

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**CONCEPÇÃO DE MODELOS DE AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES
DE ROLAMENTO E INDICAÇÃO DE PRIORIZAÇÃO DE VIAS
COMO ETAPAS DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE VIAS NÃO
PAVIMENTADAS**

Ricardo Venescau de Oliveira Almeida

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes (PETRAN), da Universidade Federal do Ceará (UFC), como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes.

ORIENTADOR:

Profº Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior

Fortaleza
2006

FICHA CATALOGRÁFICA

ALMEIDA, RICARDO VENESCAU DE OLIVEIRA

Concepção de Modelos de Avaliação de Condições de Rolamento e Indicação de Priorização de Vias como Etapas de um Sistema de Gerência de Vias Não Pavimentadas. Fortaleza, 2006.

XX, 178 fl., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Método de Análise Hierárquica-AHP | 2. Sistema de Gerência de Pavimentos |
| 3. Rodovias Não Pavimentadas | 4. Modelo de Apoio à Decisão |

CDD 388

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, R. V. O. (2006). Concepção de Modelos de Avaliação de Condições de Rolamento e Indicação de Priorização de Vias como Etapas de um Sistema de Gerência de Vias Não Pavimentadas. Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 178 fl.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ricardo Venescau de Oliveira Almeida

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Concepção de Modelos de Avaliação de Condições de Rolamento e Indicação de Priorização de Vias como Etapas de um Sistema de Gerência de Vias Não Pavimentadas.

Mestre / 2006

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Ricardo Venescau de Oliveira Almeida
Rua Teodorico Barroso, N.º 261 – Bairro: Montese
60.420–120 – Fortaleza / CE – Brasil

CONCEPÇÃO DE MODELOS DE AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES DE ROLAMENTO E
INDICAÇÃO DE PRIORIZAÇÃO DE VIAS COMO ETAPAS DE UM SISTEMA DE
GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS

Ricardo Venescau de Oliveira Almeida

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA
DE TRANSPORTES (PETRAN), DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC),
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE
EM CIÊNCIAS (M.Sc.) EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Aprovado por:

Prof° Ernesto Ferreira Nobre Júnior, DSc.
(Orientador – UFC)

Prof° João Bosco Furtado Arruda, PhD.
(Examinador Interno – UFC)

Prof° Manoel Henrique Alba Sória, DSc.
(Examinador Externo – EESC/USP)

FORTALEZA, CE – BRASIL
JUNHO – 2006

*O conhecimento adquirido com
a experiência é o melhor
pavimento para a
estrada da
vida.*

(Ricardo Venescau de O. Almeida)

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Eliatá e Auxiliadora,
às minhas irmãs Juliana e Rafaela, à
minha noiva Danielle e a todos que me
ajudaram em mais essa conquista.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela oportunidade de estudar e pelas realizações profissionais e pessoais.

Ao meu pai Eliatá Gadelha de Almeida, pelo apoio e confiança que me transmitiu através de seus conselhos e ensinamentos.

À minha mãe Maria Auxiliadora de Oliveira Almeida, que sempre me colocou para estudar e me incentivou a crescer, tanto pessoalmente quanto profissionalmente e, principalmente, espiritualmente. Também agradeço as minhas irmãs, Juliana e Rafaela, por sempre me incentivarem durante essa empreitada.

À minha noiva Danielle de Mesquita Rocha, pelo companheirismo e pela paciência com a minha pouca disponibilidade de tempo durante esse longo período de estudos que resultou nessa dissertação.

Ao professor Ernesto Ferreira Nobre Júnior, que me orientou brilhantemente e sempre me acalmou nos momentos de desespero causados pelos desacertos desse trabalho. Agradeço também pela sua grande amizade e incentivo.

Aos meus grandes amigos José Alysson Benício Correia e Flávio Eduardo Batista Moreira que me forneceram informações e esclareceram dúvidas quantos aos seus respectivos trabalhos.

Ao engenheiro civil Marcos Lima Leandro Sucupira, pela ajuda na coleta de dados de campo.

À professora Maria Elisabeth Moreira, pelos esclarecimentos sobre modelos multicritérios de apoio à decisão e pelas bibliografias por ela disponibilizadas.

À professora Suelly Helena Barroso, por sempre atender aos meus pedidos de auxílio, principalmente por ter participado da sessão de *brainstorming* e ter dado opiniões que foram muito importantes para a melhoria do meu trabalho.

Ao engenheiro civil Alexandre Carneiro Walter, por também ter participado da sessão de *brainstorming* e ter opinado de forma objetiva e clara.

A um grande amigo que fiz durante o curso de mestrado, o engenheiro civil Antonio Nobre Rabelo que sempre me ajudou discutindo assuntos de grande relevância para o meu trabalho.

Aos companheiros Flávio Vasconcelos, Fábio Garcia e Luiz Antonio Santana pela amizade e pela ajuda dispensada a esse trabalho.

Aos mestres em engenharia de transportes Hamifrancy Brito Meneses, Eduardo Rocha Praça, José Expedito Brandão e ao engenheiro civil Leonardo Silveira Lima, amigos de longa data.

Aos profissionais de engenharia que responderam ao questionário que é parte integrante desse trabalho: Antônio Alberto Gonçalves, Antônio Alves de Oliveira, Antonio Dias de Araújo, Edílson Freitas Queiroz Júnior, Eptácio Lima Filho, Francisco Erivan Martins Parente, Franklin José Chaves, Galdino Gondim Lins Ribeiro, Joacy Demétrio de Souza Júnior, João Bosco de Castro, João Ricardo Ribeiro Vasconcelos, Miguel Ribeiro Gonçalves, Paulo Roberto Mor Alves, Roberto Xavier de Lima, Tércia Valfrídia Nunes e Veimar Cezar de Souza Nobre.

À sra. Ivone Sales Aleixo, que sempre esclareceu minhas dúvidas sobre assuntos relativos ao mestrado.

Ao amigo desde a época de graduação Antonio Adil de Oliveira, que, também, sempre tirou minhas dúvidas na Pró-Reitoria de pesquisa e Pós-Graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, por patrocinar a minha pesquisa.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP, por patrocinar a minha pesquisa nos primeiros meses.

Aos amigos Igor Bessa Meneses e Daniel Xavier Araújo, pelo apoio que me deram nos assuntos de programação e banco de dados.

Ao meu cunhado e amigo Carlos Breno de Mesquita Rocha, pela ajuda nas traduções que se fizeram necessárias ao longo do trabalho.

Ao engenheiro Magno Gonçalves da Costa, pelo auxílio na obtenção das coordenadas das curvas do método do USACE.

Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN / UFC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (MSc.) em Engenharia de Transportes.

CONCEPÇÃO DE MODELOS DE AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES DE ROLAMENTO E
INDICAÇÃO DE PRIORIZAÇÃO DE VIAS COMO ETAPAS DE UM SISTEMA DE
GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS.

Ricardo Venescau de Oliveira Almeida

Junho / 2006

Orientador: Ernesto Ferreira Nobre Júnior

Esse trabalho tem como intuito auxiliar na concepção de um Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP, específico para estradas de terra, contribuindo no desenvolvimento de duas etapas. A primeira, consiste na adaptação de um método norte-americana de avaliação de condições de rolamento de superfícies não pavimentadas para ser utilizada em estradas de terra no município de Aquiraz, no Estado do Ceará. A segunda, visa aplicar um método, baseado em metodologia multicritério de apoio à decisão (MCDA), no processo de priorização de estradas de terra considerando um conjunto de variáveis que influenciam no funcionamento daquelas vias. O método para priorização aplica o *Analytic Hierarchy Process* - AHP a partir de entrevistas com profissionais de engenharia, especializados na concepção e análise de projetos viários, divididas em cinco grupos, de acordo com a atuação profissional: grupo de alunos de mestrado, grupo de mestres em engenharia de transportes, grupo de professores universitários, grupo de funcionários públicos do Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes - DERT e grupo de consultores. Para auxiliar na aplicação do AHP foi utilizado o *software Expert Choice*, o qual facilitou o cálculo da consistência lógica das matrizes de comparação e indicou, através de análise de sensibilidade, a ordem de prioridade para intervenção nas vias estudadas do município de Aquiraz, no Ceará.

Palavras-Chaves: Rodovias Não Pavimentadas; Método de Análise Hierárquica - MAH; Sistema de Gerência de Pavimentos.

Abstract of Thesis submitted to PETRAN / UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.) in Transportation Engineering.

BUILDING EVALUATION MODELS OF UNPAVED ROAD SURFACE CONDITIONS
WITH INDICATION OF RANKING PRIORITIES FOR MAINTENANCE INVESTMENTS

Ricardo Venescau de Oliveira Almeida

June / 2006

Supervisor: Ernesto Ferreira Nobre Júnior

This work aims to contribute to the conception of a Pavement Management System (PMS) focusing unpaved roads. The evaluation approach involves two stages: the first one consists in the adaptation of an evaluation methodology created to the North America road surface conditions. That modified methodology was used in unpaved roads in the district of Aquiraz, in the State of Ceará, northeastern Brazil. The second stage aims at applying a multicriteria decision support method (MDSM) in the process of ranking maintenance investments in unpaved roads taking into consideration a group of key variables that were expected to influence the operation of those roads. The ranking method is supported by the Analytic Hierarchy Process (AHP) and it is based on interviews with engineering professionals specialized in the design and analysis of roadway projects. Those professionals were divided into five groups according to their professional skills: a group of students of a M.Sc. Course in Transportation Engineering; a group of professionals who already have obtained the M.Sc. degree in Transportation Engineering; a group of University lecturers; a group of professionals of the Department of Building, Roads and Transportation, of the Ceará State; and a group of consulting engineers. The Expert Choice Software was used to help in the application of AHP, mainly in the task of determining the logical consistency of the comparison matrices as well as in using sensibility analysis to find the most probable order of priority for maintenance investments in some roads of the study area.

Keywords: Unpaved Roads; Analytic Hierarchy Process (AHP); Pavement Management System.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES	XVI
CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO	1
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA	2
1.3. OBJETIVO	3
1.4. METODOLOGIA UTILIZADA	3
1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	5
CAPÍTULO 2	8
ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS	8
2.1. INTRODUÇÃO	8
2.2. IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS	10
2.3. DEFEITOS ENCONTRADOS EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS	12
2.4. VIAS NÃO PAVIMENTADAS NO BRASIL E NO CEARÁ	14
CAPÍTULO 3	17
SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS - SGP	17
3.1. INTRODUÇÃO	17
3.2. COMPONENTES DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	18
3.3. NÍVEIS DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	19
3.4. MÓDULOS DE UM SISTEMA DE GERENCIA DE PAVIMENTOS	21
3.5. ETAPAS DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	22
3.6. SISTEMA DE GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS	24
CAPÍTULO 4	25
MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	25
4.1. INTRODUÇÃO	25
4.2. MÉTODO ALYNO	25
4.2.1. CÁLCULO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO MÉTODO ALYNO	27
4.3. MÉTODO ALYNOMO	29
4.3.1. CÁLCULO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO MÉTODO ALYNOMO	30
4.4. MÉTODO UTILIZADO PELO USACE (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS)	32
4.4.1. SEQÜÊNCIA PARA DETERMINAÇÃO DO URCI	34
CAPÍTULO 5	35
AUTOMAÇÃO DO MÉTODO USACE	35
5.1. JUSTIFICATIVA	35

5.2. NOMOGRAMAS UTILIZADOS PELO MÉTODO USACE	36
5.3. METODOLOGIA UTILIZADA PARA DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES	37
5.4. EQUAÇÕES ENCONTRADAS PARA CADA NOMOGRAMA	39
5.5. VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES ENCONTRADAS.....	39
5.5.1. UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES.....	44
CAPÍTULO 6.....	46
ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DO USACE À ÁREA DE ESTUDO.....	46
6.1. INTRODUÇÃO	46
6.2. JUSTIFICATIVA DA ADAPTAÇÃO	47
6.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DO USACE E ALYNOMO	47
6.3.1. ANÁLISE DO MÉTODO DO USACE.....	47
6.3.2. ANÁLISE DO MÉTODO ALYNOMO	48
6.3.3. ALYNOMO X USACE	48
6.4. DESCRIÇÃO DA ADAPTAÇÃO (MÉTODO VENO)	50
6.4.1. OBTENÇÃO DE ESCALAS.....	50
6.4.2. EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO VENO	52
CAPÍTULO 7.....	57
PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO	57
7.1. INTRODUÇÃO	57
7.2. MODELOS DE PRIORIZAÇÃO UTILIZADOS EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS	58
7.2.1. MODELO UTILIZADO PELO USACE (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS)	58
7.2.2. MODELO BASEADO EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS - RNA	61
7.2.3. LIMITAÇÕES DOS MODELOS ESTUDADOS.....	64
CAPÍTULO 8.....	67
MODELOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO (MCDA)	67
8.1. INTRODUÇÃO	67
8.2. MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA – MAH	70
8.2.1. METODOLOGIA DE FUNCIONAMENTO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA - MAH	74
CAPÍTULO 9.....	85
MÉTODO PARA PRIORIZAÇÃO DAS VIAS NÃO PAVIMENTADAS DA ÁREA DE ESTUDO	85
9.1. INTRODUÇÃO.....	85
9.2. DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS E INDICADORES	85
9.2.1. DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS E SEUS RESPECTIVOS INDICADORES.....	94
9.3. APLICAÇÃO DAS COMPARAÇÕES PARITÁRIAS	99
9.4. DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA LÓGICA	106
9.5. INDICADORES UTILIZADOS	109
9.6. RESULTADOS OBTIDOS	112
9.6.1. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	113
CAPÍTULO 10	117
RESULTADOS OBTIDOS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	117

10.1. RESULTADOS OBTIDOS	117
10.2. CONCLUSÕES	117
10.2.1. ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DO USACE E O MÉTODO VENO	117
10.2.2. MÉTODO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO PARA PRIORIZAÇÃO DE VIAS.....	118
10.3. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXO 1.....	127
DEFEITOS USADOS PELOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES DE ROLAMENTO DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS (USACE, ALYNO E ALYNOMO).....	127
ANEXO 2.....	137
CURVAS OBTIDAS PELA DIGITALIZAÇÃO DOS NOMOGRAMAS DO MÉTODO DO USACE	137
ANEXO 3.....	144
RESULTADOS DOS TESTES ESTATÍSTICOS QUE VALIDARAM AS EQUAÇÕES RESULTANTES DA AUTOMAÇÃO DO MÉTODO DO USACE	144
ANEXO 4.....	161
DADOS E INFORMAÇÕES GERADAS AO LONGO DO DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PARA INDICAR PRIORIDADES DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS	161
ANEXO 5.....	166
PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E ROTEIRO DE UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DESENVOLVIDO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO VENO.....	166

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: JURISDIÇÕES DAS ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS DO CEARÁ	14
FIGURA 2.2: JURISDIÇÃO DAS VIAS PAVIMENTADAS DO CEARÁ	15
FIGURA 2.3: DISTRIBUIÇÃO DAS VIAS NÃO PAVIMENTADAS NAS REGIÕES BRASILEIRAS.....	16
FIGURA 3.1: PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM SGP (HAAS <i>ET AL</i> , 1994)	19
FIGURA 3.2: CARACTERÍSTICAS DOS NÍVEIS OPERACIONAIS DE UM SGP	20
FIGURA 3.3: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS MÓDULOS DE UM SGP (AASHTO, 1990)	22
FIGURA 4.1: SEQÜÊNCIA DE CÁLCULO DO IST – MÉTODO ALYNO	28
FIGURA 4.2: SEQÜÊNCIA DE CÁLCULO DO ICZT – MÉTODO ALYNOMO	30
FIGURA 4.3: SEQÜÊNCIA PARA DETERMINAÇÃO DO URCI.....	33
FIGURA 4.4: ESCALA PARA COMPARAÇÃO DO URCI (BAESSO & GONÇALVES, 2003)	34
FIGURA 5.1: NOMOGRAMA UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DO VALOR DEDUZIDO.....	36
DO DEFEITO TRILHA DE RODA (TM 5-626, 1995)	36
FIGURA 5.2: NOMOGRAMA UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DO URCI (TM 5-626, 1995)	37
FIGURA 5.3: GRÁFICO QUE REPRODUZ O NOMOGRAMA PARA CÁLCULO DO VALOR DEDUTÍVEL DO DEFEITO TRILHA DE RODA	39
FIGURA 6.1: <i>SOFTWARE</i> USADO PARA SIMULAÇÃO DE VALORES E PARA DETERMINAÇÃO DAS ESCALAS DO MÉTODO <i>VENO</i>	52
FIGURA 6.2: ESCALAS CALCULADAS PARA CADA TIPO DE DEFEITO NO MÉTODO <i>VENO</i>	53
FIGURA 7.1: ESTRUTURA DAS CATEGORIAS DE VIA (BAESSO & GONÇALVES, 2003).....	60
FIGURA 7.2: DISPOSIÇÃO GRÁFICA DE ACORDO COM OS DADOS REFERENTES ÀS VIAS	62
FIGURA 7.3: INTERFACE GRÁFICA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO BASEADO EM RNA (NUNES, 2003)	63
FIGURA 7.4: INTERFACE GRÁFICA PREENCHIDA (NUNES, 2003).....	64
FIGURA 7.5: TABELA PARA CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS NO SISTEMA H.R.B. (DE SENÇO, 2001)	66
FIGURA 8.1: ESTRUTURA HIERÁRQUICA BÁSICA	72
FIGURA 8.2: ESTRUTURAÇÃO HIERÁRQUICA DO EXEMPLO APRESENTADO.....	76
FIGURA 8.3: MATRIZ DE COMPARAÇÕES PARITÁRIAS.....	79
FIGURA 8.4: MULTIPLICAÇÃO DA MATRIZ DE COMPARAÇÕES PELO VETOR DE PRIORIDADES.....	83
FIGURA 9.1: ESTRUTURA HIERÁRQUICA CONSIDERADA	89
FIGURA 9.2: ESTRUTURA RESULTANTE DA SESSÃO DE <i>BRAINSTORMING</i>	91
FIGURA 9.3: ESTRUTURA HIERÁRQUICA DEFINITIVA.....	92
FIGURA 9.4: QUESTIONÁRIO USADO PARA APLICAÇÃO DAS COMPARAÇÕES PARITÁRIAS	100
FIGURA 9.5: NOVA ESTRUTURA DO QUESTIONÁRIO	102
FIGURA 9.6: LEGENDA INDICADA NO NOVO QUESTIONÁRIO.....	103
FIGURA 9.7: OPINIÕES DOS PROFISSIONAIS SOBRE A ESTRUTURA DO QUESTIONÁRIO	105
FIGURA 9.8: PARTICIPANTES CONSIDERADOS PELO <i>EXPERT CHOICE</i> PARA DETERMINAÇÃO DO JULGAMENTO DO GRUPO	107

FIGURA 9.9: ESTRUTURA DE CRITÉRIOS DOS ASPECTOS FÍSICOS JÁ INSERIDA NO EXPERT CHOICE.	107
FIGURA 9.10: ESTRUTURA DE CRITÉRIOS DOS ASPECTOS DE TRÁFEGO, ADMINISTRATIVOS E SOCIAIS JÁ INSERIDA NO <i>EXPERT CHOICE</i>	108
FIGURA 9.11: QUESTIONÁRIO MONTADO PELO EXPERT CHOICE PARA AS COMPARAÇÕES PARITÁRIAS	108

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: DEFEITOS QUE NÃO SÃO CONSIDERADOS PELOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DESCRITOS	13
TABELA 2.2: SITUAÇÃO FÍSICA DA MALHA VIÁRIA DO CEARÁ EM 2000	14
TABELA 2.3: DISTRIBUIÇÃO DA MALHA VIÁRIA NAS REGIÕES BRASILEIRAS EM 2000.....	16
TABELA 4.1: CLASSIFICAÇÃO PARA O ÍNDICE DE SERVIENTIA RELATIVA POR TRECHO.....	29
TABELA 4.2: CLASSIFICAÇÃO PARA O ÍNDICE DE CONDIÇÃO DE ZONA TOPOGRÁFICA.....	31
TABELA 4.3: CLASSIFICAÇÃO PARA O ÍNDICE DE SERVIENTIA DE ZONA TOPOGRÁFICA	32
TABELA 5.1: EQUAÇÕES PARA CALCULAR O VALOR DEDUTÍVEL DOS DEFEITOS 81, 82, 83 E 87	40
TABELA 5.2: EQUAÇÕES PARA CALCULAR O VALOR DEDUTÍVEL DOS DEFEITOS 85 E 86.....	41
TABELA 5.3: EQUAÇÕES PARA DETERMINAR O URCI.....	42
TABELA 6.1: CARACTERÍSTICAS DOS DEFEITOS.....	54
TABELA 6.2: DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DOS DEFEITOS	55
TABELA 6.3: DETERMINAÇÃO DOS VALORES DEDUÇÃO DOS DEFEITOS.....	55
TABELA 7.1: DADOS FICTÍCIOS DAS VIAS USADOS NO EXEMPLO	59
TABELA 8.1: ESCALA DE VALORES UTILIZADOS NAS COMPARAÇÕES DO AHP	78
TABELA 8.2: MATRIZ DE COMPARAÇÕES PARITÁRIAS DO CRITÉRIO ASPECTOS FÍSICOS	82
TABELA 8.3: MATRIZ DE COMPARAÇÕES PARITÁRIAS NORMALIZADA	82
TABELA 8.4: ÍNDICES RANDÔMICOS EM FUNÇÃO DA ORDEM DA MATRIZ (N).....	84
TABELA 9.1: VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS CAUSAS DE CADA TIPO DE DEFEITO.....	87
TABELA 9.2: CRITÉRIOS E INDICADORES ADOTADOS PARA O MODELO PROPOSTO	93
TABELA 9.3: DESCRIÇÃO DOS GRUPOS E SEUS RESPECTIVOS ELEMENTOS.....	101
TABELA 9.4: DADOS REFERENTES A GEOMETRIA TRANSVERSAL DAS VIAS (NUNES, 2003)	109
TABELA 9.5: DADOS REFERENTES À GEOMETRIA LONGITUDINAL DAS VIAS (NUNES, 2003)	110
TABELA 9.6: DADOS REFERENTES AOS TIPOS DE SOLOS ENCONTRADOS NAS VIAS (NUNES, 2003)	110
TABELA 9.7: CAPACIDADE DE SUPORTE DOS MATERIAIS ENCONTRADOS NAS VIAS (MOREIRA, 2003)	110
TABELA 9.8: ÍNDICE DE CONDIÇÃO DE ROLAMENTO DAS VIAS (MOREIRA, 2003).....	110
TABELA 9.9: DADOS OBTIDOS NA CONTAGEM CLASSIFICATÓRIA E VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO	111
TABELA 9.10: DADOS DE TRÁFEGO USADOS NOS MODELOS.....	111
TABELA 9.11: PESOS PARCIAIS GERADOS PARA CADA CRITÉRIO PELO <i>EXPERT CHOICE</i>	112
TABELA 9.12: ORDEM DE PRIORIDADE PARA AS ALTERNATIVAS ANALISADAS.....	112
TABELA 9.13: PESOS OBTIDOS PELAS ALTERNATIVAS NOS CENÁRIOS.....	115

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIações

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ALYNO	Método de Avaliação de Condições de Rolamento (CORREIA, 2003)
ALYNOMO	Método de Avaliação de Condições de Rolamento (MOREIRA, 2003)
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
CBR	<i>Califórnia Bearing Ratio</i>
CRREL	<i>Cold Regions Research & Engineering Laboratory</i>
DEPAM	Departamento de Monitoramento Hidro-ambiental
DETR	Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes
DET	Departamento de Engenharia de Transportes
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
DRT	Densidade Superficial Relativa por Trecho
DSRZT	Densidade Superficial Relativa por Zona Topográfica
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i>
FDA	<i>Fuzzy Decision Approach</i>
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GSID	Grau de Severidade Individual do Defeito
H.R.B.	<i>Highway Research Board</i>
IC	Índice de Condição
ICG_{DEF}	Índice de Condição de Grupo por Defeito
ICM_{DEF}	Índice de Condição Média por Defeito
ICR	Índice de Condição de Rolamento
ICZT	Índice de Condição de Zona Topográfica
IP	Índice de Prioridade
IR	Índice Randômico
ISC	Índice de Suporte Califórnia
IST	Índice de Serventia Relativa por Trecho
ISRZT	Índice de Serventia Relativa por Zona Topográfica
LISP	<i>List Processing</i>
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Platicidade
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>

MAH	Método de Análise Hierárquica
MAHP	<i>Multiplicative Analytic Hierarchy Process</i>
MCDA	<i>MultiCriteria Decision Aid</i>
MCDM	<i>MultiCriteria Decision Making</i>
PETTRAN	Programa de Mestrado em Engenharia de Transporte
PROMÉTHÉE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>
RC	Razão de Consistência
RI	Razão de Inconsistência
RNA	Redes Neurais Artificiais
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SMT	Serventia Média por Trecho
SMZT	Serventia Média por Zona Topográfica
TDV	<i>Total Deduct Value</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
URCI	<i>Unsurfaced Road Condition Index</i>
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
VENO	Método de Avaliação de Condições de Rolamento (ALMEIDA, 2006)
VMD	Volume Médio Diário (de veículos)
ZG	Zona Geotécnica
ZT	Zona Topográfica

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 . APRESENTAÇÃO

As vias não pavimentadas correspondem a 90% da malha viária brasileira e são de grande importância para a economia nacional, afinal são por elas que as riquezas produzidas no interior do país iniciam seu escoamento.

A conservação da malha viária não pavimentada representa uma melhoria no conforto dos usuários e ocasiona uma redução no consumo de combustível e nos gastos com a manutenção dos veículos. Essas vantagens refletem diretamente no preço dos produtos uma vez que o mesmo sofre incremento devido ao frete cobrado pelo transporte no modal rodoviário.

Na maioria dos casos, as vias não pavimentadas são de responsabilidade das prefeituras municipais que não dispõem de muitos recursos para realização dessas atividades. Por isso, a alocação dos poucos recursos disponíveis deve ser realizada de forma que resulte no máximo de melhorias para essas vias. Um Sistema de Gerência de Pavimentos é uma ferramenta indicada para auxiliar o tomador de decisão na otimização da alocação desses recursos.

Segundo MOREIRA (2003), na literatura técnica existem várias definições para Sistemas de Gerência de Pavimentos – SGP, mas todas elas têm os mesmos princípios básicos. De acordo com estes princípios, pode-se afirmar que um Sistema de Gerência de Pavimentos é um conjunto de técnicas ou métodos que auxiliam a tomada de decisões na escolha de estratégias otimizadas em relação às atividades de pavimentação, atividades estas que servem para manter os pavimentos em condições adequadas de serventia, facilitando a coordenação das atividades do órgão gestor responsável.

Atualmente, são poucos os sistemas de gerência desenvolvidos especialmente para vias não pavimentadas. Atinando para esse fato, esse trabalho visou contribuir com a concepção de um SGP dessa natureza.

1.2 . PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo o Anuário Estatístico dos Transportes (GEIPOT, 2000), as estradas não pavimentadas correspondem a mais de 90% da malha viária brasileira. É através delas que as riquezas produzidas na zona rural escoam. As estradas rurais são consideradas como uma necessidade básica para prover uma localidade de um fluxo regular de mercadorias e serviços. Permitem o desenvolvimento das comunidades por ela atingidas e, por conseqüência, garantem a melhoria de sua qualidade de vida (BAESSO & GONÇALVES, 2003).

Uma estrada de terra que não se apresenta em boas condições de trafegabilidade prejudica os diversos tipos de usuários, sejam os que utilizam carros de boi para levar seus filhos a escola ou um parente ao médico, ou sejam, os motoristas de caminhões que transportam safras agrícolas do local de plantio ao local de comercialização. Os condutores de carros de boi são prejudicados por causa do aumento do tempo e da piora das condições de viagem, já os motoristas de caminhões são prejudicados nesses pontos, no aumento do consumo de combustível e na probabilidade de danos à mecânica do veículo.

A importância dessas vias para o desenvolvimento do interior está na viabilização do processo produtivo apoiando as cadeias produtivas e, fundamentalmente, na melhoria da qualidade de vida das populações. Essas estradas rurais de terra, quando em bom estado de manutenção, permitem o escoamento das safras agrícolas, a entrada de insumos para tornar viável a produção, permite também o acesso da população rural à educação, saúde, lazer e ao comércio.

Dada a escassez de instrumentais de avaliação de condições de rolamento e de priorização de intervenções em vias não-pavimentadas adotou-se como problema de pesquisa: a não existência de um método simples e eficiente para avaliar as condições de rolamento de vias não pavimentadas que agregue a experiência do método do USACE e nem de um método de priorização de vias não pavimentadas que contemple um grande número de variáveis que influenciem no funcionamento das mesmas. O resultado desse trabalho contribui para auxiliar no processo de conservação desse tipo de via.

1.3 . OBJETIVO

Esse trabalho visa colaborar na concepção de um Sistema de Gerência para vias não pavimentadas, desenvolvendo duas etapas de tal sistema: avaliação das condições de rolamento de uma superfície não pavimentada e elaboração de um método de priorização de vias que contemple um conjunto de variáveis.

1.4 . METODOLOGIA UTILIZADA

O método de avaliação das condições de rolamento desenvolvido nesta pesquisa incorpora toda uma experiência contida no método norte-americano utilizado pelo USACE (*United States Army Corps of Engineers*). A incorporação proveniente da adaptação realizada nesse método foi realizada de forma que os resultados fossem equivalentes aos fornecidos pelo método ALYNOMO (MOREIRA, 2003), desenvolvido para ser utilizado em segmentos de estradas de terra no município de Aquiraz, no Ceará.

O método multicritério para priorização de vias visando intervenções deverá ser capaz de elaborar uma ordem de prioridades para um conjunto de vias, ou segmentos de vias estudadas, em função da análise de uma série de variáveis pertinentes às mesmas, tais como: condições de rolamento, drenagem, tráfego, geometria, incidência pluviométrica, etc.

Tanto o método de avaliação como o método de priorização deverão ser capazes de auxiliar um tomador de decisão no processo de análise e seleção de vias para receberem atividades de manutenção e reparo.

A metodologia utilizada para a elaboração dessa dissertação encontra-se descrita detalhadamente a seguir, tendo sido realizadas as seguintes atividades:

- a. uma revisão bibliográfica em livros, publicações, artigos nacionais e estrangeiros sobre as características das estradas de terra e a importância das mesmas para o desenvolvimento econômico do país;
- b. uma revisão bibliográfica sobre Sistemas de Gerencia de Pavimentos abrangendo suas características, suas vantagens e desvantagens, suas etapas e, principalmente, suas aplicações;

- c. um aprofundamento nos conhecimentos referentes aos métodos de avaliação de condições de rolamento de estradas não pavimentadas propostos por CORREIA (2003), MOREIRA (2003) e por EATON *et al* (1992);
- d. uma digitalização das curvas utilizadas no método do USACE, para posterior automação do referido método, foi realizada. O processo de digitalização consistiu na determinação de equações que representassem tais curvas e para a determinação dessas equações foi desenvolvida uma pesquisa para identificar a técnica mais indicada para efetuar esta atividade;
- e. determinadas as equações para cada curva foi realizada uma validação das mesmas utilizando os dados disponibilizados por ODA (1995). Os resultados fornecidos pelas equações foram comparados aos resultados encontrados por ODA (1995), que aplicou o modelo de forma manual. Métodos estatísticos de comparação de médias e variâncias foram utilizados para validação dos resultados;
- f. automatizado o método do USACE foi realizada uma adaptação no mesmo de modo que seus resultados pudessem se tornar equivalentes aos fornecidos pelo método ALYNOMO. Para que ocorresse a convergência de valores, os dois métodos foram analisados detalhadamente e nessa análise foram verificados os aspectos que eram incomuns às duas metodologias, facilitando assim a realização da adaptação desejada;
- g. o próximo passo foi desenvolver um modelo de priorização de estradas de terra que levasse em consideração variáveis pertinentes às estradas. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre métodos que utilizaram esse tipo de priorização, identificando as variáveis abordadas por eles. Nesse levantamento bibliográfico ficou constatado que os principais modelos existentes não consideram variáveis importantes, tal como: a importância da via para a sociedade;
- h. realizou-se uma revisão bibliográfica sobre modelos Multicritério de Apoio à Decisão e de Tomada de Decisão para se escolher qual dos dois modelos era mais aconselhado para ser utilizado neste trabalho;

- i. identificados os modelos de apoio à decisão como sendo os mais indicados para a aplicação desejada, realizou-se estudos sobre as principais metodologias existentes para que fosse escolhida aquela que seria aplicada. O *Analytic Hierarchy Process* – AHP foi o modelo escolhido;
- j. após estudo detalhado, através de consultas a livros, artigos, periódicos e outros tipos de publicações, o AHP foi aplicado e foi desenvolvido um método para priorização de vias não pavimentadas que considera um conjunto de variáveis. Esse método foi aplicado para indicar uma ordem de prioridades de três vias no município de Aquiraz, no Estado do Ceará, baseado em opiniões de cinco grupos de profissionais de engenharia;
- k. os indicadores para aplicação do método foram coletados dos trabalhos de MOREIRA (2003) e NUNES (2003), os quais estudaram três estradas de terra no município de Aquiraz. Os demais dados necessários para alimentar os método, que não se encontravam nesses referidos trabalhos, foram coletados em campo;
- l. para facilitar a aplicação do método VENO, implementou-se um *software*, elaborado para esta finalidade, que utiliza o ambiente operacional *windows*. Este *software* é de fácil entendimento e pode ser utilizado por usuários com o mínimo conhecimento de informática;
- m. conclusões foram tiradas ao longo do trabalho e encontram-se indicadas no capítulo correspondente desta dissertação. Algumas recomendações para trabalhos futuros também foram elencadas.

1.5 . ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A realização deste trabalho teve como base a metodologia apresentada no item anterior, tendo sido esta dissertação elaborada de acordo com os seguintes capítulos:

- a. **capítulo 1** – Apresenta o trabalho que foi realizado enfocando o problema de pesquisa, os objetivos, a metodologia utilizada e a sua organização;
- b. **capítulo 2** – Esse capítulo trás um apanhado geral sobre vias não pavimentadas enfocando principalmente a importância das mesmas para a economia do país;

- c. **capítulo 3** – Apresenta conceitos importantes sobre os Sistemas de Gerência de Pavimentos enfocando seus módulos, suas principais características e quais as vantagens da utilização;
- d. **capítulo 4** – Aborda os métodos de avaliação de condições de rolamento de superfícies não pavimentadas. As metodologias descritas nesse capítulo foram de grande importância para o desenvolvimento deste trabalho, principalmente o método ALYNOMO e o método utilizado pelo *United States Army Corps of Engineers* – USACE;
- e. **capítulo 5** – Nesse capítulo são descritos todos os passos seguidos para a digitalização das curvas usadas no método do USACE, incluindo a validação estatística dos resultados. A automação do método do USACE facilitou sua aplicação e diminuiu as probabilidades de erros;
- f. **capítulo 6** – Nesse capítulo encontra-se descrita e explicada detalhadamente a adaptação realizada no método do USACE para que o mesmo pudesse ser aplicado ao município de Aquiraz. Essa adaptação baseou-se nos resultados fornecidos pelo método ALYNOMO o qual foi desenvolvido para ser utilizado em três vias não pavimentadas do município de Aquiraz, no Ceará;
- g. **capítulo 7** – Apresenta uma revisão bibliográfica sobre métodos de priorização de vias não pavimentadas. Essa revisão é importante para que o leitor tenha uma noção das variáveis que são analisadas no processo de atribuição de prioridades. Geralmente, esses métodos analisam apenas variáveis relativas ao tráfego e as condições de rolamento da via, deixando de contemplar outras importantes variáveis, tais como: a importância que a via tem para a sociedade e a influência política na manutenção e reparo das mesmas;
- h. **capítulo 8** – Dá uma idéia ao leitor sobre modelos Multicritério de Apoio à Decisão e quais as suas características. Nesse capítulo está descrito e explicado o funcionamento do Método de Análise Hierárquica – MAH, aplicado neste trabalho;
- i. **capítulo 9** – Descreve passo a passo a aplicação do Método de Análise Hierárquica - MAH para indicar a priorização de vias não pavimentadas

considerando um conjunto de variáveis. Esse capítulo também contempla uma aplicação prática do método utilizando dados relativos a três estradas de terra localizadas no município de Aquiraz, no Ceará. A partir de uma análise de sensibilidade, foi determinada a ordem de prioridade mais indicada para as vias analisadas; e

- j. **capítulo 10** – Relata as conclusões, os resultados obtidos e apresenta recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS

2.1. INTRODUÇÃO

Estradas de terra e estradas de terra batida são algumas das maneiras como as vias não-pavimentadas são conhecidas tanto no meio técnico como pela população local (MOREIRA, 2003).

Segundo o Anuário Estatístico dos Transportes (GEIPOT, 2000), as estradas não pavimentadas correspondem a mais de 90% da malha viária brasileira. É através delas que as riquezas produzidas na zona rural escoam. As estradas rurais são consideradas como uma necessidade básica para prover uma localidade de um fluxo regular de mercadorias e serviços. Permitem o desenvolvimento das comunidades por ela atingidas e, por conseqüência, garantem a melhoria de sua qualidade de vida (BAESSO & GONÇALVES, 2003).

Segundo CORREIA (2003), estradas rurais não-pavimentadas ou estradas de terra são estradas que, na maioria das vezes, se originam a partir de caminhos naturais ou abertos por usuários locais a fim de vencer suas necessidades de simples locomoção. Normalmente não possuem um traçado geométrico bem definido e acompanham a topografia natural da região.

ODA (1995) considera que o estado da superfície de qualquer estrada geralmente depende do material, das intempéries, do tráfego e da manutenção.

As estradas não pavimentadas representam um papel muito importante no desenvolvimento sócio-econômico de uma região, pois são responsáveis pelo escoamento da produção agrícola e pela integração entre o campo e a cidade através do acesso da comunidade rural aos serviços de saúde, educação e lazer nas cidades próximas (FONTENELE, 2001).

BAESSO & GONÇALVES (2003), em seu manual, dividem as estradas de terra em quatro categorias distintas, de acordo com os materiais que compõem a superfície de rolamento e com a geometria:

“a. **categoria A:** estradas cuja superfície de rolamento é composta por agregados naturais;

- b. **categoria B:** estradas cuja superfície de rolamento é formada por agregados produzidos artificialmente;
- c. **categoria C:** estradas cuja superfície de rolamento é constituída por materiais oriundos de jazidas de solos naturalmente estabilizados ou ainda outros materiais semelhantes; e
- d. **categoria D:** estradas cujo traçado foi desenvolvido de forma pioneira ou foi melhorado com mudanças no gabarito de sua seção transversal. Apresentam uma superfície de rolamento formada por materiais de seu próprio leito natural.”

Já a AUSTROADS (1991) *apud* FONTENELE (2001), divide as estradas não pavimentadas em três categorias:

- a. **não conformadas:** são estradas que não apresentam conformidade na superfície de rolamento, podem variar desde uma trilha de duas rodas a uma estrada aberta sobre os materiais naturalmente ocorrentes no local;
- b. **conformadas:** são estradas conformadas por uma motoniveladora com o material do local por ela atravessado na tentativa de melhorar a drenagem; e
- c. **conformadas e revestidas:** são estradas conformadas que apresentam um revestimento com material de ocorrência natural de melhor qualidade do que o material original constituinte de sua superfície de rolamento.

Uma estrada de terra que não se apresenta em boas condições de trafegabilidade prejudica os diversos tipos de usuários, sejam os que utilizam carroças para levar seus filhos a escola ou um parente ao médico, ou sejam, os motoristas de caminhões que transportam safras agrícolas do local de plantio ao local de comercialização. Os condutores das carroças são prejudicados por causa do aumento do tempo e da piora das condições de viagem, já os motoristas de caminhões são prejudicados nesses pontos, no aumento do consumo de combustível e na probabilidade de danos à mecânica do veículo.

Estradas não pavimentadas geralmente apresentam baixo volume de tráfego (VMD < 400 veículos) e por isso acabam tendo sua manutenção negligenciada pelos órgãos responsáveis (CORREIA, 2003), constituindo-se em área do conhecimento em que muito pouca tecnologia formal foi desenvolvida (D'ÁVILA, 1996).

Geralmente, as características geométricas das estradas não pavimentadas brasileiras não obedecem a nenhuma norma para projeto geométrico. Essas estradas simplesmente acompanham a topografia natural do terreno, principalmente no sentido longitudinal, pois no sentido transversal geralmente ocorrem melhorias no intuito de permitir a estabilidade lateral do veículo em movimento na via, evitando que ele tombe (MOREIRA, 2003).

Segundo MOREIRA (2003), em períodos chuvosos, a vegetação avança em direção ao centro da estrada diminuindo sua largura, dificultando a mobilidade dos veículos, diminuindo a sua visibilidade e aumentando o tempo de viagem, agravando o escoamento superficial das águas, dificultado pela falta de dispositivos de drenagem ao longo da via.

2.2. IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS

Para os moradores dos centros urbanos a realidade no meio rural é muito pouco conhecida e, diante dos enormes problemas nas diversas áreas do município, o tratamento dado ao gerenciamento das estradas rurais acaba não sendo priorizado.

A responsabilidade pela manutenção das estradas, na grande maioria dos casos é dos municípios, que não conseguem dar conta de todo o serviço necessário para que essas vias, apesar de não-pavimentadas, possam permitir uma efetiva interligação entre propriedades rurais e as cidades, durante todas as épocas.

A importância dessas vias para o desenvolvimento do interior está vinculada a viabilização dos processos produtivos rurais, através do escoamento da produção, possibilitando a melhoria da qualidade de vida da população.

Essas estradas rurais de terra, quando em bom estado de manutenção, permitem o escoamento das safras agrícolas, a entrada de insumos para tornar viável a produção, permitem também o acesso da população rural às escolas, postos de saúde, áreas de lazer e ao comércio dos centros maiores.

No Estado do Ceará, os dirigentes municipais tratam a malha viária não pavimentada de forma artesanal e improvisada, seja do ponto de vista tecnológico, seja sob o aspecto da aplicação de mecanismos de controle administrativo e de custos. A vida útil de uma estrada não pavimentada não chega a durar um ano. Isto representa o padrão gerencial aplicado pelo setor público municipal cearense (MOREIRA, 2003).

Segundo ALMEIDA (2003), com o passar do tempo, a tendência das condições do leito estradal de uma via não pavimentada é se deteriorar devido a fatores como o tráfego e a chuva. Para evitar essa deterioração, é necessária a execução de rotinas de serviços de manutenção periódicos capazes de solucionar os diversos problemas que prejudicam a trafegabilidade dos veículos.

ODA (1995) faz um comparativo entre custos operacionais por quilômetro de ônibus e caminhões em vias pavimentadas e em vias não pavimentadas. O resultado da comparação indica ocorrência de acréscimo nesses custos em estradas não pavimentadas devido às condições da superfície de rolamento. O aumento dos custos ocorre principalmente pelo desgaste das peças dos veículos. Essa diferença de custos operacionais evidencia a necessidade de se manter as estradas não pavimentadas em boas condições.

BAESSO & GONÇALVES (2003) relatam que estudos do Banco Mundial concluíram que a implantação de melhoramentos na rede viária rural tem um efeito imediato não somente na redução do custo operacional de veículos como também permitindo uma expansão dos serviços públicos nessas regiões.

Segundo NUNES (2003), as estradas vicinais de terra, dada a sua grande importância sócio-econômica, sobretudo nos países em desenvolvimento, necessitam que sua superfície seja mantida permanentemente em boas condições de rolamento para proporcionar conforto e segurança aos usuários e assegurar sua utilização durante o ano todo.

Seria de grande importância para os usuários deste tipo de via a existência de um método de trabalho capaz de otimizar os serviços de manutenção, que pudesse ser utilizado para orientar o tomador de decisão na aplicação das verbas destinadas para esta finalidade, utilizando-as de forma mais eficiente e eficaz na recuperação do maior número de vias.

Para auxiliar na execução desse trabalho, os princípios de funcionamento de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) serão utilizados como embasamento teórico. Segundo CORREIA (2003), um sistema de gerência de pavimentos pode ser compreendido como um sistema que não toma decisões por si só, mas que é capaz de auxiliar no processo de tomada de decisões sobre ações eficientes e eficazes quanto a intervenção no pavimento, possibilitando o conhecimento de alternativas ótimas e respondendo a questões quando, como, onde intervir e quanto deve ser gasto. O SGP deve, portanto, ser projetado para fornecer informações claras e atuais aos tomadores de decisão, de acordo com a acurácia dos dados disponíveis sobre o pavimento, custos e recursos financeiros.

Devido à escassez de bibliografia e informações sobre o assunto, pode-se afirmar que não existe um SGP totalmente adaptado às estradas rurais não pavimentadas do Ceará. O desenvolvimento de um sistema seria de grande utilidade no processo de melhoramento destas vias, pois as condições de superfície poderiam ser avaliadas com mais precisão auxiliando na alocação dos recursos para as suas melhorias.

Para atender a essas necessidades, estudos foram realizados por CORREIA (2003, 2004) e MOREIRA (2003), os quais resultaram na criação de métodos de avaliação das condições das superfícies de rolamento das vias não pavimentadas do município de Aquiraz, no Ceará. Esses métodos de avaliação diferem entre si no modo como segmentam a malha viária, mas todos identificam o grau de degradação da superfície de rolamento de uma via a partir da análise dos defeitos encontrados sobre a mesma.

2.3. DEFEITOS ENCONTRADOS EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS

Segundo BAESSO & GONÇALVES (2003) e EATON *et al* (1992), os principais defeitos que incidem sobre a superfície de rolamento de uma estrada não pavimentada são os seguintes:

- a. seção transversal imprópria;
- b. drenagem lateral inadequada;
- c. corrugações;
- d. excesso de poeira;
- e. buracos;
- f. afundamento de trilha de roda; e

g. segregação de agregados;

CORREIA (2003), MOREIRA (2003), NUNES (2003), FONTENELE (2001) e ODA (1995) além de citarem os sete tipos de defeitos acima, indicam mais cinco tipos:

- a. formação de areal (areições);
- b. formação de atoleiros;
- c. pista escorregadia;
- d. erosão; e
- e. facão.

Os sete primeiros defeitos são utilizados nos métodos de avaliação de condição de rolamento de estradas não pavimentadas descritos no Capítulo 4. Esses tipos de defeitos estão descritos com os seus respectivos níveis de severidade no Anexo 1. O restante dos defeitos estão caracterizados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Defeitos que Não São Considerados pelos Métodos de Avaliação Descritos

Tipo de Defeito	Característica
a. Areições	Defeito característico de estradas com material arenoso e baixa argilosidade. Ocorre quando o solo seco perde seus grãos que acabam se acumulando no centro ou nas laterais das estradas.
b. Formação de Atoleiros	Consiste em uma camada de lama onde não existe atrito entre o solo e os pneus do veículo, que patinam sem sair do lugar. Dependendo do tipo de solo, surgem devido à ausência ou deficiência do sistema de drenagem
c. Pista Escorregadia	Os maiores problemas ocorrem em trechos muito argilosos, que quando submetidos à molhagem ficam praticamente sem atrito e aderência. Em trechos planos com solo argiloso também ocorrem problemas de pista escorregadia. As rodas dos veículos não possuem atrito com a pista e acabam escorregando
d. Erosão	São defeitos causados pela ação da água em solos coesivos e na ausência de dispositivos drenantes. Estes defeitos podem evoluir de pequenas falhas em forma de sulcos na superfície de rolamento até fendas, ou grandes sulcos, com profundidades superiores a 60cm e larguras maiores que 30cm
e. Facão	Forma-se em estradas em que os veículos trafegam no meio da pista, em apenas uma trilha. Em alguns casos, o facão é formado devido ao pouco tráfego e à falta de manutenção, o que contribui para o crescimento de vegetação no centro da pista de rolamento, dificultando a passagem dos veículos nesses locais.

Fontes: CORREIA (2003), MOREIRA (2003) e ODA (1995)

2.4. VIAS NÃO PAVIMENTADAS NO BRASIL E NO CEARÁ

Segundo o Informativo Gerencial do DERT (2000), a malha rodoviária do estado do Ceará tinha no ano de 2000 uma extensão de 53.307 km, dos quais 43.938,9 km são constituídos de vias não pavimentadas e 9.368,1 km de vias pavimentadas. A distribuição das vias na malha viária é mostrada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Situação Física da Malha Viária do Ceará em 2000

Rede	Não pavimentada (km)	Pavimentada (km)	Total (km)
Federal	118,5	2.623,5	2.742,0
Acesso Federal	-	54,3	54,3
Transitória	94,2	604,6	698,8
Estadual	5.541,9	4.280,2	9.822,1
Acesso Estadual	4,8	96,4	101,2
Municipal	38.179,5	709,1	38.888,6
Total	43.938,9	8.368,1	53.307,0

Fonte: Informativo Gerencial do DERT (1999/2000)

A Figura 2.1 ilustra as jurisdições das vias não pavimentadas e a Figura 2.2 ilustra as das vias pavimentadas, em ambos os casos para o estado do Ceará.

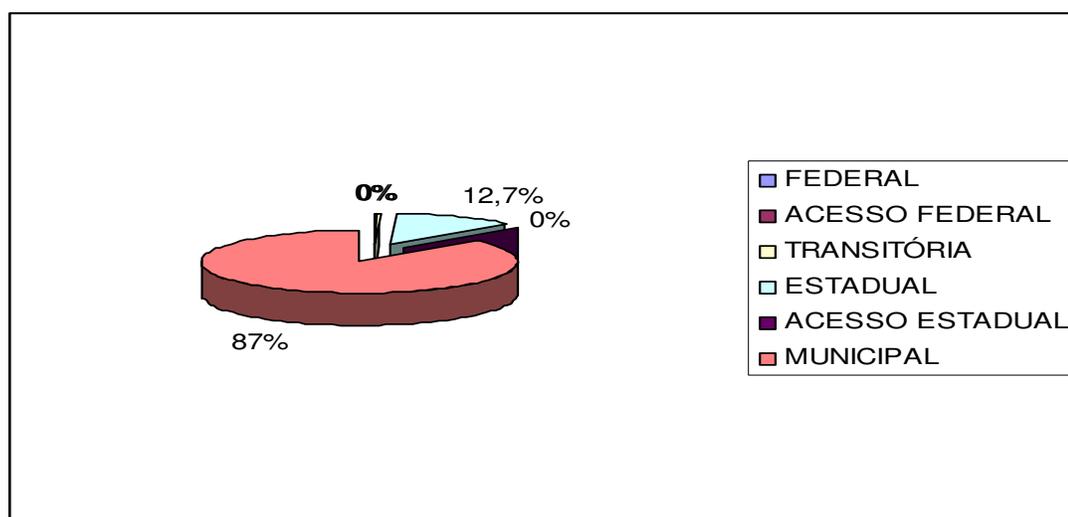


Figura 2.1: Jurisdições das Estradas Não Pavimentadas do Ceará

De acordo com a Tabela 2.2 e com a Figura 2.1, 87% da malha viária não-pavimentada do Estado do Ceará encontra-se sob a jurisdição dos municípios e 12,7% sob jurisdição estadual. A porcentagem das vias não pavimentadas sob as jurisdições federal, transitória e acesso estadual é praticamente nula, recaindo as responsabilidades pelo funcionamento dessas vias sobre as prefeituras.

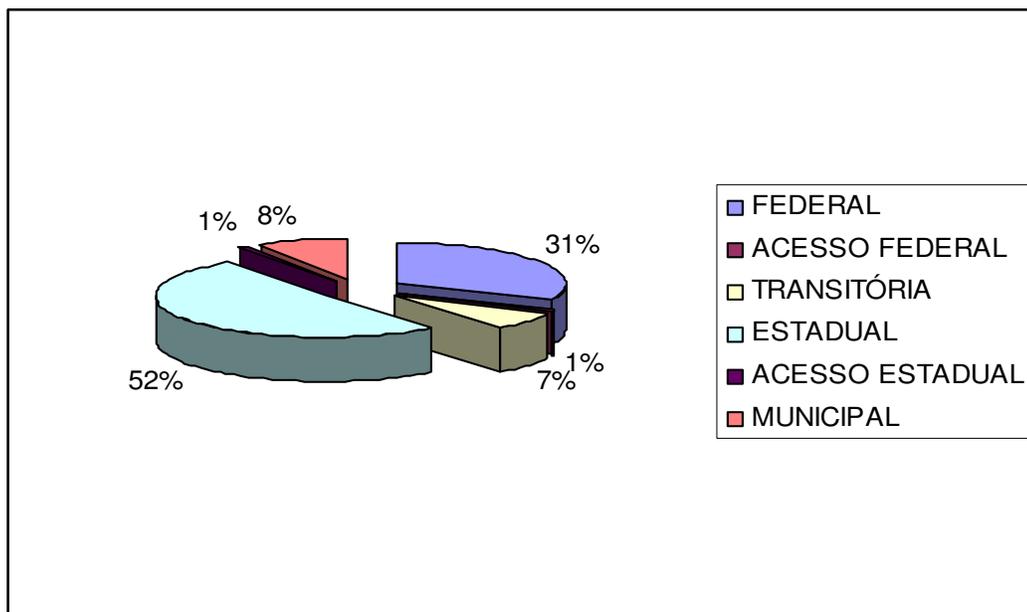


Figura 2.2: Jurisdição das Vias Pavimentadas do Ceará

De acordo com a Tabela 2.2 e a Figura 2.2, 52% da malha viária pavimentada do Estado do Ceará está sob jurisdição estadual e 31% sob jurisdição federal. As Figuras 2.1 e 2.2 mostram uma realidade diferente no que diz respeito às jurisdições de cada tipo de via, pois a maioria das vias pavimentadas encontra-se sob jurisdição estadual e a maioria das vias não pavimentadas sob jurisdição municipal.

Segundo o Anuário Estatístico dos Transportes – GEIPOT (2000), a malha rodoviária Brasileira tinha no ano de 2000 uma extensão de 1.724.929 km, dos quais 164.988 km de vias pavimentadas e 1.559.941 km de vias não-pavimentadas.

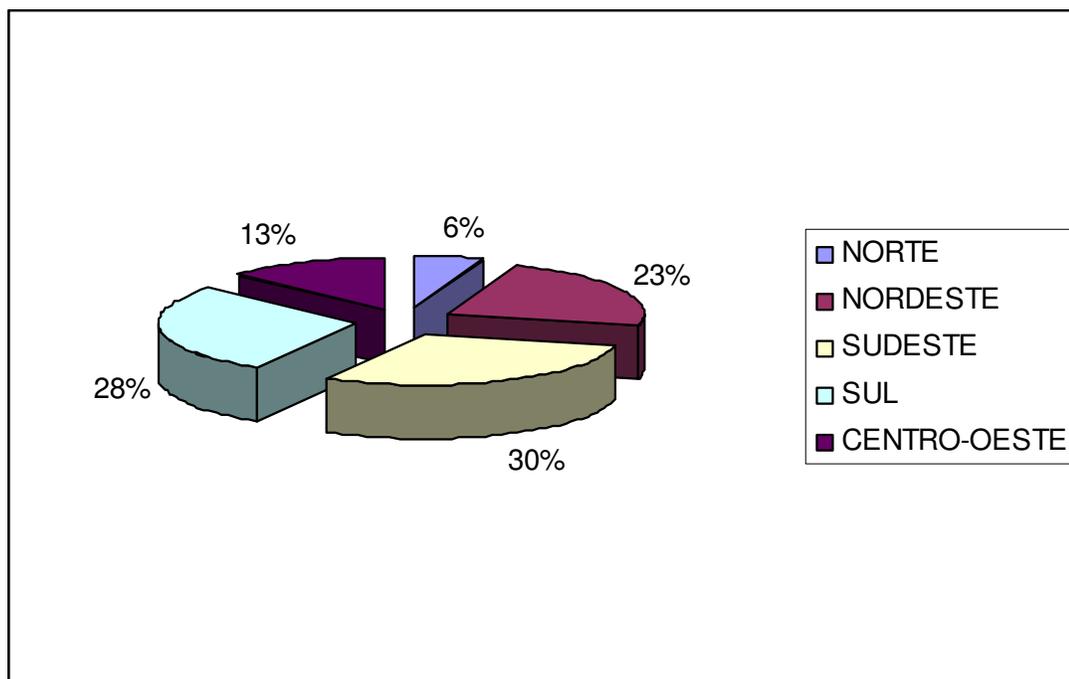
De acordo com os números apresentados, a malha viária brasileira, além de extensa, exigiu muitos recursos dos cofres públicos para ser construída, necessitando que um plano de conservação para aumentar a vida útil seja implementado.

A distribuição das vias nas regiões brasileira é mostrada na Tabela 2.3 e na Figura 2.3 que ilustra a distribuição das vias não pavimentadas nas regiões brasileiras.

Tabela 2.3: Distribuição da Malha Viária nas Regiões Brasileiras em 2000

Região	Não pavimentada (km)	Pavimentada (km)	Total (km)
Norte	90.702	12.394	103.096
Nordeste	360.158	45.232	405.390
Sudeste	458.312	54.184	512.496
Sul	443.758	32.364	476.122
Centro-oeste	207.011	20.814	227.825
Total	1.559.941	164.988	1.724.929

Fonte: Informativo Gerencial do DERT (1999/2000)

**Figura 2.3:** Distribuição das Vias Não Pavimentadas nas Regiões Brasileiras

O próximo capítulo apresenta o conceito de Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP e indica as principais características dos mesmos. Apresenta também informações sobre os SGP específicos para vias não pavimentadas.

CAPÍTULO 3

SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS - SGP

3.1. INTRODUÇÃO

Um Sistema de Gerência de Pavimentos fornece estratégias ótimas para tomadores de decisão, em todos os níveis gerenciais, derivadas completamente de procedimentos racionais claramente estabelecidos (HAAS *et al*, 1994).

Com o passar do tempo, as rodovias sofrem uma deterioração devido a uma grande quantidade de fatores (tráfego, intemperismo, etc) tornando necessária a implantação de melhorias que lhes garantam melhor funcionalidade. Essas melhorias são provenientes de serviços de conservação, manutenção e reparo. À medida que os níveis de deterioração de uma rodovia avançam e seu grau de serventia decresce, os serviços destinados à sua melhoria tornam-se bastante onerosos.

O termo Sistema de Gerência de Pavimentos começou a ser utilizado por grupos de pesquisadores no final da década de 60 e começo da década de 70, com o objetivo de descrever todas as atividades envolvidas com os pavimentos (VIVIANE, 1998).

Para a realização de atividades de manutenção necessita-se alocar recursos. Conforme descrito no Capítulo 2, as vias não pavimentadas, na grande maioria, são responsabilidade das prefeituras municipais, as quais, muitas vezes, não dispõem de recursos para a execução dessas atividades, tornando-se imprescindível que os poucos recursos existentes sejam aplicados de forma a obter os melhores resultados possíveis. Para auxiliar na alocação desses recursos e maximizar os benefícios, um Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP passa a ser um instrumento que pode vir a ser aplicado com êxito.

Um Sistema de Gerência de Pavimentos pode ser compreendido como um sistema que não toma decisões por si só, mas que é capaz de auxiliar ao processo de tomada de decisões sobre ações eficientes e eficazes ao pavimento, possibilitando o conhecimento de alternativas ótimas para quando, como e onde intervir.

3.2. COMPONENTES DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Um sistema consiste de um conjunto de componentes que interagem entre si e são afetados por fatores externos. Um SGP, particularmente, apresenta como componentes principais o planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa e tem como fatores externos a disponibilidade orçamentária e as políticas administrativas.

Para HAAS *et al* (1994), os principais componentes de um SGP são, em nível de rede: programação, planejamento e orçamento e, em nível de projeto: projeto, construção, manutenção e reabilitação. A Figura 3.1 ilustra esses conceitos. O mesmo autor diz que as exigências essenciais para um SGP são:

- a. capacidade de ser facilmente atualizado e/ou modificado com novas informações e disponibilizando os melhores modelos;
- b. capacidade de considerar estratégias alternativas;
- c. capacidade de identificar estratégias ou alternativas ótimas;
- d. capacidade para basear decisões em procedimentos racionais com atributos quantificáveis, critérios e restrições; e
- e. capacidade de usar *feedback* de informações considerando as conseqüências das decisões.

Segundo a AASHTO (1990), um SGP não pode tomar decisões finais, mas tem a capacidade de fornecer bases para informar conhecimento das possíveis conseqüências de políticas alternativas.

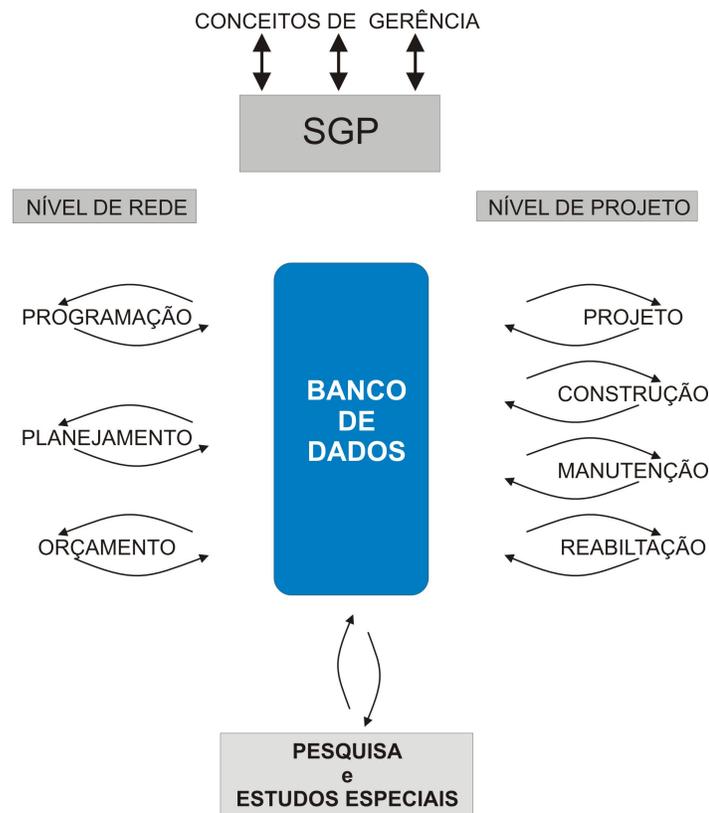


Figura 3.1: Principais Componentes de um SGP (HAAS *et al*, 1994)

3.3. NÍVEIS DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

As atividades de gerência de pavimentos são caracterizadas em dois níveis: rede e projeto.

No nível de rede, as decisões são tomadas para um grande número de projetos ou para uma rede inteira de rodovias (MARCON, 1996).

No nível de projeto, o objetivo primário é fornecer a primeira estimativa das ações de manutenção e reparo preferidas para cada projeto, os custos, e o ciclo de vida esperado (AASHTO, 1990).

HAAS *et al* (1994) definem as principais características de cada um dos dois níveis, as quais são mostradas na Figura 3.2.

TRANSPORTE, RODOVIA / SISTEMA DE GERÊNCIA

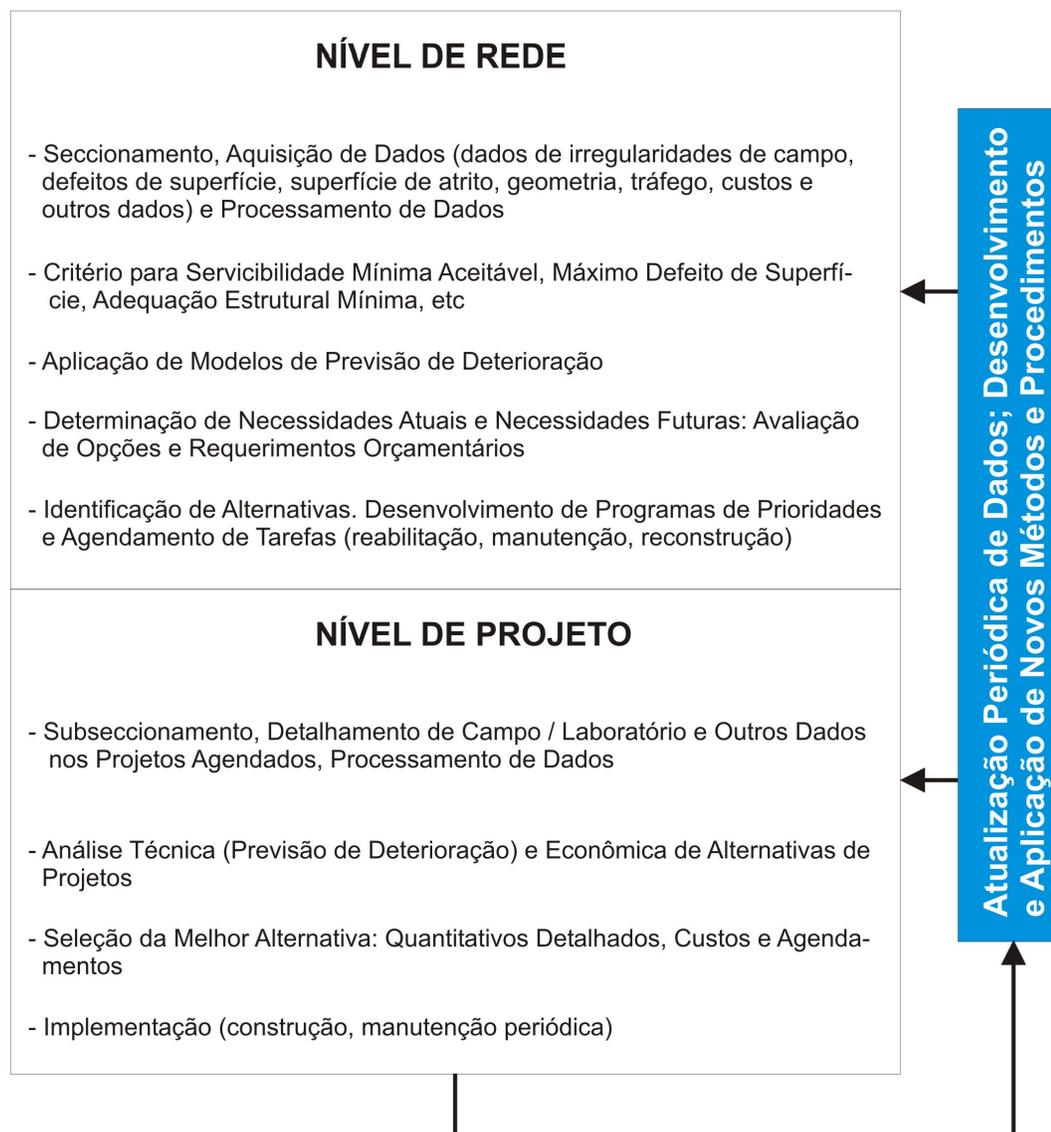


Figura 3.2: Características dos Níveis Operacionais de um SGP

Segundo MARCON (1996), os componentes básicos em nível de projeto são semelhantes aos descritos para nível de rede. As principais diferenças são:

- a. a coleta de dados é mais intensa, permitindo uma análise mais detalhada do pavimento avaliado; e

- b. a intervenção a ser executada deve ser mais adequada ao pavimento do trecho e terá como restrição os recursos financeiros alocados na fase de análise em nível de rede.

As decisões em nível de rede podem ser divididas em nível de seleção de projetos e nível de programa.

O nível de seleção de projeto consiste no processo de priorização, envolvendo um ou mais grupo de projetos. O nível de programa consiste no processo orçamentário global, envolvendo a alocação de recursos para toda a rede.

Em nível de seleção de projetos, dois tipos de modelos podem ser utilizados: modelos de priorização e modelos de otimização.

Os modelos de priorização selecionam projetos para manutenção mediante um critério classificatório, baseado, dentre outros fatores, em um índice de condição de cada segmento.

Os modelos de otimização maximizam ou minimizam uma função objetivo, geralmente o custo total, submetida a uma série de restrições (BERTOLLO, 1997).

3.4. MÓDULOS DE UM SISTEMA DE GERENCIA DE PAVIMENTOS

Segundo a ASSHTO (1990), os módulos típicos de um Sistema de Gerência de Pavimentos são:

- a. base de dados que contenha um mínimo de informações e dados necessários às análises;
- b. métodos de análise para gerar produtos úteis para a tomada de decisão; e
- c. processo de *Feedback* de informações para realimentar o sistema com observações de campo para melhorar a confiabilidade das análises do SGP.

As principais escolhas para um método de análise, em ordem crescente de sofisticação, são: análise das condições do pavimento, modelos de priorização de avaliações e modelos de otimização de rede. A Figura 3.3 ilustra uma representação esquemática dos módulos de um SGP.

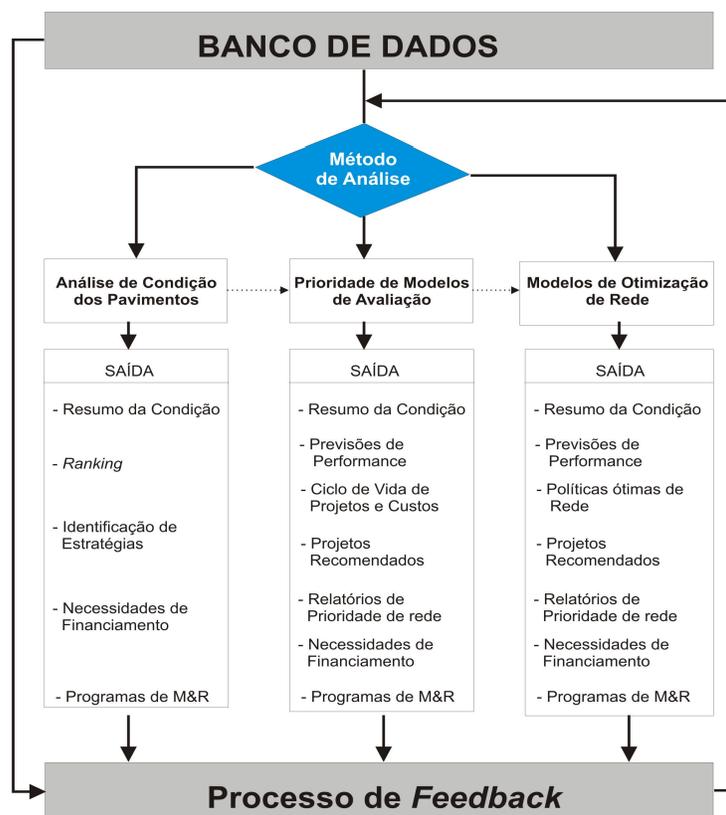


Figura 3.3: Representação Esquemática dos Módulos de um SGP (AASHTO, 1990)

Os componentes principais de um SGP incluem inventários, análise da condição atual, estratégias possíveis, necessidades de recursos, prioridades para as necessidades, programas de intervenções e estimativas orçamentárias (VIVIANE, 1998).

3.5. ETAPAS DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Segundo MARCON (1996), as etapas principais de um SGP são as seguintes:

- a. **decisão e apoio:** é a primeira e fundamental etapa, caracterizada pela decisão da direção da organização de implementar o SGP, conjugada ao comprometimento de apoiar todas as atividades necessárias para atingir os objetivos traçados;
- b. **comitê piloto:** a função do grupo é coordenar as atividades iniciais de concepção e supervisionar o desenvolvimento e implantação do sistema. As principais funções do comitê, com relação ao SGP, são: analisar metodologias e dados existentes que podem ser aproveitados, avaliar os recursos

disponíveis e necessários, definir os objetivos do sistema e os dados a serem coletados; indicar possíveis mudanças nos procedimentos e definir o número, a qualificação e as funções das pessoas necessárias para a operação do SGP;

- c. **grupo de gerência:** é um grupo de técnicos criado para coordenar e executar as atividades de implementação e operação do SGP;
- d. **consultoria:** um grupo de consultores deverá ser contratado caso as necessidades exijam;
- e. **caracterização do sistema:** consiste na definição dos procedimentos, dos tipos de informação e dos recursos necessários ao sistema, tais como: equipamentos e metodologia de coleta de dados, custos de desenvolvimento, implantação e operação do sistema, características do banco de dados, meios de comunicação internos e externos ao sistema, tipos de relatórios e respectivos destinatários e programa de trabalho;
- f. **desenvolvimento do sistema:** compreende as atividades de coleta e tratamento de dados, segmentação da rede, adoção ou determinação de modelos de previsão, criação e implementação do banco de dados e determinação do estado e necessidade da rede;
- g. **critérios de priorização e modelos de otimização:** consiste na escolha de critérios e metodologias que viabilizem a seleção dos serviços de manutenção a executar, diante de restrições orçamentárias e técnicas. A otimização da aplicação dos recursos disponíveis é uma meta a ser alcançada;
- h. **implementação:** é a colocação em prática das metodologias e sistemáticas de trabalho definidas para operação do sistema; e
- i. **aperfeiçoamento:** a busca da melhoria do SGP deve ser uma meta. Isto é possível através de atividades como: monitoramento periódico da rede de pavimentos, análise de dados, treinamento e utilização de técnicas mais aperfeiçoadas.

3.6. SISTEMA DE GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS

Conforme descrito no Capítulo 2, as estradas não pavimentadas representam 90% da malha viária brasileira e são de grande importância para a economia do país por possibilitarem o escoamento de suas riquezas.

Estradas com essas características necessitam da implementação de sistemas de gerência, de tal forma que haja um programa contínuo de manutenção e reabilitação da malha viária. Com a implementação desse sistema, abre-se um leque de perspectivas de soluções que possam garantir uma adequada funcionalidade com segurança e qualidade para seus usuários durante o ano inteiro, a um custo financeiro e ambiental bastante reduzido (MOREIRA, 2003).

A implementação de um SGP depende principalmente de três fatores: dados confiáveis, modelos realísticos para o processamento dos dados e programas amigáveis para a organização dos dados e apresentação dos resultados (BERTOLLO, 1997).

Poucos são os Sistemas de Gerência de Pavimentos que contemplam as vias não-pavimentadas brasileiras. No Ceará, não há indícios de aplicação de um SGP dessa natureza. Tentando reverter esse quadro, alguns trabalhos foram realizados em vias cearenses e algumas etapas de um SGP foram desenvolvidas.

Dentre esses trabalhos, CORREIA (2003) desenvolveu um modelo de avaliação das condições de rolamento de superfícies não pavimentadas a partir de dados coletados em estradas de terra no município de Aquiraz, no Ceará. MOREIRA (2003) aperfeiçoou esse modelo e determinou equações de previsão de desempenho quanto à serventia de tais estradas de terra. NUNES (2003) desenvolveu um método de previsão de defeitos em estradas de terra com base no uso de redes neurais artificiais utilizando dados coletados nas mesmas vias que os outros dois autores.

O presente trabalho também visa colaborar com a concepção de um SGP aplicável à realidade das estradas de terra no Estado do Ceará. Parte dessa colaboração consiste na adaptação de um modelo norte-americano de avaliação de superfícies não pavimentadas para ser utilizado em vias locais. O próximo capítulo caracteriza os métodos para avaliação de condições de rolamento de vias não pavimentadas utilizados nesse trabalho.

CAPÍTULO 4

MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

4.1. INTRODUÇÃO

No Capítulo 3, observou-se que um sistema de gerência de pavimentos – SGP é composto de três módulos. Um deles consiste na utilização de métodos de análises dos quais fazem parte as metodologias de avaliação da superfície de rolamento. Segundo FONTENELE (2001), estas metodologias de avaliação são divididas em dois tipos: subjetiva e objetiva.

Na avaliação subjetiva, as condições da superfície de rolamento de uma via são obtidas a partir de notas atribuídas ao pavimento por uma série de avaliadores. Em tal procedimento, os avaliadores, devidamente treinados, percorrem os trechos de uma estrada de terra na velocidade operacional permitida e, de dentro do veículo, atribuem notas subjetivas de acordo com uma escala de valores previamente definida, indicando sua sensação quanto ao conforto e suavidade ao rolamento (FONTENELE, 2001).

Na avaliação objetiva, as condições das superfícies sustentam-se em dados coletados a respeito dos defeitos existentes na seção da estrada a ser analisada, identificando o tipo de defeito, sua severidade e densidade (FONTENELE, 2001).

Neste trabalho são abordados três diferentes métodos objetivos para análise das condições de rolamento da superfície de uma estrada de terra: ALYNO, ALYNOMO e USACE, cujas características encontram-se descritas neste capítulo.

4.2. MÉTODO ALYNO

O método ALYNO foi desenvolvido por CORREIA (2003) e avalia as condições de rolamento de uma estrada de terra a partir do cálculo de um índice de condição – IC denominado Índice de Serventia Relativa por Trecho – IST. Segundo o autor, o estudo para desenvolver essa metodologia baseou-se nas características locais de materiais, pluviometria, tráfego, topografia e nos defeitos encontrados em algumas estradas não pavimentadas localizadas no município de Aquiraz, no Ceará, variando o valor do IST de acordo com as características e dimensões dos

defeitos encontrados sobre a superfície de rolamento analisada. As características das superfícies das vias analisadas foram obtidas através de levantamentos topográficos realizados com equipamentos de alta precisão, como: estação total e sistemas de posicionamento global – GPS diferencial de precisão milimétrica.

A partir dos dados obtidos nesses levantamentos, foram geradas curvas de níveis em intervalos de dois centímetros. Com essas curvas foi possível reproduzir um modelo tri-dimensional do terreno que facilitou a identificação e mensuração dos defeitos existentes. Com a utilização de *softwares* específicos como o *Topograph* e o *Autocad*, foram obtidos os perfis longitudinais e as seções transversais das vias analisadas. Com a disponibilidade de todas essas informações, a metodologia ALYNO é capaz de fornecer resultados com valores muito próximos aos reais.

Uma característica peculiar do método ALYNO é a segmentação da via estudada em trechos retilíneos de 100m, podendo ter pequenas variações nas curvas. Os dados que caracterizam as vias e os defeitos nelas encontrados, são obtidos através de levantamentos topográficos de alta precisão realizados com estação total eletrônica. Esses levantamentos são realizados de modo a abranger todo o leito estradal e também o contorno de cada tipo de defeito identificado visualmente.

Após o levantamento topográfico, a estação total é conectada a um computador para descarregar as informações coletadas em campo. Geralmente esse equipamento vem acompanhado de um cabo para essa conexão e de um *software* que identifica o formato dos dados armazenados em seu disco rígido. A maioria desses *softwares* lê os dados e os exporta em formato de arquivo de desenho do Autocad (.DXF). Esse formato é reconhecido por sistemas computacionais específicos para topografia, tais como o *Topograph* da *Char Pointer* e o *Softdesk* da *Autodesk*. Esses programas têm a capacidade de gerar uma triangulação entre as cotas dos pontos levantados em campo possibilitando os cálculos de curvas de nível para representar a altimetria do local medido.

Através das curvas de níveis e de outros elementos geométricos (planta baixa, perfil longitudinal e seção transversal) gerados por *softwares*, torna-se possível à identificação e mensuração dos defeitos existentes sobre a via.

É importante salientar que, devido à alta precisão dos resultados fornecidos por este tipo de equipamento, o levantamento tem um caráter bastante objetivo que possibilita reproduzir fielmente o leito estradal e seus defeitos. Esse fato elimina as

possibilidades de divergências entre os dados estudados e os dados reais existentes em campo.

4.2.1. Cálculo do Índice de Condição do Método ALYNO

No método ALYNO, o índice de condição (IC) a ser determinado é denominado de Índice de Serventia Relativa por Trecho - IST. Este índice é calculado em função das características dos defeitos e dos impactos que os mesmos provocam sobre o estado da superfície do pavimento.

O índice supracitado é determinado a cada 100m da via não pavimentada analisada, podendo ter variações de extensão nas curvas, através da análise de sete tipos de defeitos, com seus respectivos níveis de severidade, os quais foram propostos inicialmente para o método USACE divulgado por EATON *et al* (1992) e se encontram citados, descritos e ilustrados no Anexo 1. A seguir é descrita a seqüência para a determinação do valor do IST:

- a. nesse método, as vias são divididas em segmentos, normalmente com comprimentos retilíneos de 100m, podendo ter pequenas variações nas curvas;
- b. em cada segmento, deve ser realizado um levantamento topográfico de alta precisão com equipamento eletrônico apropriado (estação total);
- c. a classificação deve identificar o defeito como um dos tipos apresentados no Anexo 1;
- d. os níveis de severidade dos tipos de defeitos também devem seguir as especificações apresentadas no Anexo 1;
- e. os defeitos com níveis de severidade baixa recebem o valor 1 para o grau de severidade individual, os com nível médio recebem o valor 2 e os com nível alto recebem o valor 3;
- f. a severidade média por trecho (SMT) de cada tipo de defeito será definida pela média aritmética dos graus de severidades individuais de cada defeito desse tipo;
- g. a densidade superficial relativa (DRT) de cada defeito consiste no quociente entre a soma das áreas (ou das extensões) dos defeitos do tipo analisado pela área total (ou extensão total) do trecho;

- h. o ISTdef consiste na Índice de serventia relativa por trecho de cada tipo de defeito. Esse índice é proveniente do produto dos valores de SMT e DRT calculados para cada tipo de defeito;
- i. o IST total do trecho será o maior dentre os índices calculados para os tipos de defeitos; e
- j. o índice deve ser comparado na escala mostrada na Tabela 4.1, para obter uma classificação das condições de rolamento da superfície do trecho analisado.

A Figura 4.1 ilustra um resumo da seqüência que deve ser seguida para a determinação do IST.

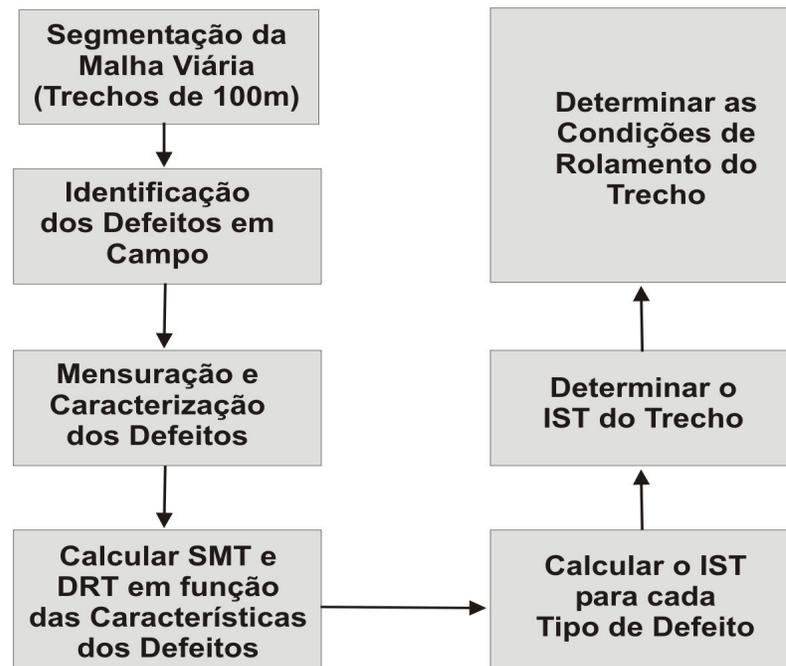


Figura 4.1: Seqüência de Cálculo do IST – Método ALYNO

Tabela 4.1: Classificação para o Índice de Serventia Relativa por Trecho

IST	Classificação
<i>0,0 – 0,1</i>	Excelente
<i>0,2 – 0,3</i>	Bom
<i>0,4 – 0,6</i>	Regular
<i>0,7 – 0,9</i>	Ruim
<i>1,0 – 1,4</i>	Muito Ruim
<i>1,5 – 3,0</i>	Péssima

Fonte: CORREIA (2003)

4.3. MÉTODO ALYNOMO

O método ALYNOMO foi desenvolvido por MOREIRA (2003) e pode ser considerado como uma evolução do método ALYNO. A principal diferença entre os métodos consiste na divisão dos trechos a serem analisados.

No método ALYNO a via é segmentada em trechos a cada 100m, já no método ALYNOMO a via é segmentada em trechos que apresentem materiais com mesmas características geotécnicas. Esses segmentos passam a ser chamados de Zonas Geotécnicas – ZG, nas quais as características geotécnicas do solo são consideradas homogêneas.

Cada zona geotécnica é subdividida em segmentos que apresentem as mesmas características de geometria longitudinal, caracterizadas pelas mesmas inclinações de rampas. Cada segmento proveniente dessa nova divisão passa a ser chamado de zona topográfica de uma zona geotécnica. Em cada zona topográfica, a variável inclinação de rampa é considerada constante.

Nesse método também são calculados os elementos relativos aos níveis de severidade de cada tipo de defeito e a densidade superficial relativa dos mesmos. O princípio de cálculo é o mesmo do método ALYNO, sendo que no método ALYNOMO, os índices são calculados para cada zona topográfica analisada. A seqüência mostrada na Figura 4.2 ilustra de forma simplificada a determinação do Índice de Condição de superfície de rolamento nesse novo método.

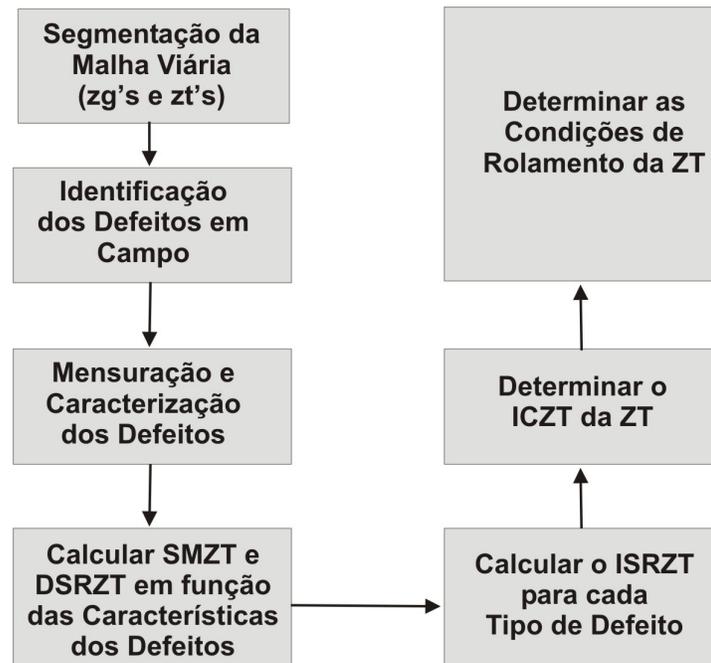


Figura 4.2: Seqüência de Cálculo do ICZT – Método ALYNOMO

4.3.1. Cálculo do Índice de Condição do Método ALYNOMO

A seguir é descrita detalhadamente a seqüência para a determinação do Índice de Condição de Zona Topográfica – ICZT:

- a. nesse método, as vias são divididas em segmentos que apresentem solos como mesmas características geotécnicas. Esses segmentos são chamados de Zonas Geotécnicas – ZGs;
- b. cada ZG deve ser dividida em segmentos que apresentem as mesmas inclinações de rampa. Esses novos segmentos são chamados de Zonas Topográficas – ZTs;
- c. em cada ZT, deve ser realizado um levantamento topográfico de alta precisão com equipamento eletrônico apropriado (estação total);
- d. a classificação deve identificar o defeito como um dos tipos apresentados no Anexo 1;
- e. os níveis de severidade dos tipos de defeitos também devem seguir as especificações apresentadas no Anexo 1;

- f. os defeitos com níveis de severidade baixa recebem o valor 1 para o grau de severidade individual (GSID), os com níveis médio recebem o valor 2 e os com nível alto recebem o valor 3;
- g. a severidade média por zona topográfica (SMZT) de cada tipo de defeito será definida pela média aritmética dos graus de severidade individual (GSID) de cada defeito desse tipo;
- h. a densidade superficial relativa (DSRZT) de cada defeito consiste no quociente entre a soma das áreas ou comprimentos dos defeitos do tipo analisado pela área ou comprimento total da zona topográfica;
- i. o ISRZTdef consiste no Índice de serventia relativa por zona topográfica de cada tipo de defeito. Esse índice é proveniente do produto dos valores de SMZT e DSRZT calculados para cada tipo de defeito;
- j. o Índice de Condição total da zona topográfica – ICZT será o maior dentre os ISRZT calculados para os tipos de defeitos; e
- k. o índice deve ser comparado na escala mostrada na Tabela 4.2, para obter uma classificação das condições de rolamento da superfície do trecho analisado.

O índice de serventia de um trecho mede o quanto esse trecho é funcional e confortável ao tráfego por ele utilizado. Com isso, a serventia é inversamente proporcional à severidade. O método ALYNOMO adota um Índice de Serventia por Zona Topográfica – ISZT que consiste no valor 3 subtraído do valor do Índice de Condição por Zona Topográfica (ICZT). A Tabela 4.3 mostra a escala de valores para o ISZT.

Tabela 4.2: Classificação para o Índice de Condição de Zona Topográfica

ICZT	Classificação
<i>0,000 – 0,199</i>	Excelente
<i>0,200 – 0,649</i>	Bom
<i>0,650 – 1,099</i>	Regular
<i>1,100 – 1,599</i>	Ruim
<i>1,600 – 2,199</i>	Muito Ruim
<i>2,200 – 3,000</i>	Péssima

Fonte: MOREIRA (2003)

Tabela 4.3: Classificação para o Índice de Serventia de Zona Topográfica

ISZT	Classificação
0,000 – 0,199	Péssima
0,200 – 0,649	Muito Ruim
0,650 – 1,099	Ruim
1,100 – 1,599	Regular
1,600 – 2,199	Bom
2,200 – 3,000	Excelente

Fonte: MOREIRA (2003)

4.4. MÉTODO UTILIZADO PELO USACE (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS)

Segundo CORREIA (2003), esse método foi proposto pelo *Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, do *United States Army Corps of Engineers* – USACE e apresentado por EATON *et al* (1992). Segundo FONTENELE (2001), esse modelo foi desenvolvido a partir da evolução de um modelo já utilizado em vias pavimentadas denominado de *PAVER*.

Esse modelo determina as condições de rolamento de uma superfície não pavimentada a partir da determinação de um índice, o qual é calculado em função das características dos defeitos apresentados por tal superfície.

O método utilizado pelo USACE pode ser considerado como uma inspiração para elaboração dos outros dois já citados. Vários são os trabalhos nacionais que aplicam, se baseiam ou citam essa metodologia, dentre os quais: ODA (1995), FONTENELE (2001), CORREIA (2003), MOREIRA (2003), BAESSO & GONÇAVELS (2003) e NUNES (2003).

Uma limitação da aplicação desse método no Brasil foi identificada em todos esses trabalhos e consiste na divergência de variáveis apresentadas entre o ambiente americano, para o qual foi desenvolvido, e o ambiente brasileiro.

O Índice de Condição calculado é o *Unsurfaced Road Condition Index* – URCI. Uma particularidade dessa metodologia é a utilização de curvas específicas para cada nível de severidade de cada tipo de defeito. Os resultados são fornecidos a partir de valores deduzidos dos defeitos que indicam o quanto cada defeito influencia nas

condições de rolamento da via não pavimentada. A seqüência para determinação do URCI encontra-se ilustrada na Figura 4.3.

O primeiro passo para a aplicação da metodologia do USACE consiste na divisão da via em ramos, os mesmos são divididos em seções e essas são divididas em unidades amostrais.

A divisão da via em ramos é realizada tomando como critério a finalidade que cada um desempenha dentro da mesma (vias individuais, áreas de estacionamento, etc). Os ramos são divididos em seções de acordo com a característica individual que cada uma mantém ao longo de toda a sua extensão (composição estrutural, espessura, materiais, tráfego, histórico construtivo, etc). As seções são divididas aleatoriamente em unidades amostrais de 250 m² de área. Essas unidades amostrais são o menor componente da rede e são utilizadas para fins de inspeções das condições da rodovia. Nesse modelo, para cada unidade amostral deve ser determinado um *URCI*. Os defeitos medidos são os mesmos dos outros dois métodos supracitados e são apresentados no Anexo 1.

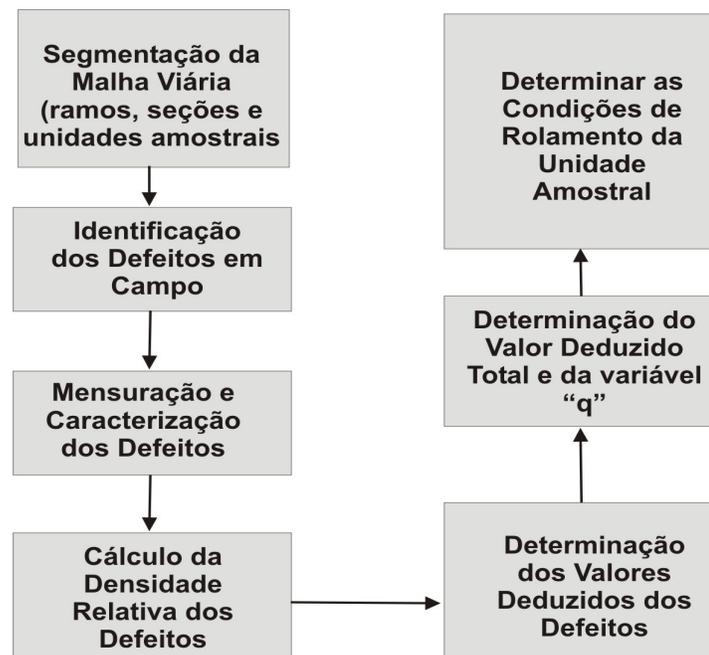


Figura 4.3: Seqüência para Determinação do URCI

4.4.1. Seqüência Para Determinação do URCI

Após a segmentação da via, deve ser calculado um URCI para cada unidade amostral baseando-se na seguinte seqüência:

- a. identificar e classificar os defeitos de acordo com os tipos listados no Anexo 1;
- b. identificar as dimensões dos defeitos usando técnicas citadas por EATON *et al* (1992) e, a partir dos resultados, atribuir níveis de severidade aos mesmos;
- c. calcular a densidade relativa de cada tipo de defeito dividindo sua área ou comprimento pela área da unidade amostral analisada;
- d. obter o valor deduzido de cada defeito através da curva apropriada ao seu tipo e nível de severidade em função de sua densidade calculada;
- e. somar todos os valores deduzidos encontrados, determinando assim o Valor Deduzido Total (VDT);
- f. identificar a quantidade de defeitos que apresentem um valor deduzido maior ou igual a 5 e atribuí-la à variável q ;
- g. utilizar as curvas apropriadas para determinar o URCI em função do VDT e da variável q ; e
- h. comparar o valor do URCI em uma escala de valores própria da metodologia para determinar a condição de rolamento da superfície da unidade amostral analisada. A Figura 4.4 ilustra a escala utilizada no método do USACE.



Figura 4.4: Escala para Comparação do URCI (BAESSO & GONÇALVES, 2003)

O Capítulo 5 apresenta a automação realizada no método para facilitar a aplicação do mesmo e o cálculo do URCI.

CAPÍTULO 5

AUTOMAÇÃO DO MÉTODO USACE

5.1. JUSTIFICATIVA

O método do USACE (*United States Army Corps of Engineers*), conforme definido no capítulo anterior, utiliza curvas para a determinação de valores dedutíveis, relativos a cada tipo de defeito e também para a determinação do índice que o associa a condição de rolamento da via não pavimentada.

A utilização dessas curvas, dispostas em nomogramas, dificulta o processo para a determinação do *Unsurfaced Road Condition Index* – URCI, pois esse processo depende da acuidade visual dos avaliadores, a qual pode ser influenciada por condições físicas e psicológicas e criar um aspecto de subjetividade aos resultados.

A grande vantagem no uso dos nomogramas é que eles podem ser utilizados em campo, onde não haja um equipamento eletrônico capaz de realizar cálculos.

A utilização dos nomogramas torna a aplicação do método USACE cansativa e susceptível a erros, os quais podem ter as seguintes causas: problemas na digitação, consistência na leitura de valores obtidos do gráfico e erros de cálculos.

A aplicação dessa metodologia em larga escala torna necessária à utilização de profissionais especializados e experientes na leitura dos nomogramas. Esse fato demanda uma quantidade considerável de tempo.

Para melhorar a qualidade e a precisão dos resultados obtidos, nesse trabalho foi desenvolvido um sistema informatizado para substituir a leitura direta dos nomogramas. Com isso, buscou-se facilitar a obtenção dos resultados e minimizar os erros que, porventura, viessem a ocorrer na utilização tradicional do método.

Segundo FONTENELE (2001), os nomogramas utilizados no método do USACE evoluíram do sistema PAVER desenvolvido para a avaliação de estradas pavimentadas e as curvas foram validadas de forma experimental.

Alguns ajustes foram realizados para que essas curvas reproduzissem os valores avaliados em campo. A avaliação foi realizada por um grupo de avaliadores especializados, apresentando assim um caráter subjetivo. Essa subjetividade ficou

mais clara à medida que equações associadas às curvas não foram encontradas nas bibliografias consultadas.

Para programar os nomogramas (planilhas eletrônicas e *software*) se fez necessário determinar e validar as equações representativas de cada uma das curvas.

5.2. NOMOGRAMAS UTILIZADOS PELO MÉTODO USACE

No método do USACE são utilizados sete tipos de nomogramas diferentes. Seis deles são usados para a determinação do valor dedutível de um defeito em função do seu tipo, da sua densidade e do seu nível de severidade. O sétimo nomograma, elaborado para determinar o URCI, utiliza como parâmetros o número de valores dedutíveis maiores do que cinco e o somatório dos valores dedutíveis.

Cada nomograma utilizado para a determinação de valores dedutíveis contém três curvas distintas, uma para cada nível de severidade (alta, média e baixa). O nomograma que determina o URCI contém sete curvas, o que totaliza vinte e cinco curvas no método inteiro. As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam os dois tipos de nomogramas utilizados.

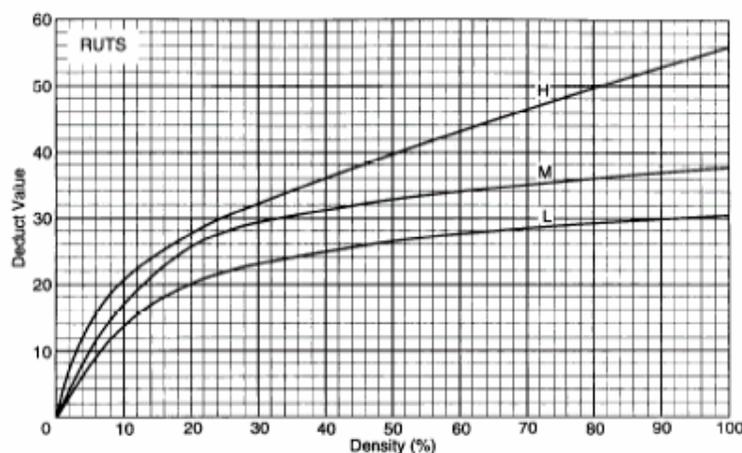


Figura 5.1: Nomograma Utilizado para Determinação do Valor Deduzido do Defeito Trilha de Roda (TM 5-626, 1995)

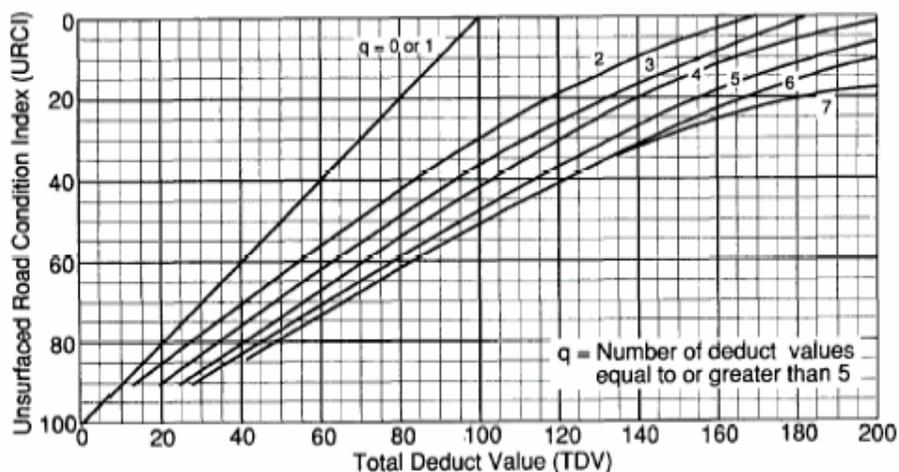


Figura 5.2: Nomograma Utilizado para Determinação do URCI (TM 5-626, 1995)

As demais curvas utilizadas pelo método do USACE podem ser encontradas no Anexo 2.

5.3. METODOLOGIA UTILIZADA PARA DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES

Para a determinação das equações das curvas dos nomogramas apresentados no método do USACE, foi realizada a seguinte seqüência de atividades:

- a. **digitalização dos nomogramas:** os nomogramas foram digitalizados através de um *scanner* e os arquivos de imagens foram salvos no formato JPEG;
- b. **resgate das escalas das imagens:** ao serem digitalizadas, as imagens ficam susceptíveis a redimensionamentos que prejudicam as escalas originais das mesmas. Para evitar a leitura em escalas alteradas, as figuras, após a digitalização, foram importadas para o Autocad (*software* de desenho técnico) onde foram redimensionadas para suas escalas reais. Essa ação elimina os erros provocados pela falta de precisão nas digitalizações;
- c. **vetorização dos nomogramas:** após o redimensionamento das imagens, as mesmas foram vetorizadas, de forma a obter a reprodução do nomograma como desenho do Autocad. Ao final da vetorização, todas as figuras foram transformadas em desenhos técnicos, os quais permitem a determinação das coordenadas de qualquer ponto sobre uma curva;
- d. **obtenção das coordenadas dos pontos das curvas:** para obtenção das coordenadas de cada curva, foi utilizada uma rotina em LISP (linguagem de programação do Autocad) desenvolvida por PRATA *et al* (2004), a qual tem a

função de ler o máximo possível de pontos sobre uma curva e gerar as coordenadas de cada um em arquivos de texto;

- e. **reprodução dos nomogramas:** após a obtenção das coordenadas dos pontos, as mesmas foram inseridas no *Excel*, programa de planilha eletrônica que permite a montagem de vários tipos de gráficos. Um desses tipos utiliza dispersão de pontos, e foi utilizado nesse trabalho, gerando um gráfico para cada nomograma. Para os nomogramas que calculam os valores dedutíveis dos defeitos, foram utilizadas três seqüências de dados, uma para cada nível de severidade, sendo os dados utilizados na criação dos gráficos as coordenadas obtidas no processo descrito no item anterior. A Figura 5.3 mostra o gráfico obtido para calcular os valores dedutíveis do defeito trilha de roda em função da densidade e dos níveis de severidade; e
- f. **obtenção das equações:** para a obtenção das equações necessárias para calcular os valores dedutíveis dos defeitos e o valor do URCI, sem a utilização dos nomogramas, foram adicionadas linhas de tendência em cada curva. O *Excel* tem a propriedade de mostrar a equação, obtida através de técnicas de regressão, que mais se aproxima da linha de tendência criada para cada curva. Vale ressaltar que, além da equação de regressão, o mesmo exibe o coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas. É importante salientar que todas as equações geradas durante esse processo apresentaram uma relação entre as variáveis (R^2) maior que 99,5%.

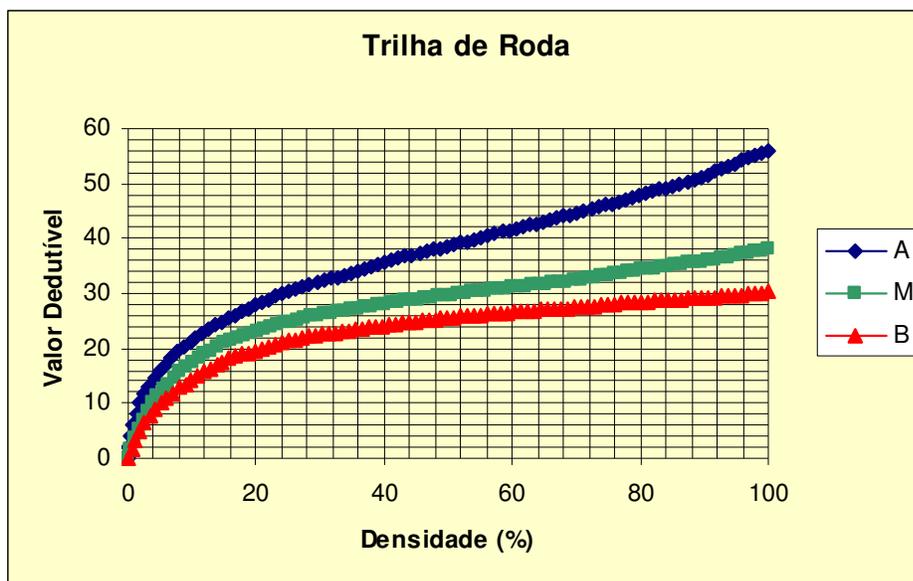


Figura 5.3: Gráfico que Reproduz o Nomograma para Cálculo do Valor Dedutível do Defeito Trilha de Roda

5.4. EQUAÇÕES ENCONTRADAS PARA CADA NOMOGRAMA

Durante o processo de regressão para determinação das equações, foi verificado que em certos intervalos, em cada curva, o coeficiente de correlação entre as variáveis estava diminuindo consideravelmente. Para minimizar a dispersão e, conseqüentemente, o erro, as equações foram geradas para segmentos de curvas. Com isso, a precisão dos resultados aumentou. As equações encontradas para as curvas que determinam os valores dedutíveis dos defeitos estão mostradas nas Tabelas 5.1 e 5.2. As equações que calculam o URCl encontram-se na Tabela 5.3.

5.5. VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES ENCONTRADAS

No total foram determinadas 56 equações. Para validá-las foram utilizados dados retirados de ODA (1995). Esses dados relacionam as características dos defeitos (dimensões e níveis de severidade) e dos trechos nos quais estavam localizados. Os dados foram utilizados como variáveis das equações, das quais os resultados foram comparados com os obtidos no trabalho de ODA (1995). Através de métodos estatísticos de comparações de médias e variâncias, as equações foram validadas.

Tabela 5.1: Equações para Calcular o Valor Dedutível dos Defeitos 81, 82, 83 e 87

TIPO DE DEFEITO	NÍVEL DE SEVERIDADE	INTERVALO DE VALORES	EQUAÇÕES ENCONTRADAS
(81) SEÇÃO TRANVERSAL IMPRÓPRIA	Baixo	X menor do que 20	$Y = -0,0094x^2 + 0,8732x + 0,0077$
		X maior ou igual a 20	$Y = -0,0044x^2 + 0,6869x + 1,6585$
	Médio	X menor do que 20	$Y = -0,0058x^2 + 0,9579x - 0,0626$
		X maior ou igual a 20	$Y = -0,0073x^2 + 1,0693x - 1,6716$
	Alto	X menor do que 20	$Y = -0,0101x^2 + 1,3904x + 0,1438$
		X maior ou igual a 20	$Y = -0,008x^2 + 1,2041x + 3,0385$
(82) DRENAGEM LATERAL INADEQUADA	Baixo	Todos os Valores	$Y = -0,0012x^2 + 0,4602x - 0,1659$
	Médio	X menor ou igual a 8	$Y = 0,026x^2 + 0,5066x + 0,0482$
		X maior do que 8	$Y = -0,004x^2 + 0,7497x + 0,3291$
	Alto	X menor ou igual a 17	$Y = -0,0077x^2 + 1,0271x + 0,0493$
		X maior do que 17	$Y = -0,0018x^2 + 0,8064x + 2,1837$
	(83) CORRUGAÇÕES	Baixo	X menor ou igual a 50
X maior do que 50			$Y = -0,001x^2 + 0,3307x + 10,175$
Médio		X menor ou igual a 50	$Y = -0,005x^2 + 0,8361x + 0,7379$
		X maior do que 50	$Y = -0,0015x^2 + 0,4826x + 10,381$
Alto		X menor ou igual a 50	$Y = -0,007x^2 + 1,1488x + 0,5827$
		X maior do que 50	$Y = -0,0012x^2 + 0,5746x + 14,632$
(87) PERDA DE AGREGADOS	Baixo	X menor ou igual a 10	$Y = 0,0046x^3 - 0,0873x^2 + 0,9507x + 0,0584$
		X maior do que 10	$Y = -0,0037x^2 + 0,5346x + 0,6216$
	Médio	X menor ou igual a 10	$Y = -0,0218x^2 + 1,1941x - 0,1233$
		X maior do que 10	$Y = -0,0024x^2 + 0,4979x + 5,4833$
	Alto	X menor ou igual a 10	$Y = -0,0338x^2 + 1,6066x - 0,0302$
		X maior do que 10	$Y = -0,0028x^2 + 0,7652x + 6,5231$

* os valores de x representam a densidade (%) e os de y representam os valores dedutíveis

Tabela 5.2: Equações para Calcular o Valor Dedutível dos Defeitos 85 e 86

TIPO DE DEFEITO	NÍVEL DE SEVERIDADE	INTERVALO DE VALORES	EQUAÇÕES ENCONTRADAS
(85) BURACOS	Baixo	X menor ou igual a 5	$Y = 0,006x^5 - 0,1051x^4 + 0,7016x^3 - 2,1388x^2 + 4,2331x + 0,0069$
		X entre 5 e 15	$Y = -0,0316x^2 + 1,7403x + 0,58$
		X maior do que 15	$Y = -0,0111x^2 + 1,3492x + 1,737$
	Médio	X menor ou igual a 5	$Y = 0,0489x^3 - 0,5692x^2 + 4,592x - 0,0123$
		X entre 5 e 15	$Y = 0,0077x^3 - 0,3006x^2 + 5,2872x - 5,2692$
		X maior do que 15	$Y = 0,0002x^3 - 0,0277x^2 + 1,9105x + 9,7562$
	Alto	X menor ou igual a 5	$Y = -0,0944x^4 + 1,0663x^3 - 4,6118x^2 + 14,669x - 0,1146$
		X entre 5 e 15	$Y = 0,0046x^3 - 0,1902x^2 + 3,9053x + 17,013$
		X maior do que 15	$Y = -0,0082x^2 + 1,4739x + 28,088$
(86) TRILHAS DE RODA	Baixo	X menor ou igual a 16	$Y = -0,0013x^3 - 0,0065x^2 + 1,5762x - 0,0905$
		X entre 16 e 40	$Y = 0,0002x^3 - 0,0262x^2 + 1,2345x + 4,1786$
		X maior do que 40	$Y = -0,0009x^2 + 0,2065x + 18,278$
	Médio	X menor ou igual a 16	$Y = 0,0006x^3 - 0,068x^2 + 2,3458x - 0,3121$
		X entre 16 e 30	$Y = 0,002x^3 - 0,1637x^2 + 4,705x - 19,259$
		X maior do que 30	$Y = 6,8977\text{Ln}(x) + 5,7711$
	Alto	X menor ou igual a 16	$Y = 0,0068x^3 - 0,2572x^2 + 3,9388x + 0,2105$
		X entre 16 e 30	$Y = 0,0003x^3 - 0,0305x^2 + 1,4481x + 8,5107$
		X maior do que 30	$Y = -0,0006x^2 + 0,41x + 20,651$

* os valores de x representam a densidade (%) e os de y representam os valores dedutíveis

Tabela 5.3: Equações para Determinar o URCI

Nº DE VALORES DEDUTÍVEIS MAIORES QUE 5 (q)	INTERVALO DE VALORES	EQUAÇÕES ENCONTRADAS
0 ou 1	Todos os Valores	$Y = -1,0108x + 101,23$
2	X menor ou igual a 100	$Y = 0,0006x^2 - 0,7811x + 101,28$
	X entre 100 e 135	$Y = 0,0036x^2 - 1,363x + 130,22$
	X maior do que 135	$Y = -51,993\text{Ln}(x) + 265,96$
3	X menor ou igual a 90	$Y = 0,0008x^2 - 0,7573x + 104,54$
	X maior do que 90	$Y = -60,315\text{Ln}(x) + 314,08$
4	X menor ou igual a 140	$Y = 0,0006x^2 - 0,7258x + 108,97$
	X maior do que 140	$Y = 0,0022x^2 - 1,0565x + 124,46$
5	X menor ou igual a 100	$Y = -0,6009x + 107,71$
	X entre 100 e 170	$Y = 0,0012x^2 - 0,8147x + 117,3$
	X maior do que 170	$Y = -51,881\text{Ln}(x) + 280,14$
6	X menor ou igual a 150	$Y = 0,0007x^2 - 0,6748x + 111,57$
	X maior do que 150	$Y = -58,952\text{Ln}(x) + 321,29$
7	X menor ou igual a 180	$Y = 0,0014x^2 - 0,7948x + 116,25$
	X maior do que 180	$Y = -50,313\text{Ln}(x) + 275,98$

* os valores de x representam o valor dedutível total e os de y o URCI

Os dados utilizados na validação foram retirados de ODA (1995) pelo fato dessa publicação conter as características dos defeitos e os resultados da aplicação do método do USACE para avaliação de vias não pavimentadas no município de São Carlos, em São Paulo.

Durante a análise dos dados extraídos desse trabalho, foi observado que a aplicação da metodologia do USACE foi realizada de forma tradicional, ou seja, foram calculados e anotados os valores das densidades de cada defeito em relação ao trecho estudado, em seguida foram identificados e anotados os valores dedutíveis nos nomogramas. O próximo passo foi somar os valores dedutíveis anotados para encontrar o valor dedutível total, em seguida, foram verificados quantos eram maiores

que 5, determinando assim o valor da variável “q”. Os resultados obtidos foram utilizados para identificar o valor do URCI no correspondente nomograma. Com o valor do índice disponível, foi atribuída uma condição para a superfície de rolamento de cada trecho através da comparação em uma escala de valores, a qual foi mostrada na Figura 4.4.

Com a análise desse trabalho, foram confirmadas as suspeitas que a aplicação dessa metodologia de forma manual pode causar vários tipos de erros. Os erros mais comuns que foram detectados são os seguintes:

- a. **erros de digitação**: os valores das densidades foram calculados corretamente, mas em alguns casos foram anotados de forma errônea, provocando assim uma distorção nos resultados dos valores dedutíveis e, conseqüentemente, prejudicando o restante dos resultados;
- b. **erros de leitura**: foram verificados alguns erros de leitura nos nomogramas;
- c. **erros de aproximação**: devido a pouca precisão do olho humano, os valores identificados nos nomogramas foram aproximados. As leituras geralmente terminavam em 0 (zero) ou 5 (cinco) e apresentavam apenas uma casa decimal. Devido a isso, em alguns trechos, os resultados apresentaram divergências em relação aos calculados sem aproximação de valores;
- d. **erros no somatório**: outro tipo de erro verificado durante a análise, foi no somatório dos valores dedutíveis. Esse fato provoca uma divergência na determinação do URCI;
- e. **erro na determinação do valor da variável “q”**: outro erro identificado foi na contagem dos valores dedutíveis maiores que 5, para determinação do valor da variável “q”. Em alguns trechos essa contagem não foi realizada corretamente, o que provocou divergência na determinação do URCI; e
- f. **erro na leitura do URCI**: um erro que ocorreu poucas vezes, mas que deve ser levado em consideração, foi na leitura do URCI na escala de valores que associa o mesmo a uma condição para a superfície de rolamento.

Esses erros podem ter várias causas, que variam desde a inexperiência do avaliador até a disposição física e mental do mesmo. Outras prováveis causas seriam a precisão do olho humano, a iluminação do ambiente e as condições de trabalho

também podem provocar alguns desses erros. A utilização de ferramentas eletrônicas torna as avaliações mais confiáveis, de modo que os erros provenientes da medição manual possam ser evitados.

Devido a esses erros, foram utilizados para validação das equações, apenas os trechos cujos valores mais se aproximaram dos fornecidos pelas equações e pelos nomogramas digitalizados, simultaneamente.

5.5.1. Utilização de Métodos Estatísticos para Validação das Equações

Foram utilizados métodos estatísticos de comparação de médias e variâncias para validação das equações e para comparar os resultados foram realizados testes de hipóteses para estimar o comportamento da população, uma vez que os dados eram amostrais. O objetivo desses testes de hipóteses é indicar se as médias dos valores dos resultados obtidos com as equações são iguais as médias dos valores obtidos da leitura dos nomogramas. A igualdade das médias prova que as equações podem perfeitamente substituir a leitura dos nomogramas.

O resultado do teste de hipóteses que compara as variâncias define qual o tipo de teste que deve ser realizado para a comparação das médias. As hipóteses levantadas para a comparação das variâncias foram as seguintes:

- a. $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (As Variâncias são equivalentes); e
- b. $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (As Variâncias são diferentes).

A aplicação desse teste foi realizada com auxílio do *Excel*, visto que o mesmo possui uma ferramenta de análise que disponibiliza funções para obtenção dos resultados. Como as hipóteses apresentam situação de igualdade ou não, o teste é bilateral. O tipo de teste de hipóteses utilizado nesse caso foi o teste F de *Snedocor*. Algumas das características desse teste são:

- a. a normalidade é adotada e o teste é sensível a violações dessa suposição;
- b. o teste para verificação de igualdade das variâncias tem um desempenho melhor quando o tamanho das amostras é igual;
- c. o teste não é muito poderoso, ou seja, a hipótese nula (H_0) não será rejeitada em muitos casos em que as variâncias são realmente diferentes. Para

minimizar este problema, é sugerido que o teste seja realizado com um α (nível de significância) relativamente alto; e

- d. o nível de significância utilizado para esse teste foi de 20%.

A próxima etapa da validação foi determinar se as médias dos resultados obtidos em cada situação eram iguais ou não. As hipóteses levantadas para aplicação da comparação das médias foram as seguintes:

- a. $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (As médias são iguais);
b. $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (As médias são diferentes);

O teste de hipóteses utilizado para esse tipo de comparação foi o teste T de *Student*. A aplicação desse teste foi realizada com auxílio do *Excel*, o qual disponibiliza em sua ferramenta de análise duas situações para utilização do teste T de *Student*: teste para duas amostras com variâncias equivalentes e teste para duas amostras com variâncias diferentes. O nível de significância do usado para o teste T foi de 5%.

A aplicação desses testes de hipóteses indicou que as médias dos dois tipos de resultados são iguais em todas as situações, tornando válido assim a aplicação das equações em substituição a leitura dos nomogramas. Todos os resultados obtidos nos testes podem ser vistos no Anexo 3.

O Capítulo 6 indica e caracteriza uma adaptação realizada no método do USACE para que o mesmo possa fornecer resultados idênticos aos do método ALYNOMO.

CAPÍTULO 6

ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DO USACE À ÁREA DE ESTUDO

6.1. INTRODUÇÃO

O método do *USACE* foi desenvolvido pelo corpo de engenheiros do exército americano com o intuito de preservar as estradas de terra por onde trafegavam os equipamentos militares. Segundo FONTENELE (2001), esse método foi desenvolvido ao longo de muito tempo de pesquisa e de coleta de dados em diversos cenários e em estações do ano distintas. Os dados foram coletados por engenheiros avaliadores treinados, os quais analisaram as condições de rolamento de uma via não pavimentada e emitiram uma nota para o desempenho da mesma (valores de dedução) em função da densidade dos defeitos encontrados.

Após medições em segmentos que apresentaram vários tipos de materiais, os engenheiros do *USACE* conseguiram ajustar curvas para cada tipo de defeito com seu respectivo nível de severidade. Essas curvas representam condições influenciadas por diversas variáveis endógenas (materiais, topografia, etc.) e exógenas (clima, tráfego, etc.).

Em seu trabalho de mestrado, ODA (1995) utilizou esse método com a intenção de avaliar algumas estradas de terra no município de São Carlos, em São Paulo. Ao longo do trabalho foi concluído que seria necessário realizar adaptações no método para que o mesmo pudesse fornecer uma classificação mais próxima da realidade brasileira, salientando que, as curvas originais foram obtidas em nove anos de pesquisas.

FONTENELE (2001) realizou um trabalho com o objetivo de criar curvas de níveis de severidades, como aquelas encontradas no método do *USACE*, baseadas nas informações obtidas em vias não pavimentadas do município de São Carlos, em São Paulo. Para isso, foi montado um painel de avaliadores formado por engenheiros treinados, os quais realizaram inspeções nas vias e atribuíram notas aos defeitos de acordo com sua densidade. Os índices de condição obtidos pela aplicação do método do *USACE* e pela adaptação desenvolvida apresentaram baixa correlação, refletindo e reforçando a necessidade de adaptação do método do *USACE* à realidade brasileira.

6.2. JUSTIFICATIVA DA ADAPTAÇÃO

Segundo FONTENELE (2001), a validação das curvas de valores deduzidos ocorreu após sete levantamentos de campo em instalações militares ou em áreas próximas, realizados pelos pesquisadores do USACE. Esses levantamentos forneceram dados representativos de vários tipos de solos, agregados de superfície, condições ambientais e graus de manutenção. Esse fato indica que essas curvas, depois de validadas, passaram a representar a experiência obtida pelos avaliadores ao longo do processo de ajuste e validação das mesmas.

Atinando para essa experiência, esse trabalho buscou adaptar o método desenvolvido pelo *USACE* de modo a manter intacto o princípio de utilização das curvas de valores deduzidos, procurando ajustar os resultados para classificarem as estradas de terra locais de acordo com a realidade da área de estudo. Com isso há um ganho em relação aos levantamentos de campos necessários para criação de curvas similares condizentes com a realidade da área de estudo, pois os mesmos demandariam muito tempo e recurso.

Este trabalho enfoca uma tentativa de adaptação para permitir a utilização das curvas de valores dedução do método original em estradas de terra cearenses.

Para essa adaptação, os resultados fornecidos pelo método do *USACE* foram comparados aos obtidos pelo método *ALYNOMO*, o qual foi desenvolvido para classificação das condições de rolamento de estradas de terra no município de Aquiraz, no Ceará. Esse método foi desenvolvido por MOREIRA (2003) e é apresentado com detalhes no Capítulo 4.

6.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DO USACE E ALYNOMO

6.3.1. Análise do Método do USACE

Analisando as etapas do método desenvolvido pelo *USACE* conclui-se que o mesmo classifica as condições de uma via levando em consideração a influência individual que cada defeito exerce sobre a serventia da mesma. A partir do momento que, para cada defeito encontrado sobre a superfície da via, é calculado um valor dedutível, torna-se visível a influência que cada um deles provoca nas condições de rolamento.

Ao se calcular o Valor de Dedução Total (VDT) é identificada a influência do conjunto de todos os defeitos encontrados sobre a via nas suas condições de rolamento.

O URCI é calculado em função do VDT e de uma constante q , a qual depende da quantidade de defeitos cujos valores de dedução são maiores que cinco unidades. Isso indica que tal índice é determinado não só em função do conjunto de todos os defeitos encontrados sobre a via, mas também em função dos defeitos mais representativos. Uma vez que o método define o valor cinco para o valor dedutível como sendo indicador de representatividade ou não.

O URCI deve ser visto como um índice que indica serventia, pois à medida que este diminui as condições de rolamento da via pioram. Já os valores deduzidos dos defeitos podem ser visto como indicadores de condição, pois o aumento da quantidade e o aumento das dimensões dos defeitos provocam seu incremento. No que diz respeito aos valores deduzidos, pode-se afirmar que quanto mais defeitos existirem e quanto maiores forem, pior será o estado da via.

6.3.2. Análise do Método ALYNOMO

Analisando as etapas do método ALYNOMO conclui-se que o mesmo classifica as condições de rolamento de uma via em função do conjunto de defeitos do mesmo tipo que mais apresentam influência sobre o desempenho da mesma.

No momento que a densidade superficial relativa - DSRZT de um tipo de defeito é calculada, o valor resultante indica o quanto o mesmo ocupa da região estudada. Esse fato torna claro que os defeitos são analisados em conjunto e não individualmente.

Como o índice de condição que caracteriza a zona topográfica é designado como sendo o índice do defeito que apresentar maior valor, ou seja, o tipo de defeito que mais influencia nas condições de rolamento de uma área em estudo é que indicará em que condições se encontra a superfície de rolamento.

6.3.3. ALYNOMO X USACE

De acordo com as análises de cada método, fica provado que a diferença conceitual básica entre os mesmos é que o método do USACE classifica a condição de rolamento da superfície em função de todos os defeitos que nela existem e o

método ALYNOMO classifica a condição de rolamento da superfície em função do tipo de defeito que mais diminui seu desempenho.

Levando-se em consideração essa diferença básica, foi possível a realização da adaptação do método do USACE para que o mesmo seja capaz de classificar as condições de rolamento de uma via não pavimentada de maneira equivalente a classificação fornecida pelo método ALYNOMO.

O método resultante da adaptação, o qual foi nomeado de **VENO**, incorpora características dos dois métodos analisados. O levantamento de dados em campo é similar ao do método ALYNOMO, uma vez que o mesmo fornece resultados bastante precisos sobre os defeitos medidos. Quanto à avaliação das condições da superfície, o método **VENO** mantém intacto o conceito do ALYNOMO quando analisa a densidade relativa do defeito, ou seja, a densidade dos defeitos medidos em extensão será obtida em função da extensão da região analisada e não em função da área como é feito no método do USACE. A densidade indica o quanto o defeito ocupa da área estudada. A diferença para o método do USACE é que, ao invés de analisar a densidade de cada defeito, é medido o quanto cada tipo de defeito ocupa da área em análise, assim como no método ALYNOMO.

O método **VENO** utiliza os nomogramas do USACE para determinar valores de dedução para os defeitos de acordo com seu tipo e nível de severidade, preservando assim as curvas que foram ajustadas ao longo de muitos anos e em condições distintas. Nesse novo método, o valor de dedução indicará a influência de cada tipo de defeito com certo nível de severidade sobre o desempenho da via. O princípio de aplicação do método do USACE só será utilizado até esse ponto, pois daí em diante, a influência do conjunto de todos os defeitos individuais, através do TDV e da variável “q”, não será considerada.

O método ALYNOMO associa um índice de influência de cada tipo de defeito através do produto de sua densidade relativa por um grau de serventia média do defeito em questão. Mantendo esse princípio, o método **VENO** associa o mesmo tipo de índice a cada tipo de defeito através da soma dos valores de dedução calculados para cada nível de severidade, obtendo assim um valor de dedução total, que será chamado de Índice de Condição Médio do Defeito - ICMdef, o qual tem a mesma interpretação do ISRZTdef do método ALYNOMO.

Assim como no método ALYNOMO, o índice que indicará as condições de rolamento da área analisada será o maior dentre todos os ICMdefs calculados. O índice selecionado indicará a influência do tipo de defeito mais representativo sobre o desempenho do trecho estudado.

6.4. DESCRIÇÃO DA ADAPTAÇÃO (MÉTODO VENO)

A primeira etapa da adaptação do método do USACE é agrupar os defeitos por tipo e por nível de severidade. A densidade relativa será calculada para cada defeito. Essa densidade deve ser obtida da mesma forma que no método ALYNOMO. O resultado deve ser multiplicado por 100 de forma a ser expresso em porcentagem.

A obtenção dos valores de dedução acontece da mesma forma que no método do USACE. A densidade calculada para cada defeito deve ser comparada na respectiva curva (de acordo com o nível de severidade) do respectivo nomograma (de acordo com o tipo de defeito), de modo a ser obtido o valor dedução do referido defeito.

O próximo passo será calcular o Índice de Condição de Grupo - ICGdef para cada tipo de defeito identificado sobre a superfície de rolamento. Esse índice será a soma dos valores de dedução encontrados para cada defeito pertencentes a um mesmo grupo de defeitos. O maior dentre todos os ICGdefs será tomado como indicador das condições da superfície de rolamento do trecho em questão. Esse índice será chamado de Índice de Condição de Rolamento – ICR.

Como a realidade à qual foram desenvolvidas as curvas dos valores de dedução (método do USACE) é diferente da realidade à qual foi desenvolvido o método ALYNOMO, então os resultados obtidos com o método **VENO** divergiram dos resultados obtidos com o método ALYNOMO. Por isso foram desenvolvidas escalas de valores equivalentes às do método ALYNOMO, as quais são utilizadas para comparação do ICR e identificação das condições de rolamento. No método **VENO** foi desenvolvida uma escala para cada tipo de defeito e cada uma destas escalas apresenta intervalos de valores proporcionais aos apresentados pela escala do método ALYNOMO.

6.4.1. Obtenção de Escalas

Para obtenção das escalas individuais de cada defeito no método **VENO**, foi utilizada a seguinte metodologia de trabalho:

- a. foram simulados valores de dimensões de defeitos variando em intervalos de 0,05 unidades de medidas para cada nível de severidade, de cada tipo de defeito. Cada um destes valores foi usado para calcular o índice de condição resultante do método ALYNOMO e o índice de condição resultante do método **VENO** simultaneamente. Com isso, tornou-se possível a comparação entre os resultados obtidos em cada método para os mesmos dados de entrada, possibilitando uma comparação das faixas de valores obtidos no método **VENO** com as faixas de valores da escala do método ALYNOMO;
- b. o resultado das comparações indicou uma variação entre os valores das escalas. Por isso, convencionou-se, no método **VENO**, uma escala de valores individual para cada tipo de defeito e todas proporcionais à escala de valores do método ALYNOMO. Com isso os resultados tornaram-se precisos; e
- c. para facilitar a simulação de valores, foi desenvolvido um *software* que, para cada tipo de defeito, atribuiu valores às dimensões e, calculou os índices finais nos respectivos métodos com tais valores. No final o *software* forneceu a escala desejada para o método **VENO**. O sistema proporcionou rapidez e precisão na obtenção dos resultados desejados. A Figura 6.1 mostra a tela do *software* indicando uma simulação de valores entre 0 e 150m² para o defeito buraco, com incremento de 0,05m². Como pode ser visto na referida figura, os índices são calculados para cada método e mostrados um ao lado do outro. Os botões na área circulada têm a função de mostrar o intervalo de valores correspondentes à escala do método ALYNOMO, indicando assim um intervalo de valores equivalentes do método **VENO**.

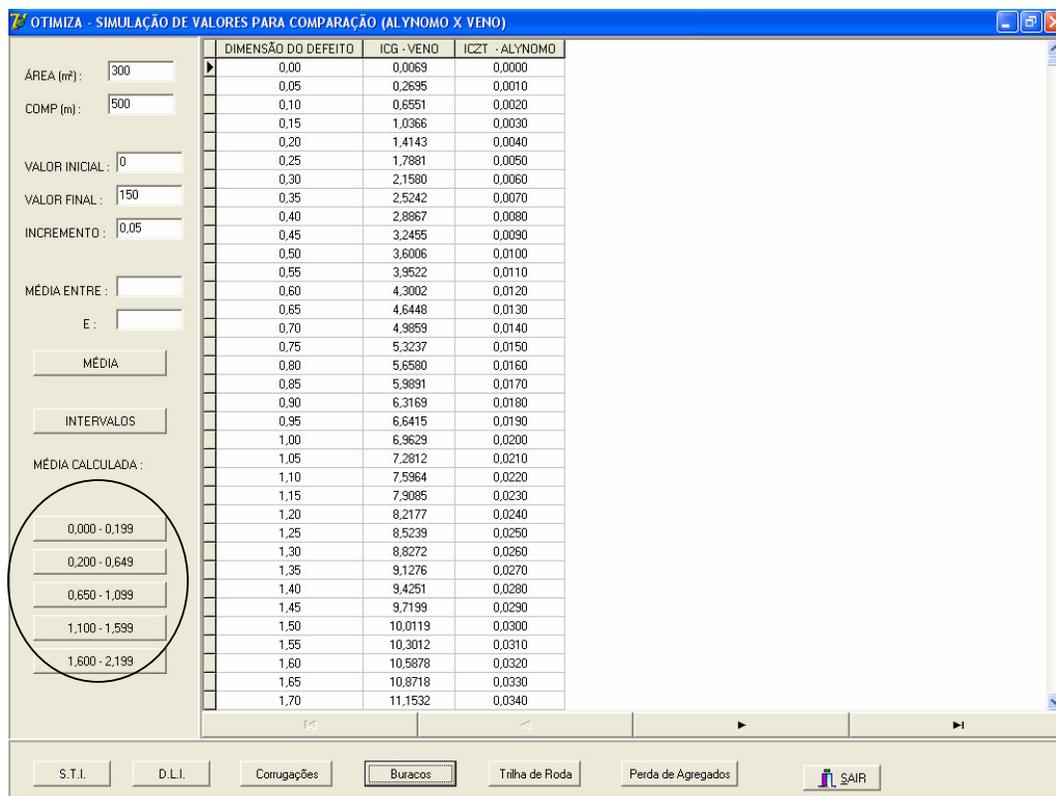


Figura 6.1: Software Usado para Simulação de Valores e para Determinação das Escalas do Método **VENO**

A Figura 6.2 mostra as escalas utilizadas no método **VENO**, as quais apresentam intervalos de valores proporcionais à escala do método ALYNOMO.

6.4.2. Exemplo de Utilização Prática do Método **VENO**

Para melhor entendimento e aprendizagem do método **VENO** será utilizado um exemplo prático com valores simulados. Supondo que um levantamento realizado em um trecho de 300m² com 50m de comprimento de uma via não pavimentada registrou os defeitos cujas características estão listadas na Tabela 6.1.

Defeito: Seção Transversal Imprópria - S.T.I.

ICR - VENO	ICZT - ALYNOMO	Classificação
0,0000 - 10,5000	0,000 - 0,199	Excelente
10,5001 - 31,9810	0,200 - 0,649	Bom
31,9811 - 50,6100	0,650 - 1,099	Regular
50,6101 - 67,9793	1,100 - 1,599	Ruim
67,9794 - 85,1322	1,600 - 2,199	Muito Ruim
> 85,1322	2,200 - 3,000	Péssimo

Defeito: Drenagem Lateral Inadequada - D. L. I.

ICR - VENO	ICZT - ALYNOMO	Classificação
0,0000 - 6,7500	0,000 - 0,199	Excelente
6,7501 - 22,9164	0,200 - 0,649	Bom
22,9165 - 36,9440	0,650 - 1,099	Regular
36,9441 - 51,1097	1,100 - 1,599	Ruim
51,1098 - 66,8417	1,600 - 2,199	Muito Ruim
> 66,8417	2,200 - 3,000	Péssimo

Defeito: Corrugação

ICR - VENO	ICZT - ALYNOMO	Classificação
0,0000 - 10,4705	0,000 - 0,199	Excelente
10,4706 - 28,9095	0,200 - 0,649	Bom
28,9096 - 45,4470	0,650 - 1,099	Regular
45,4471 - 61,6049	1,100 - 1,599	Ruim
61,6050 - 77,8780	1,600 - 2,199	Muito Ruim
> 77,8780	2,200 - 3,000	Péssimo

ICR - Índice calculado no método **VENO**

Defeito: Buraco

ICR - VENO	ICZT - ALYNOMO	Classificação
0,0000 - 41,8650	0,000 - 0,199	Excelente
41,8651 - 85,0385	0,200 - 0,649	Bom
85,0386 - 111,756	0,650 - 1,099	Regular
111,7561 - 136,137	1,100 - 1,599	Ruim
136,1371 - 159,782	1,600 - 2,199	Muito Ruim
> 159,782	2,200 - 3,000	Péssimo

Defeito: Trilha de Roda

ICR - VENO	ICZT - ALYNOMO	Classificação
0,0000 - 22,4533	0,000 - 0,199	Excelente
22,4534 - 53,7464	0,200 - 0,649	Bom
53,7465 - 70,1654	0,650 - 1,099	Regular
70,1655 - 81,0954	1,100 - 1,599	Ruim
81,0955 - 89,5606	1,600 - 2,199	Muito Ruim
> 89,5606	2,200 - 3,000	Péssimo

Defeito: Perda de Agregados

ICR - VENO	ICZT - ALYNOMO	Classificação
0,0000 - 10,9515	0,000 - 0,199	Excelente
10,9516 - 31,0370	0,200 - 0,649	Bom
31,0371 - 42,5748	0,650 - 1,099	Regular
42,5749 - 54,2150	1,100 - 1,599	Ruim
54,2151 - 66,5700	1,600 - 2,199	Muito Ruim
> 66,5700	2,200 - 3,000	Péssimo

ICZT - Índice calculado no método ALYNOMO

Figura 6.2: Escalas Calculadas para Cada Tipo de Defeito no Método **VENO**

Tabela 6.1: Características dos Defeitos

Tipo de Defeito	Nível de Severidade	Unidade	Dimensão
Seção Transversal Imprópria – S.T.I.	Baixo	m	10,00
			2,00
	Médio	m	5,00
			2,00
	Alto	m	2,00
			1,00
Corrugação	Baixo	m ²	1,00
			3,00
	Médio	m ²	3,00
			4,00
	Alto	m ²	5,00
			1,00

Para essas condições, os seguintes passos devem ser seguidos para determinação do Índice de Condição de Rolamento – ICR do trecho estudado:

- a. calcular as densidades de cada defeito observando que, de acordo com o método ALYNOMO, as dimensões dos defeitos STI devem ser divididas pela extensão do trecho e as dimensões das Corrugações pela área do mesmo. (Tabela 6.2).
- b. utilizar os nomogramas do método original do USACE para determinar os valores de dedução para cada nível de severidade de cada tipo de defeito (Tabela 6.3).
- c. calcular o Índice de Condição de Grupo por Defeito – ICGdef para cada tipo de defeito, através da soma dos valores de dedução encontrados:

$$\text{- S.T.I.} \Rightarrow \text{ICG}_{\text{S.T.I.}} = 13,677+3,350+8,936+3,676+5,544 +2,884 = 38,067; \text{ e}$$

$$\text{- Corrugação} \Rightarrow \text{ICG}_{\text{corrugação}} = 0,618+1,088+1,569+1,844+2,478 +0,965 = 8,562.$$

Tabela 6.2: Determinação da Densidade dos Defeitos

Tipo de Defeito	Nível de Severidade	Dimensão	Densidade (%)
Seção Transversal Imprópria – S.T.I.	Baixo	10,00m	$(10/50)*100 = 20\%$
		2,00m	$(2/50)*100 = 4\%$
	Médio	5,00m	$(5/50)*100 = 10\%$
		2,00m	$(2/50)*100 = 4\%$
	Alto	2,00m	$(2/50)*100 = 4\%$
		1,00m	$(1/50)*100 = 2\%$
Corrugação	Baixo	1,00m ²	$(1/300)*100 = 0,3\%$
		3,00m ²	$(3/300)*100 = 1\%$
	Médio	3,00m ²	$(3/300)*100 = 1\%$
		4,00m ²	$(4/300)*100 = 1,3\%$
	Alto	5,00m ²	$(5/300)*100 = 1,7\%$
		1,00m ²	$(1/300)*100 = 0,3\%$

Tabela 6.3: Determinação dos Valores Dedução dos Defeitos

Tipo de Defeito	Nível de Severidade	Densidade (%)	Valor Deduzido
Seção Transversal Imprópria – S.T.I.	Baixo	20%	13,677
		4%	3,350
	Médio	10%	8,936
		4%	3,676
	Alto	4%	5,544
		2%	2,884
Corrugação	Baixo	0,3%	0,618
		1%	1,088
	Médio	1%	1,569
		1,3%	1,844
	Alto	1,7%	2,478
		0,3%	0,965

- d. determinar o Índice de Condição de Rolamento da área estudada como sendo o maior de todos os ICGdefs calculados:

$$- \text{ICR} = \text{Maior} (38,067; 8,562) = 38,067;$$

- e. como o defeito que apresentou o maior ICGdef foi a Seção Transversal Imprópria, então a escala que deve ser usada para determinação das condições de rolamento da área em estudo é a do referido defeito (ver Figura 6.3).

Defeito: Seção Transversal Imprópria - S.T.I.

ICR - <i>VENO</i>	ICTZ - ALYNOMO	Classificação
0,0000 - 10,5000	0,000 - 0,199	Excelente
10,5001 - 31,9810	0,200 - 0,649	Bom
31,9811 - 50,6100	0,650 - 1,099	Regular
50,6101 - 67,9793	1,100 - 1,599	Ruim
67,9794 - 85,1322	1,600 - 2,199	Muito Ruim
> 85,1322	2,200 - 3,000	Péssimo

Figura 6.3: Escala Utilizada para o Defeito Seção Transversal Imprópria

De acordo com a escala, o trecho deve ser classificado como Regular. Essa mesma classificação seria atribuída pelo método ALYNOMO, pois com esses mesmos dados, o ICZT calculado será de 0,88.

O Capítulo 7 começa a abordar a segunda parte do trabalho e caracteriza alguns métodos utilizados para priorizar estradas de terra.

CAPÍTULO 7

PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

7.1. INTRODUÇÃO

As atividades de gerência de pavimentos são divididas em dois níveis: nível de rede e de projeto, conforme observado no Capítulo 3, sendo as decisões em nível de rede divididas em nível de seleção de projetos e nível de programa. O nível de seleção de projetos consiste no processo de priorização, envolvendo um ou mais grupos de projetos. Neste trabalho, uma via (ou segmento de via) é vista como um projeto, portanto, faz-se necessário a utilização de um modelo de priorização para selecionar as vias que deverão receber intervenções.

No Ceará, assim como no Brasil, existe uma grande carência de recursos para serem aplicados na manutenção e conservação de rodovias, em especial as não pavimentadas. Esse fato reforça a necessidade da elaboração de modelos que possam subsidiar a tomada de decisão no que diz respeito à seleção de vias que devam sofrer intervenções de melhorias.

Alguns modelos cuja aplicação é destinada a vias não pavimentadas são apresentados na literatura técnica, dentre os quais podem se destacar: o modelo utilizado pelo USACE (*United States Army Corps of Engineers*) descrito em EATON *et al* (1992) e o modelo apresentado por NUNES (2003).

Para vias pavimentadas, a literatura apresenta uma maior quantidade e variedade de modelos, os quais se baseiam em índices de prioridades (IPs), calculados a partir de características particulares como serventia, tráfego incidente, materiais constituintes das camadas, condições ambientais e do estado de conservação das vias (ou segmentos de vias) analisadas.

No trabalho realizado por SERAFINI & GONÇALVES (2005), alguns desses modelos são descritos. O mesmo trabalho reforça a afirmação de que a priorização envolve a definição e o uso de um índice, geralmente denominado índice de prioridades (IP), onde é comum cada modelo adotar intervalos de valores próprios, os quais representarão a intensidade da necessidade de intervenção.

Na literatura consultada, nenhum modelo identifica a variável necessidade de utilização da via como prioritária. Fatores políticos, sociais e econômicos também

devem ser considerados na análise de prioridades, os quais são tão importantes quanto os fatores físicos (materiais, drenagem, condições de rolamento e geometria), quanto o tráfego que incide ou até mesmo quanto os fatores climáticos e ambientais.

Por ser a sociedade rural muito dependente das estradas não pavimentadas, as quais geralmente escoam suas produções, isto faz com que as pequenas cidades possuam uma grande variedade de acessos por estradas de terra. Na zona rural, muitas escolas e hospitais são localizados fora dos vilarejos, por esse motivo a sociedade depende dessas vias para que possa ter acesso à assistência médica e educação.

Os interesses políticos também estão presentes nos serviços de manutenção e restauração das estradas não pavimentadas, onde a melhoria de uma via pode ser a forma de valorização de um mandato político e utilizado em propagandas eleitorais. Portanto, faz-se necessário uma conscientização quanto à manutenção nas diversas jurisdições, sejam elas, estadual, federal ou municipal.

7.2. MODELOS DE PRIORIZAÇÃO UTILIZADOS EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS

Os modelos para priorização de atividade de manutenção encontrados na literatura técnica são bem menos numerosos para vias não pavimentadas do que para as vias pavimentadas. Neste trabalho são descritos dois modelos distintos: o modelo utilizado pelo USACE e o modelo baseado em Redes Neurais Artificiais – RNA.

7.2.1. Modelo Utilizado pelo USACE (*United States Army Corps of Engineers*)

Dentre os modelos voltados para estradas de terra analisados, está o utilizado pelo USACE (*United States Army Corps of Engineers*). Este modelo descrito por EATON *et al* (1992) tem como princípio priorizar a via (ou segmento de via) que obtiver o menor valor do URCI (*Unsurfaced Road Condition Index*), denominado índice de condição do pavimento.

Para a aplicação deste método, foram estabelecidas categorias para as vias. Essas categorias são caracterizadas de acordo com o valor do URCI calculado e com o volume médio diário (VMD) de veículos incidentes e apresentam as seguintes particularidades:

- a. categoria I: VMD maior do que 200 veículos/dia e URCI entre 70 e 100;

- b. categoria II: VMD variando entre 100 e 199 veículos/dia e URCI entre 55 e 70;
- c. categoria III: VMD variando entre 50 e 99 veículos/dia e URCI entre 40 e 55;
- d. categoria IV: VMD variando entre 0 e 49 veículos/dia e URCI entre 25 e 40;
- e. quando o URCI for menor do que 25, a rodovia é considerada como comprometida.

As particularidades das categorias de via, estabelecidas pelo modelo, indicam que quanto menor for o valor do URCI, menor deve ser a incidência de veículos sobre a superfície de rolamento da mesma. Isso é explicado pelo fato de que quanto menor for o valor do URCI, pior será a condição apresentada pela superfície da via (BAESSO & GONÇALVES, 2003). A Figura 7.1 ilustra as características de cada categoria de via.

A ordem das prioridades é regida pelos seguintes critérios:

- a. o primeiro nível de prioridade será dado à via que apresentar o valor do URCI menor do que o valor mínimo de sua faixa de categoria;
- b. o segundo nível de prioridade será dado à via que apresentar o valor do URCI dentro de sua faixa de categoria;
- c. o terceiro nível de prioridade será dado à via que apresentar o valor do URCI superior ao máximo valor estabelecido em sua faixa de categoria; e
- d. das vias pertencentes à mesma categoria, terá maior prioridade aquela que apresentar o menor valor para o URCI.

Para um melhor entendimento do modelo, foi montado um exemplo de aplicação com dados fictícios apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1: Dados Fictícios das Vias Usados no Exemplo

Via	VMD	URCI	Categoria
AQZ001	35	42	IV
AQZ002	54	45	III
AQZ003	285	60	I
AQZ004	69	52	III

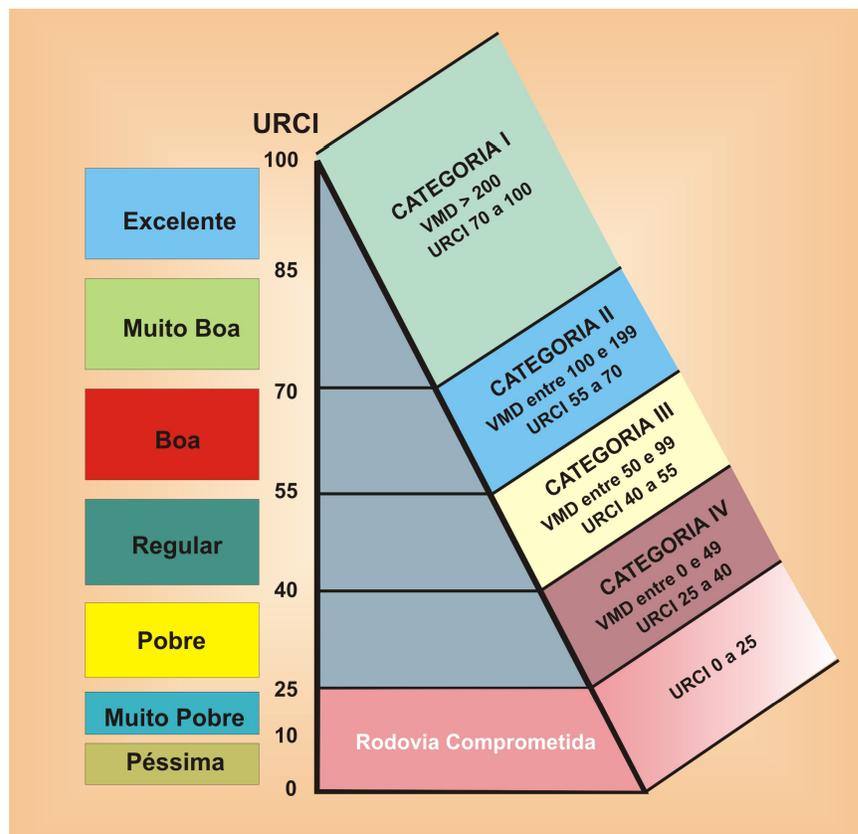


Figura 7.1: Estrutura das Categorias de Via (BAESSO & GONÇALVES, 2003)

Ao ser identificado o volume de veículos incidente na via, o mesmo pode ser enquadrado em uma das quatro categorias estabelecidas pelo método.

Supondo-se a via AQZ001 de categoria IV e possuindo um VMD entre 0 e 49 veículos por dia, a via AQZ002 de categoria III com um VMD entre 50 e 99 veículos por dia, a via AQZ003 classificada na categoria I por apresentar um VMD maior do que 200 veículos por dia e a via AQZ004 se enquadra na categoria III assim como a via AQZ002.

Aplicando-se o modelo constata-se que a via AQZ003 se enquadra no primeiro nível de prioridade, pois na análise da mesma foi calculado um valor para o URCI de 60 o qual está abaixo do valor mínimo estabelecido para a sua categoria, a qual foi definida de acordo com o VMD que é maior do que 200 veículos por dia. O fato do valor do URCI ser menor do que o mínimo estabelecido para a categoria indica que a via apresenta uma condição de rolamento insatisfatória para o tráfego incidente sobre a sua superfície.

A via AQZ002 se enquadra no segundo nível de prioridade, pois a mesma apresenta um valor de URCI compatível com a faixa estabelecida para a sua categoria assim como a via AQZ004 que se enquadra no terceiro nível por apresentar um URCI de maior valor do que o da via AQZ002.

A via AQZ001 se enquadra no quarto nível de prioridade por apresentar um valor de URCI maior do que o máximo estabelecido na faixa da sua categoria.

Portanto, o resultado da aplicação do modelo consiste na seguinte ordem de prioridades para as três vias analisadas:

- **1º nível de prioridade:** AQZ003;
- **2º nível de prioridade:** AQZ002;
- **3º nível de prioridade:** AQZ004; e
- **4º nível de prioridade:** AQZ001.

A Figura 7.2 mostra graficamente a situação de cada via utilizando o modelo de priorização ilustrado na Figura 7.1.

7.2.2. Modelo Baseado em Redes Neurais Artificiais - RNA

Em seu trabalho de mestrado, NUNES (2003) desenvolveu um método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra baseado em Redes Neurais Artificiais - RNA. Além da previsão dos defeitos, este método contempla técnicas matemáticas para priorização dos trechos analisados considerando uma maior quantidade de variáveis do que o método utilizado pelo USACE.

Neste método, os defeitos são previstos e os níveis de prioridades são atribuídos aos trechos em função do tráfego, dos dispositivos de drenagem, do clima, da geometria (longitudinal e transversal) e do tipo de solo constituinte das camadas do pavimento.

NUNES (2003), em seu trabalho, realizou um estudo de caso no município de Aquiraz, no Ceará, onde procurou prever os defeitos com os seus respectivos níveis de severidade, a partir de atributos locais selecionados.

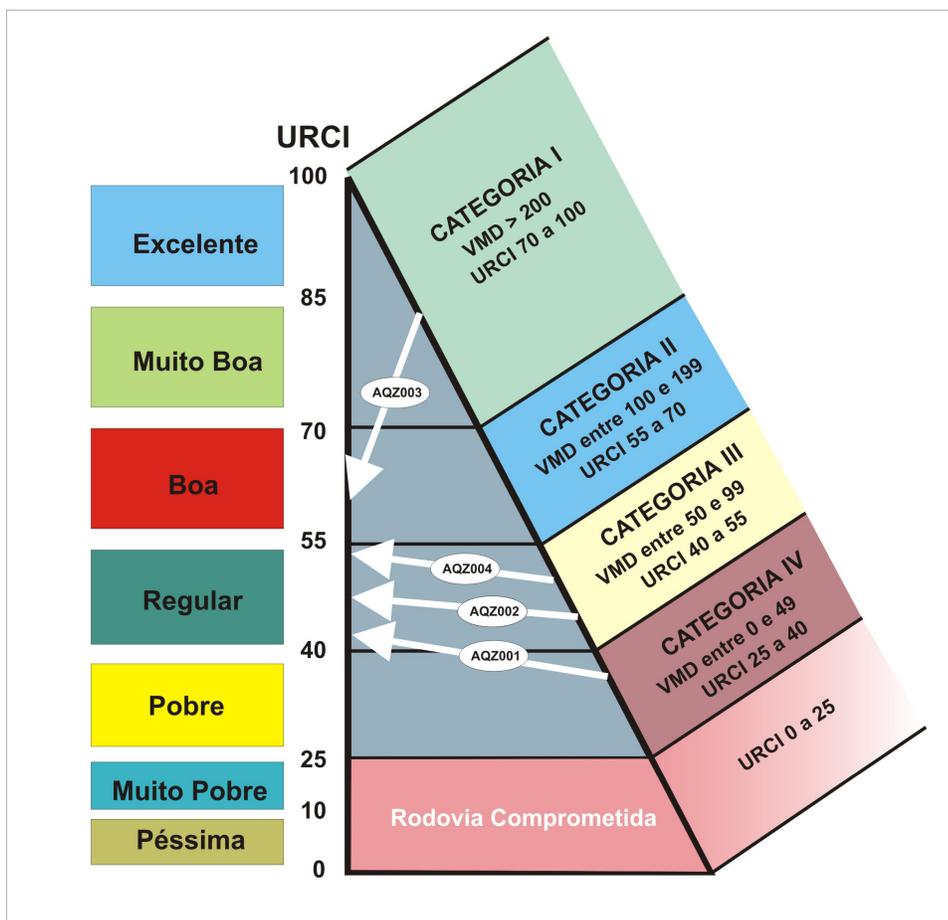


Figura 7.2: Disposição Gráfica de acordo com os Dados Referentes às Vias

Segundo NUNES (2003), os resultados experimentais permitiram concluir que a aplicação de RNA é viável, uma vez que foi obtido 91% de desempenho nos resultados encontrados pelo modelo. NUNES (2003) concluiu que o método pode ser aplicado a trechos de outras regiões, bastando que sejam adotados os procedimentos de acordo com as particularidades e restrições dos locais.

A partir da análise dos dados, o método hierarquizou a importância das variáveis de entrada para o modelo de RNA adotado. A variável considerada mais importante foi o tipo de seção transversal, com 32,6%; em segundo lugar estão as rampas longitudinais, com 23,0%; em terceiro lugar o tráfego, com 21,0%; em quarto lugar, o tipo de solo, com 9,9%; em quinto lugar, o clima, com 8,5% e, em último lugar, encontram-se os dispositivos de drenagem, com 5,0%.

Para facilitar a aplicação do modelo, foi criada uma interface gráfica com o auxílio do Excel 2000. A planilha eletrônica incorpora a inteligência da Rede Neural

Artificial utilizada e exibe os resultados, a partir da análise de dados de entrada. É importante salientar que há uma grande facilidade de utilização dessa ferramenta. Esse fato possibilita a utilização do modelo por pessoas menos habituadas com a complexidade que envolve as Redes Neurais Artificiais. A Figura 7.3 mostra uma ilustração da referida interface gráfica.

MÉTODO DE PREVISÃO DE DEFEITOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS		REDES NEURAIS ARTIFICIAIS		
Trecho(n°):			RESULTADOS	
Nome :				
ENTRADAS			NÍVEIS DE PRIORIDADE	
Tráfego	1-Leve 2-Misto 3-Pesado			Poeira
Drenagem	1-Ausente 2-Presente			Segregação de Agregados
Clima	1-Chuvoso 2-Seco			Ondulação
Seção Transversal	1-Em Calha 2-Mista 3-Abaulada e Encaixada			Erosão
Tipo de Solo	1-Granular 2-Siltoso e Argiloso			Areião
Rampa	1-Menor que 3% 2-Entre 3% e 8% 3-Maior que 8%			Buracos
				Afundamento de Trilhas de Rodas
				Seção Transversal Inadequada
				Atoleiro
		Trecho 1		
		Trecho 2		
		Trecho 3		
		Trecho 4		
		Trecho 5		
		Trecho 6		
		Trecho 7		
		Trecho 8		
		Trecho 9		
		Trecho 10		

Figura 7.3: Interface Gráfica para Aplicação do Método Baseado em RNA (NUNES, 2003)

A partir da inserção dos valores das variáveis de entrada (tráfego, drenagem, clima, seção transversal, tipo de solo e rampa) a planilha calcula as variáveis de saída indicando os níveis de severidade previstos para cada tipo de defeito, acompanhado de um índice de priorização para cada trecho analisado. A Figura 7.4 mostra uma planilha preenchida por NUNES (2003).

METODO DE PREVISAO DE DEFEITOS EM ESTRADAS NAO PAVIMENTADAS		
Trecho(n°):	10	REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS
Nome :	AQUIRAZ	
ENTRADAS		
Tráfego	2	
	1-Leve 2-Misto 3-Pesado	
Drenagem	1	
	1-Ausente 2-Presente	
Clima	1	
	1-Chuvoso 2-Seco	
Seção Transversal	1	
	1-Em Calha 2-Mista 3-Abaulada e Encaixada	
Tipo de Solo	2	
	1-Granular 2-Siltoso e Argiloso	
Rampa	1	
	1-Menor que 3% 2-Entre 3% e 8% 3-Maior que 8%	
RESULTADOS		
Poeira	Sem o Defeito	
Segregação de Agregados	Alta	
Ondulação	Sem o Defeito	
Erosão	Baixa e Alta	
Areião	Sem o Defeito	
Buracos	Baixa e Alta	
Afundamento de Trilhas de Rodas	Baixa e Alta	
Seção Transversal Inadequada	Alta	
Atoleiro	Alta	
NIVEIS DE PRIORIDADE		
Trecho 1		0,0030
Trecho 2		0,0040
Trecho 3		0,0051
Trecho 4		0,0001
Trecho 5		0,1720
Trecho 6		0,0542
Trecho 7		0,0010
Trecho 8		0,0042
Trecho 9		0,0778
Trecho 10		0,0012

Figura 7.4: Interface Gráfica Preenchida (NUNES, 2003)

7.2.3. Limitações dos Modelos Estudados

Este item apresenta as considerações observadas sobre as limitações nos modelos estudados. Foi analisado criteriosamente o modelo utilizado pelo USACE e o baseado em Redes Neurais Artificiais – RNA, desenvolvido por NUNES (2003).

O modelo utilizado pelo USACE prioriza as vias (ou segmentos de via) em função do URCl (calculado a partir das características dos defeitos e dos seus níveis de severidades) e do volume de tráfego incidente sobre as mesmas. O modelo baseado em Redes Neurais Artificiais – RNA contempla um número maior de variáveis. Nele os níveis de prioridade são atribuídos aos trechos de vias através da análise de elementos de tráfego, drenagem, clima, seção transversal, tipo de solo e rampas longitudinais.

A análise desses dois métodos gerou uma linha de raciocínio baseada na idéia de que é grande o número de variáveis que influenciam no funcionamento de uma via não pavimentada. Supondo-se uma situação em que duas vias são analisadas por um dos dois modelos supracitados em função de suas respectivas variáveis. A primeira via liga uma cidade a algumas fazendas cujas produções são importantes para a economia local e ao longo da segunda via estão situadas as escolas e o único hospital da região. Observe-se que as variáveis componentes do modelo de priorização escolhido, seja o modelo do USACE ou o baseado em RNA, apresentem valores próximos para as duas vias. A diferença no resultado poderá ser pequena, mas, uma das duas vias será priorizada. Nesse caso o tomador de decisão se depararia com um dilema: se prioriza a primeira via resolverá um problema econômico, mas manterá um

problema social. A produção das fazendas teria facilidade de ser escoada, mas a população continuaria tendo dificuldades de acesso às escolas e ao hospital.

Uma outra situação capaz de gerar conflito para o tomador de decisão seria o fato de duas vias apresentarem os mesmos valores para as variáveis, o que ocasionaria o mesmo índice de prioridade para estas duas vias. Digamos que seja utilizado o método de RNA, que contempla um número maior de variáveis, em duas vias (ou segmentos – trechos) que apresentem as mesmas condições de tráfego, drenagem, clima, seção transversal, tipo de solo e rampas longitudinais. Os resultados deverão ser iguais.

Nesse caso, uma maior quantidade de variáveis dificultaria a obtenção de resultados semelhantes. Por exemplo: admita-se que ambas as vias apresentem dispositivos de drenagem, mas uma delas possui obras d'arte correntes (bueiros) e a outra possui dispositivos de drenagem superficial (sarjetas e valetas em cristas de corte). Ambos os tipos de dispositivos são importantes para o funcionamento da via, mas qual deles é mais importante para a drenagem? Em função desses dois critérios, qual das duas vias deve obter a maior prioridade?

Supondo-se agora que o tipo de solo apresentado pelas duas vias seja granular. No modelo das RNA a variável tipo de solo recebe o valor 1 nas duas situações, portanto essa variável não influi para uma possível diferenciação nos resultados.

Segundo NUNES (2003), no modelo das RNA o tipo de solo foi classificado de acordo com o sistema de classificação do *Highway Research Board* - H.R.B. Segundo DE SENÇO (2001), a classificação geral dos solos fornecida pelo sistema H.R.B. consiste em materiais granulares e materiais siltosos e argilosos. Entretanto, solos com a mesma classificação podem variar entre diversos grupos. Os solos granulares variam entre os grupos A-1 (pedra britada, pedregulho e areia), A-2 (areia e areia siltosa ou argilosa) e A-3 (areia fina). Os solos siltosos e argilosos A-4, A-5 (solos siltosos), A-6 e A-7 (solos argilosos).

A classificação dos materiais nesse sistema se dá em função da granulometria e dos limites de consistência: Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade. A Figura 7.5 mostra a tabela utilizada para classificar os solos no sistema H.R.B.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES (35 % ou menos passando na peneira n.º 200)							MATERIAIS SILTOSOS E ARGILOSOS (mais de 35% passando na peneira de nº200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentagem que passa nas peneiras de abertura nominal igual a											
2,00 mm	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,42 mm	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-	-
0,074 mm	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características da fração que passa na peneira de abertura nominal igual a 0,42 mm											
Limite de liquidez (%)	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de Plasticidade (%)	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20
Materiais predominantes	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Regular a mau			

Figura 7.5: Tabela para Classificação dos Materiais no Sistema H.R.B. (DE SENÇO, 2001)

De acordo com a variação da granulometria e dos limites de consistência apresentados por cada grupo, é possível afirmar que há também uma variação na propriedade mecânica de resistência dos materiais, medida pelo Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR). Com isso a capacidade de suporte dos materiais classificados no mesmo tipo de solo pode ser variável.

Outra situação que pode gerar dúvidas para o tomador de decisão ocorrerá quando as vias apresentarem o mesmo tipo de tráfego (leve, misto ou pesado). Em situações onde o volume de tráfego não for desprezível, o mesmo deve ser considerado como critério de priorização. Esse fato contribuirá para diminuir a probabilidade de equivalência dos resultados relativos ao tráfego.

Levando em consideração essas observações, deduziu-se que a criação de um modelo de priorização de vias não pavimentadas que contemplasse um número maior de variáveis seria de grande contribuição para diminuir as polêmicas geradas durante o processo de decisão.

Após uma vasta pesquisa na busca de metodologias que contemplassem um resultado coerente em função da análise de muitas variáveis, concluiu-se que a utilização modelos multicritérios de apoio à decisão, os quais são abordados no próximo capítulo, seria apropriada para a primeira etapa de uma análise deste tipo de problema.

CAPÍTULO 8

MODELOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO (MCDA)

8.1. INTRODUÇÃO

Na busca por um método que resolvesse problemas com muitas variáveis, optou-se pelos modelos Multicritérios de Apoio à Decisão – MCDA (*Multicriteria Decision Aid*).

De acordo com SCHMIDT (1995), as abordagens multicritérios são técnicas de análise para a tomada de decisão e planejamento, que se baseiam no princípio de que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valiosos quanto os dados utilizados.

Segundo ENSSLIN *et al* (2001), quando há pretensões de se apoiar decisões, seja utilizando metodologias multicritérios ou outras formas de modelagens, deve-se ter cuidado ao comparar o paradigma científico adotado no apoio à decisão (construtivistas) com aquele usualmente adotado na pesquisa operacional tradicional (racionalista) que é voltado para processos de tomada de decisão.

Um paradigma é um conjunto de regras que definem fronteiras entre o que é certo e errado, entre o que é verdadeiro e o que é falso, entre o que se deve fazer e o que não se deve fazer. Estabelece um corredor de pensamento no qual este fica bitolado ao que existe dentro das faixas dos limites permitidos (CHIAVENATO, 2000).

Com a evolução das metodologias multicritérios se destacaram as correntes de pensamento de duas escolas: a americana e a européia. A escola americana mantém uma forte ligação com a pesquisa operacional tradicional, caracterizando-se principalmente pela extrema objetividade, pela busca de uma solução ótima, dentro de um conjunto bem definido de opções. Esta escola deu origem à metodologia multicritério de tomada de decisão – MCDM (*MultiCriteria Decision Making*). A escola européia, por sua vez, não se limita à mesma objetividade da americana. Ela considera que o conhecimento existente por parte dos decisores pode ser organizado e desenvolvido, assim como as alternativas existentes estão em um espaço que pode ser significativamente expandido (PEREIRA, 2001).

RODRIGUES *et al* (2001) afirmam que os métodos de análise multicritério de auxílio à tomada de decisão possuem grande potencial de contribuição no processo de avaliação de alternativas na área de transportes.

Em GOMES *et al* (2002), o apoio multicritério à decisão é entendido como o quadro de referência analítico dos sistemas de apoio à decisão pelas seguintes razões:

- a. os métodos multicritério de apoio à decisão permitem uma abordagem mais abrangente e realista dos problemas complexos de decisão, à medida que torna possível a modelagem de uma diversidade maior de fatores que se encontram envolvidos no processo decisório. Para isso, tanto critérios quantitativos quanto qualitativos podem ser incluídos na análise;
- b. a utilização dessa metodologia numa organização de grande porte tem como grande vantagem promover ou facilitar a comunicação e a integração entre as partes envolvidas nos processos decisórios;
- c. o fato de a metodologia de Apoio Multicritério à Decisão trabalhar com modelos em que as preferências do agente de decisão ficam claramente explicitadas permite maior organização e transparência do processo decisório, aumentando assim sua credibilidade;
- d. a metodologia de Apoio Multicritério à Decisão propicia maior compreensão, por parte dos atores envolvidos no processo decisório, das diversas dimensões do problema. Assim o modelo estabelecido inicialmente pode ser aprimorado com o decorrer do tempo, em função das discussões geradas durante sua concepção e posterior utilização prática; e
- e. o método Multicritério de Apoio à Decisão – MCDA agrega um valor substancial à informação, à medida que permite a abordagem de problemas considerados complexos e, por isso mesmo, não tratáveis pelos procedimentos intuitivo-empíricos usuais. O MCDA também auferir ao processo de tomada de decisão uma clareza e conseqüente transparência quando seus procedimentos são empregados.

É importante salientar que os modelos Multicritérios de Apoio à Decisão estão relacionados com a subjetividade dos atores participantes do processo, enquanto os

modelos Multicritérios de Tomada de Decisão estão relacionados com a objetividade e dão resultados baseados em análises de valores exatos.

De acordo com as características do modelo Multicritério de Apoio à Decisão - MCDA já citadas, o mesmo será adotado como ferramenta para desenvolvimento de um método capaz de priorizar vias não pavimentadas em função de um número considerável de variáveis estabelecidas ao longo do trabalho.

Como explicado anteriormente, GOMES (2002) considera que, com a aplicação dessa metodologia, o modelo estabelecido inicialmente pode ser aprimorado com o decorrer do tempo, em função das discussões geradas durante sua concepção e posterior utilização prática. Este fato torna o modelo resultante desse trabalho apto a ser incrementado ao longo do tempo, permitindo que outras variáveis venham incorporar a estrutura do método fornecendo avaliações cada vez mais precisas que satisfaçam as necessidades dos tomadores de decisão.

São vários os métodos existentes que se utilizam das metodologias multicritério. Na escola americana os principais métodos são: Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT (*Multi Attribute Utility Theory*) e o Método de Análise Hierárquica – MAH (*Analytic Hierarchy Process - AHP*). Na escola francesa os principais métodos são: ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e o PROMÉTHÉE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*). Ainda podem ser citados os seguintes métodos: MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), o TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), o ANP (*Analytic Network Process*) e o FDA (*Fuzzy Decision Approach*).

SALOMON *et al* (1999) fazem uma comparação entre a aplicação do método AHP e os métodos FDA, MACBETH, TOPSIS e ANP. Em suas conclusões os autores afirmam que a escolha de um dos métodos será definida de acordo com a situação. Se houver disposição de tempo para tomar a decisão, se existirem no máximo nove alternativas, se estas alternativas e os critérios de decisão forem totalmente independentes, recomenda-se a utilização do MAH em relação aos outros.

GUGLIELMETTI *et al* (2003) realizaram um estudo comparativo entre os métodos AHP, ELECTRE e MAHP (*Multiplicative AHP*) e afirmaram que o AHP original foi considerado pelas pessoas consultadas como o método mais amigável, sendo mais fácil de ser entendido do que os outros dois métodos estudados. Os autores

também afirmam que esse deve ser um dos motivos pelos quais os tomadores de decisão e pesquisadores acabam preferindo o AHP. Isto é percebido no elevado número de publicações de artigos sobre o AHP original, que é muito maior que qualquer outro modelo multicritério.

SCHMIDT (1995) fez uma comparação na aplicação dos métodos AHP e MACBETH e verificou que o primeiro método (AHP) analisa os critérios de uma forma mais ampla, enquanto que o segundo analisa de uma forma mais fragmentada. A qualidade e a aplicabilidade das metodologias são dependentes da hierarquia que está sendo utilizada.

Muitas publicações falam sobre a aplicação do *Analytic Hierarchy Process* – AHP em uma grande variedade de áreas. Segundo LISBOA (2002), o AHP é um método que está sendo bastante utilizado atualmente na área de transportes no Brasil. FERRONATTO & BARATZ (2003) fortalecem essa afirmação indicando que o mesmo teve larga aplicação em pesquisas na área de transportes.

Assim como LISBOA (2002) e FERRONATO & BARATZ (2003), vários outros autores utilizam o Método de Análise Hierárquica – MAH para priorizar algum tipo de atividade. Por esse motivo, pela facilidade de aplicação descrita em todas as bibliografias consultadas e pela larga aplicação na área de transportes, o MAH foi escolhido como o método a ser utilizado no desenvolvimento do modelo multicritério para priorização de atividades de manutenção em vias não pavimentadas.

8.2. MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA – MAH

O Método de Análise Hierárquica – MAH é conhecido no meio científico por AHP que é a abreviatura da sua nomenclatura original *Analytic Hierarchy Process*. Essa metodologia foi desenvolvida nos Estados Unidos, na *Wharton School of Business*, pelo professor Dr. Thomas Saaty, em 1971, quando o mesmo trabalhava no Departamento de Defesa dos Estados Unidos. A maturidade aplicativa da teoria surgiu com o estudo dos transportes no Sudão, em 1973, dirigida pelo professor Saaty. O enriquecimento teórico intensificou-se entre 1974 e 1978.

Segundo SCHMIDT (1995), o AHP é uma técnica de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios que foi desenvolvida em resposta ao planejamento de contingência militar e empresarial, tomada de decisão, alocação de recursos

escassos, resolução de conflitos e a necessária participação política nos acordos negociados.

De acordo com GOMES *et al* (2004), o AHP foi um dos primeiros métodos desenvolvidos no ambiente das Decisões Multicritério Discretas, sendo talvez o mais usado no mundo. Nesse método, o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando assim, sua compreensão e avaliação.

Para RABBANI & RABBANI (1996), o AHP é uma teoria geral de medição. É um método capaz de estabelecer medidas tanto para idéias e fatos objetivos quanto para idéias e fatos subjetivos.

CARVALHO (1997) diz que o AHP estrutura o processo de tomada de decisão como uma hierarquia de objetivos que contribuem para o objetivo global.

O AHP é um método que se caracteriza pela capacidade de analisar um problema de tomada de decisão, através da construção de níveis hierárquicos. Para se ter uma visão global da relação complexa inerente à situação, o problema é composto em fatores (SCHMIDT, 1995).

Segundo LISBOA (2002), a difusão e o poder do AHP se devem principalmente à reunião de características como a simplicidade na aplicação, a naturalidade no trato de aspectos subjetivos e a flexibilidade de uso.

O AHP reflete o que parece ser um método natural de funcionamento da mente humana (RODRIGUES *et al*, 2001). Ao defrontar-se com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, nossa mente os agrega em grupos, segundo propriedades comuns. No método AHP a complexidade do problema é reduzida também com a divisão dos critérios em grupos de acordo com as características comuns. Os grupos são distribuídos em níveis hierárquicos, facilitando ainda mais o entendimento e a resolução do problema.

O método AHP, após a divisão do problema em níveis hierárquicos, determina de forma clara e por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao finalizar o método.

SCHMIDT (1995) faz uma colocação interessante ao afirmar que a hierarquia pode ser construída em inúmeros níveis desejados, sendo fixado o objetivo principal no primeiro nível, a definição dos critérios no segundo nível e assim por diante.

A estrutura básica de uma hierarquia de decisão pode ser vista na Figura 8.1 a qual apresenta no topo um objetivo a ser atingido através da análise de vários critérios e subcritérios.

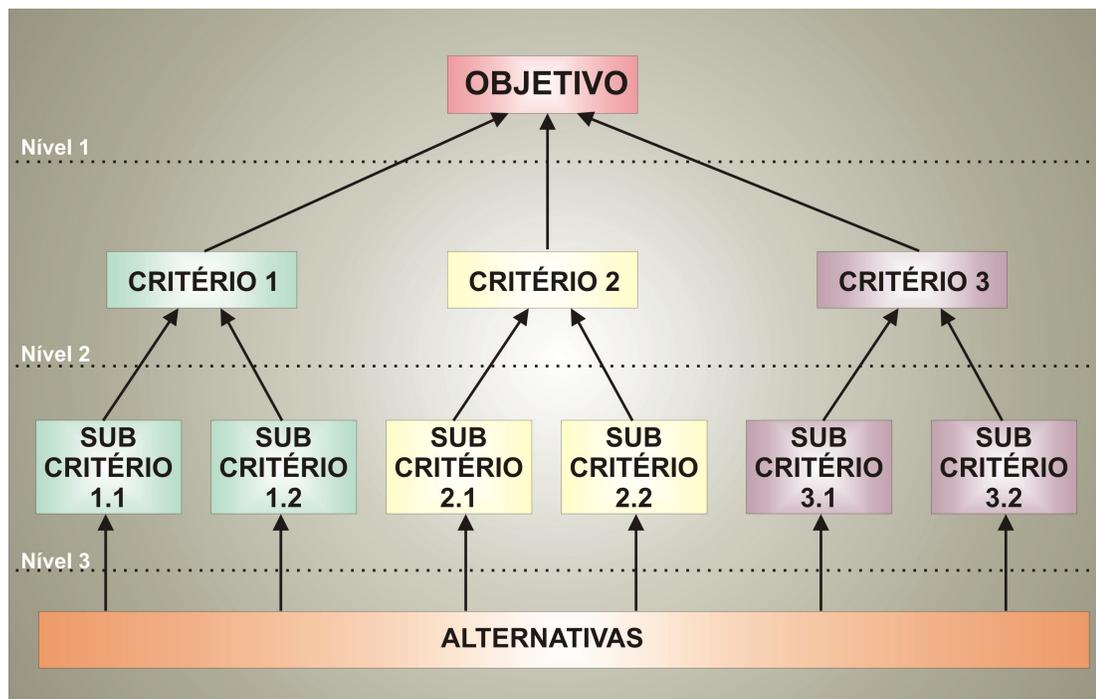


Figura 8.1: Estrutura Hierárquica Básica

Analisando-se a Figura 8.1 nota-se que é preciso ter uma noção de prioridade e de uma medida para representar o grau de importância de cada critério e subcritério em relação ao objetivo.

O Método de Análise Hierárquica – MAH parte do princípio da determinação da importância e da contribuição de cada critério para a obtenção do objetivo final. Essa importância é estabelecida a partir da comparação par-a-par dos elementos de cada grupo. Todos os elementos de um grupo são comparados entre si e o objetivo de cada comparação é determinar a influência de cada um na ocorrência de um determinado objetivo. Por exemplo: na compra de um eletrodoméstico, dois critérios que devem ser levados em consideração são o preço e o tempo de garantia. Nesse caso, a pergunta feita a um decisor seria: na compra de um eletrodoméstico o que você acha mais importante, o preço ou tempo de garantia do mesmo? A partir da resposta do decisor, será possível estabelecer se, para ele, o preço é mais importante do que a garantia, se a garantia é mais importante do que o preço ou se ambos apresentam a mesma

importância. O método de comparação em pares deriva de julgamentos, os quais são realizados em função de dados, conhecimentos e experiência sobre o assunto analisado.

Segundo GOMES *et al* (2004), os elementos fundamentais do método AHP são:

- a. **atributos e propriedades:** um conjunto finito de alternativas é comparado em função de um conjunto finito de propriedades;
- b. **correlação binária:** ao serem comparados dois elementos, tomando como base uma propriedade específica, determina-se qual elemento pode ser preferível ou indiferente a outro;
- c. **escala fundamental:** a cada elemento associa-se um valor de prioridade sobre os outros elementos, que será lido em uma escala numérica de números positivos e reais; e
- d. **hierarquia:** um conjunto de elementos ordenados por ordem de preferência e homogêneos em seus respectivos níveis hierárquicos.

Segundo SCHMIDT (1995), a aplicação deste processo reduz o estudo de sistemas intrincados a uma seqüência de comparações por pares de componentes adequadamente identificados.

FERRONATTO & BARATZ (2003) dizem que a aplicação do método produz como resultado a atribuição de pesos numéricos aos objetivos e alternativas, através de comparações par a par entre os elementos.

O AHP possibilita a avaliação de um grupo de elementos através de comparações aos pares. Partindo de uma árvore hierárquica, que contempla vários critérios, os tomadores de decisão atribuem a cada grupo de elementos um determinado peso. O resultado final é explicitado na forma de um vetor de pesos, onde, para cada uma das alternativas, é atribuído um peso relativo aos critérios considerados no problema de decisão em questão (NOGUEIRA & GONÇALVES, 2002).

MACHADO *et al* (2003) apresentam as principais etapas do método AHP como sendo as seguintes:

- a. construção da hierarquia de decisão;
- b. comparação entre os elementos da hierarquia;
- c. priorização relativa de cada critério;
- d. avaliação da consistência das prioridades relativas;
- e. construção de uma matriz de comparação paritária para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas; e
- f. obtenção da prioridade composta para as alternativas.

As etapas citadas estão de acordo com o que estabelece o criador do método SAATY (1980) *apud* LISBOA (2002), quando o mesmo diz que os princípios básicos do pensamento analítico são: a **estruturação hierárquica**, a **obtenção de prioridades** e a **consistência lógica**.

8.2.1. Metodologia de Funcionamento do Método de Análise Hierárquica - MAH

Os primeiros passos que devem ser executados na aplicação do método de análise hierárquica são a definição e a estruturação do problema. Definir o problema significa saber com certeza qual o objetivo que se deseja atingir.

Em seguida, é necessário estabelecer critérios que sejam capazes de influenciar no alcance do objetivo final. Caso esses critérios apresentem um nível significativo de complexidade, os mesmos devem ser divididos em subcritérios que apresentem características comuns e devem ser alocados em um nível hierárquico inferior ao do critério de origem.

Como explicado anteriormente, a fragmentação dos critérios e a criação de níveis hierárquicos diminuem a complexidade e oferecem uma melhor visualização do problema a ser resolvido. Portanto, um objetivo complexo é fragmentado, seus fragmentos são novamente subdivididos e assim por diante até que um grau de complexidade aceitável seja alcançado. Desta forma uma estrutura hierárquica é gerada em forma de árvore invertida onde o objetivo principal fica no topo (ver Figura 8.1).

Aos subcritérios do último nível hierárquico, devem ser atribuídos indicadores capazes de associar aos mesmos uma grandeza que possa ser mensurada. Por exemplo: o objetivo principal é a seleção de uma via para receber atividades de manutenção e reparos. Um dos critérios utilizados será o aspecto físico da via. Nesse caso ficaria muito complicado medir estes aspectos físicos, então esse critério é subdividido em condições de rolamento (associadas à superfície de rolamento), dispositivos de drenagem, materiais constituintes das camadas e geometria da via. O resultado dessa hierarquização ainda apresenta critérios difíceis de serem mensurados, então os mesmos são divididos novamente em outro nível hierárquico.

O subcritério dispositivos de drenagem pode ser dividido em obras d'artes correntes (bueiros), obras d'artes especiais (pontes) e dispositivos de drenagem superficial. Nesse caso, esse critério ficou mais fácil de ser mensurado já que a quantidade desses dispositivos pode ser contada em campo.

No caso de materiais constituintes das camadas, uma divisão em tipo de solo e capacidade de suporte ainda deixaria a mensuração muito difícil de ser realizada. Se o critério tipo de solo for subdividido em solos granulares e solos siltsos e argilosos tornaria mais fácil à atribuição de indicadores capaz de mensurá-los. A porcentagem da via que apresenta cada tipo desses materiais seria um bom indicador.

A geometria da via seria um critério bastante complexo de ser mensurado. Ao ser subdividido em geometria longitudinal e geometria transversal, ainda apresentaria complexidade de mensuração, tornando necessária uma nova divisão. Ao se dividir o critério geometria longitudinal em categorias de inclinações de rampa (rampas suaves - até 3%, rampas normais - entre 3 e 8% e rampas acentuadas - maiores que 8%) o mesmo fica mais fácil de ser mensurado, ou através da quantidade de cada tipo de rampa existente na via ou através da porcentagem dessas categorias em relação a via toda. A Figura 8.2 indica uma estruturação hierárquica capaz de diminuir a complexidade de selecionar uma via para receber atividades de manutenção e reparo através da análise de seus aspectos físicos.

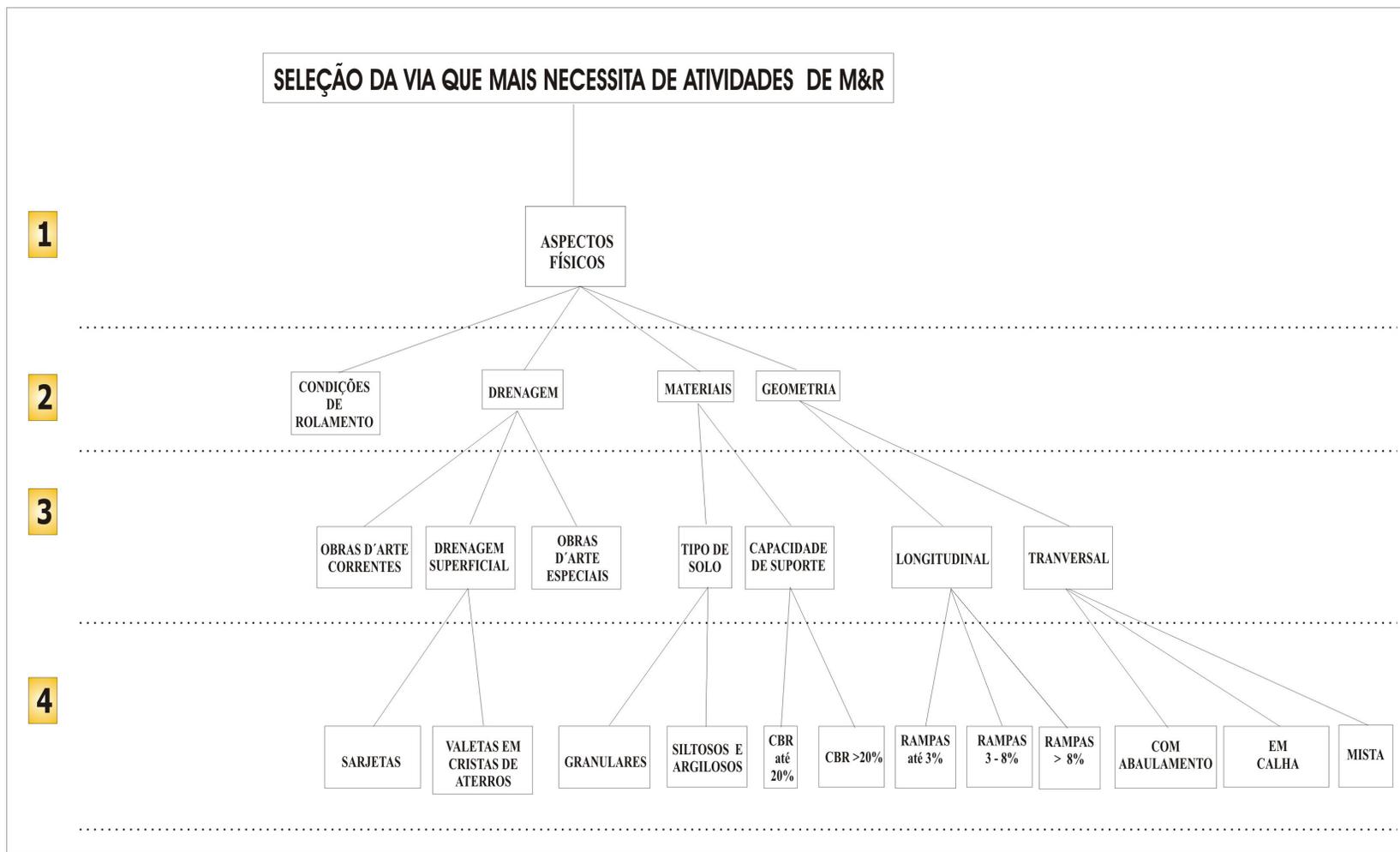


Figura 8.2: Estruturação Hierárquica do Exemplo Apresentado

Uma grande vantagem do Método de Análise Hierárquica é a transformação de critérios multidimensionais em critérios unidimensionais (SAATY, 2001). Esse fato indica que o método é capaz de comparar elementos que sejam mensurados em unidades diferentes.

As comparações são realizadas aos pares e o resultado pode se enquadrar em qualquer uma das três situações seguintes:

- a. o elemento 1 é considerado mais importante do que o elemento 2 para o alcance do objetivo;
- b. o elemento 2 é considerado mais importante do que o elemento 1 para o alcance do objetivo; e
- c. o elemento 1 apresenta a mesma importância que o elemento 2 para o alcance do objetivo.

Segundo SAATY (2001), as pessoas possuem a capacidade de dividir qualitativamente suas responsabilidades em três categorias: alta, média e baixa. Para diminuir a complexidade, ainda são capazes de refinar essa divisão e atribuir a cada categoria de responsabilidade, mais três subcategorias: alta, média e baixa. Essa capacidade da mente humana permite a uma pessoa julgar com resultados aceitáveis até nove subdivisões de suas responsabilidades. O limite psicológico do ser humano o permite julgar corretamente 7 ± 2 pontos, ou seja, um máximo de nove pontos (GOMES *et al*, 2004).

Partindo desse princípio, o AHP atribui valores às comparações que variam de 1 a 9. O grau de importância de cada valor numérico contido nesse intervalo é apresentado na Tabela 8.1.

Os valores de importância intermediária indicam que o julgamento reflete uma indecisão entre dois níveis de importância, por exemplo: o valor 2 indica que o decisor nem acha que os dois elementos apresentam a mesma importância e nem acha que um dos elementos é um pouco mais importante do que o outro, ficando portanto, com uma opinião intermediária.

TABELA 8.1: Escala de Valores Utilizados nas Comparações do AHP

Valor Atribuído	Significado na Comparação
1	Os elementos apresentam o mesmo grau de importância no alcance do objetivo
3	Um elemento é um pouco mais importante do que o outro para o alcance do objetivo
5	Um elemento é muito mais importante do que o outro para o alcance do objetivo
7	Um elemento é muitíssimo mais importante do que o outro para o alcance do objetivo
9	Um elemento é extremamente mais importante do que o outro para o alcance do objetivo
2,4,6,8	Valores de importância intermediária

Fonte: SAATY (2001)

Após a realização das comparações, deve ser preenchida uma matriz quadrada de ordem n para determinação das prioridades obtidas por cada elemento e da consistência lógica dos resultados. A Figura 8.3 mostra um exemplo de matriz de comparação de um grupo com três elementos.

Uma matriz de comparações paritárias deve ser preenchida obedecendo as seguintes regras:

- a. a diagonal principal da matriz deve ser preenchida com o valor 1. Isso indica que um elemento ao ser comparado com ele mesmo, apresenta o mesmo grau de importância;
- b. os elementos devem apresentar a seguinte propriedade: $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$; e
- c. os valores preenchidos na matriz devem ser provenientes da escala fundamental do AHP mostrada na Tabela 8.1.

Ao longo de uma estrutura hierárquica, vários grupos são formados. Um grupo consiste em um conjunto de subcritérios provenientes da divisão de um critério. Um grupo está sempre em um nível hierárquico abaixo ao do critério que está relacionado. Na estrutura hierárquica apresentada na Figura 8.2, os elementos condições de rolamento, drenagem, materiais e geometria formam um grupo, pois os mesmos são subcritérios do critério aspectos físicos.

	(1)	(2)	(3)
(1)	1	A	B
(2)	$\frac{1}{A}$	1	C
(3)	$\frac{1}{B}$	$\frac{1}{C}$	1

Figura 8.3: Matriz de Comparações Paritárias

Cada grupo de elementos corresponde a uma matriz de comparações quadrada, onde a ordem da matriz é dada pela quantidade de elementos pertencentes ao grupo. Essa matriz apresenta os resultados das comparações dos elementos de um grupo entre si que são realizadas apenas uma vez. A quantidade de comparações que ocorrem em um grupo de elementos é calculada pela seguinte fórmula:

$$C = \frac{N(N - 1)}{2} \quad (8.1)$$

em que,

C: número de comparações no grupo; e
N: número de elementos do grupo.

O AHP gera modelos provenientes da subjetividade dos decisores envolvidos no processo que, geralmente são especialistas no assunto analisado. Entretanto, é necessário determinar até que ponto os resultados são eficazes, uma vez que a mente humana está sujeita a variações de pensamentos. A eficácia desses resultados é determinada através do cálculo da consistência lógica das respostas obtidas em uma matriz de comparações paritárias.

O ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou idéias. A consistência lógica estabelece a qualidade desses relacionamentos e indica até que ponto os mesmos são coerentes (LISBOA, 2002). Segundo SAATY (1993) *apud* GOMES *et al* (2004), a inconsistência pode ser inerente ao comportamento

humano; portanto, o AHP estabelece certa tolerância para a consistência lógica dos resultados.

A consistência lógica de uma matriz de comparações deve ser calculada quando o grupo comparado apresenta mais de dois elementos. Um grupo com apenas dois elementos não estabelece referências de comparações, ou seja, quando se afirma que A é mais importante do que B e que B é mais importante do que C, estabelece-se uma referência para a comparação entre A e C. Logicamente, para que essa comparação seja consistente, A deverá apresentar uma importância em relação a C maior do que apresentou em relação a B. Quando apenas A e B são comparados não é possível determinar se houve variação ou não no pensamento do decisor, pois o mesmo prefere A ou prefere B ou então acha que os dois apresentam a mesma importância.

Para calcular a consistência lógica de uma matriz quadrada de ordem n no AHP, pode-se utilizar o método do autovetor direito (GOMES *et al*, 2004) que consiste na determinação de uma razão de consistência (RC) para indicar o quanto as respostas fornecidas por um decisor são coerentes.

Para determinação da razão de consistência, deve-se, inicialmente, preencher corretamente a matriz de comparações paritárias. Em seguida, essa matriz deve ser normalizada, dividindo-se cada elemento da mesma pela soma de todos os elementos da coluna a qual pertence. O próximo passo consiste em calcular a média aritmética de cada linha da matriz normalizada. As médias aritméticas das linhas formam o vetor prioridade do grupo de elementos analisados.

Após a determinação do vetor prioridade, deve-se determinar o quanto o autovalor da matriz de comparações paritárias está afastado do valor esperado, o qual consiste na própria ordem da matriz quadrada (n).

Geralmente, o autovalor é definido pela letra grega λ (lambda) e calculado multiplicando-se a matriz de comparações paritárias pelo vetor de prioridades determinado. Em seguida deve ser realizado um somatório das divisões realizadas entre cada elemento do vetor resultante dessa multiplicação pelo respectivo elemento do vetor de prioridades, devendo este somatório ser dividido pelo valor da ordem da matriz (n).

Sabe-se da dificuldade em se compreender a seqüência de cálculos realizados para a determinação do valor de λ ; portanto, a partir de dados fictícios, essa seqüência será ilustrada em um exemplo, visando facilitar a compreensão deste cálculo. O exemplo será adaptado daquele proposto em GOMES *et al* (2004).

Supondo que para a seleção de uma via para receber intervenções, o critério a ser analisado é o aspecto físico. Para facilitar a mensuração desse critério, o mesmo foi dividido em quatro subcritérios em um nível hierárquico inferior: condições de rolamento, geometria, drenagem e materiais. Ao se aplicar a matriz de comparação paritária a um decisor, o mesmo manifestou sua preferência da seguinte forma:

- a. as condições de rolamento nem são um pouco mais importante e nem apresentam a mesma importância que a drenagem, ou seja, apresentam um valor intermediário (o valor 2 foi atribuído);
- b. as condições de rolamento são muito mais importantes do que os materiais (o valor 5 foi atribuído);
- c. as condições de rolamento são um pouco mais importantes do que a geometria (o valor 3 foi atribuído);
- d. a drenagem é um pouco mais importante do que os materiais (o valor 3 foi atribuído);
- e. a drenagem é um pouco mais importante do que a geometria (o valor 3 foi atribuído); e
- f. os materiais nem são um pouco mais importante e nem apresentam a mesma importância que a geometria, ou seja, apresentam um valor intermediário (o valor 2 foi atribuído).

A partir das respostas do decisor é possível montar a matriz de comparações paritárias quadrada e de ordem 4 que está mostrada na Tabela 8.2.

Tabela 8.2: Matriz de Comparações Paritárias do Critério Aspectos Físicos

	Condições de Rolamento	Drenagem	Materiais	Geometria
Condições de Rolamento	1	2	5	3
Drenagem	$\frac{1}{2}$	1	3	3
Materiais	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	1	2
Geometria	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1

O próximo passo para o cálculo da razão de consistência é a normalização da matriz. A soma da coluna 1 da matriz é 2,033 (1 + 0,5 + 0,2 + 0,333), da coluna 2 é 3,667 (2 + 1 + 0,333 + 0,333), da coluna 3 é 9,5 (5 + 3 + 1 + 0,5) e da coluna 4 é 9 (3 + 3 + 2 + 1). Ao dividir cada elemento pelo somatório dos elementos da coluna a que pertence, obtém-se a matriz normalizada da Tabela 8.3.

Para a determinação do vetor de prioridades, as médias aritméticas de cada linha da matriz normalizada apresentada na Tabela 8.3 devem ser calculadas. Portanto a prioridade das condições de rolamento no que diz respeito aos aspectos físicos é 47,42% ((0,492 + 0,545 + 0,526 + 0,333)/4 = 0,4742), da drenagem é 29,19% ((0,246 + 0,273 + 0,316 + 0,333)/4 = 0,2919), dos materiais é 12,92% ((0,098 + 0,091 + 0,105 + 0,222)/4 = 0,1292) e da geometria é 10,47% ((0,164 + 0,091 + 0,053 + 0,111)/4 = 0,1047). É importante salientar que o somatório das prioridades deve resultar em um valor unitário.

Tabela 8.3: Matriz de Comparações Paritárias Normalizada

	Condições de Rolamento	Drenagem	Materiais	Geometria
Condições de Rolamento	$\frac{1}{2,033} = 0,492$	$\frac{2}{3,667} = 0,545$	$\frac{5}{9,5} = 0,526$	$\frac{3}{9} = 0,333$
Drenagem	$\frac{0,5}{2,033} = 0,246$	$\frac{1}{3,667} = 0,273$	$\frac{3}{9,5} = 0,316$	$\frac{3}{9} = 0,333$
Materiais	$\frac{0,2}{2,033} = 0,098$	$\frac{0,333}{3,667} = 0,091$	$\frac{1}{9,5} = 0,105$	$\frac{2}{9} = 0,222$
Geometria	$\frac{0,333}{2,033} = 0,164$	$\frac{0,333}{3,667} = 0,091$	$\frac{0,5}{9,5} = 0,053$	$\frac{1}{9} = 0,111$

Após a determinação das prioridades, o autovalor representado por λ (lambida) deve ser calculado. O primeiro passo é multiplicar a matriz de comparações pelo vetor de prioridades como indicado na Figura 8.4.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 5 & 3 \\ \frac{1}{2} & 1 & 3 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,4742 \\ 0,2919 \\ 0,1292 \\ 0,1047 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,0181 \\ 1,2307 \\ 0,5307 \\ 0,4247 \end{bmatrix}$$

Figura 8.4: Multiplicação da Matriz de Comparações pelo Vetor de Prioridades

Em seguida, deve ser realizado um somatório das divisões realizadas entre cada elemento do vetor resultante, indicado na Figura 8.4, pelo respectivo elemento do vetor de prioridades. Em seguida, esse somatório deve ser dividido pelo valor da ordem da matriz (n). A fórmula que representa essa operação é a seguinte:

$$\lambda_{\max imo} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i} \quad (8.2)$$

em que:

$\lambda_{\max imo}$: autovalor procurado;

n : ordem da matriz de comparações;

Aw : vetor resultante (mostrado na figura 8.4); e

w : vetor de prioridades calculado.

Portanto, para o exemplo dado, o autovalor calculado é o seguinte:

$$\lambda_{\max imo} = \frac{1}{4} \left(\frac{2,0181}{0,4742} + \frac{1,2307}{0,2919} + \frac{0,5307}{0,1292} + \frac{0,4247}{0,1047} \right) = 4,1590$$

O próximo passo no cálculo da razão de consistência (RC) é a determinação do índice de consistência (IC). Esse índice é usado para indicar o quanto o valor de $\lambda_{\max imo}$ de uma matriz está afastado de seu valor esperado, o próprio n (LISBOA, 2002). A fórmula para a determinação do índice de consistência (IC) é a seguinte:

$$IC = \frac{(\lambda_{\text{máximo}} - n)}{(n - 1)} \quad (8.3)$$

em que:

$\lambda_{\text{máximo}}$: autovalor identificado;

IC : índice de consistência; e

n : ordem da matriz de comparações.

Para o cálculo da razão de consistência (RC), ainda se faz necessário determinar um índice aleatório denominado de índice randômico (IR), calculado para matrizes quadradas de ordem n pelo Laboratório Nacional de *Oak Ridge*, nos Estados Unidos (GOMES *et al*, 2004). Esse índice é estabelecido em função da própria ordem da matriz. Os índices randômicos (IR) estão mostrados na Tabela 8.4.

Tabela 8.4: Índices Randômicos em Função da Ordem da Matriz (N)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

Fonte: SCHMIDT (1995)

O valor da Razão de Consistência (RC) é obtido pela divisão do Índice de Consistência (IC) pelo Índice Randômico (IR), portanto: $RC = IC/IR$.

Calculando-se o índice de consistência (IC) do exemplo, obtém-se um valor de 0,053. De acordo com a ordem de comparações e com a Tabela 8.4, o valor do índice randômico é de 0,90. Portanto, o valor da razão de consistência (RC) é de 0,0589 ou 5,89%.

De acordo com SAATY (1991) *apud* SCHMIDT (1995), uma razão de consistência maior que 10% indica que a qualidade dos julgamentos deve ser melhorada através de uma revisão de estimativas. Portanto, o valor obtido no exemplo acima é perfeitamente tolerável, pois apresenta um RC de 5,89%.

Caso as matrizes de comparações de uma determinada hierarquia apresentem muita inconsistência, a estruturação do modelo deve ser revisada ou, então, deve ser realizada uma melhoria na obtenção dos julgamentos com a mudança dos critérios ou com a mudança dos decisores. O Capítulo 9 apresenta a aplicação dos conceitos do AHP para indicar a ordem de prioridade de vias do município de Aquiraz, no Ceará.

CAPÍTULO 9

MÉTODO PARA PRIORIZAÇÃO DAS VIAS NÃO PAVIMENTADAS DA ÁREA DE ESTUDO

9.1. INTRODUÇÃO

Um dos objetivos desse trabalho é identificar e aplicar um método no processo de priorização de vias não pavimentadas, levando em consideração uma série de variáveis pertinentes às mesmas.

O método escolhido se embasa no modelo multicritério de apoio à decisão denominado *Analytic Hierarchy Process* – AHP, e foi adotado devido a sua simplicidade metodológica e aparente facilidade de aplicação em problemas envolvendo a área de transportes.

No trabalho, seguiu-se a seqüência estabelecida pelo AHP que consiste em: estruturar o problema, definir e hierarquizar os critérios e indicadores, comparar par-a-par os critérios pertencentes a um mesmo grupo, calcular a consistência lógica, determinar as prioridades e analisar as alternativas.

O trabalho tomou como base a dissertação de LISBOA (2002), intitulada: “Contribuição para Tomada de Decisão na Classificação e Seleção de Alternativas de Traçado para Rodovias em Trechos Urbanizados”. Nesta dissertação, aquele autor aplicou o modelo AHP para de auxiliar os tomadores de decisão na seleção do melhor traçado, em uma série de alternativas, para a travessia de uma área urbana. A seqüência lógica utilizada pelo referido autor foi seguida no desenvolvimento deste trabalho, tendo sido necessárias algumas mudanças e adaptações, descritas ao longo do capítulo.

9.2. DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS E INDICADORES

Na definição do AHP verifica-se que a determinação dos critérios deve ser realizada a partir da opinião de especialistas. No presente trabalho, os critérios foram definidos baseados em elementos extraídos da literatura técnica.

A primeira idéia foi descobrir quais os elementos responsáveis pelo aparecimento dos defeitos sobre a superfície de rolamento de estradas não pavimentadas. Em análise de trabalhos como os de ODA (1995), FONTENELE (2001),

EATON *et al* (1992), CORREIA (2003), CORREIA *et al* (2004), MOREIRA (2003), NUNES (2003, 2005) e BAESSO & GONÇALVES (2003), foram estudadas as causas dos principais defeitos apresentados em estradas de terra. Essas causas foram associadas a grupos relativos de variáveis endógenas e exógenas pertinentes às vias, tais como: drenagem, geometria, materiais e tráfego.

A análise destes trabalhos levou à montagem da Tabela 9.1, a qual indica as variáveis associadas às causas de cada tipo de defeito. Para facilitar o entendimento, observou-se o defeito seção transversal imprópria - STI, o qual resulta de uma superfície de rolamento sem declividade transversal para direcionar a água para as valetas. Esta condição é caracterizada pela água escoando ao longo da superfície de rolamento e conseqüentemente pela erosão em função da intensidade da chuva (ODA, 1995).

A análise das causas do defeito STI leva à identificação da influência das variáveis no aparecimento do referido defeito:

- a. geometria transversal - a falta de declividade transversal impossibilita o escoamento da água para fora do corpo estradal;
- b. pluviometria – a quantidade de chuva provoca a incidência de água sobre o corpo estradal.

As siglas dos defeitos apresentados na Tabela 9.1 são as seguintes:

- a. STI – seção transversal imprópria;
- b. DLI – drenagem lateral inadequada;
- c. COR – corrugações;
- d. POE – poeira;
- e. BUR – buracos;
- f. ATR – afundamento de trilha de roda;
- g. SEG – segregação de agregados;
- h. ARE – formação de areal;
- i. ATO – Formação de Atoleiros;
- j. PES – Pista Escorregadia;

k. ERO – Erosões; e

l. FAC – Facção.

Tabela 9.1: Variáveis Associadas às Causas de Cada Tipo de Defeito

Defeito	Materiais		Geometria		Tráfego		Drenagem		Pluviom.
	Tipo	CBR	Long.	Transv.	Tipo	Volume	Superf.	Prof.	
STI				X					X
DLI							X	X	X
COR	X	X		X	X	X			X
POE	X				X	X			
BUR	X			X		X	X	X	X
ATR		X		X	X	X	X	X	X
SEG	X		X			X			
ARE	X		X	X		X			
ATO	X			X			X	X	X
PES	X		X	X			X	X	X
ERO	X		X	X			X	X	X
FAC	X					X			

O Anexo 1 apresenta uma explanação sobre alguns desses defeitos e uma descrição de suas características. Os trabalhos de ODA (1995), FONTENELE (2001), CORREIA (2003), MOREIRA (2003) e BAESSO & GONÇALVES (2003) apresentam prováveis causas de todos esses defeitos.

De acordo com a Tabela 9.1, os grupos de variáveis que estariam influenciando o aparecimento do defeito STI seriam: geometria e pluviometria. Foram definidos os seguintes grupos de variáveis, ao longo do estudo, associadas às causas dos defeitos:

- a. materiais – grupo que engloba as variáveis tipo de material e capacidade de suporte;
- b. geometria – grupo que engloba as variáveis geometria longitudinal e geometria transversal;
- c. tráfego – grupo que engloba as variáveis tipo de tráfego e volume de tráfego;
- d. drenagem – grupo que engloba as variáveis drenagem superficial e drenagem profunda; e
- e. pluviometria – grupo que engloba a variável índice pluviométrico.

LISBOA (2002) segue a linha de raciocínio na qual considera que a maneira mais comum de se traduzir as divergências de interesses e pensamentos é determinar os critérios por categorias: critérios econômicos, sociais, ambientais, físicos, etc.

Adotando-se essa mesma linha de pensamento, os grupos mostrados na Tabela 9.1 foram agrupados: Aspectos Físicos (geometria, materiais e drenagem), Aspectos de Tráfego e Aspectos Climáticos. De acordo com este raciocínio, a estrutura do modelo foi definida como aquela mostrada na Figura 9.1.

A estrutura da Figura 9.1 não foi ainda suficiente para o desenvolvimento do modelo pretendido, pois apresentava critérios difíceis de serem mensurados, tais como a geometria longitudinal, a geometria transversal e os tipos de materiais. Além disso, de acordo com o que foi comentado no Capítulo 7, o modelo pretendido deveria englobar variáveis que levassem em consideração a importância social e administrativa de uma via não pavimentada. Por este motivo, surgiu a necessidade de se melhorar a estrutura hierárquica suprida com a inserção de um maior número de critérios, julgados capazes de apresentarem um melhor detalhamento das características de cada uma das vias analisadas.

Como uma característica marcante do AHP é a redução da complexidade de um problema, através da sua estruturação em níveis hierárquicos, então os critérios que apresentavam dificuldade de mensuração foram divididos em subcritérios, em níveis hierárquicos inferiores, até que fosse atingido um nível de complexidade aceitável.

Para melhorar a estrutura apresentada, realizou-se uma sessão de *brainstorming* - técnica utilizada para encorajar pensamento criativo visando a solução de algum problema - onde engenheiros civis analisaram os critérios já estabelecidos e manifestaram suas opiniões críticas e construtivas. Após um longo período de discussão e de divergências de pontos de vista, chegou-se a um consenso e a uma nova estrutura.

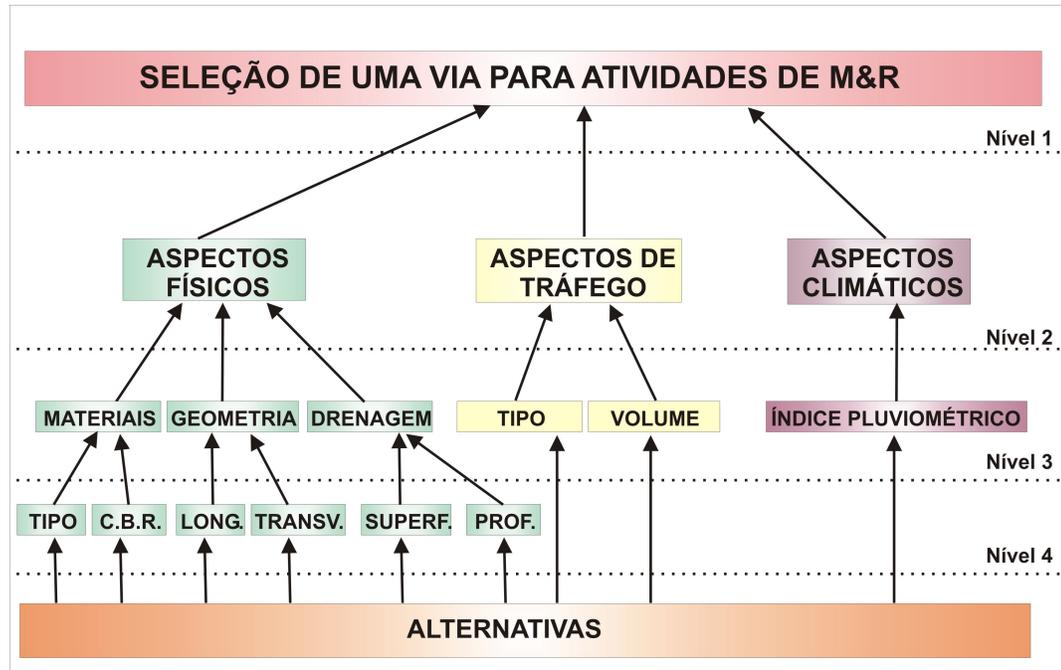


Figura 9.1: Estrutura Hierárquica Considerada

Para participarem da sessão de *brainstorming* foram selecionados profissionais especialistas em projetos viários, mas com diferentes visões sobre o tema. Para tanto, foram convidados engenheiros civis apresentando três tipos de perfis diferentes: com bastante vivência prática, com vivência prática e acadêmica e com bastante conhecimento teórico. Seis engenheiros participaram dessa sessão. Dois deles são profissionais que projetam e analisam viabilidade econômica de vias. Dois são professores doutores da Universidade Federal do Ceará e ministram disciplinas relativas a projetos e atividades de gerência e conservação de estradas. Os outros dois são alunos do programa de mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN, pela mesma universidade, cujas pesquisas estão relacionadas ao assunto abordado neste trabalho.

O processo de *brainstorming* resultou em uma nova estrutura hierárquica e em novos critérios. Essa nova estrutura e os novos critérios encontram-se ilustrados na Figura 9.2.

A estrutura e os critérios tiveram novamente que ser mudados, pois as alternativas analisadas foram provenientes de dados coletados por CORREIA (2003), MOREIRA (2003) e NUNES (2003) em estradas de terra no município de Aquiraz, no Ceará. Para tanto, uma adaptação na estrutura se fez necessária. As adaptações

ocorreram nos critérios tipo de solo, geometria longitudinal e geometria transversal. A estrutura hierárquica definitiva e utilizada para desenvolvimento do modelo pode ser vista na Figura 9.3.

O critério tipo de solo foi subdividido em solos granulares e solos siltosos e argilosos. Essa divisão foi proveniente da estrutura adotada no trabalho de NUNES (2003), no qual foi feita uma análise dos materiais constituintes do pavimento de três vias não pavimentadas do município de Aquiraz, no Ceará e os resultados dessa análise foram usados ao longo desse trabalho, por isso a necessidade da adaptação de tais critérios.

Pelo mesmo motivo, as divisões do critério geometria longitudinal deram origem aos subcritérios rampas até 3%, rampas entre 3 e 8% e rampas maiores que 8%. O critério geometria transversal passou a encabeçar um grupo formado pelos elementos seções transversais com abaulamento, em calha ou mistas, conduzindo a uma melhor visualização da estrutura hierárquica através da Figura 9.3, tendo os indicadores para os critérios sido listados na Tabela 9.2.

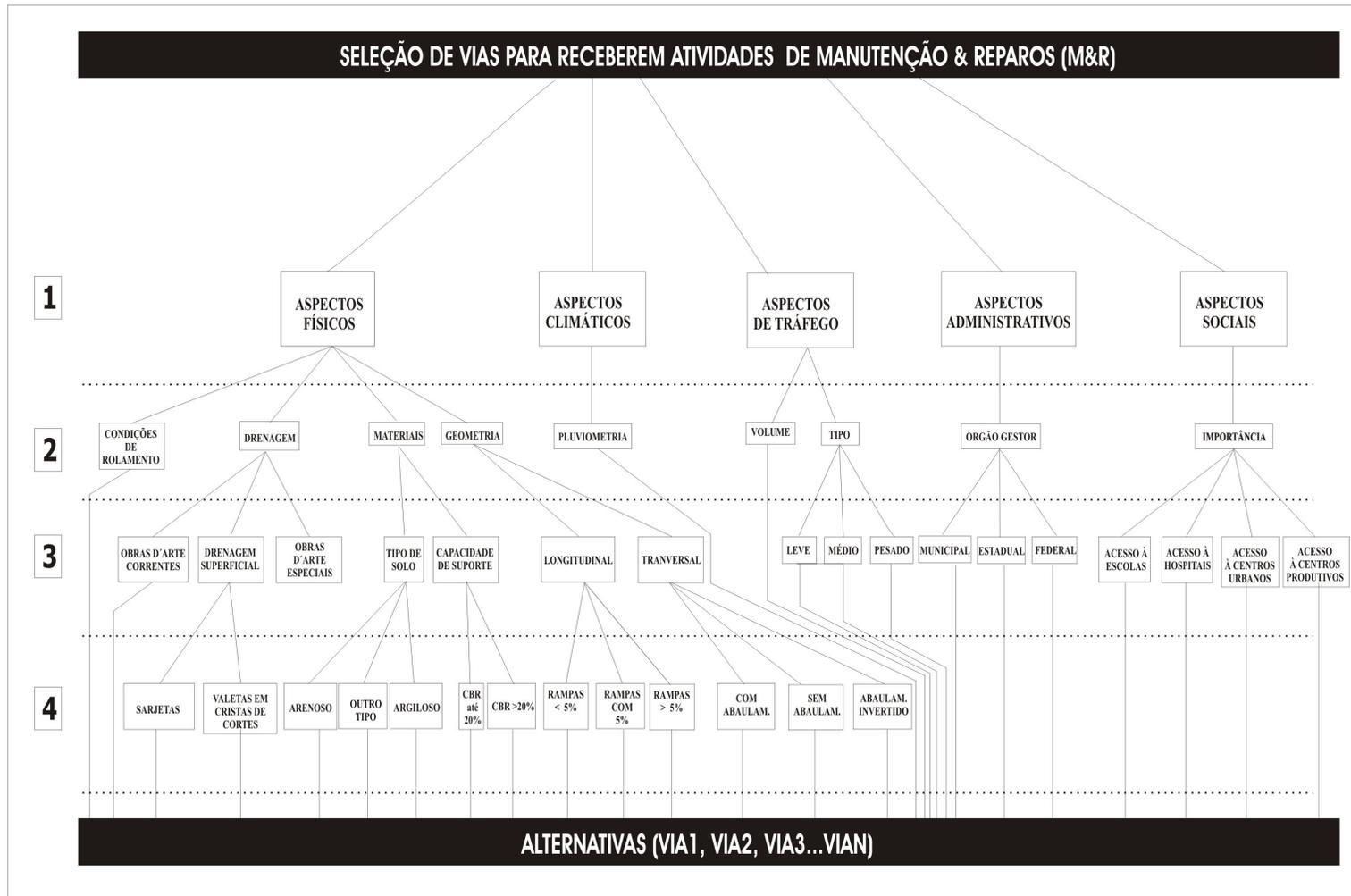


Figura 9.2: Estrutura Resultante da Sessão de *Brainstorming*

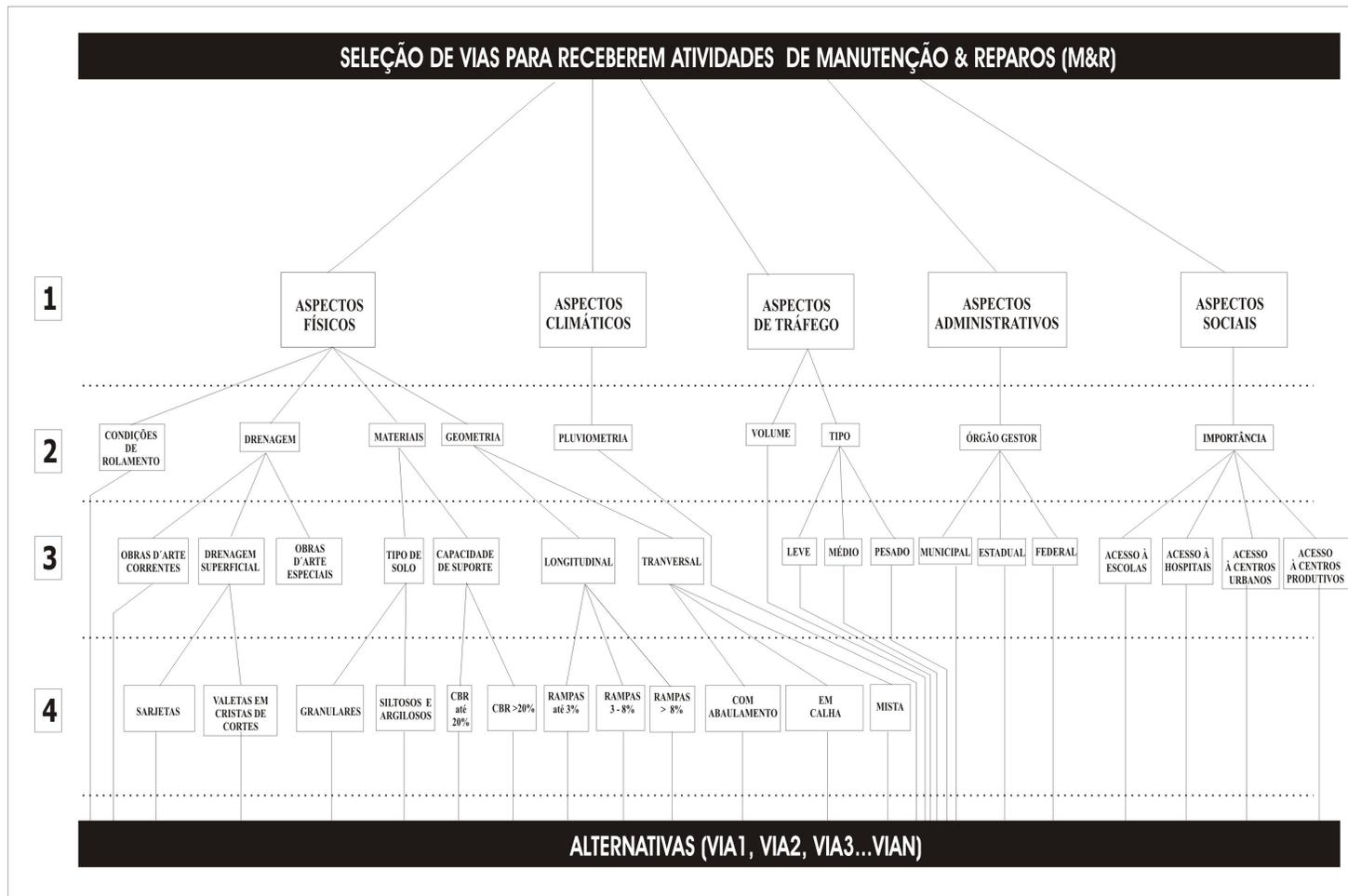


Figura 9.3: Estrutura Hierárquica Definitiva

Tabela 9.2: Critérios e Indicadores Adotados para o Modelo Proposto

CRITÉRIOS Nível 1	INDICADORES			UNIDADES
	Nível 2	Nível 3	Nível 4	
ASPECTOS FÍSICOS	* DRENAGEM	* Obras D`Arte Correntes		quantidade ao longo do trecho
		* Drenagem Superficial	Sarjetas nos Cortes	% de extensão em superfície
			Valetas em Cristas de Cortes	% de extensão em superfície
	* Obras D`Arte Especiais		quantidade ao longo do trecho	
	* CONDIÇÕES DE ROLAMENTO			Índice de Condição de Rolamento
	* MATERIAIS	* Tipo de Solo	Solo Granular	% da área que apresenta esse material
			Solo Siltoso ou Argiloso	% da área que apresenta esse material
		* Capacidade de Suporte	CBR até 20%	% da via com esse suporte
			CBR maior que 20%	% da via com esse suporte
	* GEOMETRIA	* Longitudinal	Rampas até 3%	% da via com essa característica de rampa
			Rampas entre 3 e 8%	% da via com essa característica de rampa
			Rampas Maiores que 8%	% da via com essa característica de rampa
		* Transversal	Com Abaulamento	% de seções com essas características
			Em Calha	% de seções com essas características
Mista			% de seções com essas características	
ASP. CLIMÁTICOS	* PLUVIOMETRIA			índice pluviométrico
ASPECTOS DE TRÁFEGO	* TIPO	* Leve	% de Veículos	
		* Médio	% de Veículos	
		* Pesado	% de Veículos	
	* VOLUME			VMD
ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	* ÓRGÃO GESTOR	* Municipal	% da via sob essa jurisdição	
		* Estadual	% da via sob essa jurisdição	
		* Federal	% da via sob essa jurisdição	
ASPECTOS SOCIAIS	* IMPORTÂNCIA DA VIA	* Acesso à Escolas	quantidade de escolas acessadas	
		* Acesso à Hospitais	quantidade de hospitais acessados	
		* Acesso à Centros Produtivos	quantidade de centros produtivos acessados	
		* Acesso à Centros Urbanos	quantidade de centros urbanos acessados	

9.2.1. Descrição dos Critérios e Seus Respectivos Indicadores

Os tópicos seguintes descrevem os critérios que são mensuráveis no modelo proposto com seus respectivos indicadores.

- a. **obras d'artes correntes:** esse critério diz respeito aos bueiros existentes ao longo da via (ou segmento viário) analisada. O indicador para esse critério consiste na quantidade absoluta desse tipo de dispositivo de drenagem identificada na área vistoriada. É um dispositivo muito importante, pois permite que o fluxo de água atravesse a via sem provocar prejuízos à mesma;
- b. **sarjetas de corte:** esse dispositivo é instalado na parte inferior dos cortes com o intuito de impedir que a água que desce pelos mesmos não adentrem a pista de rolamento. É responsável também pela condução longitudinal da água que é colocada para fora da pista. O indicador utilizado para mensurar as sarjetas de corte consiste na relação entre o comprimento linear das sarjetas e a extensão da via analisada;
- c. **valetas em cristas de cortes:** geralmente são valas escavadas nas cristas dos cortes com o intuito de impedir que a água desça pelo mesmo ou que, pelo menos, diminua sua velocidade. Esse dispositivo tem a função de preservar os taludes de corte e são escavados longitudinalmente à via ao longo de toda a extensão do corte. Assim como nas sarjetas de corte, o indicador utilizado para mensurar esse critério consiste na relação entre o comprimento linear do dispositivo e a extensão da via analisada;
- d. **obras d'artes especiais:** esse critério diz respeito às pontes existentes ao longo da via (ou segmento viário) analisada. É um dispositivo caro, mas indispensável em situações onde o traçado da via tenha que transpor rios, riachos ou outras barreiras naturais. O indicador considerado para esse critério é a quantidade absoluta de pontes existentes ao longo do trecho viário estudado;
- e. **condições de rolamento:** esse critério está diretamente relacionado aos defeitos incidentes sobre a superfície de rolamento. Os tipos de defeitos com suas respectivas severidades são identificados e mensurados e os resultados são utilizados para o cálculo de um índice de condição (IC) da superfície de rolamento. São vários os métodos que podem ser aplicados para determinação desse índice de condição (IC), inclusive o modelo proposto nesse trabalho (ver

Capítulo 6). O próprio índice de condição é um indicador para mensurar as condições de rolamento de uma via não pavimentada;

- f. **solos granulares:** esse critério está relacionado à quantidade de material constituinte das camadas do pavimento, seja projetado ou leito natural, caracterizado como granular no sistema da *Highway Research Board* - H.R.B. A relação entre a área que apresenta materiais granulares e a área total estudada representa um bom indicador para mensurar a incidência desse tipo de material;
- g. **solos siltosos ou argilosos:** esse critério está relacionado à quantidade de material constituinte das camadas do pavimento, seja projetado ou leito natural, caracterizado como siltoso ou argiloso no sistema da *Highway Research Board* - H.R.B. A porcentagem da área que apresenta materiais siltosos ou argilosos em relação a área total estudada representa um bom indicador para mensurar a incidência desse tipo de material;
- h. **materiais com CBR até 20%:** esse critério está relacionado com a capacidade de suporte apresentada por um determinado material. O CBR, conhecido como Índice de Suporte Califórnia, é um índice que representa uma relação entre a pressão correspondente a uma determinada penetração em uma amostra de solo e uma pressão padrão. As pressões padrões foram obtidas ensaiando uma brita graduada de alta qualidade. Materiais que apresentam CBR até 20% são geralmente utilizados em camadas que não venham a receber uma quantidade grande de carga proveniente da passagem dos veículos. A porcentagem da área que apresenta materiais com valores de CBR até 20% em relação à área total estudada é um bom indicador para tal critério;
- i. **materiais com CBR maior que 20%:** materiais que apresentam CBR maiores do que 20% são geralmente utilizados em camadas mais superficiais e que estão sujeitos a cargas mais intensas. A porcentagem da área que apresente materiais com valores de CBR maiores que 20% em relação à área total estudada se apresenta como um bom indicador para tal critério;
- j. **rampas até 3%:** esse critério está diretamente relacionado com a geometria longitudinal da via. Rampas que apresentem inclinações até 3% são consideradas nesse trabalho como suaves. O indicador utilizado para mensurá-las consiste em uma porcentagem obtida da relação entre a soma das

extensões lineares de todas as rampas que apresentem essas inclinações e extensão linear total da via analisada;

- k. **rampas entre 3 e 8%:** rampas que apresentem inclinações entre 3 e 8% são consideradas nesse trabalho como intermediárias. O indicador utilizado para mensurá-las segue a mesma lógica do indicador para rampas até 3%;
- l. **rampas maiores que 8%:** rampas que apresentem inclinações maiores que 8% são consideradas nesse trabalho como sendo de alta inclinação. O indicador é idêntico aos dos dois critérios anteriores;
- m. **seção transversal com abaulamento:** esse critério está relacionado com a geometria transversal apresentada pela via, a qual tem a função de escoar a água para fora da superfície de rolamento. Nesse trabalho, uma seção transversal é considerada como abaulada quando apresenta inclinações transversais para os dois lados da pista tomando como ponto divisor de águas o eixo da mesma. O indicador utilizado para mensurar esse critério nesse trabalho é a porcentagem da quantidade de seções transversais que apresentam abaulamento para os dois lados da pista em relação à quantidade total de seções identificadas;
- n. **seção transversal em calha:** uma seção transversal é caracterizada dessa forma quando não apresenta inclinações transversais ou se encontra encaixada na plataforma da pista. Geralmente esse tipo de seção é proveniente de serviços de restauração mal feitos com emprego de técnicas não adequadas à situação. Geralmente nos municípios, a prefeitura apenas realiza uma raspagem na pista de rolamento, com auxílio de uma motoniveladora, para eliminar a irregularidade provocada pelos defeitos. Essa técnica, além de rebaixar o terreno natural também diminui sua capacidade de suporte, tornando mais propício o aparecimento de novos defeitos mais intensos e em um menor intervalo de tempo. Na maioria dos casos, durante o processo de raspagem da pista, não são aplicadas técnicas adequadas e a inclinação transversal não é considerada. O resultado é uma superfície plana sem condições de escoar a água proveniente das chuvas. O indicador utilizado para mensurar esse critério é a relação entre a quantidade de seções transversais em calha e a quantidade total de seções transversais identificadas;
- o. **seção transversal mista:** uma seção transversal é caracterizada dessa forma quando apresenta abaulamento apenas em um lado da pista enquanto o outro

é plano. Nesse caso, a drenagem é parcial pelo fato de a água continuar acumulando no lado desprovido de inclinação transversal. O indicador para esse critério é similar aos dos dois critérios anteriores;

- p. **pluviometria:** esse critério está diretamente relacionado com a quantidade de chuva que incide sobre as vias analisadas no período de realização do estudo. É um critério muito importante, pois a água é um agente responsável por muitos problemas causados nos pavimentos. Uma forma de mensurar esse critério é o próprio índice pluviométrico registrado na área de estudo no período desejado. Esse índice é fornecido por órgãos especializados no assunto, tais como: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME e o Departamento de Monitoramento Hidro-ambiental – DEPAM;
- q. **tráfego leve:** esse critério diz respeito à quantidade de veículos considerados como leves que trafegam pela via estudada. Como a literatura técnica apresenta uma quantidade variada de critérios para classificação do tipo e do volume de tráfego, então os mesmos não serão explicados nesse trabalho. O indicador utilizado para mensurar esse critério consiste na porcentagem de veículos classificados como leve em relação à quantidade total de veículos contados;
- r. **tráfego médio:** esse critério diz respeito à quantidade de veículos considerados como médios que trafegam pela via estudada. O indicador utilizado para mensurar esse critério consiste na porcentagem de veículos classificados como médio em relação à quantidade total de veículos contados;
- s. **tráfego pesado:** esse critério diz respeito à quantidade de veículos considerados como pesados que trafeguem pela via estudada. O indicador utilizado para mensurar esse critério consiste na porcentagem de veículos classificados como pesados em relação à quantidade total de veículos contados;
- t. **volume de tráfego:** esse critério diz respeito à quantidade de veículos que trafeguem pela via estudada. O indicador utilizado para mensurar esse critério é o próprio Volume Médio Diário – VMD que é determinado através de contagem de tráfego realizada na área de estudo;
- u. **jurisdição municipal:** esse critério está relacionado ao fato de que o órgão responsável pela manutenção e conservação da via é subordinado à prefeitura

municipal. O indicador adotado para esse critério foi à porcentagem da via que está sob jurisdição municipal;

- v. **jurisdição estadual:** esse critério está relacionado ao fato de que o órgão responsável pela manutenção e conservação da via é subordinado ao Departamento Estadual de Estradas e Rodagem – DER. O indicador adotado para esse critério foi à porcentagem da via que está sob jurisdição estadual;
- w. **jurisdição federal:** esse critério está relacionado ao fato de que o órgão responsável pela manutenção e conservação da via é subordinado ao Departamento Nacional de Infra-Estrutura dos Transportes – DNIT. O indicador adotado para esse critério foi à porcentagem da via que está sob jurisdição federal;
- x. **acesso a escolas:** esse critério está relacionado com a importância social apresentada pela via (ou segmento viário) estudada. É muito comum em municípios de pequeno porte que escolas se localizem fora da zona urbana. O acesso às mesmas é realizado por meio de estradas de terra, as quais se tornam muito importante para que a população tenha acesso à educação. O indicador utilizado para mensurar esse critério é a própria quantidade de escolas que a via proporciona acesso;
- y. **acesso a hospitais:** como as escolas, há municípios onde os hospitais estão localizados fora da zona urbana e o único acesso aos mesmos é fornecido por uma ou por várias estradas de terra. O indicador utilizado para mensurar esse critério é a própria quantidade de hospitais que existem ao longo da via estudada;
- z. **acesso a centros produtivos:** grande parte das riquezas do país é produzida na zona rural. Geralmente os centros produtivos estão afastados das áreas urbanas e utilizam estradas de terra para terem acesso às vias pavimentadas e então escoar suas produções. Levando-se em conta esse fato, o modelo proposto considerará o acesso das vias estudadas aos centros produtivos. O indicador utilizado para mensurar esse critério consiste na quantidade de centros produtivos que se utilizam da via analisada para escoamento de produção; e

aa. **acesso a centros urbanos:** na zona rural, os municípios geralmente são interligados por estradas de terra. Por isso, levou-se em consideração na estruturação do modelo a quantidade de centros urbanos que a via analisada possibilita o acesso. Essa quantidade consiste no indicador usado para mensurar esse critério.

9.3. APLICAÇÃO DAS COMPARAÇÕES PARITÁRIAS

Após a estruturação hierárquica do problema e a definição e descrição dos critérios e indicadores, o próximo passo para a elaboração do método consistiu na realização das comparações paritárias entre os critérios pertencentes ao mesmo grupo.

Para a realização das comparações paritárias, foi utilizado um questionário adaptado do trabalho de LISBOA (2002). Esse questionário contempla as comparações entre critérios pertencentes a um mesmo grupo e fornecem opções aos entrevistados para atribuir importâncias relativas entre os mesmos. A Figura 9.4 ilustra o cabeçalho do questionário e no Anexo 4 o mesmo é mostrado integralmente.

Cada linha do questionário corresponde a uma comparação. Em cada uma dessas linhas deve ser colocado um “X” na coluna que contém o título MESMA IMPORTÂNCIA quando o decisor considerar que ambas as opções apresentam a mesma importância no alcance do objetivo ou do critério ao qual estão relacionadas. Quando um critério apresentar um grau de importância maior do que a outro, então deve ser colocado um “X” na lacuna relativa ao critério escolhida e, em seguida deve ser colocado outro “X” na coluna que representa o grau de importância desejado.

De acordo com a Figura 9.3 pode-se notar que, no 1º nível, apenas um grupo com mais de 2 elementos foi formado; no 2º nível, foram formados dois grupos; no 3º nível foram formados 6 grupos; e, no 4º nível, foram formados 5 grupos. Vale lembrar que um grupo corresponde a um conjunto de critérios que são subdivisões de outro critério de nível hierárquico mais alto ou do objetivo final. A Tabela 9.3 traz as composições de cada grupo e quantas comparações foram geradas.

Os números de comparações indicados para cada grupo foram determinados utilizando a fórmula 8.1. Os questionários aplicados aos decisores constavam de um total de 43 comparações.

Os resultados das comparações são aplicados em matrizes quadradas de ordem n , onde n corresponde ao número de elementos comparados. Cada grupo de comparações corresponde a uma matriz, portanto o modelo gerou um total de 14 (catorze) matrizes quadradas de comparações distintas. As matrizes geradas pelo modelo com mais de três elementos, portanto sujeitas a análise de consistência lógica, estão mostradas no Anexo 4.

Nome : _____ Data : ____/____/____									
Cargo : _____ Órgão/Empresa : _____									
COMPARAÇÃO	a) Assinale com um X o indicador mais importante. Se ambos apresentarem a mesma importância, assinale a lacuna correspondente.				b) Assinale com um X a opção que melhor expressa a intensidade desta importância.				
	MAIS IMPORTANTE				MESMA IMPORT.	UM POUCO	MUITO	MUITÍSSIMO	EXTREMAMENTE
	1	Sarjetas		Valetas em Cristas de Aterros					
	2	Obras D'Arte Correntes		Drenagem Superficial					
	3	Obras D'Arte Correntes		Obras D'Arte Especiais					
4	Drenagem Superficial		Obras D'Arte Especiais						

Figura 9.4: Questionário Usado para Aplicação das Comparações Paritárias

Após a adaptação do questionário desenvolvido por LISBOA (2002), o mesmo foi aplicado a cinco decisores com o intuito de observar as críticas e comentários destes sobre a estrutura de tal questionário. Verificou-se neste teste piloto que os decisores estavam sentindo dificuldade para definir níveis de importância para as referidas comparações, gerando assim uma necessidade de facilitar o processo de compreensão do questionário.

Tabela 9.3: Descrição dos Grupos e Seus Respectivos Elementos

NÍVEL	NÚMERO DE GRUPOS	GRUPO	NÚMERO DE ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS	NÚMERO DE COMPARAÇÕES
1	1	1	5	Aspectos Físicos Aspectos Climáticos Aspectos de Tráfego Aspectos. Administrativos Aspectos Sociais	10
2	2	1	4	Condições de Rolamento Drenagem Materiais Geometria	6
		2	2	Volume de tráfego Tipo de tráfego	1
3	6	1	3	Obras D'arte Correntes Drenagem Superficial Obras D'arte Especiais	3
		2	2	Tipo de Solo Capacidade de Suporte	1
		3	2	Geometria Longitudinal Geometria Transversal	1
		4	3	Tráfego Leve Tráfego Médio Tráfego Pesado	3
		5	3	Jurisdição Municipal Jurisdição Estadual Jurisdição. Federal	3
		6	4	Acesso a escolas Acesso a hospitais Acesso a Centros Urbanos Acesso a Centros Produtivos	6
4	5	1	2	Sarjetas Valetas em Cristas de Cortes	1
		2	2	Solos Granulares Solos Siltosos e Argilosos	1
		3	2	CBR até 20% CBR > 20%	1
		4	3	Rampas até 3% Rampas entre 3 e 8% Rampas maiores que 8%	3
		5	3	S.T.* com Abaulamento S.T.* Mista S.T.* em Calha	3

* Seção Transversal

Outro ponto que foi observado na aplicação do modelo de questionário desenvolvido por LISBOA (2002) foi que as respostas apresentaram algumas inconsistências do tipo: se um elemento A é um pouco mais importante (valor 3) do que o elemento B e o elemento B é muito mais importante do que o elemento C (5), então, para a matriz ser consistente, o elemento A deveria apresentar um grau de importância entre Muitíssimo (7) e Extremamente (9) em relação ao elemento C. Na prática, os entrevistados não tinham essa noção e, geralmente aplicavam um grau de

importância menor tornando o resultado inconsistente. Como pode ser visto na Figura 9.4, o questionário não apresentava opções de escolha de um valor intermediário (2,4,6 e 8) como proposto pela própria definição do AHP.

Devido a isso, a estrutura do questionário foi modificada de modo a propiciar ao entrevistado uma opção de escolha dos valores intermediários. Outra modificação realizada na estrutura do questionário foi a exibição do valor numérico correspondente a cada grau de importância. A visualização desses valores permitiu ao decisor ter uma maior noção da intensidade de importância que estava atribuindo em cada comparação. O resultado dessa nova estrutura foi uma quantidade muito pequena de inconsistência das respostas. O cabeçalho da nova estrutura do questionário pode ser visto na Figura 9.5.

petran		FICHA DE AVALIAÇÃO				
Nome : _____		Data : ____/____/____				
Cargo : _____		Órgão/Empresa : _____				
<p>* Em cada linha, assinala qual o indicador mais importante em relação ao critério especificado. Se o indicador 1 for mais importante, marque a coluna A com o nº correspondente ao grau dessa importância, de acordo com a legenda. Se o escolhido for o indicador 2, marque a coluna B. Se ambos apresentarem a mesma importância, assinala um X na coluna do meio</p> <p>* As comparações devem ser avaliadas analisando-se a influência dos itens no bom funcionamento de uma estrada de terra.</p>						
Nº	No que diz respeito	Col. A	Critério 1	Meio	Critério 2	Col. B
1	à Drenagem Superficial		Sarjetas		Valetas em Cristas de Cortes	
2	à Drenagem		Obras D'Arte Correntes		Drenagem Superficial	
3	à Drenagem		Obras D'Arte Correntes		Obras D'Arte Especiais	
4	à Drenagem		Drenagem Superficial		Obras D'Arte Especiais	
5	ao Tipo de Solo		Solos Granulares		Solos Siltosos e Argilosos	
6	à Resistência dos Materiais		CBR até 20%		CBR > 20%	
7	às Propriedades dos Materiais		Tipo de Solo		Capacidade de Suporte	
8	à Geometria Longitudinal		Rampas até 3%		Rampas entre 3 e 8%	
9	à Geometria Longitudinal		Rampas até 3%		Rampas maiores que 8%	
<p>Caso um item seja preferível, use a pontuação a seguir para indicar o grau dessa importância</p> <p>LEGENDA :</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> > Não há diferença de importância (coluna do meio)</p> <p><input type="checkbox"/> 2 > A diferença de importância é muito pequena</p> <p><input type="checkbox"/> 3 > O elemento é um pouco mais importante</p>						

Figura 9.5: Nova Estrutura do Questionário

A nova estrutura do questionário traz uma legenda que indica ao decisor qual o valor correspondente ao grau de importância desejado, inclusive os valores intermediários. A forma de preenchimento do questionário também sofreu mudanças. No novo modelo, ao invés de indicar com um "X" o grau de importância desejado, o decisor deve indicar o valor numérico correspondente ao mesmo. Os valores devem ser colocados na coluna A quando o Critério 1 for o mais importante e na coluna B quando a importância for atribuída ao Critério 2. Quando o decisor achar que os dois critérios comparados apresentam a mesma importância então um "X" ou o valor 1 deve ser preenchido na coluna do meio.

O novo modelo de questionário também indica em que as comparações devem ser baseadas, por exemplo: na comparação 1 a importância do critério Sarjetas está

sendo comparado com a importância do critério Valetas em Cristas de Cortes para o bom desempenho da Drenagem Superficial. A referência está indicada na 2ª coluna, intitulada de: No que diz respeito. A legenda que associa os valores numéricos aos graus de importância que está contida no novo questionário é mostrada na Figura 9.6 e o novo modelo de questionário está exemplificado no Anexo 4.

Após a definição do novo modelo de questionário, selecionou-se profissionais para respondê-los. Em LISBOA (2002), o autor selecionou decisores de diversas áreas e com vários pontos de vistas sobre o escopo do trabalho. Para análise dos questionários, foram selecionados profissionais que possuem conhecimento técnico sobre o assunto abordado, considerando vias e as diversas variáveis que influenciam no seu funcionamento. É importante salientar que para variar os pontos de vista, foram selecionados cinco grupos distintos de profissionais: funcionários públicos, consultores, professores universitários, mestres em engenharia de transportes e alunos de mestrado em engenharia de transportes e em logística e pesquisa operacional na Universidade Federal do Ceará - UFC. A saber:

Caso um item seja preferível, use a pontuação a seguir para indicar o grau dessa importância	
LEGENDA :	
<input checked="" type="checkbox"/>	> Não há diferença de importância (coluna do meio)
<input type="checkbox"/>	> A diferença de importância é muito pequena
<input type="checkbox"/>	> O elemento é um pouco mais importante
<input type="checkbox"/>	> Importância Intermediária (entre 3 e 5)
<input type="checkbox"/>	> O elemento é muito mais importante
<input type="checkbox"/>	> Importância Intermediária (entre 5 e 7)
<input type="checkbox"/>	> O elemento é muitíssimo mais importante
<input type="checkbox"/>	> Importância Intermediária (entre 7 e 9)
<input type="checkbox"/>	> O elemento é extremamente mais importante

Figura 9.6: Legenda Indicada no Novo Questionário

- a. **Funcionários públicos:** grupo formado por profissionais pertencentes ao Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes – DERT que estão diretamente ligados a análise de projetos de rodovias. É um grupo com bastante experiência prática no que diz respeito ao conhecimento de elementos e variáveis que influenciam no funcionamento de uma via;
- b. **Consultores:** grupo formado por engenheiros civis, ligados a diversas consultoras especializadas em projetos, execução, análise de viabilidade técnica e econômica e acompanhamento de obras rodoviárias;

- c. **Professores universitários:** grupo formado por professores universitários que desenvolvem pesquisas sobre temas ligados a obras rodoviárias e gerência de pavimentos;
- d. **Mestres em engenharia de transportes:** grupo formado por mestres em engenharia de transportes que desenvolveram pesquisas também sobre temas ligados a infra-estrutura de transportes;
- e. **Alunos de mestrado:** grupo formado por engenheiros civis que se encontram cursando mestrado na Universidade Federal do Ceará – UFC e que estão, ou já estiveram, pesquisando temas ligados a infra-estrutura de transportes.

Esses cinco grupos de profissionais foram selecionados com o intuito de obter diferentes pontos de vistas para a elaboração do método proposto por este trabalho. O grupo dos funcionários públicos e dos consultores é formado por profissionais que possuem uma visão prática e objetiva das variáveis contidas no questionário. O grupo dos professores universitários apresenta uma mistura de conhecimentos práticos e visão teórica de pesquisa, apresentando, assim um ponto de vista diferenciado dos dois grupos já apresentados. Já os grupos dos mestres e alunos de mestrado apresentam um ponto de vista mais teórico sobre o assunto abordado.

O novo modelo do questionário contempla uma pergunta sobre o que o entrevistado achou da estrutura do questionário e dos critérios utilizados. As opções fornecidas no questionário foram: ótima, boa, regular e ruim. De 31 entrevistas realizadas, 26 entrevistados (84,00 %) consideraram a estrutura do questionário e dos critérios boa, 1 entrevistado (3,00%) considerou ótima e 4 (13,00 %) consideraram regular. A Figura 9.7 ilustra a distribuição das opiniões.



Figura 9.7: Opiniões dos Profissionais Sobre a Estrutura do Questionário

Outra informação que o autor, através do questionário, tentou obter foram críticas sobre a estrutura e os critérios. As críticas realizadas por alguns dos entrevistados foram as seguintes:

- a. a credibilidade do trabalho foi contestada devido à alta subjetividade das respostas;
- b. o critério de viabilidade econômica não foi considerado;
- c. foi sentida a falta de algum critério relativo a aterros e a relação greide colado X greide desejado;
- d. foi citado que o modelo tem critérios demais;
- e. a avaliação foi considerada difícil, pois depende muito da situação da via;
- f. foi sugerido que as perguntas contemplassem quantidades;
- g. a hierarquia foi contestada devido à presença de alguns itens não encontrados em vias não pavimentadas; e
- h. foi notada a ausência de um critério que contemplasse a importância do projeto.

9.4. DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA LÓGICA

Em matrizes com três ou mais elementos a consistência das respostas deve ser analisada. Essa consistência é determinada a partir do cálculo de índice denominado de razão de consistência (RC). Esse índice poderia ser melhor definido como sendo uma razão de inconsistência (RI), pois quanto maior seu valor maior será a inconsistência dos resultados. As respostas são consideradas consistentes se a matriz apresentar uma razão de consistência menor ou igual a 10%.

Nesse trabalho foram geradas 8 matrizes com 3 ou mais elementos. Dessas matrizes, deve ser calculada a razão de consistência para cada entrevista. No caso das 31 entrevistas obtidas, foi calculada a consistência lógica de 248 matrizes das respostas individuais. Foi calculada também a consistência lógica das 8 matrizes geradas a partir da combinação das respostas de todas as entrevistas, totalizando 256 matrizes.

Em vários trabalhos da literatura técnica é citada a utilização de um *software* denominado *Expert Choice*, o qual incorpora o AHP. Esse *software* é mundialmente conhecido e tem como principais características aplicar dinamismo às escolhas de um grupo de decisores conseguindo sintetizar a experiência deste grupo e capacitá-lo a pontuar as suas opções com relação às suas metas, determinando a melhor solução.

Nesse trabalho, foi utilizada a versão 11 do *Expert Choice* com o intuito de determinar a consistência lógica de cada uma das matrizes e estabelecer um julgamento combinado para o grupo de entrevistados. A principal função do *Expert Choice* foi apontar a ordem de prioridades mais indicada, corroborada através de uma análise de sensibilidade, para as vias analisadas no município de Aquiraz, no Ceará.

A Figura 9.8 ilustra uma tela do *Expert Choice* mostrando todos os participantes considerados para a determinação dos julgamentos combinados do grupo. A Figura 9.9 ilustra a estrutura dos Aspectos Físicos e a Figura 9.10 mostra a estrutura do restante dos aspectos.

O *Expert Choice* possui seu próprio modelo de questionário para facilitar a inserção dos dados obtidos em cada entrevista. A Figura 9.11 mostra a estrutura desse questionário.

Participants C:\MESTRADO\DISSERTAÇÃO\MODELO EXPERT CHOICE\MODELOS FINAIS\TODOS OS PARTICIPANTES.AHP Combined

PID	PersonName	Combined	Email	Participating	Eval	Location	Weight	Keypad	Wave	Password	ProgressStatus	EvalCluster	Organization	LastChanged
0	Facilitator	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>										5/7/2006 21:03:17
1	Combined	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>										6/7/2006 16:36:40
2	Alexandre Carneiro Waller	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				2	1					6/7/2006 15:56:34
3	Antônio Alberto Gonçalves	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				3	1					6/7/2006 16:06:12
4	Antônio Alves de Oliveira	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				4	1					6/7/2006 16:24:42
5	Antônio Dias de Araújo	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				5	1					6/7/2006 10:14:33
6	Antônio Nobre Rabelo	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				6	1					6/7/2006 12:26:56
7	Bruno de Athayde Prata	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				7	1					6/7/2006 12:03:49
8	Edilson Freitas Queiroz Jr	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				8	1					6/7/2006 09:58:32
9	José Alysson Benício Correia	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				9	1					6/7/2006 16:35:24
10	Eliatá Gadelha de Almeida	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				10	1					6/7/2006 11:51:13
11	Epiácio Lima Filho	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				11	1					6/7/2006 11:40:01
12	Ernesto Ferreira Nobre Jr	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				12	1					5/7/2006 22:57:26
13	Fábio Eduardo Batista Moreira	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				13	1					5/7/2006 21:41:24
14	Francisco Erivan Martins Parente	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				14	1					5/7/2006 22:41:56
15	Franklin José Chaves	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				15	1					6/7/2006 10:08:47
16	Galdino Gondim Lins Ribeiro	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				16	1					6/7/2006 10:42:16
17	Hamifranco Brito Meneses	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				17	1					6/7/2006 09:39:23
18	Joacy Demétrio de Souza Jr	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				18	1					6/7/2006 11:06:42
19	João Bosco de Castro	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				19	1					6/7/2006 10:03:42
20	João Ricardo Ribeiro Vasconcelos	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				20	1					5/7/2006 22:35:13
21	Eduardo Rocha Praça	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				21	1					5/7/2006 22:03:11
22	José Expedito Brandão Filho	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				22	1					6/7/2006 12:08:00
23	Leonardo Silveira Lima	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				23	1					6/7/2006 12:12:08
24	Luiz Antônio Ferreira Santana	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				24	1					6/7/2006 10:19:52
25	Marcos Lima Leandro	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				25	1					6/7/2006 09:25:18
26	Miguel Gonçalves Ribeiro	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				26	1					6/7/2006 10:25:15
27	Paulo Roberto Mor Alves	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				27	1					5/7/2006 22:51:31
28	Roberto Xavier de Lima	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				28	1					6/7/2006 12:23:22
29	Suelyly Barroso	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				29	1					6/7/2006 12:19:08
30	Tércia Valfrida Lima Nunes	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				30	1					6/7/2006 12:15:32
31	Weimar César de Souza Nobre	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				31	1					6/7/2006 10:29:01
32	Fábio Garcia	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				32	1					6/7/2006 11:47:45

Select * from People order by PID

Queries: [dropdown]

Revert Apply All Save Combine Individuals

Close Particip. Delete

Figura 9.8: Participantes Considerados pelo *Expert Choice* para determinação do Julgamento do Grupo

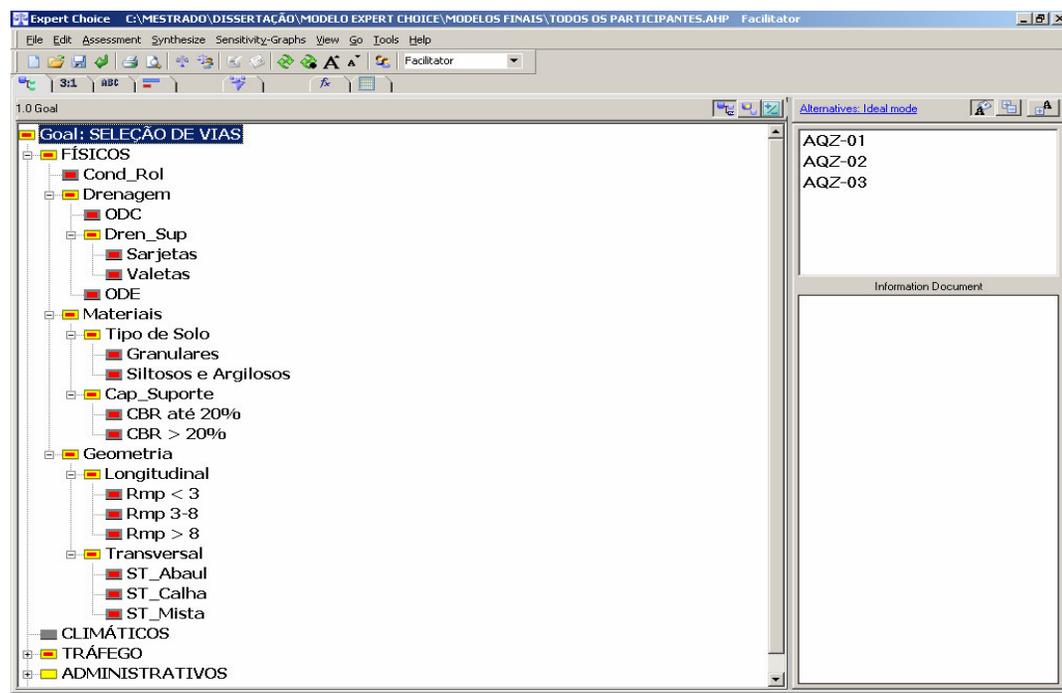


Figura 9.9: Estrutura de Critérios dos Aspectos Físicos já Inserida no *Expert Choice*

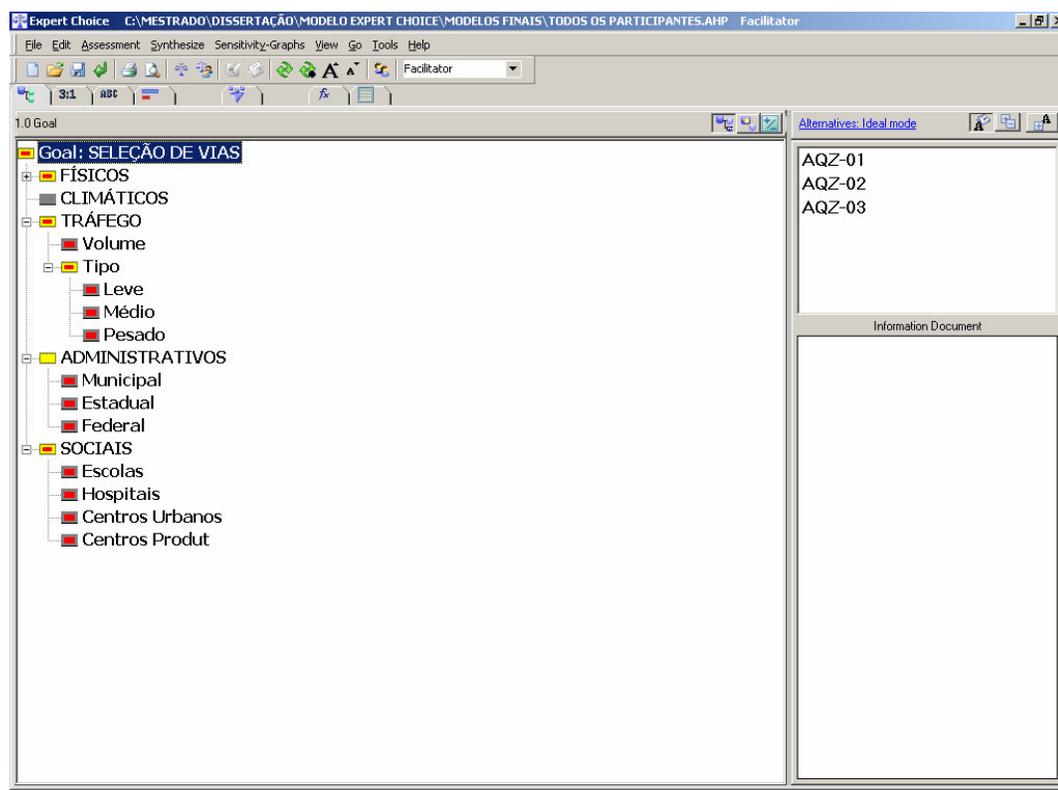


Figura 9.10: Estrutura de Critérios dos Aspectos de Tráfego, Administrativos e Sociais já Inserida no *Expert Choice*

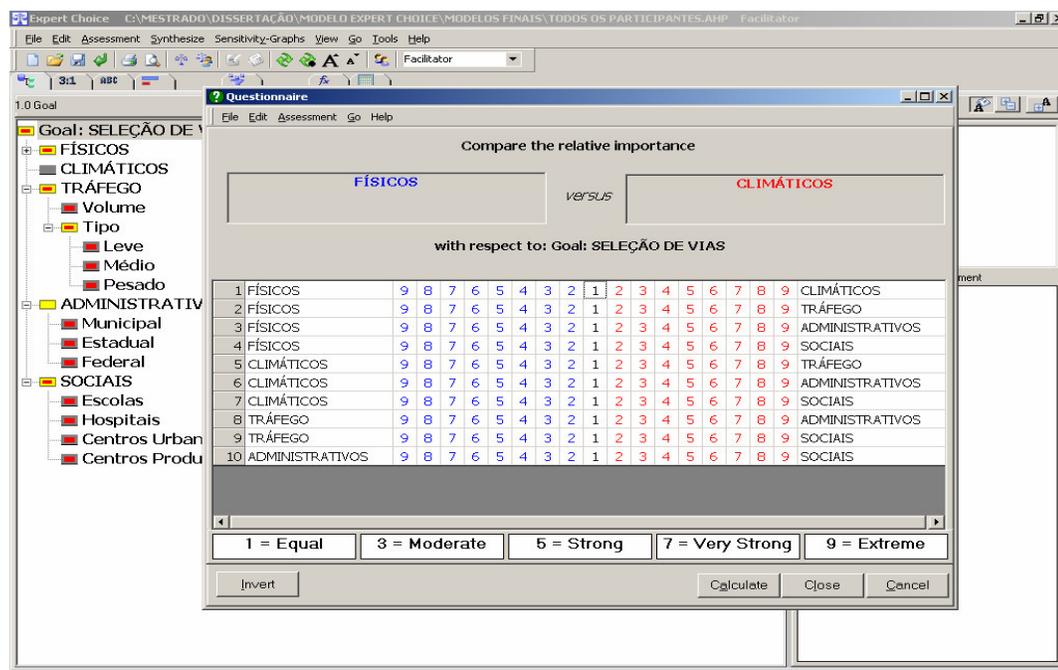


Figura 9.11: Questionário Montado pelo Expert Choice para as Comparações Paritárias

9.5. INDICADORES UTILIZADOS

Neste trabalho, foram utilizados dados referentes a três vias localizadas nos municípios de Aquiraz, no Ceará. A maioria desses dados foi obtida nos trabalhos de NUNES (2003) e MOREIRA (2003), os quais se utilizaram deles durante o desenvolvimento de suas dissertações de mestrado. As informações necessárias que não constavam nessas fontes, foram identificadas em campo, tais como: volume e tipo de tráfego, dispositivos de drenagem existentes e elementos relativos aos aspectos sociais das vias (número de escolas, hospitais, centros urbanos e centros produtivos acessados).

As vias foram chamadas pelos autores supracitados de AQZ-01, AQZ-02 e AQZ-03. Ambos os trabalhos trazem um detalhamento da área de estudo inclusive informações relevantes sobre o município de Aquiraz-Ce.

Pelo que foi dito, as alternativas a serem analisadas pelo *Expert Choice* são as vias AQZ-01, AQZ-02 e AQZ-03. A matriz de comparação dessas alternativas foi montada a partir da comparação dos dados já mencionados. Do trabalho de NUNES (2003) foram coletadas informações relativas à geometria (transversal e longitudinal) e aos tipos de materiais (argilosos e arenosos). As Tabelas 9.4 a 9.6 listam os dados obtidos nessa fonte. Os dados extraídos do trabalho de MOREIRA (2003) dizem respeito à capacidade de suporte dos materiais e das condições de rolamento de cada via. As Tabelas 9.7 e 9.8 listam essas informações.

Tabela 9.4: Dados Referentes a Geometria Transversal das Vias (NUNES, 2003)

Via	Seções em Calha (%)	Seções Mistas (%)	Seções Abauladas (%)
AQZ-01	17,50	45,00	37,50
AQZ-02	19,35	67,74	12,90
AQZ-03	51,90	35,44	12,66

Tabela 9.5: Dados Referentes à Geometria Longitudinal das Vias (NUNES, 2003)

Via	Rampas até 3% (%)	Rampas entre 3 e 8% (%)	Rampas Maiores que 3% (%)
AQZ-01	87,50	12,50	0,00
AQZ-02	67,74	32,26	0,00
AQZ-03	84,81	13,92	1,27

Tabela 9.6: Dados Referentes aos Tipos de Solos Encontrados nas Vias (NUNES, 2003)

Via	Solos Granulares (%)	Solos Siltosos ou Argilosos (%)
AQZ-01	37,50	62,50
AQZ-02	80,65	19,35
AQZ-03	77,22	22,78

Tabela 9.7: Capacidade de Suporte dos Materiais Encontrados nas Vias (MOREIRA, 2003)

Via	CBR até 20% (%)	CBR > 20% (%)
AQZ-01	0,00	100,00
AQZ-02	0,00	100,00
AQZ-03	0,00	100,00

Tabela 9.8: Índice de Condição de Rolamento das Vias (MOREIRA, 2003)

Via	Índice de Condição de Rolamento
AQZ-01	0,11
AQZ-02	1,27
AQZ-03	1,21

O restante das informações foi coletado em campo no dia 8 de Fevereiro de 2006. Essas informações são o volume de tráfego, o tipo de tráfego, o número de

escolas, hospitais, centros urbanos e centros produtivos acessados pelas vias e informações sobre os dispositivos de drenagem.

- a. **Volume de Tráfego:** o volume de tráfego foi determinado a partir de uma contagem realizada nas próprias vias. Devido à pequena quantidade de veículos verificada, a contagem foi realizada nos dois sentidos da via. O modelo de contagem de tráfego foi adaptado de NUNES (2003); e
- b. **tipo de tráfego:** o tipo de tráfego para cada via foi identificado a partir da classificação dos veículos contados. Como os modelos multicritério desenvolvidos não estabelecem regras para classificação do tráfego, trabalhando apenas com um valor numérico, adotou-se nesse trabalho a seguinte convenção para o tipo de tráfego: os veículos considerados leves são os carros e as *pickups*, os veículos médios são as topiks e os caminhões com eixo simples descarregados e os veículos considerados pesados foram os caminhões com eixo simples carregados e os caminhões com eixo duplo (carregados ou descarregados). O resumo dos dados encontrados para o tráfego está listado na Tabela 9.9 e dos dados utilizados nos modelos está listado na Tabela 9.10. É importante salientar que as motos não foram consideradas na contagem.

Tabela 9.9: Dados Obtidos na Contagem Classificatória e Volumétrica de Tráfego

Via	VMD	Nº de Veículos Leve	Nº de Veículos Médio	Nº de Veículos Pesado
AQZ-01	17	11	3	3
AQZ-02	26	10	7	9
AQZ-03	35	13	10	12

Tabela 9.10: Dados de Tráfego Usados nos Modelos

Via	VMD	Tráfego Leve (%)	Tráfego Médio (%)	Tráfego Pesado (%)
AQZ-01	17	64,71	17,65	17,65
AQZ-02	26	38,46	26,92	34,62
AQZ-03	35	37,14	28,57	34,29

O restante dos indicadores encontram-se listados no anexo 4. Os dados referentes às precipitações pluviométricas foram obtidos diretamente na Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME por telefone no dia 20 de Fevereiro de 2006.

O valor indicado no Anexo 4 foi medido pelo pluviômetro localizado na sede do município de Aquiraz no dia 17 de Fevereiro de 2006.

9.6. RESULTADOS OBTIDOS

Após a alimentação das respostas de cada entrevistado no *Expert Choice*, o mesmo calculou a consistência lógica de cada uma das matrizes de comparações e determinou um julgamento global para todo o grupo de entrevistas. A Tabela 9.11 traz os pesos parciais de cada critério existente na estrutura hierárquica determinados para o grupo de julgamentos pelo *Expert Choice*.

Tabela 9.11: Pesos Parciais Gerados para Cada Critério pelo *Expert Choice*

CRITÉRIO	PESO PARCIAL	CRITÉRIO	PESO PARCIAL
Aspectos Físicos	0,274	Geometria Transversal	0,460
Condições de Rolamento	0,267	S.T. com Abaulamento	0,539
Drenagem	0,269	S.T. em Calha	0,175
Obras D'arte Correntes	0,389	S.T. Mista	0,287
Drenagem Superficial	0,199	Aspectos Climáticos	0,162
Sarjetas	0,623	Aspectos de Tráfego	0,306
Valetas	0,377	Volume de Tráfego	0,313
Obras D'arte Especiais	0,412	Tipo de Tráfego	0,687
Materiais	0,177	Tráfego Leve	0,342
Tipo de Solo	0,477	Tráfego Médio	0,341
Solos Granulares	0,720	Tráfego Pesado	0,317
Solos Siltosos e Argilosos	0,280	Aspectos Administrativos	0,097
Capacidade de Suporte	0,523	Jur. Municipal	0,323
CBR até 20%	0,250	Jur. Estadual	0,401
CBR > 20%	0,750	Jur. Federal	0,276
Geometria	0,288	Aspectos Sociais	0,161
Geometria Longitudinal	0,540	Acesso à Escolas	0,238
Rampas até 3%	0,459	Acesso à Hospitais	0,270
Rampas entre 3 e 8%	0,365	Acesso à Centros Urbanos	0,225
Rampas maiores que 8%	0,176	Acesso à Centros Produtivos	0,267

Ao serem aplicadas as comparações geradas pelos indicadores de cada alternativa, o *Expert Choice* forneceu a ordem de prioridade indicada na Tabela 9.12.

Tabela 9.12: Ordem de Prioridade para as Alternativas Analisadas

ORDEM	ALTERNATIVA	PESO
1 ^a	AQZ-02	0,380
2 ^a	AQZ-03	0,374
3 ^a	AQZ-01	0,246

9.6.1. Análise de Sensibilidade

O *Expert Choice* permite em seu módulo de Análise de Sensibilidade que os pesos globais dos critérios dispostos no primeiro nível da estrutura hierárquica (neste caso os Aspectos Físicos, Aspectos Climáticos, Aspectos de Tráfego, Aspectos Administrativos e Aspectos Sociais) sejam facilmente alterados. Isto permite que a priorização das vias não pavimentadas em questão seja verificada sob o enfoque dos vários aspectos analisados.

Além do resultado fornecido pelo julgamento de grupo (Tabela 9.15), foram estabelecidos mais 22 diferentes cenários a partir de várias combinações enfocando os cinco critérios localizados no primeiro nível da hierarquia. Os resultados de tais análises foram tomados como base para indicar a ordenação mais adequada das vias estudadas nessa situação.

A Tabela 9.13 traz o peso obtido por cada alternativa em cada um destes cenários analisados. Os cenários estabelecidos foram os seguintes:

1. Apenas os Aspectos Físicos foram considerados (com peso de 100%) sendo os demais zerados;
2. Apenas os Aspectos de Tráfego considerados sendo os demais zerados;
3. Apenas os Aspectos Sociais foram considerados sendo os demais zerados;
4. Apenas os Aspectos Físicos e os Aspectos de Tráfego foram considerados, sendo ambos analisados com pesos de 50% e o restante dos critérios foram zerados;
5. Apenas os Aspectos Físicos e os Aspectos Climáticos foram considerados, sendo ambos analisados com pesos de 50% e o restante foram dos critérios zerados;
6. Apenas os Aspectos Físicos e os Aspectos Administrativos foram considerados, sendo ambos analisados com pesos de 50% e o restante dos critérios foram zerados;
7. Apenas os Aspectos Físicos e os Aspectos Sociais foram considerados, sendo ambos analisados com pesos de 50% e o restante dos critérios foram zerados;

8. Apenas os Aspectos de Tráfego e os Aspectos Sociais foram considerados, sendo ambos analisados com pesos de 50% e o restante dos critérios foram zerados;
9. Apenas os Aspectos de Tráfego e os Aspectos Climáticos foram considerados, sendo ambos analisados com pesos de 50% e o restante dos critérios foram zerados;
10. Apenas os Aspectos de Tráfego e os Aspectos Administrativos foram considerados, sendo ambos analisados com pesos de 50% e o restante dos critérios foram zerados;
11. Apenas os Aspectos Climáticos e os Aspectos Sociais foram considerados, sendo ambos analisados com pesos de 50% e o restante dos critérios foram zerados;
12. Apenas os Aspectos Sociais e os Aspectos Administrativos foram considerados, sendo ambos analisados com pesos de 50% e o restante dos critérios foram zerados;
13. Foram considerados os Aspectos Físicos, os Aspectos de Tráfego e os Aspectos Climáticos todos com peso de 33,3% e o restante dos critérios foram zerados;
14. Foram considerados os Aspectos Físicos, os Aspectos de Tráfego e os Aspectos Administrativos todos com peso de 33,3% e o restante dos critérios foram zerados;
15. Foram considerados os Aspectos Físicos, os Aspectos de Tráfego e os Aspectos Sociais todos com peso de 33,3% e o restante dos critérios foram zerados;
16. Foram considerados os Aspectos de Tráfego, os Aspectos Climáticos e os Aspectos Administrativos todos com peso de 33,3% e o restante dos critérios foram zerados;
17. Foram considerados os Aspectos de Tráfego, os Aspectos Climáticos e os Aspectos Sociais todos com peso de 33,3% e o restante dos critérios foram zerados;
18. Foram considerados os Aspectos Climáticos, os Aspectos Administrativos e os Aspectos Sociais todos com peso de 33,3% e o restante dos critérios foram zerados;

19. Foram considerados os Aspectos Físicos, os Aspectos de Tráfego, os Aspectos Climáticos e os Aspectos Administrativos todos com peso de 25,0% e o critério restante foi zerado;
20. Foram considerados os Aspectos Físicos, os Aspectos de Tráfego, os Aspectos Climáticos e os Aspectos Sociais todos com peso de 25,0% e o critério restante foi zerado;
21. Foram considerados os Aspectos Físicos, os Aspectos Administrativos, os Aspectos Climáticos e os Aspectos Sociais todos com peso de 25,0% e o critério restante foi zerado; e
22. Todos os aspectos foram considerados iguais com pesos de 20,0%.

Tabela 9.13: Pesos Obtidos pelas Alternativas nos Cenários

CENÁRIO	ASPECTOS CONSIDERADOS	PESOS DAS ALTERNATIVAS (%)		
		AQZ-01	AQZ-02	AQZ-03
1	Físicos	25,4	41,4	33,2
2	Tráfego	22,0	39,1	38,9
3	Sociais	11,2	40,5	48,3
4	Físicos x Tráfego	23,8	40,1	36,1
5	Físicos x Climáticos	29,4	37,3	33,3
6	Físicos x Administrativos	29,4	37,3	33,3
7	Físicos x Sociais	18,3	40,9	40,8
8	Tráfego x Sociais	16,7	39,7	43,6
9	Tráfego x Climáticos	27,1	36,8	36,1
10	Tráfego x Administrativos	27,1	36,8	36,1
11	Climáticos x Sociais	22,3	36,9	40,8
12	Administrativos x Sociais	22,3	36,9	40,8
13	Físicos x Tráfego x Climáticos	27,0	37,8	35,2
14	Físicos x Tráfego x Administrativos	27,0	37,8	35,2
15	Físicos x Tráfego x Sociais	19,5	40,3	40,2
16	Tráfego x Climáticos x Administrativos	30,7	36,0	33,3
17	Tráfego x Climáticos x Sociais	23,3	38,4	38,3
18	Climáticos x Administrativos x Sociais	25,9	35,7	38,4
19	Físicos x Tráfego x Climáticos x Administrativos	28,6	36,7	34,7
20	Físicos x Tráfego x Climáticos x Sociais	23,1	38,5	38,4
21	Tráfego x Climáticos x Administrativos x Sociais	25,9	37,1	37,0
22	Físicos x Tráfego x Climáticos x Administrativos x Sociais	25,1	37,5	37,4

A partir dos dados mostrados nas tabelas 9.15 e 9.16, verifica-se que das 23 situações analisadas (22 cenários e o resultado do julgamento de grupo) 18 (78,26%) apresentaram a mesma ordem de prioridades e apenas 5 (21,74%) apresentaram uma ordem contrária. Portanto, pode-se afirmar que, para os indicadores considerados e para as respostas dos entrevistados que fizeram parte deste processo, a ordem mais

indicada para as três vias analisadas deve ser mesmo a que está mostrada na Tabela 9.12.

CAPÍTULO 10

RESULTADOS OBTIDOS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos nesse trabalho foram os seguintes:

- a. **automação do método do USACE:** a digitalização das curvas e a determinação das equações possibilitaram que o método do USACE seja aplicado de forma automatizada, facilitando, assim, essa aplicação e minimizando as possibilidades de erro;
- b. **adaptação do método do USACE à área de estudo:** essa adaptação resultou no modelo VENO, o qual avalia as condições de rolamento de uma via não pavimentada, utilizando as curvas do USACE, e fornece resultados compatíveis com os fornecidos pelo método ALYNOMO;
- c. **agregação de método para priorização de vias não pavimentadas possibilitando considerar muitas variáveis:** através da aplicação do AHP e com a ajuda do *software Expert Choice*, foram priorizadas três vias não pavimentadas em função de um conjunto de variáveis que influenciam no seu funcionamento; e
- d. **ferramenta eletrônica para aplicação do método VENO:** foi desenvolvido um *software* para facilitar a aplicação do método VENO.

10.2. CONCLUSÕES

As conclusões obtidas ao longo do trabalho estão dispostas em dois tópicos, um indicando as conclusões sobre a adaptação do método do USACE e o método VENO e o outro indicando as conclusões de priorização de vias não pavimentadas.

10.2.1. Adaptação do Método do USACE e o Método VENO

O método VENO aplica-se apenas na avaliação das condições de rolamento de uma superfície não pavimentada, sem especificação padrão de segmentação da malha viária, o que torna o método VENO aplicável tanto para a segmentação

proposta pelo método ALYNOMO quanto a proposta pelo método do USACE e até mesmo a do método ALYNO.

O método VENO incorpora toda a experiência do USACE a qual está retratada nas curvas dos valores de dedução, pois as mesmas foram ajustadas ao longo de muitos levantamentos de campo e influenciadas por vários tipos de materiais, diversas situações de tráfego, variações climáticas, etc.

O desenvolvimento do método VENO parte do princípio que o método ALYNOMO é perfeitamente aplicável à realidade das vias não pavimentadas do município de Aquiraz, no Ceará. A automação desse método permite que os resultados sejam obtidos de forma rápida e eficiente, com poucas possibilidades de erro.

Durante testes realizados com a aplicação do método VENO, foram verificadas algumas restrições do mesmo. A primeira restrição identificada foi que quanto menor a quantidade de defeitos analisada, menor é a precisão dos resultados obtidos. O defeito trilha de rodas com alto nível de severidade foi o que mais apresentou distorção nos resultados quando comparados aos fornecidos pelo método ALYNOMO. Apesar da distorção, o mesmo pode ser utilizado, uma vez que a variação de valores é pequena.

Foi verificado que o método VENO apresenta excelentes resultados quando os três níveis de severidade de um determinado defeito são analisados.

Como o método ALYNOMO não usa o defeito excesso de poeira no cálculo do seu índice de condição, esse tipo de defeito não teve como ser comparado com os valores deduzidos fornecidos pelo método do USACE (que atribui um valor deduzido 2 para os defeitos com baixo nível de severidade, 4 para os defeitos com médio nível de severidade e 15 para os defeitos com alto nível de severidade). Portanto o defeito excesso de poeira não é contemplado pelo método VENO.

10.2.2. Método Multicritério de Apoio à Decisão para Priorização de Vias

A contribuição deste trabalho, no que diz respeito à priorização de vias não pavimentadas, consiste na organização dos insumos ao método AHP, utilizado para mostrar a ordem de prioridades mais indicada para as vias analisadas, levando em considerações aspectos físicos, de tráfego, climáticos, administrativos e sociais.

A ordem de prioridade obtida neste trabalho é apenas indicativa. Os pesos globais e parciais estabelecido para cada critério são válidos apenas para as respostas dos decisores e para os indicadores apresentados no capítulo 9. Para priorizar outras vias, todo o processo metodológico de aplicação do AHP e de coleta dos dados deve ser repetido.

É possível concluir que, diferentemente do anteriormente colocado, o método multicritério para priorização de vias não pavimentadas utilizando o AHP é complicado para ser utilizado com frequência, uma vez que necessita de uma série de entrevistas, de definição de indicadores e de utilização do *software Expert Choice*. Esse método também requer muito cuidado na interpretação dos resultados, pois os mesmos são apenas subsídios para auxiliar o tomador de decisão.

Além disso, a literatura mostra que o método AHP apresenta falha estrutural no que tange à consistência dos resultados que gera, na medida em que transgride o princípio de preservação da ordem no processo de priorização (ver BANA E COSTA & VANSNICK, 2006).

É importante salientar que a aplicação do método descrito nesse trabalho se torna inviável para as prefeituras municipais, uma vez que as mesmas dispõem de poucos recursos financeiros e técnicos destinados para a manutenção e conservação das vias não pavimentadas.

Foi verificado que o preenchimento do questionário aplicado neste trabalho demanda muito tempo e atenção por parte do entrevistado, portanto este questionário deve ser preenchido com bastante calma. O ideal é que o entrevistado disponibilize certo tempo para tal atividade; para isso, é recomendado um agendamento prévio da entrevista.

É recomendado também que o questionário seja respondido na presença e sob a orientação do avaliador, pois os entrevistados que responderam o questionário sozinho apresentaram dificuldade de entendimento das comparações e suas respostas apresentaram inconsistências.

A seleção dos profissionais foi baseada nas suas especialidades profissionais e na acessibilidade do autor aos mesmos.

10.3. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As seguintes recomendações para trabalhos futuros foram sugeridas com o propósito de viabilizar a concepção de um sistema de gerência para vias não pavimentadas uma vez que esse trabalho contempla apenas algumas de suas etapas.

A primeira recomendação é procurar testar o programa e validá-lo em aplicações práticas, ou seja, aplicando-o em diversas situações de campo e verificando com maior detalhamento as restrições que o mesmo possa vir a apresentar.

No que diz respeito à adaptação do método do USACE, é importante identificar quais segmentos de cada curva estão relacionados com os diversos tipos de materiais constituintes das camadas do pavimento.

Como algumas restrições foram identificadas na aplicação do método VENO, é importante que as mesmas sejam analisadas com atenção com o intuito de que possam ser eliminadas estas restrições e que o método VENO possa fornecer, num futuro breve, maior confiabilidade na sua utilização.

Realizar uma comparação prática entre os métodos ALYNOMO e VENO na avaliação de superfícies de rolamento e identificar em quais situações um método supera o outro.

Para facilitar a coleta de dados em campo, deve ser elaborada uma metodologia mais simples para obtenção dos dados, uma vez que um levantamento topográfico eletrônico (sugerido nos métodos ALYNOMO e ALYNO) requer equipamentos sofisticados e muitas horas de trabalho especializado no tratamento das informações.

Para contribuir ainda mais com a concepção de um sistema de gerência para vias não pavimentadas, devem ser desenvolvidas metodologias capazes de otimizar a escolha de serviços de manutenção, primando sempre pelo baixo custo. Outra colaboração importante seria a elaboração de técnicas que aperfeiçoassem a composição dos custos, a definição dos equipamentos, do pessoal e dos materiais necessários para a realização desses serviços.

Uma outra sugestão é verificar as possibilidades de aplicação do método VENO em sistemas de gerência de pavimentos urbanos, utilizando a metodologia PAVER.

Pode-se dar continuidade ao desenvolvimento do programa até que este seja capaz de incorporar e aplicar todas as etapas de um sistema de gerência de pavimentos para estradas de terra.

Durante as entrevistas para a aplicação do *Analytic Hierarchy Process* - AHP, vários critérios, além daqueles contemplados, foram sugeridos para compor o modelo. Os mesmos não foram incorporados pelo fato de que o tempo que seria necessário para reestruturar a hierarquia, reaplicar os questionários e proceder à análise dos dados novamente, não seria suficiente para concluir este trabalho em tempo hábil, segundo as normas de elaboração de dissertação de mestrado do Programa de Mestrado de Engenharia de Transportes – PETRAN da Universidade Federal do Ceará - UFC.

Uma sugestão para trabalhos futuros seria a estruturação de uma hierarquia que contemplasse o máximo de critérios possíveis e que englobassem outros aspectos, além dos que já foram abordados nesse trabalho. Para aumentar ainda mais a variedade de opiniões, vários grupos de profissionais deveriam ser acrescentados, ressaltando-se o aumento do tempo necessário para tal procedimento.

Outros métodos de apoio à decisão podem ser utilizados para estabelecer a priorização de investimentos de manutenção de vias não pavimentadas.

Esta gama de método vai desde a técnica mais simples de geração de consenso (DELPHI), passando pelos métodos multiatributos, de cunho essencialmente de priorização cardinal (MCDM), até os métodos multicritérios com forte base na elaboração de mapas cognitivos e que buscam refletir mais rigorosamente o efeito dos fatores subjetivos na atividade individual dos decisores no processo de priorização (MCDA).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1990)**, Guidelines for Pavement Management Systems.
- ALMEIDA, R. V. O. (2003)**, Elaboração de um Software para Auxiliar na Gerência de Estradas Rurais Não-Pavimentadas. Monografia de conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.
- AUSTROADS (1991)**, Road Maintenance Practice, Sydney, A4, AP-12/91. 2ª edição, p. 17-20 apud **FONTENELLE (2001)**.
- BAESSO D. P. & GONÇALVES F.L.R. (2003)**, Estradas Rurais – Técnicas Adequadas de Manutenção. Florianópolis, Março, 2003.
- BANA E COSTA, C. A. & VANSNICK, J. C. (2006)**, A Critical Analysis of the Eigenvalue Method Used to Derive Priorities in AHP. Working Paper não publicado do CEG-IST/DOR-LSE e FSWE – Université de Mons-Hainaut.
- BERTOLLO, S. A. M. (1997)**, Considerações Sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Paulo, 135 fls.
- CARVALHO, M. M. (1997)**, QFD – Uma Ferramenta de Tomada de Decisão em Projeto. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- CORREIA, J. A. B. (2003)**, Um Modelo de Análise de Defeitos em Estradas Não Pavimentadas de Suporte à Concepção de um Sistema de Gerência de Pavimentos. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 101 fls.
- CORREIA, J. A. B; NOBRE JÚNIOR, E. F.; CAVALCANTE, A. P. H. (2004)**, Evaluation of Unpaved Roads with Aid of Relative Usefulness Index by Road Branch. TRB 2004 Annual Meeting.
- CHIAVENATO, I. (2000)**, Os Novos Paradigmas: Como as Mudanças Estão Mexendo com as Empresas. 3. ed., São Paulo, Editora Atlas.

- D'ÁVILA, A. L. M. (1996)**, Bases de um Sistema de Gerência de Estradas Municipais do Estado do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 116 fls.
- De SENÇO, W. (2001)**, Manual de Técnicas de Pavimentação. Vol 1, Editora Pini, Ltda.
- DEERT (2000)**, Informativo Gerencial do Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes. Fortaleza, Ceará.
- EATON, R. A.; BEAUCHAM, R. E. (1992)**, Unsurfaced Road Maintenance Management, US Army Corps of Engineers – USACE, Cold Regions Research & Engineering Laboratory – CRREL, Special Report 92-26, USA.
- ENSSLIN, L; MONTIBELLER, G. N.; NORONHA, S. M. (2001)**, Apoio à Decisão – Metodologia para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas. Florianópolis: Insular, 2001.
- FERRONATO, L. G. & BARATZ, E. V. (2003)**, Aplicação de Análise Hierárquica para Priorização de Atividades em Órgão Gestor de Trânsito e Transportes.
- FONTENELE, H. B. (2001)**, Estudo para Adaptação de um Método de Classificação de Estradas Não Pavimentadas às Condições do Município de São Carlos/SP. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Paulo, 227 fls.
- GEIPOT (2000)**, Anuário Estatístico do Ministério dos Transportes.
- GOMES, L.F.A.M.; ARAYA, M.C.G.; CARIGNANO, C. (2004)**, Tomada de Decisões em Cenários Complexos: Introdução aos Métodos Discretos do Apoio Multicritério à Decisão. Ed. Pioneira Thomson Learning, São Paulo.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A. T. (2002)**, Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério. São Paulo: Atlas, 2002.
- GUGLIELMETTI, F. R; MARINS, F. A. S.; SALOMON, V. A. P. (2003)**, Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios.

XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de outubro de 2003.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. (1994), Modern Pavement Management . Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1994.

HUIZINGH, E.K.R.E. & VROLIJK, H.C.J (2001), The Predictive Power of the Self Explicated Approach and the Analytic Hierarchy Process: A Comparison. In: Fandel, G. & Gal, T. (eds.) Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems: Multiple Criteria Decision Making. Springer, Berlin, Germany.

LISBOA, M. V. (2002), Contribuição para Tomada de Decisão na Classificação e Seleção de Alternativas de Traçado para Rodovias em Trechos Urbanizados. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo 194 p.

MACHADO, E. P.; GOMES, L.F.A.M.; CHAUVEL, M. A. (2003), Avaliação de Estratégias em Marketing de Serviços: Um Enfoque Multicritério. Revista de Administração Mackenzie, Ano 4, N.2, P. 61-85.

MARCON, A. F. (1996), Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina. Tese de Doutorado em Infra-Estrutura de Transportes, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo, 398 fls.

MOREIRA, F. E. B. (2003), Um Modelo de Avaliação da Evolução Geométrica das Patologias em Vias Não Pavimentadas: Aplicação ao Caso do Município de Aquiraz. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 176 fls.

NOGUEIRA, C.W.; GONÇALVES, M. B. (2002), Aplicação do Método AHP Na Análise de Alternativas de Traçados para Pavimentação de Estradas: Um Estudo de Caso na Região do Vale do Itajaí em Santa Catarina.

NUNES, T. V. L. (2003), Método de Previsão de Defeitos em Estradas Vicinais de Terra com Base no Uso das Redes Neurais Artificiais: Trecho de Aquiraz-CE. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ce. 118 fls.

- NUNES, T. V. L. ; BARROSO, S. H. A.; NOBRE JUNIOR, E. N. (2005)**, O Uso de Redes Neurais Artificiais para a Previsão de Defeitos em Estradas Vicinais de Terra no Município de Aquiraz-CE. In: XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife. Anais do XIX ANPET 2005. V.2 p. 1444-1445.
- ODA, S. (1995)**, Caracterização de uma Rede Municipal de Estradas Não Pavimentadas. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Paulo, 186 fls.
- PEREIRA, W.A.N (2001)**, Modelo Multicritério de Avaliação de Desempenho Operacional do Transporte Coletivo por Ônibus no Município de Fortaleza. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 192 fls.
- PRATA B. A; COSTA, M.G.; NOBRE JÚNIOR; E.F. (2004)**, Desenvolvimento de Software Baseado Nos Procedimentos Dner Pro-10 & Pro-11 para a Reabilitação de Pavimentos Asfálticos. 35ª Reunião Anual de Pavimentação – RAPv. Rio de Janeiro, RJ.
- RABANNI S. J. R. & RABANNI S. R. (1996)**, Decision in Transportation with the Analytic Hierarchy Process. Campina Grande: UFPB / CCT, PB, 200 fls.
- RODRIGUES, F.H.; MARTINS, W.C.; MONTEIRO, A.B.F.C. (2001)**, O Processo de Decisão Baseado em Múltiplos Objetivos: O Uso do Método de Análise Hierárquica na Tomada de Decisão Sobre Investimentos. In: Caixeta-Filho, J.V. & Martins, R. S. (eds.) Gestão Logística do Transporte de Cargas. Atlas, São Paulo.
- SAATY, T. L. (1980)**, The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, resource allocation. New York; London: McGraw-Hill, 287 p. apud **LISBOA (2002)**.
- SAATY, T. L. (1991)**, Método de Análise Hierárquica. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991 apud **SCHMIDT (1995)**.
- SAATY, T. L. (1993)**, Método de Análise Hierárquica. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991 apud **GOMES et al (2004)**.

- SAATY, T.L. (2001)**, The Seven Pillars of the Analytic Hierarchy Process. In: Köksalan M.; Zionts, S. (eds.) Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems: Multiple Criteria Decision Making in the New Millenium. Springer, Berlin, Germany.
- SALOMON, V. P.; MONTEVECHI, J.A.B.; PAMPLONA, E. O. (1999)**, Justificativas para Aplicação do Método de Análise Hierárquica, Anais, 19º ENEGEP, Rio de Janeiro, RJ.
- SCHMIDT, A. M. A. (1995)**, Processo de Apoio à Tomada de Decisão Abordagens: AHP e MACBETH. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- SERAFINI L. & GONÇALVES F. P. (2005)**, Critérios para Priorização de intervenções de manutenção em pavimentos rodoviários. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 7, p 73-85, Setembro, 2005.
- TM 5-626 (1995)**, Unsurfaced Road Maintenance Management – Technical Manual. HEADQUARTERS, Department of the Army, January, 1995.
- UNITED NATIONS ECONOMIC COMISSION FOR AFRICA (1982)**, Maintenance of Unpaved Roads. Road Maintenance Handbook. Transport and Road Research Laboratory (2 vol).
- VIVIANE, E. (1998)**, A Utilização de um Sistema de Informação Geográfica como Auxílio à Gerência de Manutenção de Estradas Rurais Não-Pavimentadas. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Paulo, 292 fls.

ANEXO 1

**DEFEITOS USADOS PELOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE
CONDIÇÕES DE ROLAMENTO DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS
(USACE, ALYNO e ALYNOMO)**

Os índices de condições (IC) determinados por cada método de avaliação da condição de rolamento de um via não pavimentada são obtidos através da análise dos defeitos existentes sobre a superfície da mesma. A cada tipo de defeito são atribuídos três níveis de severidade: baixo, médio e alto que variam de acordo com as dimensões do mesmo. Os defeitos considerados pelos três métodos são os seguintes:

- a. seção transversal imprópria (STI);
- b. drenagem lateral inadequada (DLI);
- c. corrugações;
- d. buracos;
- e. afundamento de trilhas de roda;
- f. excesso de poeira; e
- g. perda de agregados.

➤ SEÇÃO TRANSVERSAL IMPRÓPRIA

A seção transversal de uma via não pavimentada é considerada imprópria quando não possui um abaulamento (inclinação transversal) capaz de conduzir a água para fora da sua superfície de rolamento. Segundo FONTENELE (2001), as seções mais comuns são:

- a. **seção em calha**: são seções transversais da via que não apresentam inclinação transversal ou que a mesma é invertida de forma a conduzir a água para dentro da pista de rolamento. A Figura 1 exemplifica esse tipo de seção transversal;

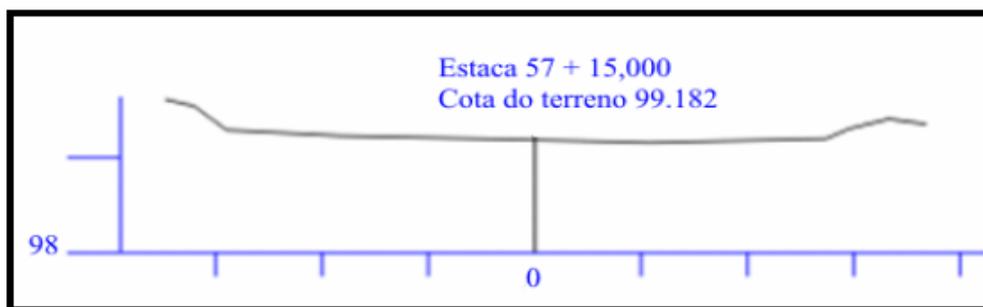


Figura 1: Exemplo de Seção Transversal em Calha (NUNES, 2003)

- b. **seção mista:** são seções transversais que apresentam abaulamento em apenas uma parte da pista de rolamento, sendo o restante considerado como plano ou com abaulamento invertido. No exemplo mostrado na Figura 2, a seção apresenta abaulamentocorreto para o lado esquerdo, mas não apresenta para o lado direito. A inclinação do lado direito é invertida e proporcionará o escoamento da água toda para dentro da pista de rolamento;

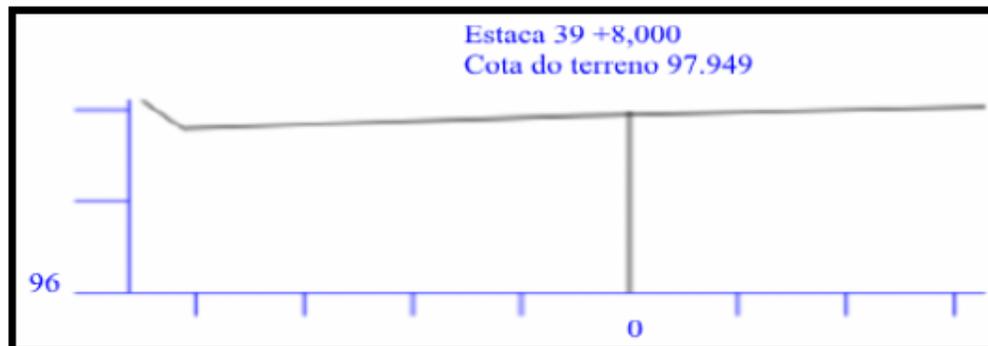


Figura 2: Exemplo de Seção Transversal Mista (NUNES, 2003)

- c. **seção abaulada:** são seções que apresentam inclinações transversais para ambos os lados da pista de rolamento e são capazes de escoar a água para fora da mesma. A Figura 3 ilustra uma seção transversal que apresenta inclinações bem definidas e a linha divisora de águas é o próprio eixo da via;

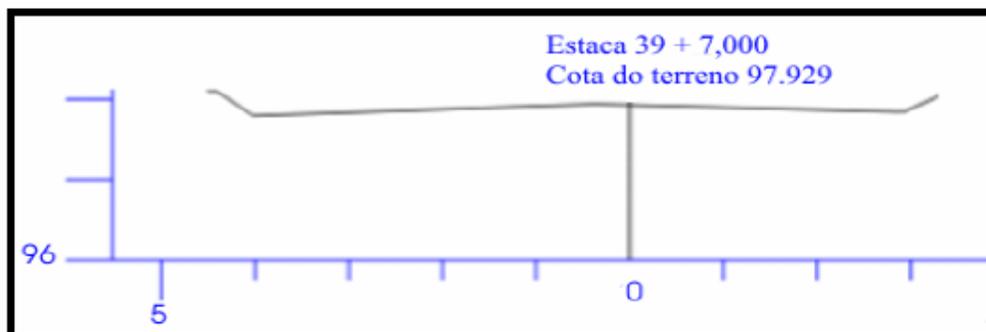


Figura 3: Exemplo de Seção Transversal Abaulada (NUNES, 2003)

Os níveis de severidade que são atribuídos a este tipo de defeito são: alto, médio e baixo.

- a. **nível de severidade baixo:** é caracterizado pela ausência de declividade transversal na plataforma da via, praticamente plana, que apresenta a formação de poças d'água pouco acentuadas e nenhuma ou pouca ocorrência de defeitos. A Figura 4 ilustra esse nível de severidade.

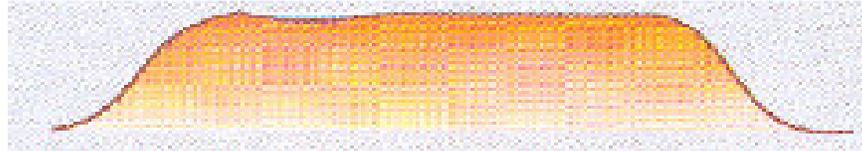


Figura 4: Esquema de uma Seção Transversal Imprópria com Baixo Nível de Severidade (EATON *et al*, 1992)

- b. **nível de severidade médio:** é caracterizado pela ausência de declividade transversal na plataforma da via, praticamente plana, e pelo aparecimento de ondulações sobre a superfície apresentando uma moderada ocorrência de defeitos. A Figura 5 ilustra esse nível de severidade.

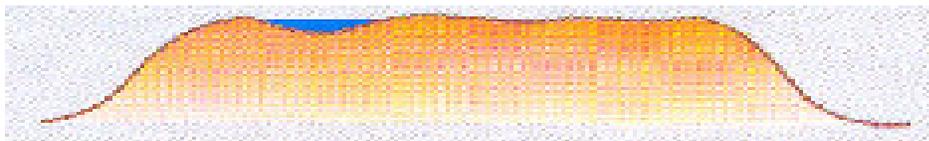


Figura 5: Esquema de uma Seção Transversal Imprópria com Médio Nível de Severidade (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR AFRICA, 1982)

- c. **nível de severidade alto:** é caracterizado pela ausência de declividade transversal na plataforma da via, apresentando a formação de grandes depressões nas trilhas de roda e alta ocorrência de defeitos. A Figura 6 ilustra esse nível de severidade.

Esse tipo de defeito é medido em metro linear (m) por unidade amostral (USACE) ou trecho (ALYNO) ou Zonas Topográficas (ALYNOMO), dependendo do método utilizado, ao longo do eixo da via ou paralela a este.

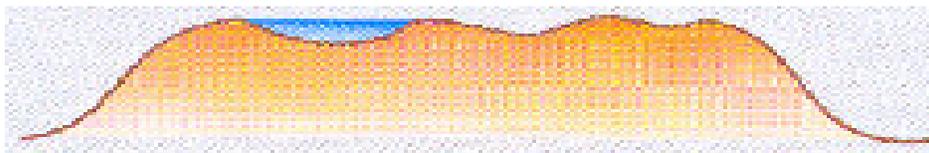


Figura 6: Esquema de uma Seção Transversal Imprópria com Alto Nível de Severidade (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR AFRICA, 1982)

➤ DRENAGEM LATERAL INADEQUADA

A drenagem lateral tem a função de conduzir a água proveniente da superfície de rolamento para a saída mais próxima de modo que a mesma não venha a provocar danos sobre a via. Caso haja alguma interferência na condução dessa água, a drenagem lateral é considerada inadequada e provoca o aparecimento de poças na lateral das vias.

Os níveis de severidade que são atribuídos a este tipo de defeito são: alto, médio e baixo.

- a. **nível de severidade baixo:** é caracterizado pela presença de baixas quantidades de poças d'água ou evidências quanto à sua ocorrência nos dispositivos de drenagem, vegetação, detritos ou fragmentos de pedras depositadas sobre os dispositivos de drenagem (BAESSO & GONÇALVES, 2003). Segundo MOREIRA (2003), esse nível é caracterizado pela presença de água empoçada tomando até 33% da seção de escoamento da valeta, sem erosão. A Figura 7 ilustra esse nível de severidade;

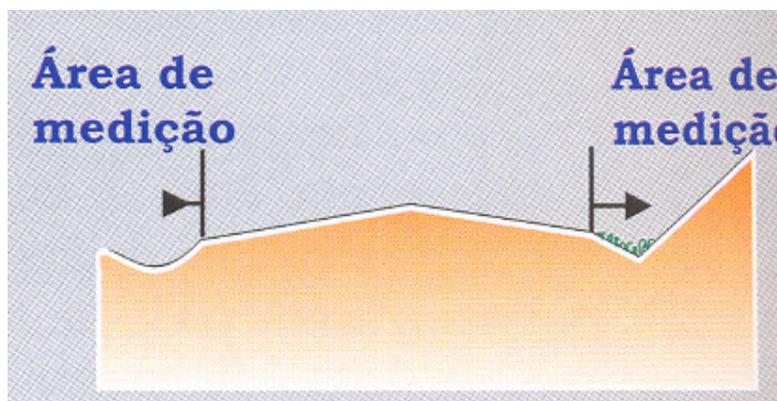


Figura 7: Drenagem Lateral Inadequada de Baixo Nível de Severidade (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR AFRICA, 1982)

- b. **nível de severidade médio:** é caracterizado por apresentar moderada quantidade de poças d'água ou evidências quanto à sua ocorrência nos dispositivos de drenagem, vegetação, detritos ou fragmentos de pedras depositadas sobre os dispositivos de drenagem e, erosões nesses dispositivos (BAESSO & GONÇALVES, 2003). Segundo MOREIRA (2003), esse nível é caracterizado pela quantidade moderada de água empoçada tomando até 66% da seção de escoamento da valeta, sem erosão. A Figura 8 ilustra esse nível de severidade; e

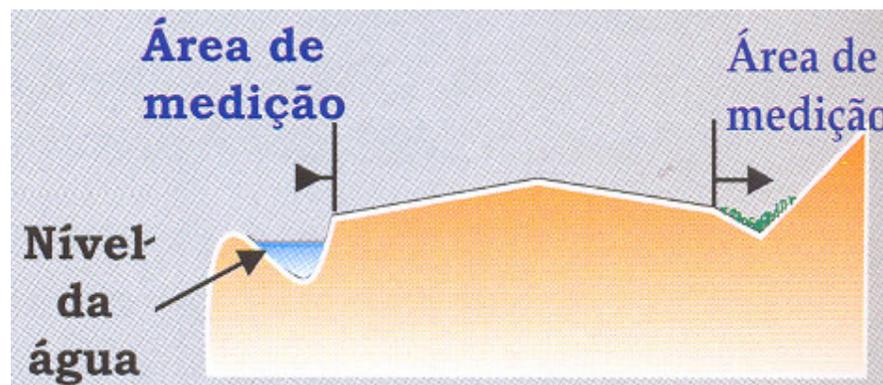


Figura 8: Drenagem Lateral Inadequada de Médio Nível de Severidade (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR AFRICA, 1982)

- c. **nível de severidade alto:** é caracterizado pela presença de grande quantidade de água empoçada nas valetas ou com a seção transversal de escoamento totalmente assoreada. A erosão da borda da estrada já é visível e cada vez maior, tendo como consequência a diminuição da largura da estrada (MOREIRA, 2003). A Figura 9 ilustra esse nível de severidade.

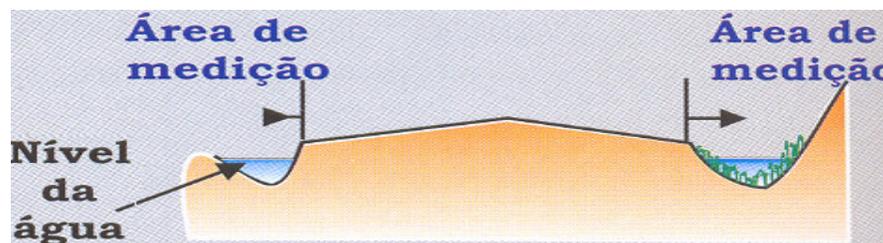


Figura 9: Drenagem Lateral Inadequada de Alto Nível de Severidade (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR AFRICA, 1982)

➤ CORRUGAÇÕES

Segundo MOREIRA (2003) corrugações são também conhecidas como costelas de vaca e caracterizam-se pela presença de ondulações perpendiculares ao sentido do tráfego, sendo resultado de um movimento vibratório transmitido pelo tráfego à superfície de rolamento. BAESSO & GONÇALVES (2003) caracterizam como depressões transversais à pista ocorrendo em intervalos regulares de distância. Essas ondulações perpendiculares ao sentido do tráfego causam muito desconforto ao usuário, sendo normalmente originárias da ação combinada do tráfego e precipitações pluviométricas.

Os níveis de severidade para esse tipo de defeito são medidos em função da altura das suas depressões. A Figura 10 ilustra esses níveis de severidade.

- a. **nível de severidade baixo:** depressões com até 3 cm de altura;
- b. **nível de severidade médio:** depressões com altura variando entre 3 e 8 cm; e
- c. **nível de severidade alta:** depressões maiores que 8 cm.

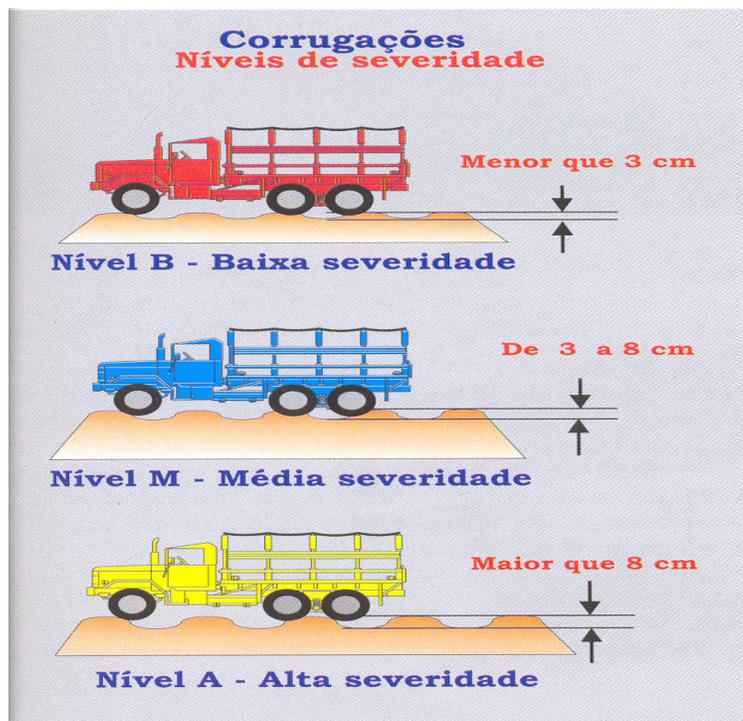


Figura 10: Níveis de Severidade do Defeito Corrugação (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR AFRICA, 1982)

➤ EXCESSO DE POEIRA

É um tipo de defeito muito comum em estradas não pavimentadas ocorrendo devido à presença de materiais finos, soltos na superfície de rolamento e que, em épocas secas formam, devido à ação abrasiva do tráfego, nuvens de pó que atrapalham a visibilidade dos motoristas. A severidade desse tipo de defeito é medida em função do quanto da visibilidade é prejudicada por essa nuvem de pó. A Figura 11 dá uma idéia dos níveis de severidade desse defeito.

- **nível de severidade baixo:** não há prejuízo de visibilidade;
- **nível de severidade médio:** nível de moderada nuvem de poeira que provoca obstrução parcial da visibilidade. A velocidade de operação da rodovia diminui; e
- **nível de severidade alta:** tráfego produzindo uma grande nuvem de poeira e causando obstrução severa de visibilidade com tráfego lento ou parado.



Figura 11: Níveis de Severidade do Defeito Excesso de Poeira (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR AFRICA, 1982)

➤ BURACOS

Segundo MOREIRA (2003) buracos são depressões da superfície estradal, geralmente em forma de panelas. Esse tipo de defeito normalmente surge em superfícies com deficiências para escoamento de águas e com materiais que apresentem baixa capacidade de suporte. Os níveis de severidade do defeito buraco são determinados a partir do diâmetro e da profundidade dos mesmos. A Tabela 1 lista a identificação de tais níveis de severidade.

Tabela 1: Níveis de Severidade do Defeito Buraco (CORREIA, 2003)

PROFUNDIDADE (cm)	DIÂMETRO MÉDIO			
	< 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	> 90 cm
< 5	Baixo	Baixo	Médio	Médio
5 – 10	Baixo	Médio	Alto	Alto
> 10	Médio	Alto	Alto	Alto

➤ AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA

Segundo MOREIRA (2003), este defeito é caracterizado pela deformação permanente da superfície de rolamento nas trilhas dos pneus dos veículos. Essa deformação é resultado de cargas repetidas de tráfego e pode ocorrer em qualquer camada da estrada ou do subleito, principalmente em locais com materiais que apresentem baixa capacidade de suporte onde a drenagem é insuficiente e há acúmulo d'água. Os níveis de severidade desse defeito são medidos em função da profundidade do afundamento.

- a. **nível de severidade baixo:** afundamentos com até 5 cm de profundidade;
- b. **nível de severidade médio:** afundamentos com profundidades entre 5 e 10 cm; e
- c. **nível de severidade alta:** afundamento com profundidades maiores que 10 cm.

➤ **PERDA DE AGREGADOS**

Segundo MOREIRA (2003) este defeito é ocasionado pela ação contínua e abrasiva do tráfego, onde os materiais granulares acabam por se desagregar sob a tração dos pneus e estes são lançados para as bordas, para o centro do corpo estradal ou na área trafegável, sendo esta paralela ao eixo da estrada, formando bermas. Os níveis de severidade desse defeito são caracterizados em função da altura das bermas formadas. A Figura 12 ilustra esses níveis de severidade.

- a. **nível de severidade baixo:** formação de bermas com alturas inferiores a 5 cm;
- b. **nível de severidade médio:** formação de bermas com alturas entre 5 e 10 cm;
- e
- c. **nível de severidade alto:** formação de bermas com alturas maiores que 10 cm.

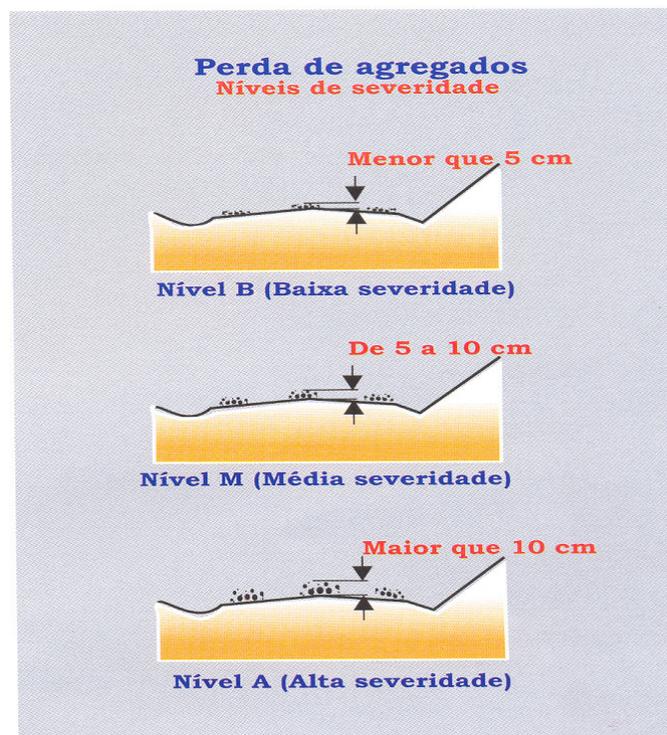


Figura 12: Níveis de Severidade do Defeito Perda de Agregados (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR AFRICA, 1982)

ANEXO 2

CURVAS OBTIDAS PELA DIGITALIZAÇÃO DOS NOMOGRAMAS DO MÉTODO DO USACE

➤ Defeito: Seção Transversal Imprópria

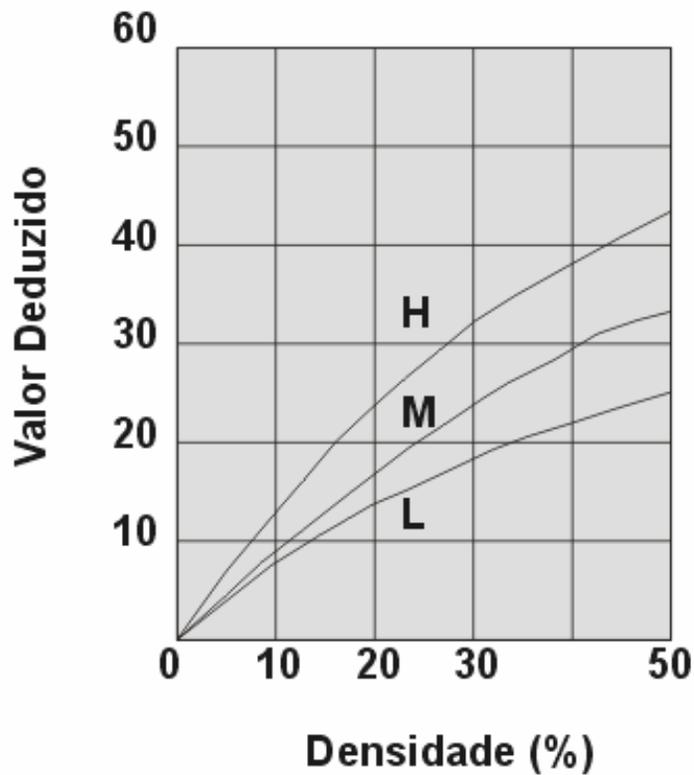


Figura 1: Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Seção Transversal Imprópria (TM 5-626, 1995)

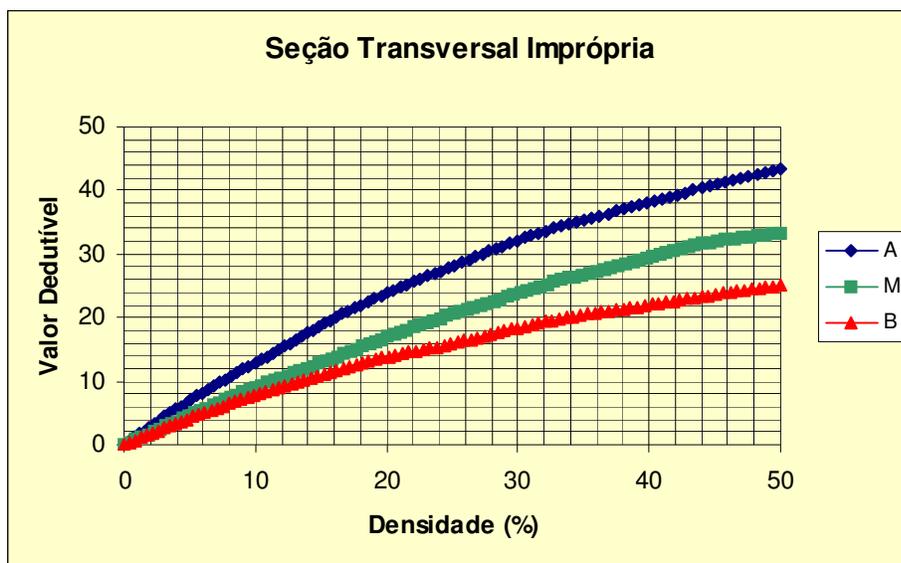


Figura 2: Curvas Geradas a partir da Digitalização do Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Seção Transversal Imprópria

➤ Defeito: Drenagem Lateral Inadequada

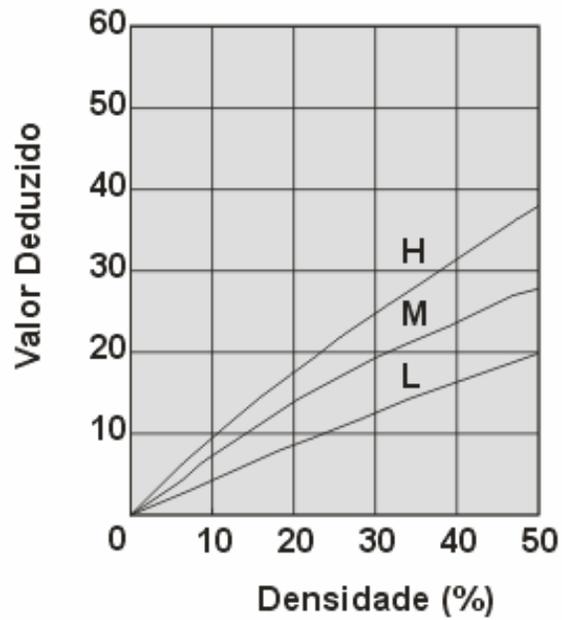


Figura 3: Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Drenagem Lateral Inadequada (TM 5-626,1995)

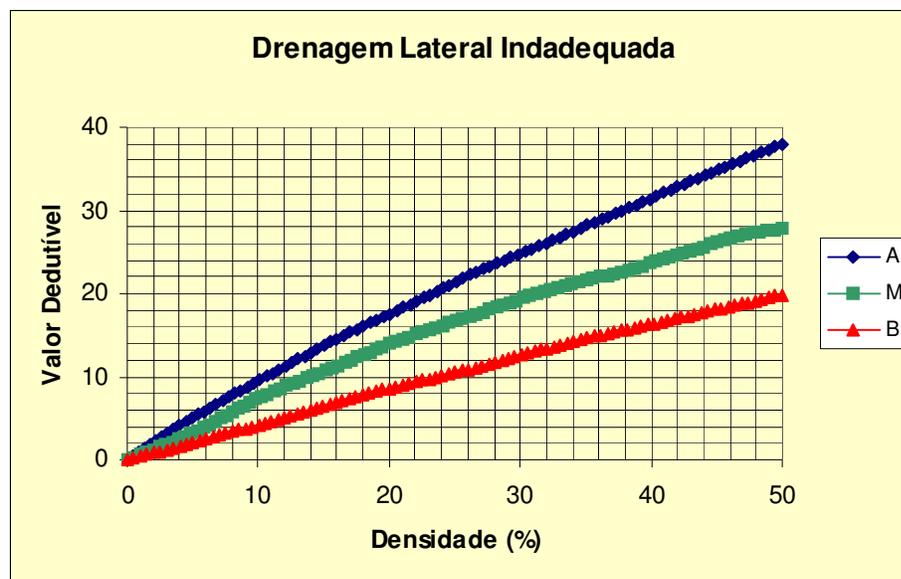


Figura 4: Curvas Geradas a partir da Digitalização do Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Drenagem Lateral Inadequada

➤ Defeito: Corrugação

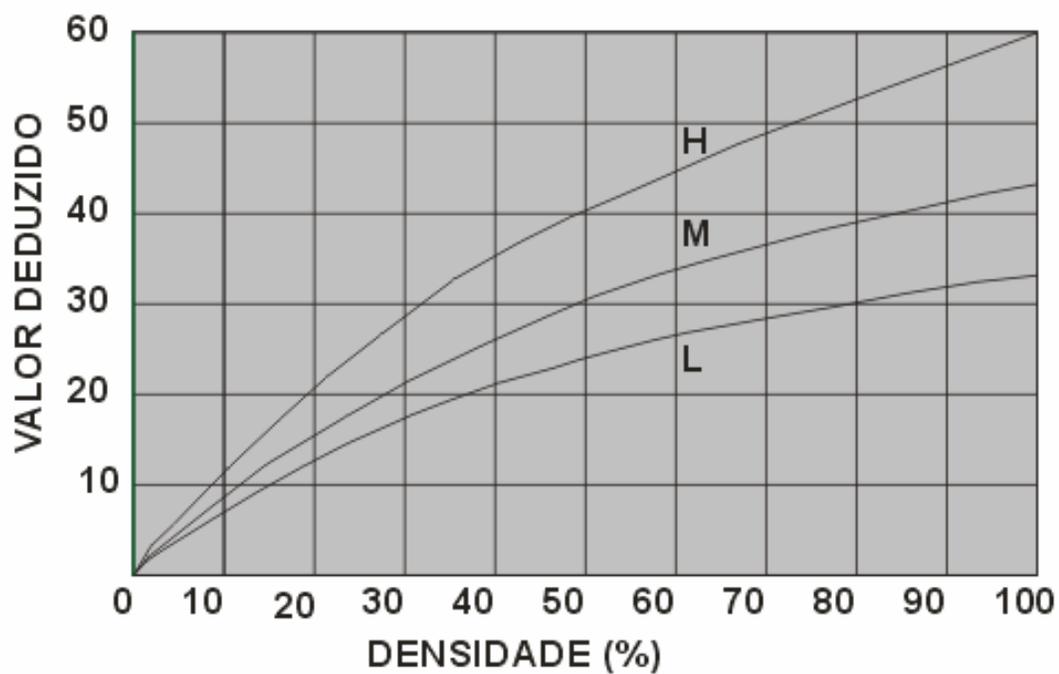


Figura 5: Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Corrugação (TM 5-626,1995)

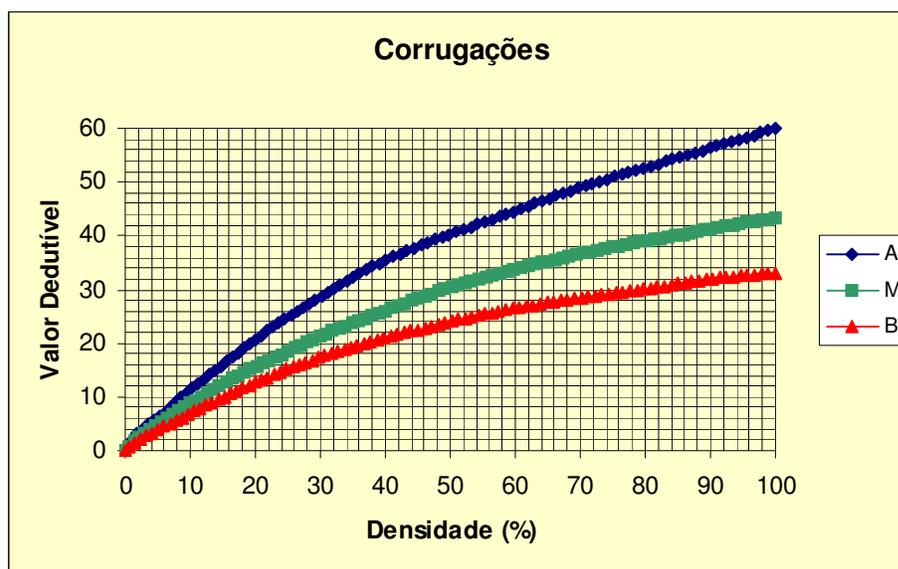


Figura 6: Curvas Geradas a partir da Digitalização do Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Corrugação

➤ Defeito: Perda de Agregados

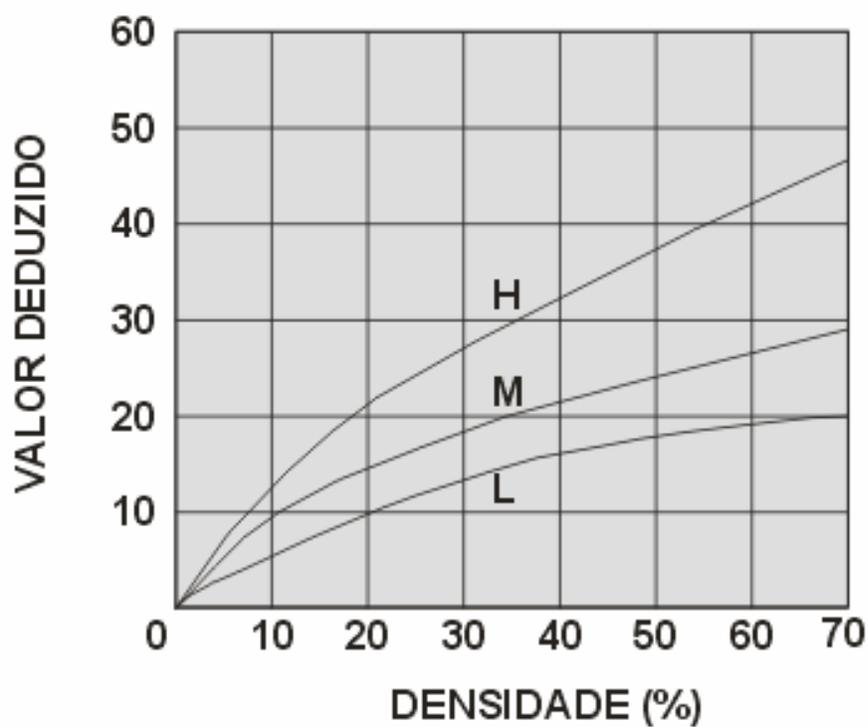


Figura 7: Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Perda de Agregados (TM 5-626,1995)

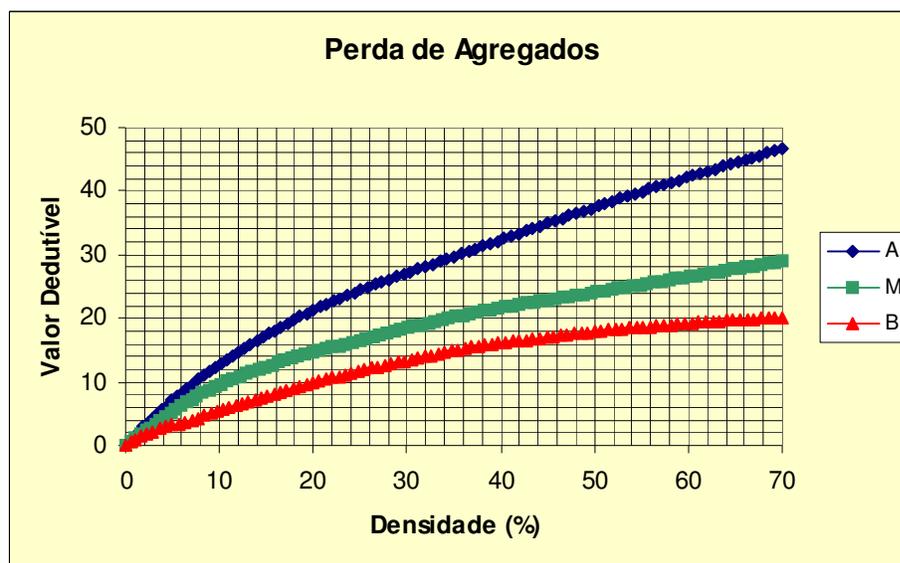


Figura 8: Curvas Geradas a Partir da Digitalização do Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Perda de Agregados

➤ Defeito: Buraco

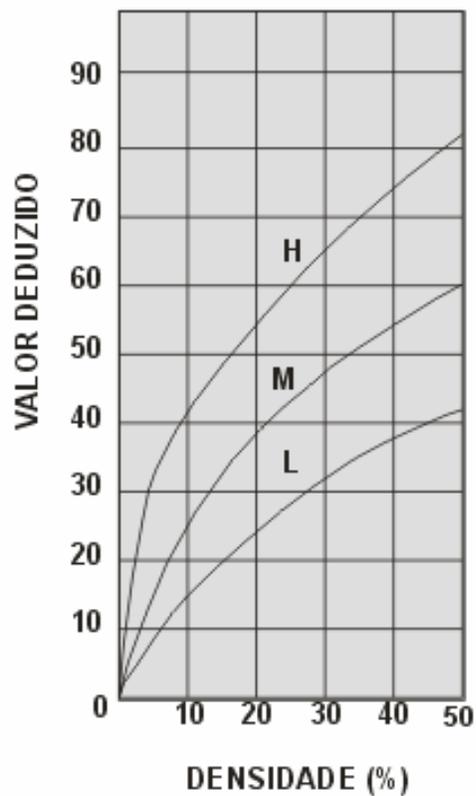


Figura 9: Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Buraco (TM 5-626,1995)

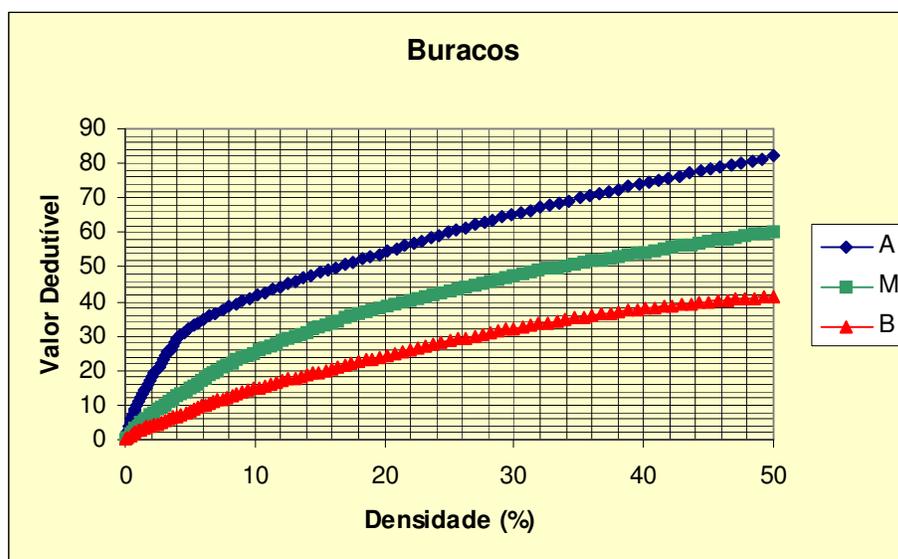


Figura 10: Curvas Geradas a partir da Digitalização do Nomograma Original do USACE Utilizado para o Defeito Buraco

➤ URCI em função do TDV e do “q”

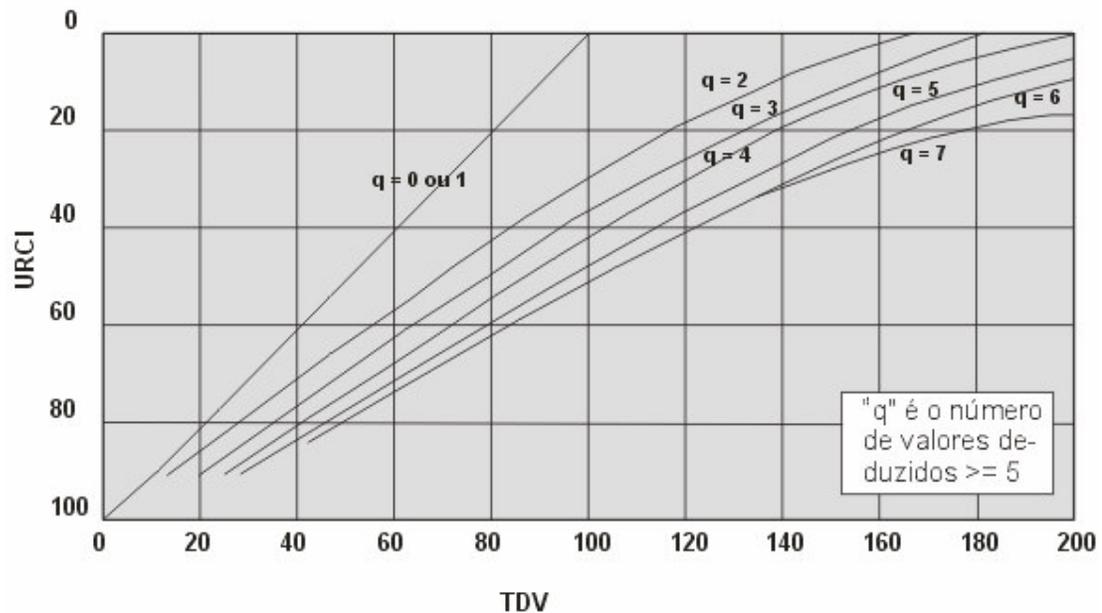


Figura 11: Nomograma Original do USACE Utilizado Determinação do URCI (TM 5-626,1995)

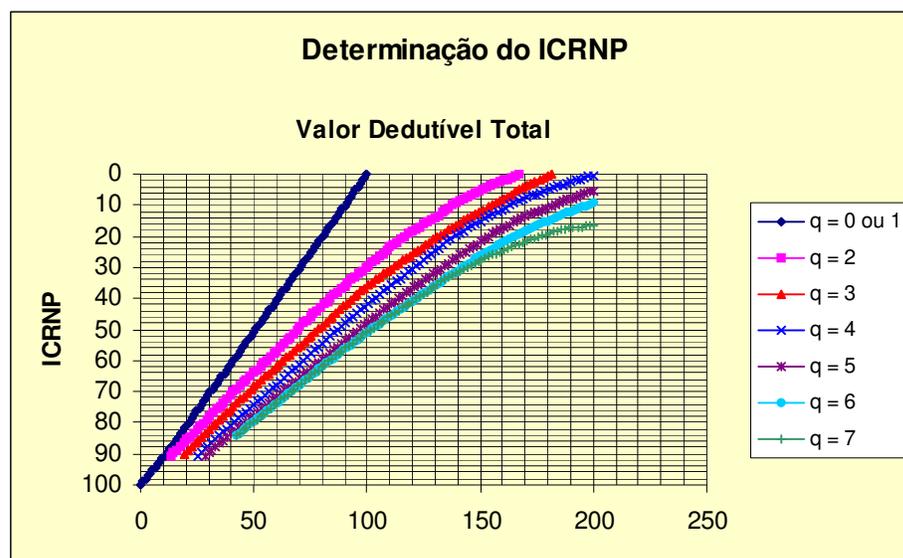


Figura 12: Curvas Geradas a partir da Digitalização do Nomograma Original do USACE Utilizado para Determinação do URCI

ANEXO 3

**RESULTADOS DOS TESTES ESTATÍSTICOS QUE VALIDARAM
AS EQUAÇÕES RESULTANTES DA AUTOMAÇÃO DO MÉTODO
DO USACE**

É importante lembrar que as hipóteses para cada teste foram as seguintes:

- Teste para comparação de Variâncias:
 - a. $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (As Variâncias são equivalentes);
 - b. $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (As Variâncias são diferentes);

- Teste para comparação de Médias:
 - a. $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (As médias são iguais);
 - b. $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (As médias são diferentes);

Os resultados dos testes de hipótese obtidos com o auxílio do Excel foram os seguintes:

➤ **Defeito: Seção Transversal Inadequada**

- a. nível de severidade baixo

Quadro 1: Teste F para Comparação de Variâncias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias	$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA
Média	9,75	9,65
Variância	1,875	1,539
Observações	6	6
gl	5	5
F	1,218323587	
P(F<=f) uni-caudal	0,416863973	
F crítico uni-caudal	2,22751857	
Aceita-se $H_0 \Rightarrow$ Variâncias Equivalentes		

Quadro 2: Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo Excel

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	9,75	9,65	
Variância	1,875	1,539	
Observações	6	6	
Variância agrupada	1,707		
Hipótese da diferença de média	0		
gl	10		
Stat t	0,132569576		
P(T<=t) bi-caudal	0,897163407		
t crítico bi-caudal	2,228138842		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

b. nível de severidade médio

Quadro 3: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo Excel

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	11,64705882	11,48235294	
Variância	17,14889706	16,88779412	
Observações	17	17	
gl	16	16	
F	1,015461045		
P(F<=f) uni-caudal	0,487949824		
F crítico uni-caudal	1,535775361		
Aceita-se Ho => Variâncias Equivalentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	11,64705882	11,48235294	
Variância	17,14889706	16,88779412	
Observações	17	17	
Variância agrupada	17,01834559		
Hipótese da diferença de média	0		
gl	32		
Stat t	0,116401856		
P(T<=t) bi-caudal	0,908061529		
t crítico bi-caudal	2,036933334		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

c. nível de severidade alto

Quadro 4: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	19,77272727	19,58181818	
Variância	21,66818182	22,87963636	
Observações	11	11	
gl	10	10	
F	0,94705097		
P(F<=f) uni-caudal	0,466571021		
F crítico uni-caudal	0,577502334		
Rejeita-se Ho => Variâncias Diferentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	19,77272727	19,58181818	
Variância	21,66818182	22,87963636	
Observações	11	11	
Hipótese da diferença de média	0		
gl	20		
Stat t	0,094865813		
P(T<=t) uni-caudal	0,462682725		
t crítico bi-caudal	2,085963441		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

➤ **Defeito: Drenagem Lateral Inadequada**

a. nível de severidade baixo

Quadro 5: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	5,961538462		5,9
Variância	2,102564103	2,006666667	
Observações	13		13
gl	12		12
F	1,04778942		
P(F<=f) uni-caudal	0,468441554		
F crítico uni-caudal	1,646447294		
Aceita-se Ho => Variâncias Equivalentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	5,961538462		5,9
Variância	2,102564103	2,006666667	
Observações	13		13
Variância agrupada	2,054615385		
Hipótese da diferença de média	0		
gl	24		
Stat t	0,109455615		
P(T<=t) uni-caudal	0,456875598		
t crítico uni-caudal	1,710882067		
P(T<=t) bi-caudal	0,913751195		
t crítico bi-caudal	2,063898547		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

b. nível de severidade médio

Quadro 6: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	10,38636364	10,34545455	
Variância	7,569805195	6,654025974	
Observações	22	22	
gl	21	21	
F	1,13762784		
P(F<=f) uni-caudal	0,385198449		
F crítico uni-caudal	1,451748396		
Aceita-se Ho => Variâncias Equivalentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	10,38636364	10,34545455	
Variância	7,569805195	6,654025974	
Observações	22	22	
Variância agrupada	7,111915584		
Hipótese da diferença de média	0		
gl	42		
Stat t	0,050877162		
P(T<=t) uni-caudal	0,479832303		
t crítico uni-caudal	1,681952358		
P(T<=t) bi-caudal	0,959664605		
t crítico bi-caudal	2,018081679		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

c. nível de severidade alto

Quadro 7: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	13,1875	10,34545455	
Variância	23,49553571	6,654025974	
Observações	8	22	
gl	7	21	
F	3,531025548		
P(F<=f) uni-caudal	0,011550745		
F crítico uni-caudal	1,566576227		
Rejeita-se Ho => Variâncias Diferentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias Diferentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	13,1875	12,9375	
Variância	23,49553571	22,40553571	
Observações	8	8	
Hipótese da diferença de média	0		
gl	14		
Stat t	0,104369497		
P(T<=t) uni-caudal	0,459178306		
t crítico uni-caudal	1,761310115		
P(T<=t) bi-caudal	0,918356611		
t crítico bi-caudal	2,144786681		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

➤ **Defeito: Corrugação**

a. nível de severidade baixo

Quadro 8: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	<i>ODA</i>	<i>ALMEIDA</i>	
Média	13,55	13,72	
Variância	127,0805556	127,8417778	
Observações	10	10	
gl	9	9	
F	0,994045591		
P(F<=f) uni-caudal	0,496523909		
F crítico uni-caudal	0,559483868		
Rejeita-se Ho => Variâncias Diferentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias Diferentes		$\alpha = 5\%$	
	<i>ODA</i>	<i>ALMEIDA</i>	
Média	13,55	13,72	
Variância	127,0805556	127,8417778	
Observações	10	10	
Hipótese da diferença de média	0		
gl	18		
Stat t	-0,033670144		
P(T<=t) uni-caudal	0,486755375		
t crítico uni-caudal	1,734063592		
P(T<=t) bi-caudal	0,97351075		
t crítico bi-caudal	2,100922037		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

b. nível de severidade médio

Quadro 9: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	25,92857143		25,3
Variância	268,456044	312,9707692	
Observações	14		14
gl	13		13
F	0,857767147		
P(F<=f) uni-caudal	0,393121197		
F crítico uni-caudal	0,619956159		
Rejeita-se Ho => Variâncias Diferentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias Diferentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	25,92857143		25,3
Variância	268,456044	312,9707692	
Observações	14		14
Hipótese da diferença de média	0		
gl	26		
Stat t	0,097537389		
P(T<=t) uni-caudal	0,461523836		
t crítico uni-caudal	1,705617901		
P(T<=t) bi-caudal	0,923047673		
t crítico bi-caudal	2,055529418		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

c. nível de severidade alto

Quadro 10: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	28,5	28,86666667	
Variância	754,75	744,9633333	
Observações	3	3	
gl	2	2	
F	1,013137112		
P(F<=f) uni-caudal	0,496737154		
F crítico uni-caudal	4		
Aceita-se Ho => Variâncias Equivalentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	28,5	28,86666667	
Variância	754,75	744,9633333	
Observações	3	3	
Variância agrupada	749,8566667		
Hipótese da diferença de média	0		
gl	4		
Stat t	-0,016399399		
P(T<=t) uni-caudal	0,49385057		
t crítico uni-caudal	2,131846782		
P(T<=t) bi-caudal	0,98770114		
t crítico bi-caudal	2,776445105		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

➤ **Defeito: Trilha de Roda**

a. nível de severidade médio

Quadro 11: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	<i>ODA</i>	<i>ALMEIDA</i>	
Média	16,70833333	16,94166667	
Variância	99,74810606	101,337197	
Observações	12	12	
gl	11	11	
F	0,98431878		
P(F<=f) uni-caudal	0,489779379		
F crítico uni-caudal	0,593322543		
Rejeita-se Ho => Variâncias Diferentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias Diferentes		$\alpha = 5\%$	
	<i>ODA</i>	<i>ALMEIDA</i>	
Média	16,70833333	16,94166667	
Variância	99,74810606	101,337197	
Observações	12	12	
Hipótese da diferença de média	0		
gl	22		
Stat t	-0,057000313		
P(T<=t) uni-caudal	0,477529743		
t crítico uni-caudal	1,717144335		
P(T<=t) bi-caudal	0,955059486		
t crítico bi-caudal	2,073873058		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

b. nível de severidade alto

Quadro 12: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	19,47222222	19,66666667	
Variância	83,89624183	80,8	
Observações	18	18	
gl	17	17	
F	1,038319825		
P(F<=f) uni-caudal	0,469554785		
F crítico uni-caudal	1,515508611		
Aceita-se Ho => Variâncias Iguais			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias Equivalentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	19,47222222	19,66666667	
Variância	83,89624183	80,8	
Observações	18	18	
Variância agrupada	82,34812092		
Hipótese da diferença de média	0		
gl	34		
Stat t	-0,064282084		
P(T<=t) uni-caudal	0,474561041		
t crítico uni-caudal	1,690924198		
P(T<=t) bi-caudal	0,949122082		
t crítico bi-caudal	2,032244498		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

➤ **Defeito: Perda de Agregados**

a. nível de severidade baixo

Quadro 13: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	6,64	6,744	
Variância	7,6775	7,5859	
Observações	25	25	
gl	24	24	
F	1,012075034		
P(F<=f) uni-caudal	0,488394069		
F crítico uni-caudal	1,41630355		
Aceita-se Ho => Variâncias Iguais			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias Equivalentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	6,64	6,744	
Variância	7,6775	7,5859	
Observações	25	25	
Variância agrupada	7,6317		
Hipótese da diferença de média	0		
gl	48		
Stat t	-0,133099891		
P(T<=t) uni-caudal	0,447335412		
t crítico uni-caudal	1,677224197		
P(T<=t) bi-caudal	0,894670824		
t crítico bi-caudal	2,010634722		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

b. nível de severidade médio

Quadro 14: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	11,94444444	11,9	
Variância	13,71527778	13,005	
Observações	9	9	
gl	8	8	
F	1,054615746		
P(F<=f) uni-caudal	0,470946499		
F crítico uni-caudal	1,85637926		
Aceita-se Ho => Variâncias Iguais			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias Equivalentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	11,94444444	11,9	
Variância	13,71527778	13,005	
Observações	9	9	
Variância agrupada	13,36013889		
Hipótese da diferença de média	0		
gl	16		
Stat t	0,025793974		
P(T<=t) uni-caudal	0,489870321		
t crítico uni-caudal	1,745883669		
P(T<=t) bi-caudal	0,979740641		
t crítico bi-caudal	2,119905285		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

c. nível de severidade alto

Quadro 15: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	15,5	16,25	
Variância	12,5	10,125	
Observações	2	2	
gl	1	1	
F	1,234567901		
P(F<=f) uni-caudal	0,466524583		
F crítico uni-caudal	9,472135952		
Aceita-se Ho => Variâncias Iguais			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias Equivalentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	15,5	16,25	
Variância	12,5	10,125	
Observações	2	2	
Variância agrupada	11,3125		
Hipótese da diferença de média	0		
gl	2		
Stat t	-0,222988244		
P(T<=t) uni-caudal	0,42212388		
t crítico uni-caudal	2,91998558		
P(T<=t) bi-caudal	0,844247761		
t crítico bi-caudal	4,30265273		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

➤ **Cálculo do ICRNP em função do TDV e do q**

Quadro 16: Teste F para Comparação de Variâncias Seguido do Teste T para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-F: duas amostras para variâncias		$\alpha = 20\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	67,37142857	67,82857143	
Variância	203,2803313	207,3325052	
Observações	70	70	
gl	69	69	
F	0,980455675		
P(F<=f) uni-caudal	0,467450487		
F crítico uni-caudal	0,815830443		
Rejeita-se Ho => Variâncias Diferentes			
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias Diferentes		$\alpha = 5\%$	
	ODA	ALMEIDA	
Média	67,37142857	67,82857143	
Variância	203,2803313	207,3325052	
Observações	70	70	
Hipótese da diferença de média	0		
gl	138		
Stat t	-0,188749016		
P(T<=t) uni-caudal	0,425283415		
t crítico uni-caudal	1,655970383		
P(T<=t) bi-caudal	0,85056683		
t crítico bi-caudal	1,977303512		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

Quadro 17: Teste Normal para Comparação de Médias Realizado pelo *Excel*

Teste-z: duas amostras para médias		$\alpha = 5\%$	
	<i>ODA</i>	<i>EU</i>	
Média	67,37142857	67,82857143	
Variância conhecida	203,2803	207,3325	
Observações	70	70	
Hipótese da diferença de média	0		
z	-0,188749025		
P(Z<=z) uni-caudal	0,425144763		
z crítico uni-caudal	1,644853627		
P(Z<=z) bi-caudal	0,850289526		
z crítico bi-caudal	1,959963985		
t crítico bi-caudal	1,977303512		
Aceita-se Ho => As médias são Iguais			

ANEXO 4

**DADOS E INFORMAÇÕES GERADAS AO LONGO DO
DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PARA INDICAR
PRIORIDADES DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS**

FICHA DE AVALIAÇÃO								
Nome : _____			Data : ____/____/____					
Cargo : _____			Órgão/Empresa : _____					
COMPARAÇÃO	a) Assinale com um X o indicador mais importante. Se ambos apresentarem a mesma importância, assinale a lacuna correspondente.			b) Assinale com um X a opção que melhor expressa a intensidade desta importância.				
	MAIS IMPORTANTE			MESMA IMPORT.	UM POUCO	MUITO	MUITÍSSIMO	EXTREMAMENTE
1	Sarjetas		Valetas em Cristas de Cortes					
2	Obras D'Arte Correntes		Drenagem Superficial					
3	Obras D'Arte Correntes		Obras D'Arte Especiais					
4	Drenagem Superficial		Obras D'Arte Especiais					
5	Solos Granulares		Solos Siltosos e Argilosos					
6	CBR até 20%		CBR > 20%					
7	Tipo de Solo		Capacidade de Suporte					
8	Rampas até 3%		Rampas entre 3 e 8%					
9	Rampas até 3%		Rampas maiores que 8%					
10	Rampas entre 3 e 8%		Rampas maiores que 8%					
11	Com abaulamento		Em Calha					
12	Com abaulamento		Mista					
13	Em Calha		Mista					
14	Geometria Longitudinal		Geometria Transversal					
15	Condições de Rolamento		Drenagem					
16	Condições de Rolamento		Materiais					
17	Condições de Rolamento		Geometria					
18	Drenagem		Materiais					
19	Drenagem		Geometria					
20	Materiais		Geometria					
21	Tráfego Leve		Tráfego Médio					
22	Tráfego Leve		Tráfego Pesado					
23	Tráfego Médio		Tráfego Pesado					
24	Volume de Tráfego		Tipo de Tráfego					
25	Jurisdição Municipal		Jurisdição Estadual					
26	Jurisdição Municipal		Jurisdição Federal					
27	Jurisdição Estadual		Jurisdição Federal					
28	Acesso à Escolas		Acesso à Hospitais					
29	Acesso à Escolas		Acesso à Centros Urbanos					
30	Acesso à Escolas		Acesso à Centros Produtivos					
31	Acesso à Hospitais		Acesso à Centros Urbanos					
32	Acesso à Hospitais		Acesso à Centros Produtivos					
33	Acesso à Centros Urbanos		Acesso à Centros Produtivos					
34	Aspectos Físicos		Aspectos Climáticos					
35	Aspectos Físicos		Aspectos de Tráfego					
36	Aspectos Físicos		Aspectos Administrativos					
37	Aspectos Físicos		Aspectos Sociais					
38	Aspectos Climáticos		Aspectos de Tráfego					
39	Aspectos Climáticos		Aspectos Administrativos					
40	Aspectos Climáticos		Aspectos Sociais					
41	Aspectos de Tráfego		Aspectos Administrativos					
42	Aspectos de Tráfego		Aspectos Sociais					
43	Aspectos Administrativos		Aspectos Sociais					

Figura 1: Primeira Versão do Questionário Usado nas Comparações Paritárias

MATRIZ (nº)	CRITÉRIO A	CRITÉRIO B
1	OBRAS D'ARTE CORRENTES	DRENAGEM SUPERFICIAL
	OBRAS D'ARTE CORRENTES	OBRAS D'ARTE ESPECIAIS
	DRENAGEM SUPERFICIAL	OBRAS D'ARTE ESPECIAIS
2	RAMPAS ATÉ 3%	RAMPAS ENTRE 3 E 8%
	RAMPAS ATÉ 3%	RAMPAS MAIORES QUE 8%
	RAMPAS ENTRE 3 E 8%	RAMPAS MAIORES QUE 8%
3	SEÇÕES COM ABAULAMENTO	SEÇÕES EM CALHA
	SEÇÕES COM ABAULAMENTO	SEÇÕES MISTAS
	SEÇÕES EM CALHA	SEÇÕES MISTAS
4	CONDIÇÕES DE ROLAMENTO	SEÇÕES EM CALHA
	CONDIÇÕES DE ROLAMENTO	SEÇÕES MISTAS
	CONDIÇÕES DE ROLAMENTO	SEÇÕES MISTAS
	DRENAGEM	MATERIAIS
	DRENAGEM	GEOMETRIA
	MATERIAIS	GEOMETRIA
5	TRÁFEGO LEVE	TRÁFEGO MÉDIO
	TRÁFEGO LEVE	TRÁFEGO PESADO
	TRÁFEGO MÉDIO	TRÁFEGO PESADO
6	JURISDIÇÃO MUNICIPAL	JURISDIÇÃO ESTADUAL
	JURISDIÇÃO MUNICIPAL	JURISDIÇÃO FEDERAL
	JURISDIÇÃO ESTADUAL	JURISDIÇÃO FEDERAL
7	ACESSO À ESCOLAS	ACESSO À HOSPITAIS
	ACESSO À ESCOLAS	ACESSO À CENTROS URBANOS
	ACESSO À ESCOLAS	ACESSO À CENTROS PRODUTIVOS
	ACESSO À HOSPITAIS	ACESSO À CENTROS URBANOS
	ACESSO À HOSPITAIS	ACESSO À CENTROS PRODUTIVOS
	ACESSO À CENTROS URBANOS	ACESSO À CENTROS PRODUTIVOS
8	ASPECTOS FÍSICOS	ASPECTOS CLIMÁTICOS
	ASPECTOS FÍSICOS	ASPECTOS DE TRÁFEGO
	ASPECTOS FÍSICOS	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS
	ASPECTOS FÍSICOS	ASPECTOS SOCIAIS
	ASPECTOS CLIMÁTICOS	ASPECTOS DE TRÁFEGO
	ASPECTOS CLIMÁTICOS	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS
	ASPECTOS CLIMÁTICOS	ASPECTOS SOCIAIS
	ASPECTOS DE TRÁFEGO	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS
	ASPECTOS DE TRÁFEGO	ASPECTOS SOCIAIS
ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	ASPECTOS SOCIAIS	

Figura 2: Matrizes de Comparações Paritárias Geradas pelo Trabalho

petran		FICHA DE AVALIAÇÃO				
Nome : _____		Data : ____/____/____				
Cargo : _____		Órgão/Empresa : _____				
<p>* Em cada linha, assinale qual o indicador mais importante em relação ao critério especificado. Se o indicador 1 for mais importante, marque a coluna A com o nº correspondente ao grau dessa importância, de acordo com a legenda. Se o escolhido for o indicador 2, marque a coluna B. Se ambos apresentarem a mesma importância, assinale um X na coluna do meio</p> <p>* As comparações devem ser avaliadas analisando-se a influência dos itens no bom funcionamento de uma estrada de terra.</p>						
Nº	No que diz respeito	Col. A	Critério 1	Meio	Critério 2	Col. B
1	à Drenagem Superficial		Sarjetas		Valetas em Cristas de Cortes	
2	à Drenagem		Obras D'Arte Correntes		Drenagem Superficial	
3	à Drenagem		Obras D'Arte Correntes		Obras D'Arte Especiais	
4	à Drenagem		Drenagem Superficial		Obras D'Arte Especiais	
5	ao Tipo de Solo		Solos Granulares		Solos Siltosos e Argilosos	
6	à Resistência dos Materiais		CBR até 20%		CBR > 20%	
7	às Propriedades dos Materiais		Tipo de Solo		Capacidade de Suporte	
8	à Geometria Longitudinal		Rampas até 3%		Rampas entre 3 e 8%	
9	à Geometria Longitudinal		Rampas até 3%		Rampas maiores que 8%	
10	à Geometria Longitudinal		Rampas entre 3 e 8%		Rampas maiores que 8%	
11	à Geometria Transversal		Com abaulamento		Em Calha	
12	à Geometria Transversal		Com abaulamento		Mista	
13	à Geometria Transversal		Em Calha		Mista	
14	à Geometria da Via		Geometria Longitudinal		Geometria Transversal	
15	aos Aspectos Físicos da Via		Condições de Rolamento		Drenagem	
16	aos Aspectos Físicos da Via		Condições de Rolamento		Materiais	
17	aos Aspectos Físicos da Via		Condições de Rolamento		Geometria	
18	aos Aspectos Físicos da Via		Drenagem		Materiais	
19	aos Aspectos Físicos da Via		Drenagem		Geometria	
20	aos Aspectos Físicos da Via		Materiais		Geometria	
21	ao Tipo de Tráfego Incidente		Tráfego Leve		Tráfego Médio	
22	ao Tipo de Tráfego Incidente		Tráfego Leve		Tráfego Pesado	
23	ao Tipo de Tráfego Incidente		Tráfego Médio		Tráfego Pesado	
24	à Incidência do Tráfego		Volume de Tráfego		Tipo de Tráfego	
25	aos Órgãos Resp. pela Conserv.		Jurisdição Municipal		Jurisdição Estadual	
26	aos Órgãos Resp. pela Conserv.		Jurisdição Municipal		Jurisdição Federal	
27	aos Órgãos Resp. pela Conserv.		Jurisdição Estadual		Jurisdição Federal	
28	à Importância para a Sociedade		Acesso à Escolas		Acesso à Hospitais	
29	à Importância para a Sociedade		Acesso à Escolas		Acesso à Centros Urbanos	
30	à Importância para a Sociedade		Acesso à Escolas		Acesso à Centros Produtivos	
31	à Importância para a Sociedade		Acesso à Hospitais		Acesso à Centros Urbanos	
32	à Importância para a Sociedade		Acesso à Hospitais		Acesso à Centros Produtivos	
33	à Importância para a Sociedade		Acesso à Centros Urbanos		Acesso à Centros Produtivos	
34	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos Físicos		Aspectos Climáticos	
35	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos Físicos		Aspectos de Tráfego	
36	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos Físicos		Aspectos Administrativos	
37	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos Físicos		Aspectos Sociais	
38	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos Climáticos		Aspectos de Tráfego	
39	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos Climáticos		Aspectos Administrativos	
40	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos Climáticos		Aspectos Sociais	
41	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos de Tráfego		Aspectos Administrativos	
42	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos de Tráfego		Aspectos Sociais	
43	ao Bom Funcionamento da Via		Aspectos Administrativos		Aspectos Sociais	
<p>* Na sua opinião, a estrutura de critérios adotada nesse trabalho é :</p> <p><input type="checkbox"/> RUIM <input type="checkbox"/> REGULAR</p> <p><input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> ÓTIMA</p>						<p>*Quais critérios você acha que está faltando nesse modelo?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>

Figura 3: Nova Estrutura Utilizada para o Questionário

CRITÉRIO	INDICADOR		
	VIA		
	AQZ-01	AQZ-02	AQZ-03
Obras D'arte Correntes	0	0	1
Sarjetas	0	0	0
Valetas	0	0	0
Obras D'arte Especiais	0	1	0
Índice Pluviométrico	40	40	40
Jurisdição Municipal	100	100	100
Jurisdição Estadual	0	0	0
Jurisdição Federal	0	0	0
Escolas Acessadas	0	2	2
Hospitais Acessados	0	2	3
Centros Urbanos Acessados	0	1	1
Centros Produtivos Acessados	0	2	2

Tabela 1: Restante dos Critérios Coletados em Campo

ANEXO 5

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E ROTEIRO DE UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DESENVOLVIDO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO VENO

Para facilitar a aplicação das metodologias propostas nesse trabalho, foi desenvolvida um *Software*, o qual apresenta um princípio de funcionamento disposto em três etapas: entrada de dados, análise dos mesmos e apresentação dos resultados.

Esse sistema foi desenvolvido na versão 7.0 da linguagem de programação *DELPHI* da *Borland*. O mesmo consiste de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados – SGBD e manipula bases de dados padrão *SQL Server* da *Microsoft*. O *SQL Server* é um padrão de banco de dados bastante robusto que apresenta confiabilidade e segurança no que diz respeito à armazenagem de um volume muito grande de informações.

Durante o desenvolvimento do sistema, a busca da simplicidade de utilização foi a grande meta a ser alcançada. Essa simplicidade do *software* permite que o mesmo seja utilizado por pessoas que não apresentam grandes conhecimentos em informática, ideal para prefeituras de pequenas cidades do interior. A Figura 1 mostra a tela principal do sistema, na qual todas as funções do mesmo estão disponibilizadas.

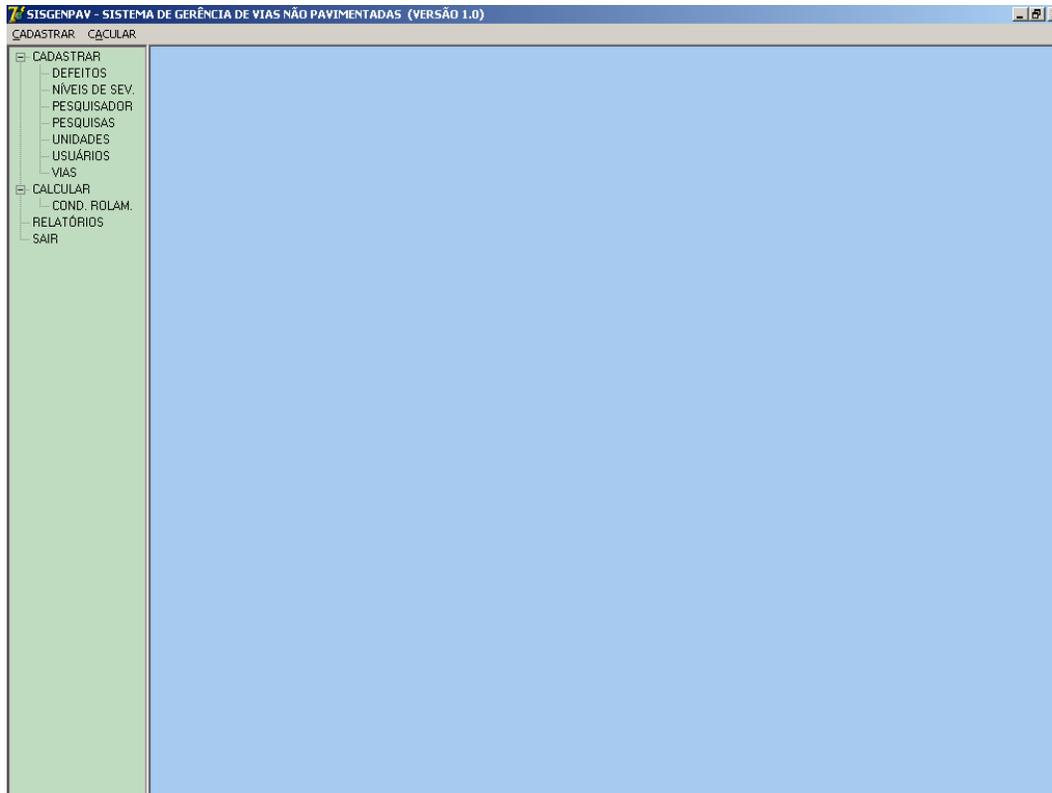


Figura 1: Tela Principal do Sistema de Gerência de Vias Não Pavimentadas

A metodologia de trabalho do *software* consiste de três etapas consecutivas: entrada de dados, análise e determinação dos resultados. A utilização do *software* será descrita à medida que essas etapas também forem descritas.

✓ Entrada de Dados

A entrada de dados consiste no cadastro das vias com suas respectivas características e dos defeitos apresentados pelas mesmas e identificados em levantamentos de campo periódicos. Dentre as características das vias, podem ser citadas as seguintes: extensão, área, características da drenagem, da geometria dos materiais componentes da superfície de rolamento, do tráfego incidente sobre a mesma, das condições climáticas, etc. É importante salientar que cada via deve ser nomeada de forma simples para facilitar identificações futuras.

Para o cadastro das vias e de seus elementos, deve ser escolhida a opção vias no *menu* Cadastrar. A tela mostrada na Figura 2 será exibida pelo programa. Essa tela está dividida em duas abas: Listagem e Detalhes. A aba Listagem mostra a relação de todas as vias cadastradas e a de Detalhes fornece subsídios ao usuário para manipular (inserir, alterar e visualizar) os dados referentes às vias.

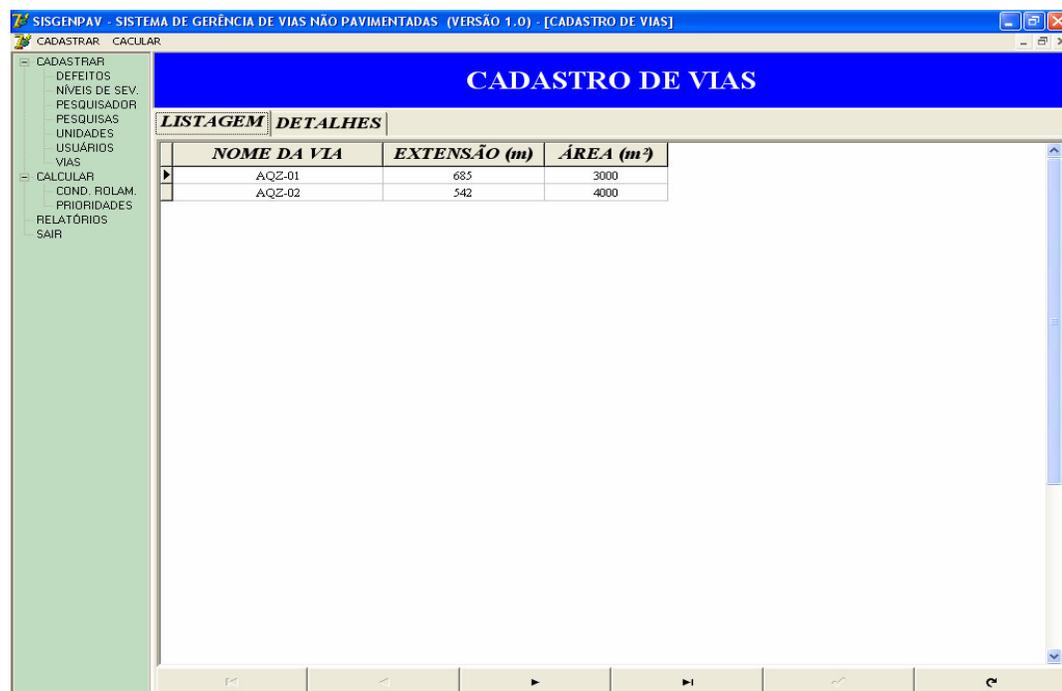


Figura 2: Tela de Cadastro de Vias Mostrando a Listagem das Vias Cadastradas

A aba Detalhes está dividida em mais duas abas, as quais apresentam os elementos que caracterizam as vias. Esses elementos são os critérios analisados pelo modelo multicritério de apoio à decisão de priorização das vias para receberem atividades de manutenção e reparo (M & R). As Figuras 3 e 4 ilustram essas telas.

The screenshot shows the 'CADASTRO DE VIAS' application window. The title bar reads 'SISGENPAV - SISTEMA DE GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS (VERSÃO 1.0) - [CADASTRO DE VIAS]'. The main window has a blue header with 'CADASTRO DE VIAS' and a sidebar menu on the left. The 'DETALHES' tab is active, showing a form for road data. The form is divided into several sections: 'DADOS DA VIA', 'ASPECTOS POLÍTICOS', 'ASPECTOS SOCIAIS', and 'ASPECTOS CLIMÁTICOS'. The 'DADOS DA VIA' section includes fields for 'NOME DA VIA' (AQZ-01), 'ÁREA (m²)' (3000), and 'EXTENSÃO (m)' (685). The 'ASPECTOS POLÍTICOS' section includes fields for '% DA VIA SOB JURISDIÇÃO MUNICIPAL' (100%), '% DA VIA SOB JURISDIÇÃO ESTADUAL' (0%), and '% DA VIA SOB JURISDIÇÃO FEDERAL' (0%). The 'ASPECTOS SOCIAIS' section includes fields for 'NÚMERO DE ESCOLAS ACESSADAS' (0), 'NÚMERO DE HOSPITAIS ACESSADOS' (0), 'NÚMERO DE CENTROS URBANOS' (1), and 'NÚMERO DE CENTROS PRODUTIVOS' (2). The 'ASPECTOS CLIMÁTICOS' section includes a field for 'ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO MÉDIO' (147 mm). There are also buttons for 'Incluir', 'Gravar', 'Cancelar', 'Alterar', and 'Fechar' at the top of the form area.

Figura 3: Tela que Mostra os Elementos de Aspectos Sociais, Políticos, Climáticos e de Tráfego Apresentados pela Via.

Para inclusão de uma nova via com suas respectivas características, o botão Incluir deve ser pressionado com o cursor do *mouse*. Com isso, o sistema criará um novo registro para armazenar as informações relativas à nova via. Em seguida os dados da via devem ser digitados nos respectivos campos. Ao término da digitação das informações, o botão gravar deve ser pressionado. A partir desse momento, os dados da nova via são armazenados no banco de dados. Caso o usuário queira desistir da operação ao longo da digitação dos dados, o mesmo deve pressionar o botão Cancelar.

Para visualizar os dados de uma via já cadastrada, a mesma deve ser selecionada com o clique do *mouse* sobre seu nome na relação fornecida na aba Listagem. Os dados pertinentes a essa via serão exibidos na aba Detalhes. Para

alterar alguma informação nos dados mostrados na aba Detalhes, o botão Alterar deve ser pressionado para que o programa ative o modo de edição do banco de dados e permita essas alterações. Para encerrar o cadastro de vias, deve escolher a opção Fechar. O detalhamento dos dados relativos à cada via está descrito no Capítulo 9.

CADASTRO DE VIAS

LISTAGEM **DETALHES**

Incluir **Gravar** **Cancelar** **Alterar** **Fechar**

DADOS DA VIA **ASPECTOS FÍSICOS**

GEOMETRIA :

% DA VIA C/ RAMPAS ATÉ 3% :	<input type="text" value="15"/> %	% DA VIA C/ S.T. ABAULADA :	<input type="text" value="12"/> %
% DA VIA C/ RAMPAS ENTRE 3 e 8% :	<input type="text" value="20"/> %	% DA VIA C/ S.T. EM CALHA :	<input type="text" value="15"/> %
% DA VIA C/ RAMPAS > 8% :	<input type="text" value="25"/> %	% DA VIA C/ S.T. MISTA :	<input type="text" value="73"/> %

MATERIAIS :

% DA VIA C/ SOLOS GRANULARES :	<input type="text" value="35"/>
% DA VIA C/ SOLOS SILTOSOS E ARG. :	<input type="text" value="65"/>
% DA VIA C/ CBR ATÉ 20% :	<input type="text" value="12"/>
% DA VIA COM CBR > 20% :	<input type="text" value="88"/>

DRENAGEM :

QUANTIDADE DE BUEIROS :	<input type="text" value="4"/>
QUANTIDADE DE PONTES :	<input type="text" value="2"/>
% DA VIA RELATIVA À SARJETAS :	<input type="text" value="15"/> %
% DA VIA RELATIVA À VALETAS :	<input type="text" value="8"/> %

[← PÁGINA ANTERIOR](#)

Figura 4: Tela que Mostra os Elementos Referentes à Geometria, Materiais, Drenagem, Apresentados pela Via.

O próximo passo a ser executado para a entrada dos dados é indicar os levantamentos dos defeitos realizados periodicamente nas vias. No programa, esses levantamentos são chamados de pesquisas, as quais são manipuladas na tela chamada de Cadastro de Pesquisas. Para acessá-la basta pressionar o *mouse* sobre o *menu* Cadastrar e depois em Pesquisas. A tela de cadastro de manipulação de pesquisas está mostrada na Figura 5. Nessa tela, o programa fornece condições ao usuário para associar levantamentos de campos (pesquisas) periódicos às vias que já estão cadastradas.

O primeiro passo para cadastrar uma pesquisa consiste em selecionar a aba Detalhes na tela de cadastro de pesquisas mostrada na Figura 5. Em seguida deve ser pressionado o botão Incluir para que seja criado um novo registro no banco de dados

SISGENPAV - SISTEMA DE GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS (VERSÃO 1.0) - [CADASTRO DE PESQUISAS]

CADASTRO DE PESQUISAS

LISTAGEM | DETALHES | DEFEITOS

VIA	NOME DA PESQUISA	DATA DA PESQUISA	EXTENSÃO (m)	ÁREA (m²)	UNID.
AQZ-02	AQZ-02-P01	15/01/2006	600	3600	
AQZ-01	AQZ-01-P02	15/01/2006	230	1300	
AQZ-01	AQZ-01-P01	12/01/2006	700	300	

Figura 5: Tela de Cadastro e Manipulação de Levantamentos de Campo (Pesquisas)

que irá armazenar os dados relativos ao levantamento de campo a ser cadastrado. Os dados que identificarão a pesquisa deverão ser inseridos primeiramente. As informações relativas a cada pesquisa estão mostradas na Figura 6. A descrição de cada campo a ser preenchido é a seguinte:

- a. **via:** antes de iniciar a inserção dos dados, deverá ser selecionada em qual via o levantamento foi realizado para associar tal levantamento à mesma. O campo destinado a escolha trás todas as vias já cadastradas, cabendo ao usuário escolher a que ele deseja com um simples clique de *mouse*;
- b. **pesquisa:** a pesquisa deverá ser identificada por um nome para facilitar o resgate dos dados no futuro. Propõe-se que a nomenclatura da pesquisa obedeça ao seguinte padrão: concatena-se o nome da via com o número seqüencial do levantamento precedido da letra “P”. No exemplo mostrado na figura 6 atribuiu-se o nome AQZ-02-P01 para a pesquisa. Esse nome representa que essa pesquisa é a primeira realizada na via denominada de AQZ-02. Esse padrão é apenas uma sugestão, pois o programa não fará restrição alguma com relação ao padrão adotado para a nomenclatura da pesquisa;

- c. **data:** a data servirá para identificar quando os levantamentos foram realizados em campo e servirá para indicar uma ordem cronológica para os mesmos;
- d. **extensão (m):** nesse campo, deverá ser informada a extensão da via, em metros, que foi analisada ao longo do levantamento;
- e. **área (m²):** a área levantada, em metros quadrados, durante a pesquisa deverá ser indicada com precisão, pois a mesma, assim como a extensão, será utilizada no cálculo das condições de rolamento; e
- f. **pesquisador:** deverá ser identificado quem foi o responsável pelo levantamento de campo. Os pesquisadores são cadastrados em uma tela específica acessada a partir da opção Pesquisador do *menu* Cadastrar.

Figura 6: Tela de Cadastro de Pesquisas

O princípio de manipulação das informações é o mesmo do cadastro de vias, ou seja, o botão Incluir cria um novo registro no banco de dados, o botão Alterar fornece ao usuário a possibilidade de modificar as informações.

Após o cadastro das informações relativas à identificação das pesquisas, os defeitos encontrados e medidos devem ser cadastrados e associados às mesmas.

Para associar os defeitos às respectivas pesquisas, a seguinte seqüência deve ser seguida:

1. selecionar a aba Listagem na tela de cadastro de pesquisas (Figura 5);
2. clicar com o *mouse* sobre a pesquisa a qual se deseja atribuir os defeitos;
3. com a pesquisa já selecionada, acessar a aba Defeitos. Deverão aparecer na tela as características dessa pesquisa;
4. pressionar o botão Incluir para criar um novo registro de defeito;
5. clicar sobre o ComboBox rotulado Defeito. Os defeitos já se encontram pré-cadastrados;
6. selecionar o tipo de defeito que se deseja associar à pesquisa;
7. clicar sobre o ComboBox rotulado Nível de Severidade. Os níveis de severidade também já se encontram pré-cadastrados;
8. selecionar o nível de severidade desejado;
9. indicar a dimensão do defeito (área ou extensão) no local correspondente;
10. para concluir o cadastro, o botão gravar deve ser pressionado. A partir desse momento os dados desse defeito (tipo, nível de severidade e dimensão) estão armazenados no banco de dados e associados à pesquisa;
11. os passos anteriores devem ser repetidos para cada defeito que se deseja cadastrar.

A Figura 7 mostra a tela de cadastro de defeitos com dois tipos de defeitos (seção transversal imprópria e corrugações) cadastrados, cada um com os três níveis de severidade registrados. Para visualizar a dimensão registrada para cada defeito, basta clicar sobre o mesmo.

Para Alterar os dados de um defeito, deve-se clicar sobre o mesmo para deixá-lo selecionado e, em seguida, pressionar o botão Alterar. As mudanças pretendidas devem ser realizadas e o botão Gravar deve ser pressionado para completar ou o botão Cancelar para desistir da operação.

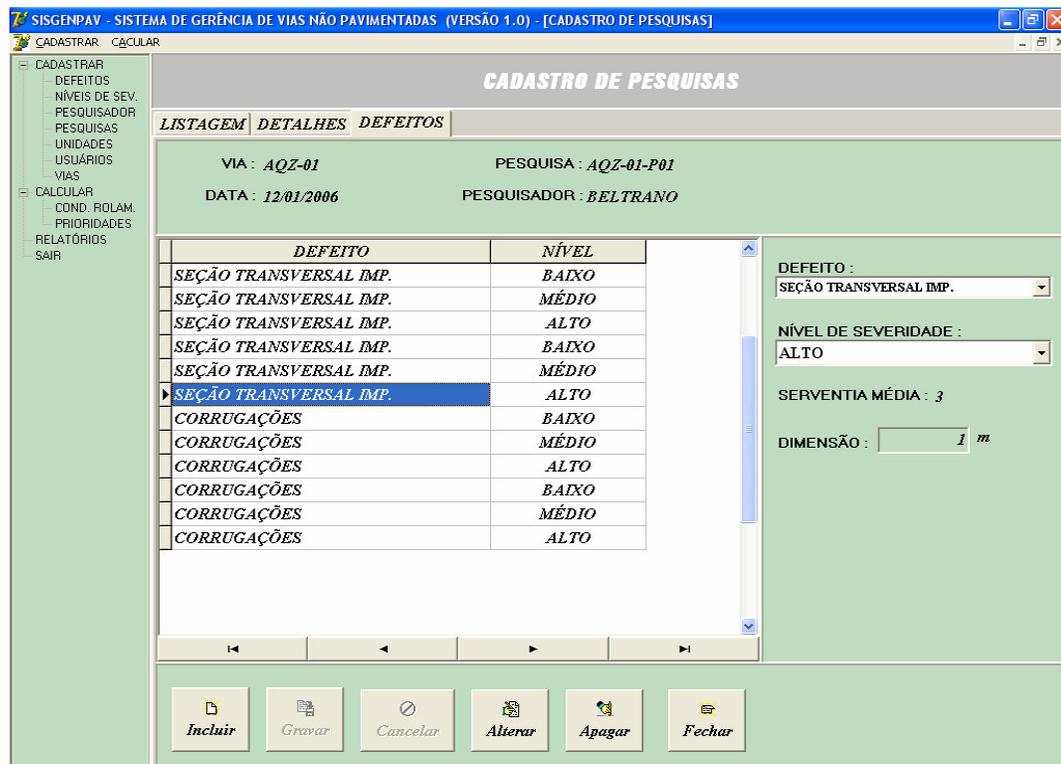


Figura 7: Defeitos Associados à Pesquisa AQZ-01-P01

As características dos defeitos (tipo, severidade e dimensão) cadastrados serão utilizadas na aplicação do método VENO para o cálculo das condições de rolamento da via. As outras opções de cadastros são:

- cadastro de usuários:** opção para cadastrar usuários e senhas para uma futura restrição de acesso ao programa;
- cadastro de unidades:** opção para cadastrar as unidades que serão atribuídas aos defeitos;
- cadastro de níveis de severidade:** opção para cadastrar os níveis de severidade que são associados aos defeitos; e
- cadastro de defeitos:** opção para cadastrar os defeitos que são associados às pesquisas.

✓ Análise dos Dados

A primeira parte da análise dos dados consiste na aplicação do método VENO para calcular a condições de rolamento de uma superfície não pavimentada, a partir da análise das características dos defeitos incidentes sobre a mesma.

A segunda parte consiste na priorização das vias para receberem atividades de manutenção e reparo (M & R) a partir da aplicação da metodologia multicritério desenvolvida durante esse trabalho.

Para determinação das condições, a tela específica deve ser selecionada. A seleção dessa tela ocorre a partir da escolha da opção Condições de Rolamento no *menu* Calcular. A tela que aparecerá está mostrada na Figura 8.

The screenshot shows the 'DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ROLAMENTO' screen. It features a sidebar menu on the left with options: CADASTRAR, DEFEITOS, NÍVEIS DE SEV., PESQUISADOR, PESQUISAS, UNIDADES, USUÁRIOS, VIAS, CALCULAR, COND. ROLAM., PRIORIDADES, RELATÓRIOS, and SAIR. The main content area is titled 'DETALHES' and includes a 'VIA' dropdown menu. Below this are two tables: 'PESQUISAS' with columns 'NOME DA PESQUISA' and 'DATA', and 'DEFEITOS' with columns 'COD. USACE', 'DEFEITO', 'SEVERIDADE', and 'MENS.'. A 'CONDIÇÕES DE ROLAMENTO' section contains a table with columns 'COD. USACE', 'DEFEITO', and 'SERVENTIA MÉDIA', and three text input fields: 'SERVMED (TRECHO)', 'DEFEITO', and 'CONDIÇÃO DE ROLAMENTO'. At the bottom, there are four buttons: 'CALCULAR CONDIÇÕES DE ROLAMENTO', 'RESULTADOS', 'DETALHES', and 'Fechar'.

Figura 8: Tela que Aplica o Método VENO para o Cálculo das Condições de Rolamento

Para o cálculo das condições de rolamento, a seguinte seqüência deve ser executada:

1. escolher a via que se deseja determinar as condições de rolamento clicando no *ComboBox* rotulado de Via. Após a escolha da via, todas as pesquisas associadas à mesma serão listadas na planilha intitulada de pesquisas. Os

dados referentes às pesquisas exibidos são: nome da pesquisa e data de execução do levantamento de campo. A Figura 9 ilustra as pesquisas listadas após a seleção da via AQZ-01;

2. selecionar a pesquisa cujos defeitos serão utilizados na aplicação do método VENO para determinação das condições de rolamento. Ao clicar sobre uma das pesquisas listadas, todos os defeitos associados à mesma serão exibidos na planilha intitulada Defeitos;
3. pressionar o botão Calcular Condições de Rolamento para aplicar o método VENO utilizando os defeitos listados. A partir daí o programa realiza uma série de operações matemáticas, descritas no Capítulo 6, e calcula o índice de condição do trecho de via analisado. A condição de rolamento é indicada como resultado. A Figura 10 ilustra o resultado da operação; e
4. tanto o índice de condição como a condição de rolamento indicada serão atribuídos à pesquisa selecionada. O programa calcula um índice de condição para cada pesquisa e permite a criação de uma série histórica para a condição de rolamento das vias.

SISGENPAV - SISTEMA DE GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS (VERSÃO 1.0) - [CADASTRO DE ENTREVISTADOS]

DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ROLAMENTO

DETALHES

VIA: **AQZ-01**

PESQUISAS :		DEFEITOS :			
NOME DA PESQUISA	DATA	COD. USACE	DEFEITO	SEVERIDADE	MENS.
AQZ-01-P01	12/01/2006				
AQZ-01-P02	15/01/2006				

CONDIÇÕES DE ROLAMENTO :

COD. USACE	DEFEITO	SERVENTIA MÉDIA

SERVMED (TRECHO) :

DEFEITO :

CONDIÇÃO DE ROLAMENTO :

CALCULAR CONDIÇÕES DE ROLAMENTO RESULTADOS DETALHES Fechar

Figura 9: Pesquisas Listadas após a Seleção da Via AQZ-01

SISGENPAV - SISTEMA DE GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS (VERSÃO 1.0) - [CADASTRO DE ENTREVISTADOS]

CADASTRAR CACULAR

DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ROLAMENTO

DETALHES

VIA : AQZ-01

PESQUISAS :		DEFEITOS :			
NOME DA PESQUISA	DATA	COD. USACE	DEFEITO	SEVERIDADE	TIENS
AQZ-01-P01	12/01/2006	81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	BAIXO	
AQZ-01-P02	15/01/2006	81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	MÉDIO	
		81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	ALTO	
		81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	BAIXO	
		81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	MÉDIO	

CONDIÇÕES DE ROLAMENTO :		
COD. USACE	DEFEITO	SERVENTIA MÉDIA
81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	2,338
83	CORRUGAÇÕES	2,029

SERVMED (TRECHO) : 2,338

DEFEITO :
81 SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.

CONDIÇÃO DE ROLAMENTO :
REGULAR

CALCULAR CONDIÇÕES DE ROLAMENTO RESULTADOS DETALHES Fechar

Figura 10: Condição de Rolamento Calculada para a Pesquisa AQZ-01-P01

Além das serventias médias calculadas para cada tipo de defeito, o programa também mostra valores intermediários determinados ao longo da aplicação do método VENO. Esses valores podem ser visualizados pressionando o botão Detalhes na tela mostrada na Figura 10. A tela resultante está mostrada na Figura 11.

SISGENPAV - SISTEMA DE GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS (VERSÃO 1.0) - [CADASTRO DE ENTREVISTADOS]

CADASTRAR CACULAR

DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ROLAMENTO

DETALHES

VIA : AQZ-01

PESQUISAS :		DEFEITOS :			
NOME DA PESQUISA	DATA	COD. USACE	DEFEITO	SEVERIDADE	TIENS
AQZ-01-P01	12/01/2006	81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	BAIXO	
AQZ-01-P02	15/01/2006	81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	MÉDIO	
		81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	ALTO	
		81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	BAIXO	
		81	SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	MÉDIO	

CONDIÇÕES DE ROLAMENTO :						
DEFEITO	SEVERIDADE	DIMENSÃO	UNID.	ÁREA	DENSIDADE (%)	VALOR DEDUZIDO
SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	ALTO	3	m	300	1,000	1,524
SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	BAIXO	12	m	300	4,000	3,350
SEÇÃO TRANSVERSAL IMP.	MÉDIO	7	m	300	2,333	2,141
CORRUGAÇÕES	ALTO	4	m2	300	1,333	2,102
CORRUGAÇÕES	BAIXO	4	m2	300	1,333	1,322
CORRUGAÇÕES	MÉDIO	7	m2	300	2,333	2,662

CALCULAR CONDIÇÕES DE ROLAMENTO RESULTADOS DETALHES Fechar

Figura 11: Valores Intermediários Calculados e Exibidos pelo Programa

É importante salientar que os valores deduzidos calculados para cada nível de severidade de cada tipo de defeito foram determinados utilizando as equações listadas no Capítulo 5.

- **Determinação dos Resultados**

O resultado fornecido pelo programa são as condições de rolamento a partir da análise dos defeitos. Os relatórios serão desenvolvidos ao longo de aplicações práticas do *software* no futuro, para atender necessidades que venham a ser identificadas.

Como pode ser notado ao longo da apresentação, o *software* é bastante simples de ser utilizado e não requer conhecimentos avançados de informática por parte do usuário.