano	0	0
HDM-III	Terreno suave	10	50
HDM-III	Terreno ondulado	20	150
HDM-III	Terreno inclinado	50	300
HDM-III	Terreno montanhoso	80	500

Fonte: Archondo-Callao (1999)

Os modelos demandam dados relacionados às características do solo do subleito e do revestimento, se houver. Consideram-se suficientes informações do tipo siltoso, silto-argiloso, argiloso, argilo-arenoso, arenoso, cascalho, bem como sobre a espessura da camada de revestimento remanescente (Tabela 3).

Tabela 3: Parâmetros de referência para diversos tipos de materiais

Fonte	Descrição	Camada	TAM. Partic. (mm)	Índice de Plastic	%Pass # 2,000 mm	%Pass # 0,425 mm	%Pass # 0,075 mm
HDM-4	Cascalho angular vulcânico	Revest.	25,0	17,0	49,3	38,0	23,5
HDM-4	Cascalho quartzítico	Revest.	23,8	9,1	57,5	44,6	24,2
HDM-4	Cascalho laterítico	Revest.	21,9	10,1	51,1	41,6	25,5
HDM-4	Cascalho angular de corais	Revest.	21,0	13,0	64,3	49,0	25,0
HDM-4	Terra	Revest.	4,8	15,8	90,5	84,9	70,2
HDM-4	Mistura cascalho-areia com excesso de finos	Subleito	17,0	17,0	46,0	34,0	23,0
HDM-4	Cascalho-areia bem graduado com pequena porção de argila	Subleito	13,0	15,0	60,0	40,0	18,0
HDM-4	Areia com excesso de finos	Subleito	12,0	8,3	88,0	68,5	27,0
HDM-4	Silte argilosa (inorgânica)	Subleito	10,0	17,5	88,0	77,0	54,0
HDM-4	Argila (inorgânica) de média plasticidade	Subleito	8,0	18,8	83,5	77,0	59,0
HDM-4	Argila (inorgânica) de alta plasticidade	Subleito	4,0	34,3	86,3	81,5	74,0

Fonte: Archondo-Callao (1999)

Nesta fase, por ocasião do primeiro levantamento, há que se marcar pontos notáveis da rede, tais como pontes, travessias, interseções.

5.6.2 Dados Específicos

Nas análises em nível de projeto, os dados são coletados em levantamentos de campo mais detalhados que o levantamento preliminar. Neste caso, se houver necessidade há que se mobilizar níveis e teodolitos ou outros equipamentos necessários e suficientes para proporcionar dados e informações adequados ao nível de tomada de decisão, por exemplo, o levantamento deve retornar para as entradas *rise&fall* e curvatura horizontal valores em graus/km e m/km.

Nessa etapa, os trechos são fracionados em tramos ou subtrechos, e em segmentos homogêneos. Inclui-se, também, a necessidade de encaminhar material coletado do subleito e revestimento para um laboratório de solos, a fim de melhor identificar as características

físicas do solo. Outra informação relevante, nesta etapa, é a idade média ou aproximada desde a última intervenção de manutenção. Há que se proceder também o levantamento dos defeitos e a indicação de solução de campo, em planilha apropriada.

5.7 OS DADOS DA FROTA DE VEÍCULOS

Os dados da frota, na etapa preliminar, são inferidos com base em estimativas de produção por hectare, fazendo-se os ajustes à carga por eixo, cabendo ao sistema transformá-la em número de caminhões-padrão. Supõe-se, também, que a carga regulamentar por eixo é respeitada. Essa opção parece razoável, tendo em consideração que esses montantes sofrerão pouca alteração nas fases seguintes, ainda que as composições possam variar significativamente.

5.7.1 Dados Genéricos

Na primeira visita de campo, há que se identificar as composições mais frequentes no empreendimento – bitrens, treminhões ou outros – bem como a utilização das rodovias por outros que não apenas os veículos do empreendimento – tipos e composição, passageiros transportados, etc. Há que se identificar também veículos que trafegam pelas vias do empreendimento os quais não transportam carga (passeio, utilitários): quantidades, frequência com que utilizam as rodovias, passageiros transportados, etc.

5.7.2 Dados Específicos

Essa etapa exige a contagem de veículos, ao menos uma vez durante a colheita e outra fora deste período.

5.8 OS DADOS DAS INTERVENÇÕES E POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO

Na etapa preliminar, o sistema trata as políticas de manutenção apenas em termos de obturação de buracos e panelas e laminagens. Na etapa seguinte, as alternativas são avaliadas em termos de estratégias de manutenção, sendo a estratégia básica aquela na qual se realiza apenas a obturação de buracos e panelas e laminagens. A estratégia de referência considera a

introdução de intervenções básicas e referenciais. A terceira estratégia inclui a restabilização com adição de cal, betume, cimento, ou outros.

5.8.1 Dados Genéricos

Na análise em nível de rede, as intervenções são as definidas entre as políticas de manutenção, tratadas de forma genérica para todo o trecho. As intervenções consideradas até o momento foram: manutenção de rotina; implantação de valetas; implantação de drenos; abaulamento e ou valetamento; laminagem leve ou média; restabilização e ou agulhamento; encascalhamento; reconstrução sem ou com encascalhamento; restabilização com recicladora com adição de cal; ou cimento; ou betume; elevação do greide c/cascalho; limpeza de ponte; e implantação de bueiros.

Cada uma das intervenções listadas é decomposta em diversos serviços, conforme referido na Seção 5.3.2 Serviços de Manutenção. Por exemplo, a intervenção de encascalhamento é decomposta em escavação e carga e descarga de cascalho; transporte de cascalho até a pista; espalhamento de cascalho; revolvimento com grade de disco; umedecimento com caminhão pipa; reconformação da plataforma com motoniveladora; compactação com rolo liso; e compactação com rolo de pneus. Os dados são submetidos às árvores de decisão de forma generalizada.

5.8.2 Dados Específicos

Na análise em nível de projeto, as intervenções são as definidas entre as políticas de manutenção, tratadas de forma específica para cada segmento homogêneo. Nesta fase, há que se verificar ainda a adequação do subleito às cargas como forma de se avaliar a necessidade de restabilização com adição de materiais ou elevamento do greide, ou outras alternativas.

5.9 ÁRVORES DE DECISÃO

Com base na literatura e na experiência do autor, foram preparadas árvores de decisão para intervenções de manutenção para diversos defeitos a serem aplicadas no modelo.

A árvore de decisão para correção do defeito ‘atoleiro’ é apresentada na Figura 28, considerando a metodologia de avaliação da extensão (alta, média e baixa) e gravidade (aceitável, tolerável e intolerável) do defeito.

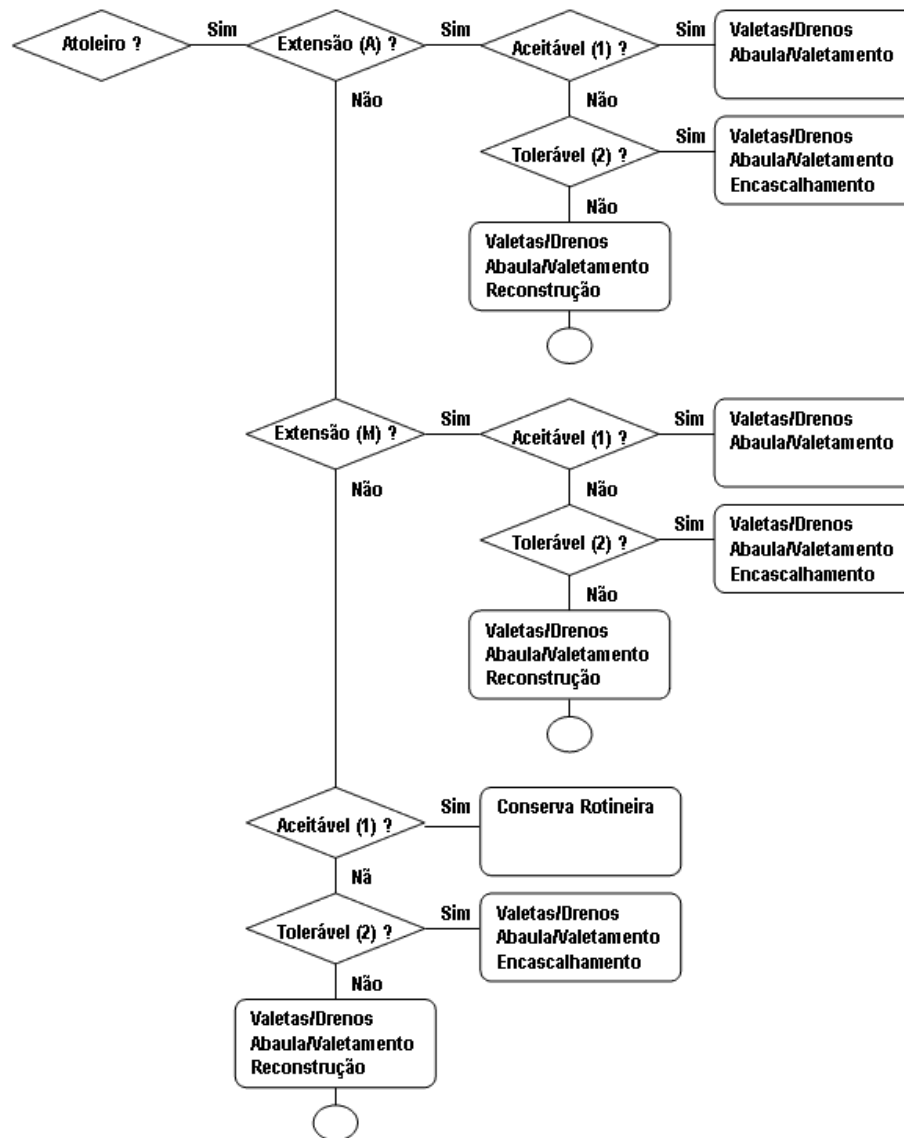


Figura 28: Árvore de decisão para o defeito ‘atoleiro’

Na Figura 29, apresenta-se a árvore de decisão para intervenções de manutenção para correção do defeito 'trilha de roda', seguindo a mesma metodologia de extensão e gravidade do defeito.

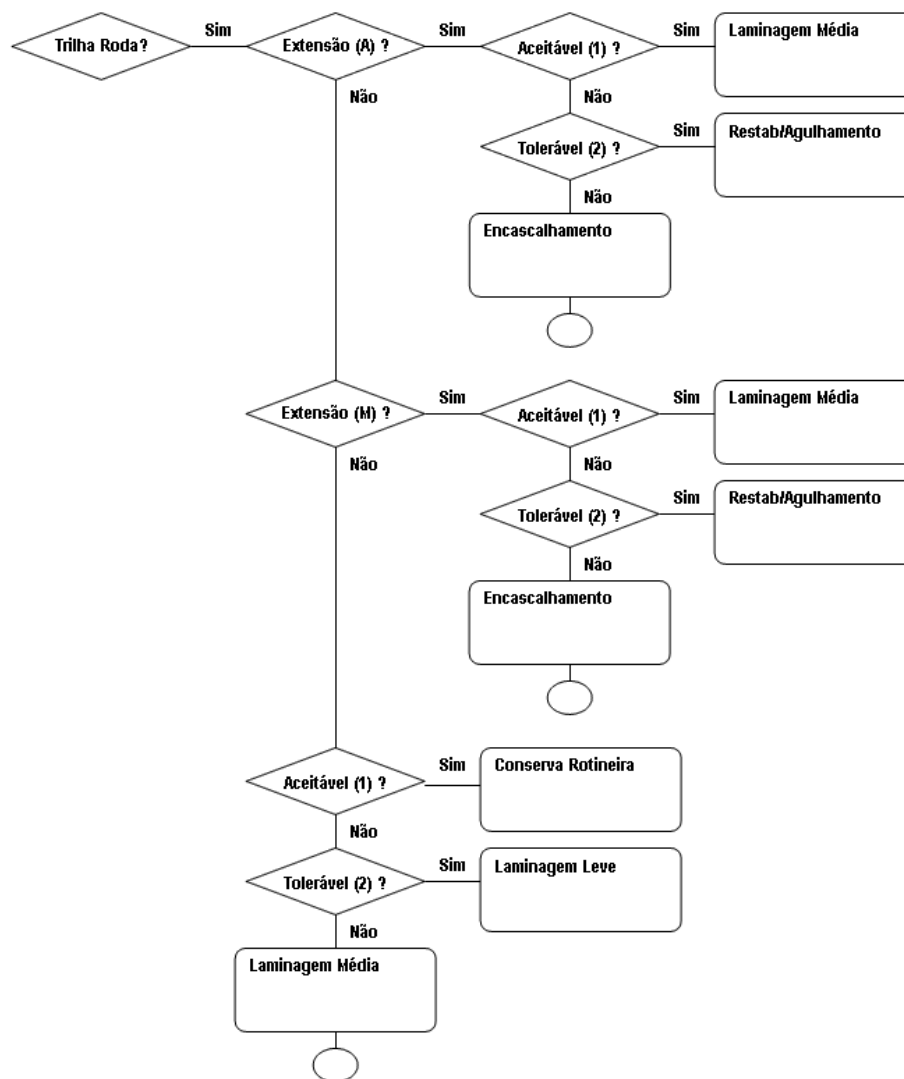


Figura 29: Árvore de decisão para o defeito 'trilha de roda'

A Figura 31 contempla a árvore de decisão para correção do defeito identificado como ‘segregação de agregado’

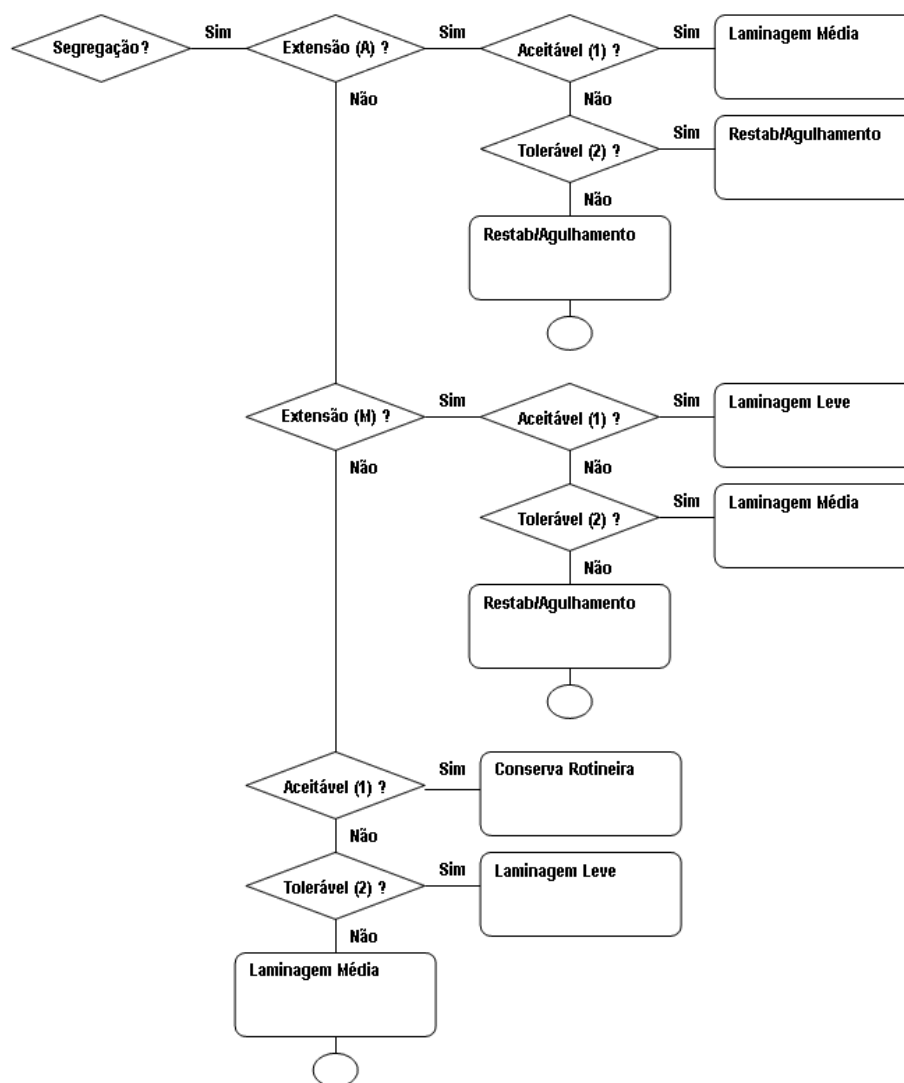


Figura 31: Árvore de decisão para o defeito ‘segregação de agregado’

Na Figura 32, apresenta-se a árvore de decisão para intervenções de manutenção para correção do defeito ‘abaulamento’.

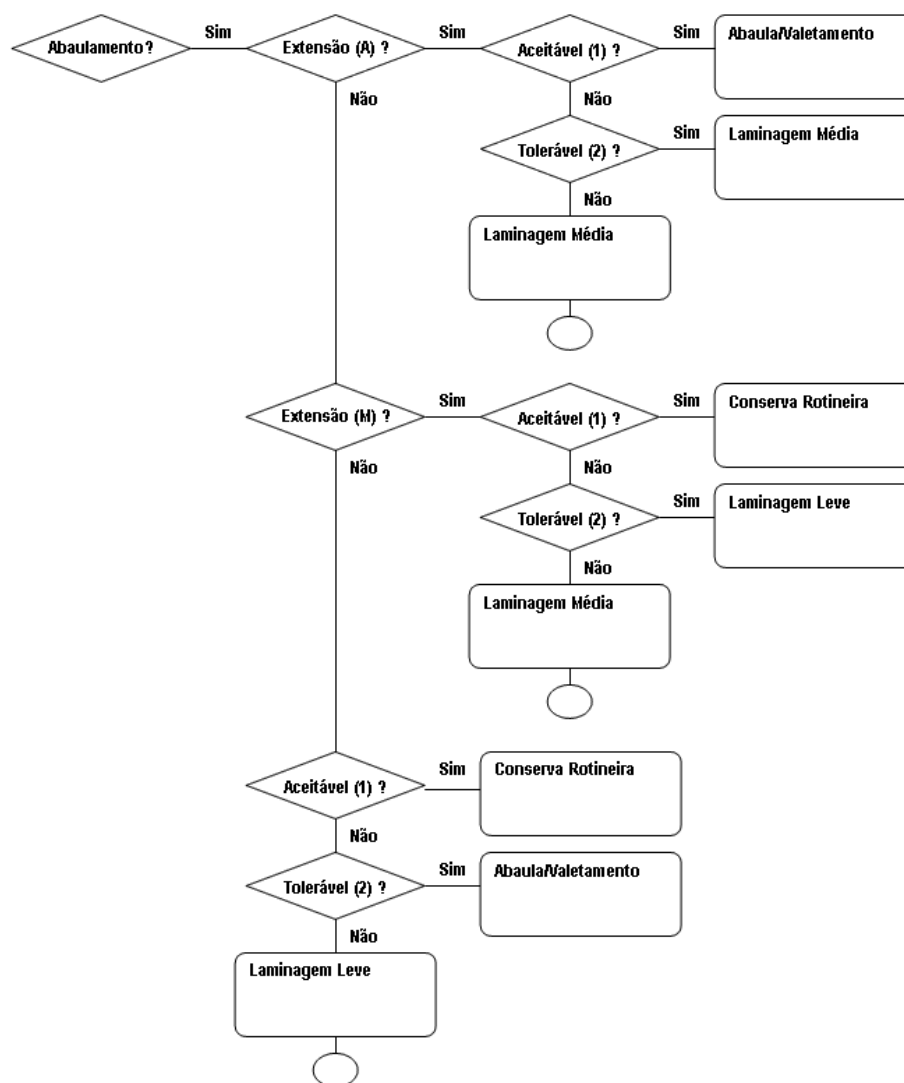


Figura 32: Árvore de decisão para o defeito 'abaulamento'

A Figura 33 contempla a árvore de decisão para correção do defeito identificado como 'panelas'

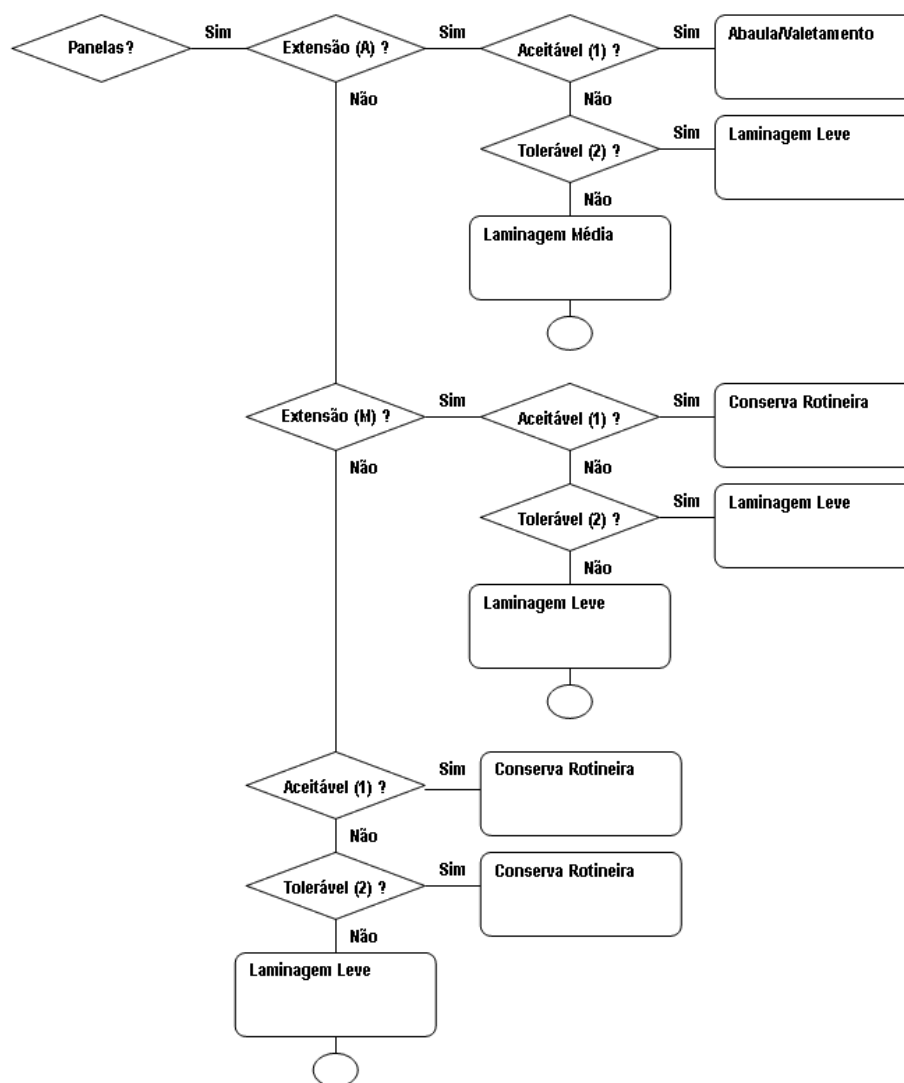


Figura 33: Árvore de decisão para o defeito 'panelas'

A Figura 34 apresenta a árvore de decisão para correção do defeito identificado como ‘drenagem lateral’ ou ‘drenagem longitudinal’.

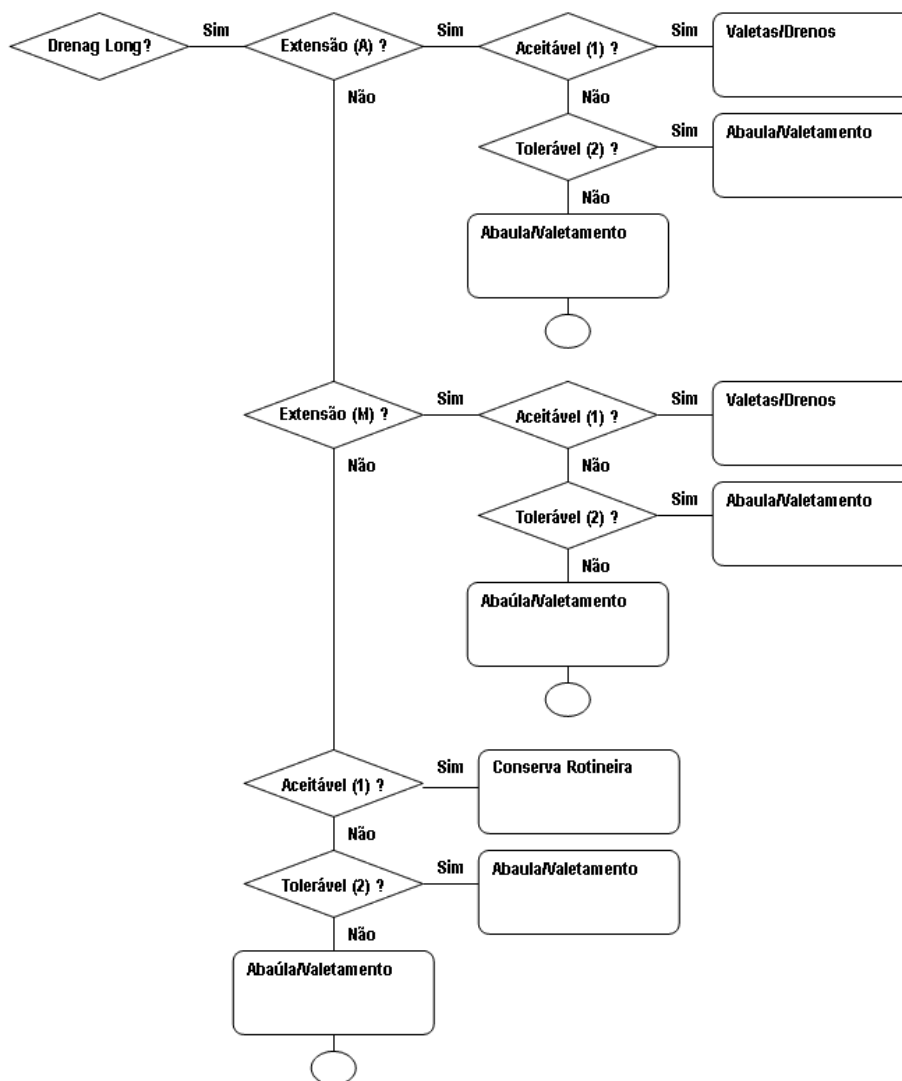


Figura 34: Árvore de decisão para o defeito ‘drenagem longitudinal’

Conforme a extensão da ocorrência (alta, média e baixa) e a severidade do defeito (aceitável, tolerável e intolerável), há que se elaborar um conjunto de coeficientes de ponderação, à semelhança do URCI (USACE, 1982 e EATON e BEAUCHAM, 1992), para todos os tipos de defeitos, em termos de extensão e severidades, de forma que se possa inferir as quantidades de serviços necessárias para correção de cada defeito.

Como exemplo de aplicação das árvores de decisão, sugere-se um coeficiente de 0,80 para a extensão ‘alta’ – por definição, acima de 50% da área/extensão do segmento homogêneo – a ser multiplicado às quantidades necessárias para sanar a totalidade do segmento homogêneo.

As ‘extensões’ de defeito ‘média’ (entre 50 e 10% da extensão/área do segmento homogêneo) e ‘baixa’ (menos de 10% da extensão/área do segmento homogêneo) recebem coeficientes 0,40 e 0,05, respectivamente.

Coefficientes semelhantes devem ser desenvolvidos para a severidade dos defeitos, como forma de incrementar ou reduzir o nível de esforço, conforme a maior ou menor gravidade do defeito. Para o mesmo caso de ‘atoleiro’ sugere-se que os coeficientes ponderação sejam de 0,05, 1,5 e 2,0, para as severidades ‘aceitável’, ‘tolerável’ e ‘intolerável’, respectivamente.

Considere-se, por exemplo, que o levantamento de campo avaliou a ocorrência do defeito ‘atoleiro’ em ‘extensão’ (‘média’) e ‘severidade’ (‘tolerável’), num dado segmento homogêneo de um quilômetro. As medidas recomendáveis são ‘valetas/drenos’, ‘abaula/valetamento’ e ‘encascalhamento’, conforme mostra a Figura 35.

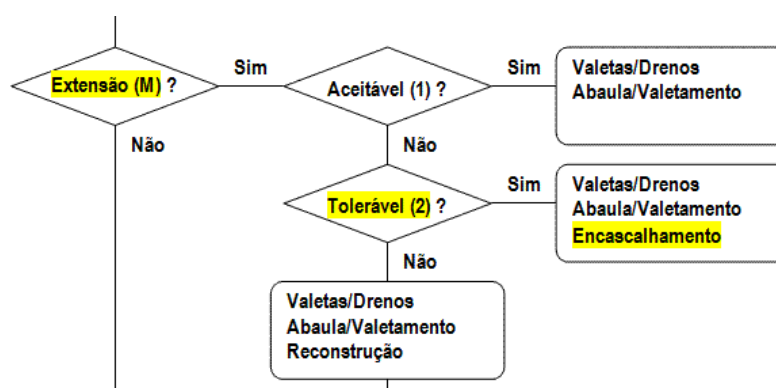


Figura 35: Defeito ‘atoleiro’, Extensão (Média) e Severidade (Tolerável)

Tome-se por referência apenas a intervenção ‘encascalhamento’. A intervenção é decomposta nos serviços apresentados na sequência, cujas quantidades estimadas são as colocadas dentro dos parênteses. As quantidades estão estimadas para um metro de largura da plataforma, devendo, portanto, serem multiplicadas pela largura da pista. Assim, a intervenção de ‘encascalhamento’ é composta de escavação e carga e descarga de cascalho (200 m³/km/m); transporte de cascalho até a pista (200 m³/km/m); espalhamento de cascalho (1000m²/km/m); revolvimento com grade de disco (1000m²/km/m); umedecimento com uso caminhão pipa (1000m²/km/m); reconformação da plataforma com motoniveladora (1000m²/km/m); compactação com rolo liso (1000m²/km/m); compactação com rolo de pneus (1000m²/km/m).

Os serviços necessários para sanar todo o quilômetro seriam, então, multiplicados pelos coeficientes 0,4 (extensão média) e 1,5 (severidade tolerável), ou 0,6. As quantidades

estimadas da intervenção de encascalhamento para correção do defeito atoleiro, em extensão média e severidade tolerável seriam: escavação e carga e descarga de cascalho ($120\text{m}^3/\text{km}/\text{m}$); transporte de cascalho até a pista ($120\text{m}^3/\text{km}/\text{m}$); espalhamento de cascalho ($600\text{m}^2/\text{km}/\text{m}$); revolvimento com grade de disco ($600\text{m}^2/\text{km}/\text{m}$); umedecimento com uso caminhão pipa ($600\text{m}^2/\text{km}/\text{m}$); reconformação da plataforma com motoniveladora ($600\text{m}^2/\text{km}/\text{m}$); compactação com rolo liso ($600\text{m}^2/\text{km}/\text{m}$); compactação com rolo de pneus ($600\text{m}^2/\text{km}/\text{m}$).

Em que pese o fato de os coeficientes terem se originado, parcialmente, da metodologia URCI, é importante que eles sejam adaptados às situações práticas e adequados à realidade dos empreendimentos.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

As rodovias não pavimentadas assumem enorme importância para o desenvolvimento econômico e social de países, regiões, municípios e empreendimentos privados. Na condição de infraestrutura para o sistema econômico, tal qual exigido para as rodovias pavimentadas, as intervenções de manutenção nas rodovias não pavimentadas devem ser submetidas a processo de avaliação econômica e financeira, o mesmo ocorrendo para a tomada decisão de pavimentá-las ou não.

As populações circunvizinhas a essas rodovias têm grande importância e merecem mais atenção não apenas dos pesquisadores, mas também dos gestores federais, estaduais, municipais e ou das agências privadas. Torna-se, pois, necessário que estes gestores disponham de ferramentas, como essa que se está a propor, que os auxiliem nas análises e nas tomadas de decisão.

Considera-se que:

- relativamente ao objetivo de compreender o processo de degradação das rodovias não pavimentadas, por meio da influência do tráfego e das cargas; variáveis ambientais; estrutura das rodovias; capacidade de suporte; resistência ao desgaste e à deterioração, o estudo atingiu sua consecução.
- em relação ao objetivo de buscar modelos matemáticos capazes de descrever o comportamento dessas estruturas rodoviárias, de forma a auxiliarem na previsão de seus desempenhos futuros, verifica-se que tais modelos estão desenvolvidos e podem ser utilizados, ainda que com alguma restrição e com cuidados aplicáveis aos modelos matemáticos, quais sejam, precauções relacionadas ao meio e às circunstâncias nas quais e para as quais foram desenvolvidos;

- com referência ao objetivo de sugerir um conjunto de alternativas de intervenções, capazes de constituir uma verdadeira política para a manutenção das rodovias, conforme os defeitos apresentados, o objetivo foi alcançado pelo desenvolvimento de árvores de decisão visando à futura implementação do sistema;
- relativamente ao objetivo de propor um conjunto de alternativas de encaminhamento dos processos de manutenção em empreendimentos florestais, de forma a obter por resultado final: indicativo de um conjunto de intervenções a serem realizadas; uma estimativa dos desembolsos; benefícios de adoção de uma ou outra alternativa de manutenção. Conceitualmente, como fora proposto, o objetivo foi alcançado com o desenvolvimento de árvores de decisão para medidas de intervenção;
- com referência ao objetivo de discutir os modelos oferecidos pelo *Highway Design and Maintenance Model* (HDM-III) e *Highway Development & Management* (HDM-4), para aplicação ao gerenciamento de redes não pavimentadas em empreendimentos florestais, ao concluir que, se a maior parte dos benefícios vem da redução do custo para os usuários (*road user costs*) e mais diretamente dos custos de operação, o baixo volume de tráfego diário nas rodovias (ainda que de elevada carga) prejudica significativamente a análise econômica decorrentes das melhorias trazidas pelo processo de gerenciamento da manutenção, alcançou-se o objetivo;
- com base no estágio atual de desenvolvimento de modelos e conhecimentos dos processos de deterioração de rodovias não pavimentadas, concluiu-se que é possível e viável a implementação de um sistema de gerenciamento das atividades de manutenção de uma rede de rodovias não pavimentadas, no âmbito de um empreendimento florestal, utilizando-se dos modelos disponíveis, reconhecendo-se que esses ainda necessitam ser aprimorados.

A abordagem ampla efetivada no decurso do trabalho, envolvendo a expectativa de desenvolvimento de um protótipo de sistema, aplicável a rodovias não pavimentadas permitiu, principalmente, o estabelecimento de uma discussão acerca dos diversos fatores a serem

considerados para identificação das necessidades de manutenção das rodovias em estudo e os dados a serem levantados.

Apresentam-se, a seguir, sugestões para continuidade da presente pesquisa.

- Buscar o aprimoramento e expansão da base de conhecimento relacionada aos custos de operação dos veículos (COV/VOC), procurando trazê-los para a atualidade da frota circulante, incluindo: a maior capacidade dos motores; menores emissões de poluentes; melhor relação peso/potência; biocombustíveis ou multicompostíveis; redução verificada no consumo de combustíveis; maior durabilidade dos pneus e sua opção de reciclagem; a redução de peso das composições; redução de fatores de arraste.
- Os modelos do *Vehicle Operating Costs* (VOC) carecem ser melhor testado em condições reais; torna-se, pois, interessante desenvolver experimentos em escala para testar as expectativas geradas pelos modelos em relação à realidade revelada pela experiência e promover a adaptação e a inclusão de novas composições de frota, tais como ‘romeu e julieta’, bitrem, rodotrem, treminhão, tetraminhão e pentaminhão; estudos específicos devem buscar avaliá-los nas condições reais de tráfego, no âmbito da malha não pavimentada em estudo.
- Desenvolver modelos de previsão de deterioração e desempenho para outras opções de alternativas de intervenções, tais como estabilização com cal, cimento, betume, o mesmo se estendendo aos modelos de previsão de deterioração e desempenho; estudos específicos devem buscar avaliá-los nas condições reais de tráfego, no âmbito da malha não pavimentada em estudo.
- Apesar de haver uma ideia generalizada no meio rodoviário de que os modelos matemáticos têm a mesma consistência que as equações matemáticas e subsistem por si mesmo e que, talvez, por isso, os modelos de desempenho não são submetidos a reavaliações e aprimoramentos, quer para as condições mais gerais, quer para compará-los com resultados obtidos em escala real, sugere-se, em continuidade, o desenvolvimento de experimentos de cruzamento das inferências dos modelos à realidade da experiência.

- As árvores de decisão desenvolvidas para este estudo e propostas são simples e carecem ser submetidas a um caso real, tendo-se por objetivo avaliar sua aplicabilidade, a viabilidade econômica das soluções propostas e a viabilidade operacional das intervenções recomendadas; há, portanto, que se perseguir os diagnósticos propostos e as soluções recomendadas para que sejam aplicados e estudados em escala real.
- Buscar o desenvolvimento de rotinas de computador que permitam o cálculo e a análise econômica das estratégias de manutenção recomendadas pelo sistema, *in office*, tanto na fase de planejamento quanto em nível de projeto, antes de ser estendida a um empreendimento real.
- Aprimorar as medidas de manutenção recomendadas pelo sistema na fase de planejamento, através do aumento de possibilidades alternativas, ou seja, possibilitar a utilização de novos materiais e ou diferentes técnicas construtivas, tais como restabilização do subleito com cal, cimento, betume, ou outros materiais alternativos. Desenvolver também modelos de despenho para essas novas soluções.
- Buscar a implementação do protótipo e sua operacionalização dentro de um empreendimento de exploração florestal, gestor de vias não pavimentadas, de forma a adequá-lo às necessidades específicas e à realidade do empreendimento. O subsistema de planejamento pode ser ligado a um banco de dados que descreva a rede pavimentada, para efeito de priorização e programação das intervenções; o subsistema de projeto pode ser aplicado na execução de projetos de manutenção, especialmente quando os custos envolvidos forem mais elevados.

Ao finalizar o estudo, considera-se que o objetivo estabelecido foi atingido e abriu espaço para novas pesquisas e refinamento dos entendimentos alcançados.

REFERÊNCIAS

ADLER, Hans A. **Economic appraisal of transport projects**. Economic Development Institute of the World Bank. Maryland, USA: Johns Hopkins University Press, 1987. 235p.

ALZUBAIDI, Hossein. **On rating of gravel roads**. Tese de Doutorado (Sumário). 2001. 19p. Disponível em <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:9034/FULLTEXT01>, Acessado em 25/02/2008 21:35.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. **AASHTO Guidelines for Pavement Management Systems**. Washington, DC: AASHTO, 1990.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAYS AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. **Pavement Management Guide - Executive Summary Report**. Washington, D.C: AASHTO, 2001. 630p.

ANDERSON, G. William; VANDERVOORT, Charles G. **Rural Roads Evaluation Summary**. United States Agency for International Development – USAID. A.I.D. Program Evaluation Report No. 5 Report. Washington, DC: USAID, 1982. 165p.

ARACRUZ. Disponível em http://www.aracruz.com.br/show_prd.do?act=stcNews &menu=true& last Root=24&id=158&lang=1, Acessado em 16/04/2009 14:22

ARANTES, Nélio. **Sistemas de gestão empresarial: conceitos permanentes na administração de empresas validadas**. 2.Ed. São Paulo: Atlas, 1998. 439p.

ARCE, J. E.; MACDONAGH P.; FRIEDL R. A. **Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fiastes individuais**. Revista *Árvore*, v.28, n. 2, p. 383-391, 2004.

ARCHONDO-CALLAO, Rodrigo. **Deterioration of Engineered Unpaved Roads Model (DETOUR10). Using HDM Relationships, Version 1.0**. Rural Roads & Transport Thematic Group. Washington, DC: The World Bank, 1999. Disponível em http://www.worldbank.org/transport/roads/rd_tools/detour10.zip, Acessado em 09/10/2001 10:14.

ARCHONDO-CALLAO, Rodrigo. **HDM Manager Version 2.1**. Technical Paper. The Transportation Water & Urban Development Document No. 12. Washinton, DC: The World Bank, 1994.

ARCHONDO-CALLAO, Rodrigo. **Roads Economic Decision Model (RED) for Economic Evaluation of Low Volume Roads**. Software's Guide. Washinton, DC: The World Bank, 2003.

ARCHONDO-CALLAO, Rodrigo. **The Roads Economic Decision Model (RED) for the Economic Evaluation of Low Volume Roads – Software User Guide & Case Studies**.

Sub-Saharan Africa Transport Policy Program – SSATP. Working Paper No. 78. SSATP, The World Bank, 2004. 114p.

ARCHONDO-CALLAO, Rodrigo. **Typical Unpaved Roads Roughness Predicted By the HDM-III Model**. Rural Transport Technical Note 1. Washington, DC: World Bank, 1999. Disponível em <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1119275973157/td-rt1.pdf>, Acessado em 15/11/2007 17:56.

ARCHONDO-CALLAO, Rodrigo. **Unpaved Roads: Roughness Estimation by Subjective Evaluation**. Rural Transport Technical Note 2. Washington, DC: World Bank, 1999. Disponível em <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1119275973157/td-rt2.pdf>, Acessado em 15/11/2007 17:56.

ARCHONDO-CALLAO, Rodrigo; FAIZ, Asif. **Estimating vehicle operating costs**. World Bank Technical Paper Number 234. Washington, DC: The World Bank, 1994.

ASSIS, José B. **Colheita Florestal em Pequenas e Médias Propriedades Rurais um Olhar Sobre a Terceirização**. In: 7º Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, 2005, Vitória, v. 1. p. 87-88. Vitória, ES: SIF, 2005.

AUTRET, Paul; BROUSSE, Jean-Louis. **VIZIR Computer-assisted method for estimating road network maintenance needs**. Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – LCPC. Paris, Fr: LCPC, 1992. 63p.

BAESSO, Dalcio P; GONÇALVES, Fernando L.R. **Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis: DERSC, 2003. 204 p.

BEENHAKKER, Henri L.; CHAMMARI, Abderraouf. **Identification and Appraisal of Rural Roads Projects**. World Bank Staff Working Paper No. 362, World Bank: Washington, DC: World Bank, 1979. 74p.

BEN-DAYA, Mohamed; DUFFUAA, Salih O.; RAOUF, Abdul; KNEZEVIC, Jezdimir; AIT-KADI, Daoud. **Handbook of Maintenance Management and Engineering**. London, UK: Springer-Verlag, 2009. 741p.

BENNETT, Christopher R.; GREENWOOD, Ian D. **HDM-4 Highway Development & Management, Volume SEVEN, Modelling Road User And Environmental Effects in HDM-4**. International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM). Highway Development and Management Series. Birmingham, UK: ISOHDM, 2001. 374p.

BENNETT, Christopher R.; PATERSON, William D.O. **HDM-4 Highway Development & Management, Volume Five, A Guide to Calibration and Adaptation**. International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM). Highway Development and Management Series. Paris, FR: PIARC, 2000. 214p.

BERKSHIRE REGIONAL PLANNING COMMISSION. **The Massachusetts Unpaved Roads BMP (Best Management Practices) Manual - A Guidebook on How to Improve Water Quality While Addressing Common Problems.**

BERNSTEIN, Peter L. **Desafio dos deuses: a fascinante história do risco.** Rio de Janeiro: Campus, 1997.

BERNUCCI, Liedi L.B. **Considerações Sobre o Dimensionamento de Pavimentos Utilizando Solos Lateríticos Para Rodovias de Baixo Volume de Tráfego.** Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes. São Paulo: USP 1995.

BETTINGER, P.; BOSTON, K.; SIRY, Jacek P.; GREBNER, Donald L. **Forest Management and Planning.** Burlington, MA: Elsevier – Academic Press, 2009. 331 p.

BIRRO, Mauro H. B.; MACHADO, Carlos C., SOUZA, Amaury P. de; MINETTI, Luciano J. **Avaliação Técnica e Econômica da Extração de Madeira de Eucalipto com “Track-Skidder” em Região Montanhosa.** Revista Árvore [On-line]. Sociedade de Investigações Florestais. Out 2002. Vol. 26, no. 5, p.525-532. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v26n5/a01v26n5.pdf>, acessado em 02/02/2009 11:21.

BOEHM, Barry W. **A Spiral Model of Software Development and Enhancement.** IEEE Computer, Vol. 21, No. 5, pp. 61-72, 1988. Disponível em <http://www.cs.umd.edu/class/spring2003/cmsc838p/Process/spiral.pdf> acessado 4-set-2008 10:08.

BOEHM, Barry W. **Spiral Development: Experience, Principles, and Refinements. Proceedings,** USC-SEI Spiral Experience Workshop. Los Angeles, CA: Feb 2000. Disponível em <http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/00.reports/pdf/00sr008.pdf>, acessado em 14-ago-2009 07:29.

BOSSIDY, Larry; CHARAN, RAM. **Execução: A Disciplina para Atingir Resultados.** Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2004. 261p.

BOSTELAAR, Tom. **TRW Spiral Development Experience on Command & Control Product Lines Program.** Proceedings, USC-SEI Spiral Experience Workshop. Los Angeles, CA.: Feb. 2000. Disponível em http://csse.usc.edu/csse/event/2000/ARR/day3/4_Bostelaar%20TRW.pdf, acessado em 14-ago-2009 07:29.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Manual de Conservação Rodoviária.** Publicação IPR – 710. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2005. 564p.

BURGER, A. F.; HENDERSON, Mervyn; VAN ROOYEN, G. C. **Development of Scheduling Algorithms for Routine Maintenance of Unsealed Roads in Western Cape Province, South Africa.** In: Low-Volume Roads 2007. Volume 1. Transportation Research Record; Number 1989. Washington, DC: TRB, 2007. 240-249 p.

CALVO, Christina M. **Options for Managing and Financing Rural Transport Infrastructure**. World Bank Technical Paper No. 411. World Bank Technical Paper No. 496. Washington, DC: World Bank, 1998. 80p.

CAREY JR., W. N.; IRICK, P. E. **The pavement serviceability: performance concept**. Highway Research Board, Bulletin 250. Washington, D.C.: TRB, 1962. 40-58 p.

CARVALHO, Luiz A. **Planejamento de Colheita Florestal Usando Técnicas de Geoprocessamento**. In: 7º Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, 2005, Vitória, v. 1. p. 45-60. Vitória, ES: SIF, 2005.

CENTER FOR TRANSPORTATION RESEARCH AND EDUCATION – CTRE. **Local Roads Maintenance Workers' Manual**. Iowa Highway Research Board Project (TR-514). Iowa State University. AMES: CTRE, 2006. 140p.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à teoria geral da administração**. 6 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2000. 700p.

CIGOLINI, Roberto D.; DESHMUKH, Abhijit V.; FEDELE, Lorenzo; McCOMB, Sara A. **Recent Advances in Maintenance and Infrastructure Management**. London, UK: Springer-Verlag, 2009. 290p.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. **Relatório de atividades 2004**. Brasília, 2005. p. 131-136. Disponível em: <http://www.cna.org.br/email/comunicacao/web/relatorio2004.pdf>. Acesso em: 03/05/2007 02:15.

COULTER, Elizabeth D., SESSIONS, John. WING, Michael G. **Scheduling Forest Road Maintenance Using the Analytic Hierarchy Process and Heuristics**. In: Silva Fenica, Vol. 40, 2006. Finnish Society of Forest Science and the Finnish Forest Research Institute. 143-160p. Disponível em <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf40/sf401143.pdf>, Acessado em 09/03/2008 11:24.

CRUZAN, Ryan. **Manager's Guide to Preventive Building Maintenance**. Lilburn, GA: The Fairmont Press, 2009. 308p.

DAHLIN, B.; FREDRIKSSON, J. **Computer-Assisted Forest Road Planning A Proposed Interactive Model with Special Emphasis on Private Forest Land**. In International Journal of Forest Engineering. Vol.6, No.2, January 1995. Disponível em <http://www.lib.unb.ca/Texts/JFE/backissues/pdf/vol6-2/dahlin.pdf>, Acessado em 11/02/2009 11:24. 35-39p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Guia de Gerência de Pavimentos**. Rio de Janeiro: IPR, 1983.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. PNV – Plano Nacional de Viação. Rodovias Federais Brasileiras. Brasília, DF: DNIT, 2009.

Disponível em http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias/rodoviasfederais/PNV_24jul2009.xls, Acessado em 27/07/2009 16:28.

DEPARTMENT OF ARMY – DoA. **Unsurfaced Road Maintenance Management**. Technical Manual TM 5-626. Washington, DC: DoA, 1995. 47p.

DHILLON, Balbir.S. **Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers**. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2006. 214p.

DOUGLAS, Robert A.; PIDWERBESKY, Bryan; MERCIER, Steve. **Low-volume road grading maintenance management: New Zealand experience with a Canadian system**. Preserving Low-volume Road Investments (Session). 2007 Annual Conference of the Transportation Association of Canada. Disponível em <http://www.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2007/docs/s4/douglas.pdf>, Acessado em 13/02/2009 14:13

EATON, Robert A.; BEAUCHAM, Ronald E. **Unsurfaced Road Maintenance Management**. Special Report 92-26. U. S. Army Corps of Engineers. Cold Regions Research & Engineering Laboratory. Hanover, NH: USACE, 1992. 62p.

ESSE, Viviane e RODRIGUES, Régis M. **Análise Crítica de Modelos Mecânico-Empíricos para Previsão de Desempenho de Pavimentos Flexíveis com Base nos Experimentos LTPP-FHWA-DATAPAVE 2.0**. São José dos Campos, SP: ITA, 2003. Disponível em <http://www.bibl.ita.br/ixencita/artigos/Infra08.pdf>, acessado em 19/07/2008 11:59.

FAWCETT, Glenn A.; OLLERENSHAW, David G. **Location Referencing and Road Condition Survey - Technical Reference**. Report Number: MW801/002254-01-B. Ministry of Communication Transport Post and Construction. Lao, Vientiane. Christchurch. NZ: MWH New Zealand Ltd, 2001. Disponível em http://www.lpcb.org/lpcb-downloads/data_collection/2001_mwh_laos_2.pdf, Acessado em 29/07/2004 12:12.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Federal-Aid Highway Program Manual**. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington, D.C: FHWA, 1989.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Life-cycle Cost Analysis Primer**. FHWA IF-02-047. Federal Highway Administration. Washington, D.C: Office of Asset Management 2002 (<http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/primer.pdf>, acessado em 28/12/2004 17:36)

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Problems Associated with Gravel Roads**. FHWA-SA-98-045. Washington, DC: FHWA, 1998. 56p.

FERNANDES FILHO, Elpídio I.; KER, João C.; NEVES, Júlio C. L.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de. **Mapa de Produtividade de Madeira de Eucalipto Limitada pelo Clima no Brasil**. Departamento de Solo da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG:

UFV, 2009. Disponível em http://www.sif.org.br/arquivos_internos/downloads/NairamSolos.pdf, Acessado em 03/05/2009 17:20.

FERNIQUE, Louis. **Roads in Developing Countries, Management and Monitoring, a large-scale benchmark tool for road networks**. Sub-Saharan Africa Transport Policy Program – SSATP. Washington, DC: SSATP, World Bank and ISTED, 2000. 26p. Disponível em <http://www4.worldbank.org/afr/ssatp/Resources/Tools/bookletUS.pdf>, Acessado em 24/04/2008 10:51

FINN, Fred. **Pavement Management Systems — Past, Present, and Future**. Public Roads, Vol. 62, No. 1, July-August 1998, pp.16-22. Public Roads. McLean, VA: FHWA, 1998. Disponível em <http://www.tfrc.gov/pubrds/julaug98/pavement.htm>. Acessado em 21/08/2008 21:31.

FONTES, J. M. **Desenvolvimento de um sistema informatizado para planejamento e controle de manutenção em máquinas florestais: SBPLAM**. Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG: UFV, 1996. 134 p.

FREITAS, Karla E.. **Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG: 2005. 19 p. Disponível em http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_analise_mecanizada_15115.pdf, Acessado em 13/05/2009 22:01.

GARLIPP, R.C.D. **O boom da certificação florestal: é preciso garantir a credibilidade**. Revista Silvicultura, v. 17, n. 61, p. 17-22, 1995.

GAYLE MAURER, P.E., POLISH, Patty. **Exploring Alternative Strategies for the Rehabilitation of Low-Volume Roads in Nevada**. Final Management Report. Technical Report NV-RDT-08-001. Nevada Department of Transportation. Carson City, NV: NDOT, 2008. 104p.

GEORGE, K.P. **MDOT Pavement Management System: Prediction Models and Feedback System**. FHWA/MS-DOT-RD-00-119. Jackson, MS: Mississippi Department of Transportation – MDOT, 2000. 149p.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 3º Edição, São Paulo: Atlas, 1991.

GONÇALVES, Fernando J. P. **Utilização de Expert Systems na manutenção de pavimentos**. Tese de Mestrado em Ciência na Área de Infraestrutura de Transportes. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São Paulo: ITA, 1997. 197p.

GRANLUND, Johan. **Health Issues Raised by Poorly Maintained Road Networks**. Roadex III Project. Roadex II Northern Periphery, 2004. 90p.

GREENSTEIN, J.; LIVNEH, M.. **Pavement Design of Unsurfaced Roads**. Transportation Research Record 827. Transportation Research Board. Washington, D.C: TRB, 1981. pp. 21-26.

- GROSS, John M. **Fundamentals of Preventive Maintenance**. New York, NY: AMACOM, 2002. 223p.
- HASS, Ralph; HUDSON, W. Ronald. **Pavement Management Systems**. New York, NY: McGraw-Hill, 1978. 475p.
- HAAS, Ralph, HUDSON, W. Ronald.; ZANIEWSKI, John P. **Modern Pavement Management**. Malabar, FL: Krieger Publishing Company. 1994. 583p.
- HAMEL, Gary. **Liderando a Revolução**. Rio de Janeiro, RJ: Campus, 2000. 336p.
- HEGGIE , Ian G.; VICKERS, Piers. **Commercial Management and Financing of Roads**. World Bank Technical Paper No. 409. Washington, D.C.: The World Bank, 1998. 158p.
- HELMS, Marilyn M. **Encyclopedia of Management**. 5th ed. Farmington Hills, MI: Thomson Gale, 2006. 1003p.
- HINE, John;LLIS, Simon; DONE; Simon; KORBOE, David. **Ghana Feeder Road Prioritisation**. Disponível em http://www.transport-links.org/transport_links/filearea/publications/1_789_pa3835.pdf, acessado em 08/02/2009 18:27.
- HOBAN, Chris; RIVERSON, John; and WECKERLE, Albert. **Rural Road Maintenance and Improvement**. Best Practice Paper. Report TWU 11. World Bank, Environmentally Sustainable Development, Transport, Water and Urban Development Department. Washington, D.C: The World Bank, 1994. 11p.
- HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001. 2925p.
- HUDSON, W. Ronald; HASS, Ralph e UDDIN, Waheed. **Infrastructure Management: integrating design, construction, maintenance, rehabilitation and renovation**. New York: McGraw-Hill, 1997. 393p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Índices de Perdas do Plantio à Pré-Colheita dos Principais Grãos Cultivados no País 1996-2002**. Disponível em http://www.ibge.com.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/indicadoresagro_19962003/comentarios.pdf, Acessado em 06/02/2009 21:40.
- INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT – WORLD BANK. **Highway Cost Performance Model**. Economics Department. Working Paper No. 62. Washington, DC: World Bank, 1970. 49p.
- IPEA/DENATRAN/ANTP. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. Relatório Executivo. Brasília, DF: IPEA/DENATRAN/ANTP, 2006.

ISMAIL, Norlela; ISMAIL, Amiruddin; ATIQ, Riza. **An Overview of Expert Systems in Pavement Management**. European Journal of Scientific Research. Vol. 30 No. 1. , pp.99-111. EuroJournals Publishing, 2009. Disponível em www.eurojournals.com/ejsr_30_1_08.pdf, acessado em 21/06/2009 21:54.

JACOVINE, L. A. G. et. al. **Avaliação da perda de Madeira em cinco subsistemas de colheita florestal**. Revista Árvore, v.25, n.4, p.463-470, 2001.

JOHANSSON, Svante. **Socio-economic Impacts of road Conditions on Low volume Roads: results of literature studies, interviews and calculations with a mode**. Roadex II Project. Roadex II Northern Periphery, 2004. 90p.

KANSAS LOCAL TECHNICAL ASSISTANCE PROGRAM – KLTAP. **Field Guide for Unpaved Rural Roads**. Wyoming Technology Transfer (T2) Center, March, 1997. Federal Highway Administration, FHWA-SA-97-107. Updated by KLTAP. Lawrence, KS: KLTAP, 2004. 28p.

KAY, R. Keith; MAHONEY, Joe P.; JACKSON, Newton C. **The WSDOT Pavement Management System — A 1993 Update**. Report No. WA-RD 274.1. Seattle, WA: Washington State Transportation Center (TRAC), 1993. 204p.

KERALI, Henry G. R. **HDM-4 Highway Development and Management, Volume One, Overview of HDM-4**. The Highway Development and Management Series. Paris, FR: The World Road Association (PIARC) e Washington, DC: The World Bank, 2000. 43p.

KITAOKA, Beverly. **Yesterday, Today & Tomorrow: Implementations of the Development Lifecycles**. Proceedings, USC-SEI Spiral Experience Workshop. Los Angeles, CA: Feb 2000. Acessado em <http://www.sei.cmu.edu/cbs/spiral2000/Kitaoka>, acessado em 14-ago-2009 07:29.

KLEIN, Frederico C. **Análise da Influência de Características Geométricas de Rodovias nos Custos dos Usuários Utilizando o Programa HDM-4**. São Carlos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP: USP, 2005. 134p.

LEBO, Jerry; SCHELLING. Dieter. **Design and Appraisal of Rural Transport Infrastructure: Ensuring Basic Access for Rural Communities**. World Bank Technical Paper No. 496. Washington, DC: World Bank, 2001. 96p.

LOPES, E. S.; CRISTO, João F. C.; PIEPER, Mário; SILVA, Paulo C. **Sistema de Pesagem no Controle de Cargas na Operação de Carregamento Florestal**. In: 7º Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, 2005, Vitória, v. 1. p. 29-38. Vitória, ES: SIF, 2005.

MARQUES, Ivarlene A.O. **Metodologia para o Gerenciamento de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego**. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ: IME, 2005. 110p.

MARQUÉZ, Adolfo C. **The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance**. Springer Series in Reliability Engineering. London, UK: Springer-Verlang, 2007. 333p.

MINETTE, Luciano J.; SILVA, Elizabeth N. da; MIRANDA, Gabriel de M.; SOUZA, Amaury P. de; FIEDLER, Nilton C. **Avaliação Técnica da Operação de Extração de *Eucalyptus spp.* Utilizando o Trator Autocarregável e o Trator Florestal Transportador “Forwarder” na Região Sul da Bahia**. Revista Engenharia na Agricultura [On-line], Vol. 16, No 3, 312-317, Jul./Set. Viçosa, MG: UFV, 2008. Disponível em <http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/31/17>, Acessado em 02/02/2009 13:33.

MISRA, Anil; ROOHANIRAD, Ali; SOMBOONYANON, Prapon. **Guidelines for a Roadway Management System (RMS) for Local Governments. Final Report—October 2003**. Report Number MTC A-01. Ames, IA: Midwest Transportation Consortium e Iowa State University, 2003. 195p. Disponível em <http://www.ctre.iastate.edu/reports/rms.pdf>, Acessado em 20/06/2009 23:53

MIZUSAWA, Daisuke. **Road Management Commercial Off-The-Shelf Systems Catalog**. Draft. Postdoctoral Researcher. University of Delaware. Disponível em http://www.road-management.info/reports/user/6/08_11_25_rms_cots_catalog.doc, Acessado em 20/06/2009 18:20.

MOROSIUK, Greg; RILEY, Mike, ODOKI, J. J. B. **HDM-4 Highway Development & Management, Volume Six, Modelling Road Deterioration and Works Effects**. Version 2. The Highway Development and Management Series. Paris, FR: The World Road Association (PIARC) e Washington, DC: The World Bank, 2004. 43p.

MYERS, Margaret; KAPOSI, Agnes. **A First Systems Book - Technology and Management**. 2nd Edition. London, UK: Imperial College Press, 2004. 213p.

NAKAHARA, Suyen M. **Estudo do desempenho de reforços de pavimentos asfálticos em via urbana sujeita a tráfego comercial pesado**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. São Paulo, SP: USP, 2005. 298 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA – NRCC e FEDERATION OF CANADIAN MUNICIPALITIES – FCM. **Priority Planning and Budgeting for Pavement Maintenance and Rehabilitation**. National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure – InfraGuide. Infrastructure Canada Program Ottawa, CA: InfraGuide, 2003.

ODA, Sandra. **Caracterização de uma Rede Municipal de Estradas Não pavimentadas**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP: USP, 1995. 186p.

ODOKI, J. J. B.; KERALI, Henry G. R. **HDM-4 Highway Development and Management, Volume Four, Analytical Framework and Model Descriptions**. The Highway Development and Management Series. Paris, FR: The World Road Association (PIARC) e Washington, DC: The World Bank, 2000. 562p.

OLIVEIRA, Antonio D. de; MARTINS, Eugênio P.; SCOLFORO, José R. S.; REZENDE, José L. P. de. **Análise Econômica da Exploração, Transporte e Processamento de Madeira de Florestas Nativas – O Caso do Município de Jarú, Estado de Rondônia.** CERNE (UFL), Lavras – MG, v. 5, n. 2, p. 13-25, 1999. Disponível em http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/13-02-20093728v5_n2_artigo%2002.pdf, Acessado em 12/04/2009 15:50.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Assessment of Road Surface Roughness (Evenness).** Annex B. Road Monitoring Manual for Maintenance Management. Vol. 1. Manual for Developing Countries. Paris: OECD, 1990. págs. 97 – 102.

OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT – OTA, US Congress. **Delivering the Goods: Public Works Technologies, Management, and Finance.** Washington DC: US Government Printing Office; 1994. Disponível em <http://www.princeton.edu/~ota/disk1/1991/9115/911507.PDF>, acessado em 10/03/2009 14:20.

PARKER, Donald R. **Conservação de Estradas Não Pavimentadas.** Rio de Janeiro, RJ: IPR, 1981. 155p.

PATERSON, William D. O. **Road Deterioration and Maintenance Effects – Models for Planning and Management.** The Highway Design and Maintenance Standards Series. Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press, 1987. 454p.

PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM GUIDEBOOK REVIEW TEAM – PMSGRT. **A Guide for Local Agency Pavement Managers.** Washington State Department of Transportation – WSDOT. Olympia, WA: The Northwest Technology Transfer Center, 1994. 218p.

PIARC WORLD ROADS ASSOCIATION. **Maintenance of Unpaved Roads.** International Road Maintenance Handbook-Practical guidelines for rural road maintenance. Volume II. Berkshire, UK: PIARC, 1994,

PINTO, Paulo R. R. **II Programa CREMA-RS: Relatório de Viabilidade Volume II – Relatório Descritivo.** Porto Alegre, RS: DAER, 2005. 88p.

PINTO, Paulo R. R. **Programa Restauração/RS: Uma proposta para o gerenciamento da malha rodoviária estadual pavimentada.** VI Encontro Nacional de Conservação Rodoviária – ENACOR. Brasília, DF: 2001.

PIRES, José V. G. **Alternativas Tecnológicas de Colheita Florestal em Pequena, Média e Grande Escala.** In: 7º Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, 2005, Vitória, v. 1. p. 99-106. Vitória, ES: SIF, 2005.

PULKKI, Reino. **Water Crossings Versus Transport Cost: A Network Analysis Case Study.** In International Journal of Forest Engineering. Vol.7, No.2, January 1996. Disponível

em <http://www.lib.unb.ca/Texts/JFE/backissues/pdf/vol7-2/pulkki.pdf>, Acessado em 13/03/2009 13:04. 59-64p.

REZENDE, José L. P.; COELHO JUNIOR, Luiz M.; OLIVEIRA, Antônio D. de; MARTUCCI, Pedro. **Levantamento da Literatura Econômica da Colheita e da Exploração Florestal no Brasil, no Período 1970-2005**. In: 7º Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, 2005, Vitória, v. 1. p. 112-123. Vitória, ES: SIF, 2005.

RODRIGUES, Régis M. **Gerência de pavimentos – Parte II**. Apostila, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2003.

ROHDE, Gustav T., PINARD, Michael I., e SADZIK, Elzbieta. **Long-Term network performance: function of pavement management system maintenance selection policy**. Transportation Research Record 1592, TRB, National Research Council, Washington, DC. 1997. 7p.

SANTOS, Álvaro. R.; PASTORE, Eraldo L.; AUGUSTO JR, Fernando; CUNHA, Márcio A. **Estradas Vicinais de Terra. Manual Técnico para Conservação e Recuperação**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., 2ª edição, São Paulo: IPT, 1985. 140p.

SCHLIESSLER, Andreas; BULL, Alberto. **Road Network Management Roads - A new Approach for Road Network Management and Conservation**. United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean – UN-ECLAC. Santiago, Chile: UN-ECLAC, 2004. 125p.

SILVEIRA, Douglas R. **Votorantim, esse sonho é real?** In: pedroosorio.net. Disponível em http://www.pedroosorio.net/index.php?area=materias_detail&myid=3, Acessado em 16/03/2009 14:26.

SHAHIN, M. Y. **Pavement Management for Airport, Roads and Parking Lots**. New York and London: Chapman & Hall, 1994. 450p.

SKORSETH, Ken; SELIM, Ali A. **Gravel Roads Maintenance and Design Manual**. South Dakota Local Transportation Assistance Program (LTAP), Brookings, SD: FHWA, 2000. 91p.

SMITH, Duane E. **Local Roads Maintenance Workers ' Manual**. Iowa Highway Research Board Project TR-514. Center for Transportation Research and Education – CTRE. Iowa State University. Ames. IA: CTRE, 2006. 152p.

SOUTHERN AFRICAN DEVELOPMENT COMMISSION – SADC. **Guideline: Low Volume Sealed Roads**. Gaborone, Botswana: SADC, 2003. 280p.

SROMBOM, Roben D. **Maintenance of Aggregate and Earth Roads**. WA-RD 144.1. Washington State Department of Transportation – WSDOT. Olympia, WA: WSDOT, 1987. 72p.

STARKEY, Paul. **A Methodology for Rapid Assessment of Rural Transport Services – A methodology for the rapid acquisition of the key understanding required for informed transport planning.** Sub-Saharan Africa Transport Policy Program – SSATP. SSATP Working Paper No. 87-A. Washington, DC: SSATP, The World Bank, 2007. 80p. Disponível em <http://www.animaltraction.com/RTS/RuralTransportAssessmentMethodology-SSATPWP87-A-071217.pdf>, Acessado em 16/010/2008 22:27.

TAN, Jimin. **Locating Forest Roads by a Spatial and Heuristic Procedure Using Microcomputers.** In International Journal of Forest Engineering. Vol. 10, Num. 2, July 1999. Disponível em <http://www.lib.unb.ca/Texts/JFE/July99/tan.pdf>, Acessado em 13/03/2009 12:02. 91-100p.

TIMMERMANS, Harry. **Decision Support Systems in Urban Planning.** London: E & FN SPON, 2005. 252p.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – USDOT. **Highway Economics Requirements Systems State Version, Overview (HERS-ST).** FHWA-HRT-06-063. Federal Highway Administration. Washington, DC: FHWA, 2002. 104p.

U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE. **Maintenance Management System Handbook.** (372 FW2). Division of Policy and Directives Management. Department of the Interior. Washington, DC: FWS, 2002. Disponível em <http://www.fws.gov/policy/MSHB.pdf>, Acessado em 20/03/2009 17:42.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE. **Pavement maintenance management.** Departments of the army corps engineers. Technical Manual No. 5-623, Army TM 5-623. Washington, DC: DA, 1982. 168p.

VALVERDE, S. R. **A contribuição do setor florestal para o desenvolvimento socioeconômico: uma aplicação de modelos de equilíbrio multissetoriais.** Tese de Doutorado em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 2000. Viçosa, MG: UFV, 2000. 105 p.

VAN de WALLE, Dominique. **Choosing rural road investments to help reduce poverty.** Policy Research Working Paper Series No. 2458, World Bank Development Research Group – Public, Washington, DC: World Bank, 2000. 30p.

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. **Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: The case of Paragominas.** Forest Ecology and Management, Amsterdam, v.55, p.169-199, 1992.

VISSER, Alex T. **An Evaluation of Unpaved Road Performance and Maintenance.** Department of Civil Engineering of the University of Texas at Austin. Ph.D. thesis. Austin, TX: 1981. 337p.

VISSER, Alex T.; HUDSON, W. Ronald. **Performance, Design and Maintenance Relationships for Unpaved Low-Volume Roads**. Transportation Research Record 898. Washington, DC: TRB, 1983. pags. 164–174.

VOGT, Carlos. **Modelos e Modelagem**. Atualizado em 10/02/2002. Disponível em www.comciencia.br/reportagens/modelagem/mod01.htm, acessado em 14/09/2008 10:42

WALKER, Donald; ENTINE, Lynn; KUMMER, Susan. **Gravel Roads, Pavement Surface Evaluation and Rating – PASER Manual**. Wisconsin Transportation Information Center - WTIC, University of Wisconsin, Madison, WI: WTIC, 2002. 20p.

WALLS III, James; SMITH, Michael R. **Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design – Interim Technical Bulletin**. Federal Highway Administration. Washington, DC: FHWA, 1998. 107p.

WANG, Lihai. **Optimal Operation Planning for Integrated Forest Harvesting and Transport Operations from the Forest to the Mill**. Vol.6, No.1, July 1994. Disponível em <http://www.lib.unb.ca/Texts/JFE/backissues/pdf/vol6-1/wang.pdf>, Acessado em 12/02/2009 10:22. 15-22p.

WATANATADA, Thawat; DHARESHWAR, Ashok M.; LIMA, Paulo R. S. R. in collaboration with O'KEEFE, Patrick M. e FOSSBERG, Per E. **Vehicle Speeds and Operating Costs, Models for Road Planning and Management**. The Highway Design and Maintenance Standards Series. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1987. 460p.

WATANATADA, Thawat; HARRAL, Clell G.; PATERSON, William D. O.; DHARESWAR, Ashok M.; BHANDARI, Anil; TSUNOKAWA, Koji. **The Highway Design and Maintenance Standards Model. Volume 1 - Description of the HDM-III Model**. The Highway Design and Maintenance Standards Series. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1987. 280p.