

DIEGO FRINHANI NUNES

**Procedimento para Análise de Sensibilidade do
Programa HDM-4**

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

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Jr.

São Carlos

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

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

N972p Nunes, Diego Frinhani
Procedimento para análise de sensibilidade do Programa
HDM-4 / Diego Frinhani Nunes ; orientador José Leomar
Fernandes Jr. -- São Carlos, 2012.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em
Transportes - Área de concentração: Infraestrutura de
transportes) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2012.

1. Análise de sensibilidade. 2. HDM-4. 3. Pavimentação
- gerenciamento. 4. Efeitos elementares. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **DIEGO FRINHANI NUNES**.

Título da dissertação: "Procedimento para análise de sensibilidade do programa HDM-4".

Data da defesa: 13/04/2012

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **José Leomar Fernandes Júnior (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof^a. Dr^a. **Ana Paula Furlan**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

aprovado

Prof. Associado **José Kiyuha Yshiba**
(Universidade Estadual de Maringá/UEM)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

Este trabalho é dedicado aos meus pais Ana de Fátima e Hidevaldo, à minha irmã Simone e à minha companheira Carolina, com enorme amor e consideração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por ter me dado força, saúde, inspiração e tantos amigos, sem os quais este feito jamais seria possível.

À minha mãe, Ana de Fátima, por ser a minha maior incentivadora nos estudos, sempre dedicando e sacrificando muito além do possível para tornar os meus sonhos realidade.

Ao meu pai, Hidevaldo, pela educação e pelos ensinamentos que sempre lastream as minhas decisões.

À minha irmã, Simone, pelo constante apoio e amizade, que tornaram o caminho mais fácil.

À minha noiva, Carolina, pelos muitos momentos de dedicação e carinho.

Aos meus amigos e irmãos por escolha, Davi, Geraldo e Rafael, por estarem sempre presentes.

Ao Professor Dr. José Leomar Fernandes Jr., pelo apoio, orientação, amizade e paciência durante a elaboração deste trabalho.

Aos demais Professores do Departamento de Engenharia de Transportes, pelas lições e ensinamentos que levarei comigo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes, por sempre estarem dispostos a ajudar. Em especial às secretárias Beth e Heloísa, pela atenção e dedicação que me permitiram concluir o curso.

Aos amigos e companheiros do Departamento de Engenharia de Transportes e Departamento de Engenharia de Estruturas, Robert, Vitor, Wallace, Tiago, Gustavo, Marcelo, Madalena, Jesner, Sérgio, Paulo Toyama, Alexandre, Bruno, Luís, Rafael Tamanine, Emerson, Rafael “Maceió”, que tornaram inesquecíveis os dois anos vividos em São Carlos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

À Universidade de São Paulo (USP), em especial ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos (STT/EESC) pela oportunidade de realizar o curso.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| SUMÁRIO..... | i |
| LISTA DE FIGURAS | v |
| LISTA DE TABELAS..... | vii |
| LISTA DE SIGLAS | ix |
| RESUMO | xi |
| ABSTRACT | xiii |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 2 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA | 3 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO | 3 |
| 2 O PROGRAMA HDM-4..... | 5 |
| 2.1 SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS | 5 |
| 2.2 HISTÓRIA DO MODELO HDM | 6 |
| 2.3 APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DO HDM-4 | 8 |
| 2.4 ESTRUTURA ANALÍTICA DO HDM-4 | 10 |
| 2.4.1 Ferramentas de Análise | 11 |
| 2.4.2 Modelos..... | 14 |
| 2.4.3 Gerenciador de Dados..... | 15 |
| 2.5 CALIBRAÇÃO DO HDM-4..... | 16 |
| 2.5.1 Introdução | 16 |
| 2.5.2 Dados Necessários | 18 |
| 2.6 ANÁLISES ECONÔMICAS | 32 |
| 2.6.1 Análises Econômicas de Projetos Rodoviários | 32 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.6.2 | Métodos de Análise do HDM-4..... | 33 |
| 3 | ANÁLISE DE SENSIBILIDADE..... | 37 |
| 3.1 | SISTEMAS E MODELOS..... | 37 |
| 3.2 | EXPERIMENTOS..... | 39 |
| 3.3 | DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS..... | 41 |
| 3.4 | TIPOS DE ANÁLISES DE SENSIBILIDADE..... | 43 |
| 3.4.1 | Métodos de Triagem..... | 45 |
| 3.4.2 | Métodos de Análise de Sensibilidade Local..... | 48 |
| 3.4.3 | Métodos de Análise de Sensibilidade Global..... | 48 |
| 3.5 | ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PROGRAMA HDM-4 JÁ REALIZADAS..... | 48 |
| 3.5.1 | Manuais do Programa..... | 48 |
| 3.5.2 | Outros trabalhos..... | 50 |
| 4 | ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PROGRAMA HDM-4..... | 51 |
| 4.1 | ESCOLHA DO MÉTODO..... | 51 |
| 4.2 | MÉTODO DOS EFEITOS ELEMENTARES..... | 52 |
| 4.3 | APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS EFEITOS ELEMENTARES NO PROGRAMA HDM-4..... | 56 |
| 4.3.1 | Definição da Análise..... | 56 |
| 4.3.2 | Definição do Número de Trajetórias..... | 63 |
| 4.3.3 | Análises de Sensibilidade Relacionadas à Modificação de Cenários..... | 71 |
| 5 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 75 |
| 5.1 | INTRODUÇÃO AOS RESULTADOS..... | 75 |
| 5.2 | DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE TRAJETÓRIAS..... | 75 |
| 5.3 | ANÁLISES DE SENSIBILIDADE RELACIONADAS À MODIFICAÇÃO DE CENÁRIOS..... | 82 |
| 5.3.1 | Análise de Modificações nas Considerações de Projeto..... | 82 |
| 5.3.2 | Análise de Modificações nas Considerações de Tráfego..... | 83 |
| 5.4 | ANÁLISES DE SENSIBILIDADE DO PROGRAMA HDM-4..... | 85 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 91 |
| 6.1 | CONCLUSÕES | 91 |
| 6.2 | SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS | 92 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 95 |
| | ANEXO A..... | 99 |
| | ANEXO B..... | 109 |
| | APÊNDICE A | 119 |
| | APÊNDICE B..... | 179 |
| | APÊNDICE C | 189 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | Modelo de Custos Rodoviários desenvolvido pelo MIT em 1971 (GEIPOT, 1976). | 6 |
| Figura 2 | Esquema das Análises Econômicas realizadas pelo HDM-4 (Adaptada de Kerali, 2000). | 9 |
| Figura 3 | Estrutura Analítica do HDM-4 (adaptada de Kerali, 2000). | 11 |
| Figura 4 | Níveis de Qualidade de Informações (Adaptado de Kerali, 2000). | 14 |
| Figura 5 | Caixa de diálogo do programa HDM-4 que permite configurar os atributos relacionados com a seção da via. | 19 |
| Figura 6 | Caixa de diálogo que possibilita a modificação de detalhes da seção. | 20 |
| Figura 7 | Caixa de diálogo que possibilita a edição dos atributos de determinado veículo tipo. | 24 |
| Figura 8 | Caixa de diálogo que possibilita a modificação de detalhes do veículo. | 24 |
| Figura 9 | Caixa de diálogo que permite ao usuário editar padrões de intervenções | 26 |
| Figura 10 | Caixa de diálogo que possibilita a edição de uma atividade específica de uma intervenção padrão. | 27 |
| Figura 11 | Caixa de diálogo que permite a criação de novos padrões de fluxo do tráfego. | 28 |
| Figura 12 | Caixa de diálogo para a geração de um novo tipo de rodovia. | 30 |
| Figura 13 | Caixa de diálogo que permite a criação de uma nova zona climática. | 32 |
| Figura 14 | Parcelas que compõem o custo total de uma via – alterado de PATERSON (1991). | 33 |
| Figura 15 | Modelo esquemático para representar processos, segundo Montgomery (2001). | 38 |
| Figura 16 | Formas de estudar um sistema (Adaptado de Law e Kelton, 2000). | 40 |
| Figura 17 | Arranjo da planilha de sorteio das trajetórias. | 61 |
| Figura 18 | Arranjo da planilha que descodifica os valores das matrizes geradas na etapa de sorteio. | 62 |
| Figura 19 | Layout da planilha de incorporação dos fatores simulados e dos não simulados. | 63 |
| Figura 20 | Simulação sendo executada no HDM-4. | 67 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 21 | Forma de apresentação do resumo das análises econômicas realizadas pelo HDM-4. | 68 |
| Figura 22 | Distribuição dos grupos utilizados nas análises. | 70 |
| Figura 23 | Média de fatores indicados na análise do grupo de referência como mais importantes e que não foram identificados entre os 12 fatores mais importantes dos grupos, em função do número de trajetórias. | 77 |
| Figura 24 | Média de fatores indicados na análise do grupo de referência como apresentando interações ou não linearidade e que não foram identificados entre os 12 fatores dos grupos, em função do número de trajetórias. | 78 |
| Figura 25 | Média dos desvios padrão dos fatores na classificação de importância, em função do número de trajetórias. | 79 |
| Figura 26 | Média dos desvios padrão das variáveis no ranking que indica interações ou não linearidade, em função do número de trajetórias. | 80 |
| Figura 27 | Análise em conjunto da relação do número de trajetórias com o desempenho das respostas obtidas | 81 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabela 1 | Classes em função do volume de tráfego | 20 |
| Tabela 2 | Classes em função da Irregularidade Longitudinal | 20 |
| Tabela 3 | Classes em função da geometria da rodovia | 21 |
| Tabela 4 | Classes em função da qualidade da construção | 21 |
| Tabela 5 | Classes em função da adequação estrutural | 21 |
| Tabela 6 | Classes em função do tipo de estrutura | 22 |
| Tabela 7 | Classes em função da condição do revestimento | 22 |
| Tabela 8 | Classes em função da textura do revestimento | 22 |
| Tabela 9 | Tipos de intervenções disponíveis no HDM-4 | 26 |
| Tabela 10 | Classes de dados pluviométricos disponíveis no HDM-4 | 30 |
| Tabela 11 | Classes de dados de temperatura disponíveis no HDM-4 | 31 |
| Tabela 12 | Definições da etapa preliminar a análise de sensibilidade do HDM-4 | 57 |
| Tabela 13 | Fatores analisados e suas respectivas faixas de variação | 58 |
| Tabela 14 | Condição assumida para os fatores qualitativos no estudo de caso | 64 |
| Tabela 15 | Características dos transportes motorizados utilizados na análise | 64 |
| Tabela 16 | Características dos transportes não motorizados utilizados na análise | 65 |
| Tabela 17 | Composição de tráfego utilizada na análise | 65 |
| Tabela 18 | Estratégias de intervenção utilizadas na análise | 66 |
| Tabela 19 | Configurações gerais utilizadas | 66 |
| Tabela 20 | Cenários utilizados para análise dos impactos das modificações nas considerações de projeto | 72 |
| Tabela 21 | Conjuntos de cenários utilizados para análise de variabilidade das posições geradas | 73 |
| Tabela 22 | Cenários utilizados para análise dos impactos das modificações nas considerações de tráfego | 74 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabela 23 | Conjuntos de cenários utilizados para análise de variabilidade das posições geradas | 74 |
| Tabela 24 | Número de fatores indicados como importantes e não identificados nos grupos analisados | 76 |
| Tabela 25 | Número de fatores indicados como apresentando interações ou não linearidade e não identificados nos grupos analisados | 77 |
| Tabela 26 | Média dos desvios padrão de todas as variáveis para cada número de trajetória ensaiado, de acordo com o ranking de importância | 79 |
| Tabela 27 | Média dos desvios padrão de todas as variáveis para cada número de trajetória ensaiado, de acordo com o ranking que indica interações ou não linearidade | 80 |
| Tabela 28 | Número de fatores indicados como importantes / com comportamento não linear no cenário de referência e não identificados nos demais grupos analisados | 82 |
| Tabela 29 | Influência da Taxa de Desconto e do Período de Análise | 82 |
| Tabela 30 | Número de fatores indicados como importantes ou com comportamento não linear no cenário de referência e não identificados nos demais grupos analisados | 83 |
| Tabela 31 | Influência da Porcentagem de Veículos Comerciais e da Taxa de Crescimento Anual do Tráfego | 84 |
| Tabela 32 | Índices de sensibilidade resultantes da análise | 85 |
| Tabela 33 | Classificação dos fatores em função dos índices de sensibilidade obtidos | 86 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------------|---|
| B/C | Relação Benefício-Custo |
| COV | Custos de Operação dos Veículos |
| CRRRI | Central Road Research Institute |
| GEIPOT | Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes |
| HCM | Highway Cost Model |
| HDM | Highways Design and Maintenance Standards Model |
| HDM-4 | Highway Development and Management System |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| IQL | Information Quality Levels |
| IRI | Índice de Irregularidade Longitudinal Internacional |
| ISOHDM | International Study of Highway Development Management |
| LCPC | Laboratoire Central des Ponts et Chaussées |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology |
| PIARC | World Road Association |
| PICR | Pesquisa do Inter-relacionamento dos Custos Rodoviários |
| PNDU | Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento |
| RD | Road Deterioration / Deterioração da Rodovia |
| RTIM | Road Transport Investment Model |
| RUE | Road User Effects / Efeitos sobre os Usuários |
| SEE | Safety, Energy and Environmental Effects / Efeitos Ambientais, Energéticos e na Segurança |
| SGP | Sistema de Gerência de Pavimentos |
| SGPU | Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |

| | |
|-------------|---|
| TMA | Taxa Mínima de Atratividade |
| TRRL | Transport and Road Research Laboratory |
| VPL | Valor Presente Líquido |
| WE | Work Effects / Efeitos das Intervenções |

RESUMO

NUNES, D.F. *Procedimento para análise de sensibilidade do programa HDM-4*. 216 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

A presente dissertação teve como objetivos principais delinear um procedimento de análise de sensibilidade que possa ser utilizado de forma ampla por usuários do programa computacional de gerência de pavimentos HDM-4 e analisar a influência de modificações no cenário pré-definido no estudo de caso, notadamente considerações de projeto e de tráfego. A escolha do Método dos Efeitos Elementares foi precedida por uma revisão bibliográfica sobre análise de sensibilidade, sendo que o procedimento foi delineado com um estudo de caso que partiu de um cenário pré-definido (rodovia de pista simples e pavimento asfáltico sobre base granular) e fez a análise da variação de 61 fatores, em 300 trajetórias, totalizando 18.600 simulações no programa HDM-4. Os resultados deste estudo indicaram que a utilização de uma amostra com 30 trajetórias é adequada, pois aumentar este número não acarreta ganhos significativos e a sua diminuição ocasiona prejuízos. Com o procedimento delineado, passou-se à verificação de impactos que a modificação dos cenários pré-definidos para a análise gerariam, ou seja, se a modificação de fatores que não estão no grupo de 61 fatores em estudo interferiria no resultado final do procedimento. Foram estudadas modificações nas considerações de projeto (Taxa de Desconto Monetário Anual e Período de Análise) e nas considerações de tráfego (Percentual de Veículos Comerciais e da Taxa de Crescimento Anual do Tráfego), com os resultados evidenciando que ambas as modificações influem no resultado final da análise de sensibilidade, sendo que as modificações nas considerações de tráfego se mostraram mais influentes que as modificações nas considerações de projeto. Complementarmente, foi feita uma análise de sensibilidade pelo Método dos Efeitos Elementares, com 250 trajetórias, que identificou como os três fatores mais influentes na análise econômica do programa HDM-4, dentro do universo estudado, o Volume Diário Médio Anual de Veículos Motorizados, o Fator de Calibração para a Progressão da Irregularidade Longitudinal e o Fator de Calibração para a Razão do Número Estrutural Ajustado das Estações Úmida e Seca.

Palavras-Chave: Análise de Sensibilidade, HDM-4, Gerência de Pavimentos, Efeitos Elementares.

ABSTRACT

NUNES, D.F. **Procedure for sensitivity analysis of the HDM-4 software.** 216 p. M.Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de Sao Carlos, Universidade de Sao Paulo, Sao Carlos, 2012.

This Master of Science Dissertation aimed to outline a procedure for sensitivity analysis that can be widely used by computer program of pavement management HDM-4 users. It also aimed to analyze the influence of changes in the pre-defined scenario of the case study, especially design and traffic considerations. The choice of the Elementary Effects Method was preceded by a literature review on sensitivity analysis, and the procedure was outlined with a case study that came from a pre-defined scenario (two lane standard and asphalt pavement on granular base) and variations of 61 factors, considering 300 trajectories, in a total of 18,600 simulations in HDM-4 program. The results indicated that the use of a sample with 30 trajectories is appropriate, because increasing this number does not cause significant gains and reducing it can harm the analysis. With the procedure outlined, it was checked if changes in factors that are not in the group of 61 studied factors can interfere with the end result. Thus, changes in design (Discount Rate and Period Annual Monetary Analysis) and traffic (Percentage of Commercial Vehicle and Annual Growth Rate of Traffic) considerations affected the final result the sensitivity analysis, and the changes in traffic considerations were more influential than changes in design considerations. In addition, it was conducted a sensitivity analysis by the Elementary Effects Method, with 250 trajectories, which identified as the three most influential factors in the economic analysis of HDM-4 program, within the universe studied, the Annual Average Daily Traffic of Automobiles, the Calibration Factor for the Progression of Longitudinal Roughness and the Calibration Factor for the Ratio of Adjusted Structural Number Wet and Dry Seasons.

Keywords: Sensitivity Analysis, HDM-4, Pavement Management, Elementary Effects.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A infraestrutura rodoviária brasileira é um patrimônio nacional e requer cuidados para manter-se em condições adequadas. Devido a sua indiscutível importância estratégica, atualmente ela constitui uma considerável receptora de investimentos governamentais, sendo grande parcela aplicada à manutenção e reabilitação de pavimentos rodoviários deteriorados pelos efeitos da idade, das ações ambientais e do tráfego.

Em um contexto de recursos sempre inferiores às necessidades, os Sistemas de Gerência de Pavimentos têm sido uma ferramenta eficiente na busca por benefícios máximos para os recursos disponíveis. De acordo com Haas, Hudson e Zaniewski (1994), um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) consiste de um elenco de atividades coordenadas, relacionadas com o planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos. Seu principal objetivo é utilizar informações confiáveis e critérios de decisão para produzir um programa de construção e manutenção de pavimentos que dê o máximo retorno possível para os recursos disponíveis.

Para o objetivo ser alcançado, torna-se necessária a realização de análises adequadas, com a simulação das muitas combinações de alternativas possíveis. Desta forma, a utilização de computadores e de modelos capazes de relacionar todas as variáveis importantes no processo é imprescindível.

O modelo HDM, que resultou de estudos coordenados pelo Banco Mundial, atende a esses requisitos. Trata-se não apenas de um programa computacional, mas é também a compilação da mais extensa pesquisa empírica sobre os custos da modalidade rodoviária, que incluem normas de construção e manutenção de rodovias, características de tráfego, modelos de previsão de deterioração das rodovias e operação dos veículos (FERNANDES JR., 1997).

O HDM-4 (*The Highway Development and Management System*) é um modelo computacional que simula as condições físicas e econômicas do modo de transporte rodoviário em um determinado período de análise, geralmente a vida útil em serviço da rodovia, para uma série de alternativas de estratégias de intervenções e cenários de investimentos especificados pelo usuário. É uma ferramenta que vem sendo utilizada em mais de 100 países, inclusive o Brasil, para auxiliar engenheiros na utilização de um Sistema de Gerência Pavimentos Rodoviários (KERALI, 2000).

Porém, como consequência da flexibilidade do programa, somada ao fato dos modelos do HDM-4 serem muito complexos, a simulação via HDM-4 exige dos usuários um grande número de variáveis de entrada. Dessa forma, é importante para o analista ter consciência do nível de sensibilidade do modelo para cada fator de entrada, para canalizar esforços e recursos para a obtenção e calibração precisa dos parâmetros mais importantes.

Dentro deste contexto, há necessidade de pesquisas que apontem com clareza os índices de influência dos parâmetros dentro do modelo HDM. Mais ainda, faltam informações e diretrizes de como se proceder uma análise do programa, o que acaba sendo refletido na pouca utilização das análises de sensibilidade endógenas ao HDM-4 pelos usuários. E, conforme destacam Trucano et al. (2006), em um mundo com recursos limitados, análises de sensibilidade não são apenas desejáveis, são necessárias.

1.2 OBJETIVOS

A presente pesquisa tem como objetivos principais delinear um procedimento de análise de sensibilidade que possa ser utilizado de forma ampla por usuários do programa de gerência de pavimento HDM-4 e analisar a influência de modificações no cenário pré-definido no estudo de caso. Pretende-se, portanto, escolher um método de análise de sensibilidade adequado para os fins da pesquisa, adequá-lo para ser utilizado de forma otimizada no programa HDM-4 e realizar estudos de caso analisando a sensibilidade do modelo HDM em situações específicas de utilização.

1.3 JUSTIFICATIVA

O presente estudo justifica-se em razão da falta de informações sobre a sensibilidade do programa HDM-4 em relação aos fatores de entrada exigidos para suas simulações. Poucos trabalhos exploraram o tema, sendo a principal referência o próprio manual de utilização do programa HDM-4.

O volume 5, escrito por Bennett e Paterson (2000), apresenta análises de sensibilidade conduzidas com modelos do HDM-4 e do HDM-III, tendo sido gerados níveis de sensibilidade e sugerida uma classificação. Porém, há várias limitações:

- ✓ Apenas um modelo de previsão foi analisado para o programa HDM-4, sendo os demais modelos analisados no programa HDM-III;
- ✓ Utilização do Método *Ceteris Paribus*, que torna a análise de sensibilidade restrita ao espaço próximo ao cenário de controle definido pelo analista e não permite a análise de interações entre variáveis e eventuais não linearidades do modelo;
- ✓ Não ter sido apresentado o cenário de controle, deixando os resultados sem sentido devido à amplitude local do método aplicado;
- ✓ Descrição genérica da análise, sem detalhamento das saídas utilizadas nos cálculos e das variações adotadas.

Existe, também, uma lacuna no que diz respeito à orientação dos usuários que desejam realizar sua própria análise de sensibilidade. Apesar da segunda versão do programa HDM-4 apresentar a opção de se realizar uma análise de sensibilidade, o método utilizado possui notórias limitações, o que torna os resultados obtidos imprecisos e pouco confiáveis.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 2 deste trabalho é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o programa HDM-4, em que é exibido um resumo da evolução do modelo HDM, aplicações do programa, estrutura analítica, objetivos da calibração dos modelos e como são procedidas as análises econômicas.

No Capítulo 3 são apresentados alguns conceitos importantes para o entendimento de análises de sensibilidade. É exibida uma revisão sobre conceitos de sistemas e modelos, experimentos e delineamento de experimentos. É mostrada, também, uma revisão bibliográfica sobre análises de sensibilidade, e as principais análises de sensibilidade já realizadas nos modelos HDM.

No Capítulo 4 é apresentado o método utilizado na pesquisa. É exposta a justificativa da escolha do Método dos Efeitos Elementares, com apresentação de uma aplicação no programa HDM-4. Neste capítulo também são expostas as análises realizadas de forma a adequar a aplicação deste método no programa HDM-4, assim como estudos focados no entendimento da abrangência do método.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos, discutindo-se a forma otimizada de utilização do Método dos Efeitos Elementares, com foco no programa HDM-4, e a abrangência do método, via modificação do cenário de referência, sendo realizada, também, uma análise de sensibilidade do modelo HDM com os resultados obtidos.

O Capítulo 6 contém a consolidação das conclusões obtidas através das análises e discussões dos resultados, bem como sugestões para trabalhos futuros que envolvem o tema abordado nesta pesquisa.

CAPÍTULO 2

O PROGRAMA HDM-4

Este capítulo descreve o programa computacional HDM-4, apresentando uma breve visão histórica da sua criação e evolução, suas aplicações, sua estrutura analítica e uma descrição sucinta das variáveis exigidas para suas simulações. Tem como objetivo, também, colocar o HDM-4 dentro do contexto de Sistemas de Gerência de Pavimentos.

2.1 SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Os investimentos em rodovias são insuficientes para atender às necessidades de manutenção e reabilitação, sendo indispensável a busca pela otimização na aplicação dos recursos disponíveis. É neste contexto que os Sistemas de Gerência de Pavimentos têm sido utilizados. Hudson, Haas e Perdigo (1979) destacam que os objetivos básicos de um sistema de gerência de pavimentos são:

- ✓ Melhorar a eficiência nas tomadas de decisão quanto à seleção e priorização de atividades de manutenção e reabilitação; fornecer informação sobre as consequências das decisões tomadas; facilitar a coordenação de atividades dentro das organizações; assegurar a consistência das decisões tomadas em diferentes níveis de gerência dentro da mesma organização;
- ✓ Auxiliar as autoridades rodoviárias a encontrar estratégias ótimas para a manutenção da condição do pavimento em um nível aceitável, durante um período de tempo, com um custo mínimo.

A utilização de ferramentas computacionais tem se tornado cada vez mais comum na busca desses objetivos. É nesse cenário que o programa HDM-4 surge como um útil instrumento na realização de análises que auxiliam o processo decisório dos gestores.

2.2 HISTÓRIA DO MODELO HDM

Os primeiros esforços para a criação de um modelo para avaliação de projetos rodoviários foram realizados em 1968 pelo Banco Mundial. A base de dados utilizada foi obtida através de estudos de projetos de rodovias desenvolvidos pelo Banco Mundial em conjunto com o TRRL (*Transport and Road Research Laboratory*) e o LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*). O MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), contratado pelo Banco Mundial, conduziu as pesquisas e preparou um modelo baseado na informação disponível. O resultado produzido pelo MIT foi o Modelo de Custos Rodoviários, HCM (*Highway Cost Model*), que representou um avanço em relação aos modelos usados na época para analisar os custos totais da modalidade rodoviária (MOAVENZADEH et al., 1971), propondo uma estrutura conceitual baseada na inter-relação dos custos de construção, manutenção e de operação dos veículos (Figura 1).

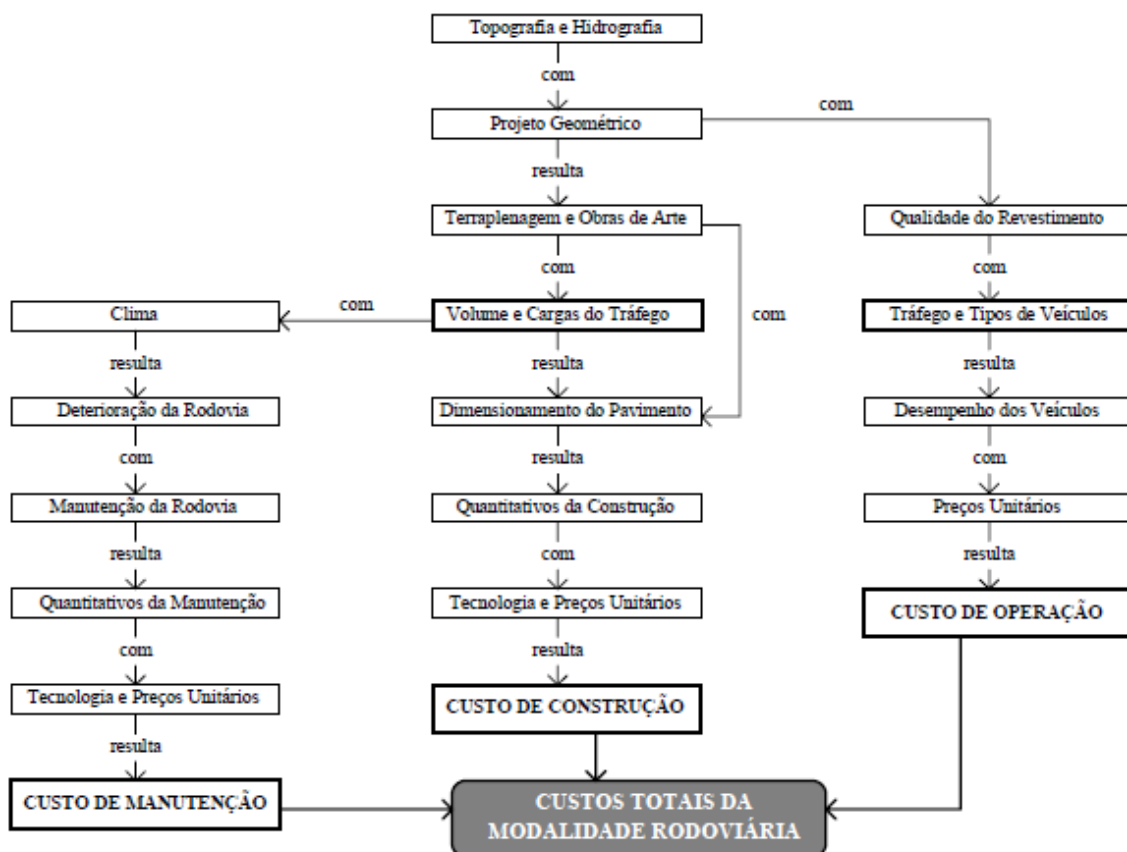


Figura 1 - Modelo de Custos Rodoviários desenvolvido pelo MIT em 1971 (GEIPOT, 1976).

O modelo HCM chamou a atenção para áreas onde havia necessidade de pesquisas adicionais, com o objetivo de desenvolver modelos apropriados, particularmente para países em

desenvolvimento. Isso porque, embora o modelo fosse consistente conceitualmente, havia falta de evidências empíricas sobre as diferentes parcelas que compõem o custo rodoviário.

Para suprir essa carência o TRRL realizou, em colaboração com o Banco Mundial, um grande estudo de campo no Quênia, tendo estudado a deterioração de estradas pavimentadas e não pavimentadas, bem como os fatores que afetam os custos operacionais em um país em desenvolvimento. Os resultados foram usados pelo TRRL para produzir a primeira versão do RTIM (*Road Transport Investment Model*) para países em desenvolvimento (ABAYNAYAKA; MOROSIUK; HIDE, 1977). Em 1976, o Banco Mundial financiou a continuação do desenvolvimento do HCM pelo MIT, que resultou na primeira versão do modelo HDM (*Highways Design and Maintenance Standards Model*) (HARRAL, 1979).

Outras pesquisas foram conduzidas em diversos países para aumentar o alcance geográfico dos modelos RTIM e HDM. Em uma delas o TRRL realizou estudos em Ilhas Caribenhas para investigar os efeitos do projeto geométrico das estradas sobre os custos operacionais dos veículos (MOROSIUK; ABAYNAYAKA, 1982; HIDE, 1982). Em outra, o CRRI (*Central Road Research Institute*) conduziu pesquisa na Índia que avaliou os efeitos de estradas estreitas e da grande proporção de transporte não motorizado no tráfego (CRRI, 1982). Houve, também, a importante colaboração do Brasil, através da extinta Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT), em convênio com o PNDU (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), que realizou um estudo conhecido como Pesquisa do Inter-relacionamento dos Custos Rodoviários (PICR). A PICR teve por objetivo principal a obtenção das informações necessárias para a quantificação dos custos totais da modalidade rodoviária (FERNANDES JR., 1994).

Os resultados do estudo realizado pelo TRRL no Caribe foram usados para o desenvolvimento do modelo RTIM2 (PARSLEY; ROBINSON, 1982), enquanto que o Banco Mundial criou um modelo mais abrangente, incorporando as conclusões de todos os estudos, principalmente da PICR, levando à produção do HDM-III (WATANATADA et al., 1987). Mais tarde, a Universidade de Birmingham produziu uma versão do RTIM2 para microcomputadores (KERALI et al., 1985) e o Banco Mundial lançou o HDM-PC, uma versão para microcomputadores do HDM-III (ARCHONDO-CALLAO; PUROHIT, 1989).

O avanço de ambos os modelos continuou com a criação do RTIM3, em 1993, pelo TRRL, que inovou apresentando um ambiente amigável ao usuário, funcionando na forma de planilhas eletrônicas, enquanto que, em 1994, o Banco Mundial lançou duas novas versões do HDM, o HDM-Q, que incorporava os efeitos do congestionamento do tráfego ao HDM-III, e o HDM *Manager*, que provia menus de utilização ao HDM-III (CUNDILL; WITHNALL, 1995).

Na metade da década de 90 foi constatado que as relações técnicas contidas nos modelos HDM-3 e RTIM3 já ultrapassavam os 10 anos de idade. Apesar dos modelos de deterioração ainda se mostrarem adequados, havia a necessidade da incorporação de resultados de pesquisas realizadas ao redor do mundo durante o período. No caso dos custos de operação de veículos, porém, a situação era crítica, já que a tecnologia veicular se alterou drasticamente desde a década de 80 (KERALI, 2000). Foi desenvolvido assim o ISOHDM (*International Study of Highway Development Management*), gerenciado pelo PIARC (*World Road Association*), que lançou no ano 2000 o programa HDM-4 (*Highway Development and Management System*), com a inclusão de modelos que permitem a simulação de efeitos ambientais, segurança, adição de zonas climáticas, além de aumentar a faixa de tipos de pavimentos e estruturas.

2.3 APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DO HDM-4

Segundo KERALI (2000), as várias versões do modelo HDM têm sido amplamente utilizadas em muitos países e têm auxiliado na concepção de orçamentos relacionados com intervenções rodoviárias. O programa HDM-4 pode ser considerado, portanto, uma das ferramentas mais disseminadas mundialmente no que diz respeito ao auxílio a engenheiros em Sistemas de Gerência Rodoviários, principalmente para análises econômicas de alternativas de investimentos. Isto porque este é um modelo capaz de reunir as principais características do modo de transporte rodoviário (condições da rodovia, custos de manutenção, custos de operação, etc.) e apresentar um estudo de viabilidade econômica através dessas informações, conforme ilustrado na Figura 2.

A aplicação típica do HDM-4 é a chamada Análise de Estratégias, ou seja, trata da concepção de um planejamento estratégico sobre os custos de uma via, a médio e longo prazo. Este tipo

de aplicação requer do organismo rodoviário a consideração dos recursos da rodovia como um todo, assim, a principal aplicação deste modelo lida com todas as redes e sub-redes gerenciadas por um organismo rodoviário. Além desta aplicação, o programa também oferece a oportunidade de se realizar análises de programas de intervenções e de projetos.

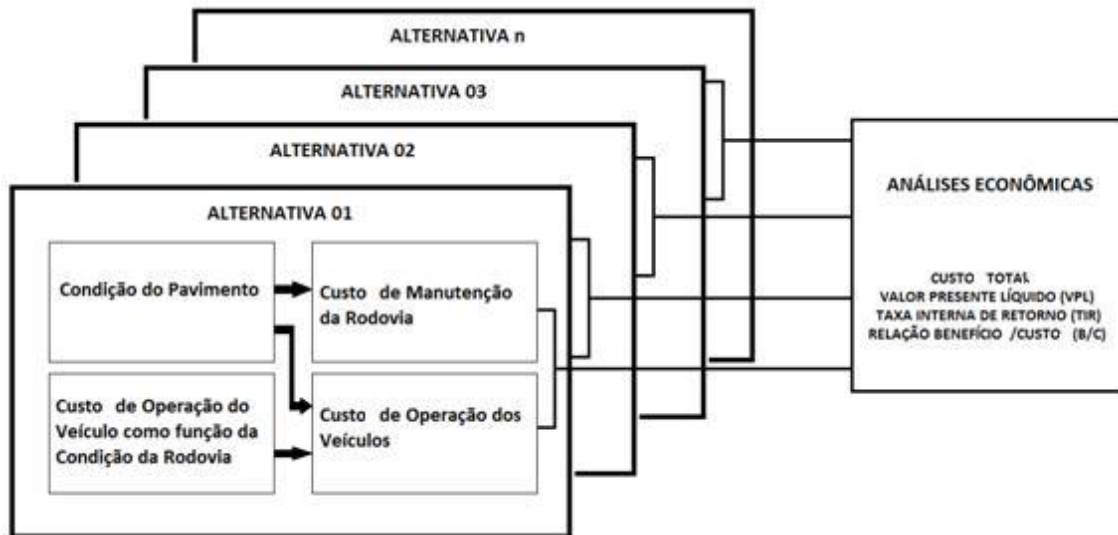


Figura 2 - Esquema das Análises Econômicas realizadas pelo HDM-4 (Adaptada de Kerali, 2000).

Apesar de ser uma poderosa ferramenta de análise, os modelos que norteiam as análises do programa HDM-4 possuem simplificações e limitações que devem ser conhecidas e entendidas, a fim de evitar utilizações inadequadas. Um dos maiores equívocos cometidos na utilização desse programa é a sua aplicação em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU).

Os sistemas viários, urbanos e rodoviários, podem ser definidos como um sistema lógico de ligações, seções e nós. Os nós são definidos como os pontos nos quais ocorrem mudanças significativas das características físicas da via ou do tráfego. As seções são definidas como os trechos em que a via é homogênea no que diz respeito aos atributos físicos, enquanto as ligações são o comprimento entre dois nós, com geometria e fluxo de tráfego uniformes. Em uma rodovia os elementos mais importantes são as seções e as ligações, já que geralmente existem grandes trechos (ordem de grandeza de quilômetros) sem variações de geometria e de tráfego, nem alterações bruscas na velocidade. Já em vias urbanas, os elementos mais importantes são os nós, pois as redes apresentam inúmeras interseções, com ligações curtas e velocidade de tráfego bastante variável. O programa HDM-4, como está destacado em seus manuais (KERALI; MCMULLEN; ODOKI, 2000; ODOKI; KERALI, 2000), não permite a

implementação de nós (interseções) e, com isso, não são consideradas variações de velocidade ao longo da seção, o que compromete muito qualquer utilização dessas simulações em ambientes urbanos.

Outro aspecto relevante dos modelos utilizados pelo programa HDM-4 é o fato dos custos operacionais (consumo de combustível e de lubrificantes, desgaste de pneus, atrasos etc.) estarem extremamente relacionados com o Índice de Irregularidade Longitudinal Internacional (IRI). Essa relação foi apresentada de forma simplificada por Severi (1997), considerando os modelos inerentes ao HDM e obtendo uma equação para determinação dos custos operacionais dos veículos em função do IRI, com um elevado Coeficiente de Determinação ($R^2 = 0,998$). Para rodovias, onde a velocidade do tráfego geralmente é alta e pouco variável, a condição considerada pelos modelos é aceitável. Já no caso de uma rede viária urbana, os custos operacionais têm outras fortes influências, como por exemplo, a aceleração e desaceleração causada pela presença de interseções e os atrasos produzidos por congestionamentos.

Portanto, pode-se julgar que o programa HDM-4 apresenta características que não o fazem o ideal para Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos e que, além disso, sua complexidade o torna de difícil aplicação em redes viárias urbanas, com custo elevado para calibração, ressaltando-se que, mesmo quando a calibração é bem feita, os problemas das limitações inerentes da aplicação do HDM-4 a cidades não são resolvidos.

2.4 ESTRUTURA ANALÍTICA DO HDM-4

A base analítica do HDM-4 foi fundamentada na concepção de ciclo de vida dos pavimentos, que varia geralmente de 15 a 40 anos. Esse conceito é aplicado para prever o comportamento de uma rodovia no que diz respeito à deterioração do pavimento, efeito das intervenções, efeito sobre os usuários e efeitos ambientais e socioeconômicos. Para isso, o programa leva em conta vários fatores, entre os quais se podem destacar o carregamento gerado pelo tráfego, condições climáticas e efeitos de sistemas de drenagem inadequados.

A taxa de deterioração do pavimento é diretamente afetada pelos padrões de manutenção aplicados para reparar defeitos sobre a superfície do pavimento, tais como trincas, painelas e

outros, ou para preservar a integridade estrutural do pavimento, permitindo, desta forma, que a rodovia transporte o tráfego para o qual foi projetada. A visão em longo prazo da condição de uma rodovia, portanto, depende das intervenções que serão realizadas. É necessário notar que a acurácia das previsões sobre o desempenho de um pavimento depende da extensão da calibração aplicada para adaptar os modelos do programa HDM-4 às condições locais.

Como apresentado por Kerali (2000), e ilustrado na Figura 3, a estrutura analítica do programa HDM-4 é composta por três grandes blocos: Gerenciador de Dados, Ferramentas de Análise e Modelos. O Gerenciador de Dados permite ao usuário definir as características da situação a ser modelada, as Ferramentas de Análise englobam três tipos de aplicação do programa, que são as análises de projetos, programas e estratégias, enquanto os Modelos são a base matemática que fundamentam os cálculos e as análises realizadas para determinação dos efeitos sobre a condição das rodovias, custos dos usuários e impactos ambientais.

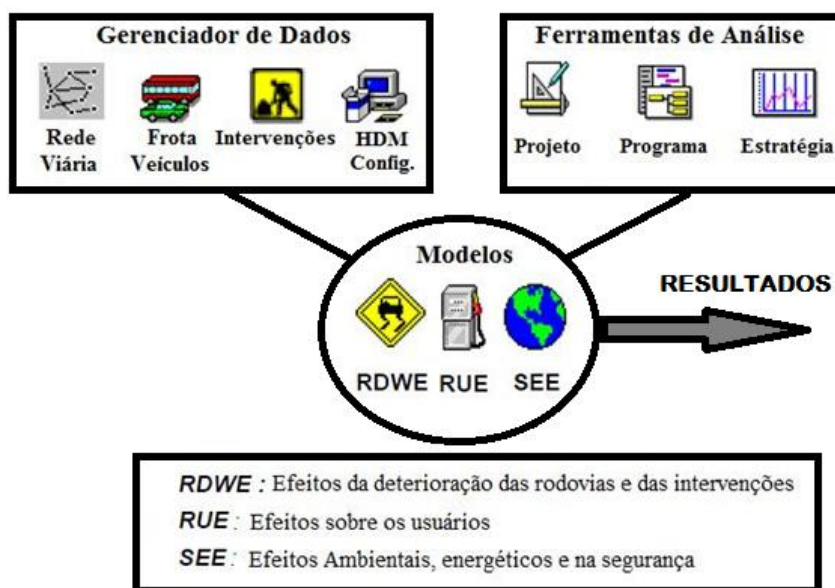


Figura 3 - Estrutura Analítica do HDM-4 (adaptada de Kerali, 2000).

2.4.1 Ferramentas de Análise

Análise de Estratégias

A concepção de um planejamento estratégico sobre os custos de uma via, a médio e longo prazo, requer do organismo rodoviário a consideração dos recursos da rodovia como um todo. Assim, a análise de estratégias lida com todas as redes e sub-redes gerenciadas por um organismo rodoviário.

O HDM-4 aplica a concepção de matriz da rede viária, que é composta por categorias definidas de acordo com as características que mais influenciam o desempenho do pavimento e os custos dos usuários. Apesar de ser possível modelar cada seção individualmente, a separação por categorias é mais indicada devido ao grande trabalho que a primeira opção acarreta. Uma matriz típica de rede viária pode ser categorizada através do volume (ou carregamento) do tráfego, tipo de pavimento, condição do pavimento, zonas climáticas e classificação funcional. Aplicações típicas de análises de estratégias por organismos rodoviários incluem:

- ✓ Previsão do investimento de médio e longo prazos necessário para uma determinada intervenção atingir a sua meta;
- ✓ Previsão em longo prazo do desempenho de uma rede viária sob vários níveis de investimento;
- ✓ Otimização na alocação de fundos baseados em um determinado orçamento;
- ✓ Estudo de ações políticas, como mudanças no limite de carga por eixo, padrões de manutenção de pavimentos, avaliação de projetos de pavimentos etc.

Análise de Programas

Esta aplicação do HDM-4 lida primordialmente com a priorização de possíveis programas de intervenções em uma rodovia com orçamento limitado. O critério de seleção normalmente depende dos padrões de manutenção e reabilitação definidos pelo organismo rodoviário. Tem-se, portanto, que os candidatos têm que estar fora de um limite pré-estabelecido, como por exemplo, IRI maior que 6 m/km.

Após a identificação dos candidatos, o programa HDM-4 analisa os custos relacionados com a rodovia sem intervenções e compara aos custos da rodovia com as possíveis melhorias. Desta forma é possível analisar os benefícios que cada programa candidato proporciona. É válido notar que a principal diferença entre a análise de estratégias e a análise de programas é a maneira de identificação das seções das rodovias. Na análise de programas, as seções são identificadas como unidades físicas únicas, com caracterizações individuais. Já na análise de estratégias, as seções são agrupadas em categorias, com características semelhantes e, desta forma, sem as caracterizações individuais.

A análise de programas do HDM-4 pode ser usada para preparar um programa de intervenções de muitos anos, sujeito a restrição de orçamento. Esta aplicação gera uma lista com propósito de priorização dos trabalhos. Índices econômicos como o Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), ou previsões sobre as condições do pavimento, não são recomendadas como critério de priorização. A Relação Benefício-Custo é a que melhor satisfaz o objetivo de maximizar o benefício para cada unidade monetária adicional de gasto (isto é, maximiza o benefício líquido para cada R\$ 1,00 do orçamento que for investido).

Análise de Projetos

A análise de projetos baseia-se na avaliação de uma ou mais opções de projetos ou investimentos em estradas. A análise é aplicada em uma seção de rodovia com a intervenção selecionada pelo usuário, com custos e benefícios projetados anualmente sobre o período de análise. Indicadores econômicos são determinados para diferenciar as opções de investimento.

Em termos de necessidade de informações, a diferença chave entre análise de estratégias e programas e a análise de projetos, está no detalhamento com que a informação está definida. Utiliza-se da definição de Nível da Qualidade da Informação (*Information Quality Levels – IQL*) recomendado pelo Banco Mundial. A análise de informações em nível de projeto é especificada em termos de medidas de defeitos (IQL-II), enquanto a especificação para análises de programas ou estratégias pode ser mais genérica (IQL-III). Por exemplo: para uma análise em nível de projeto, a irregularidade superficial será especificada em função do valor do IRI (m/km); mas se for uma análise de programas ou estratégias, a irregularidade pode ser especificada como sendo boa, regular ou ruim. A relação entre IQL-II e IQL-III está definida nas configurações do HDM-4 e depende da classe da rodovia, tipo de pavimento e do tráfego.

A Figura 4 ilustra a distinção entre os Níveis de Qualidade das Informações, conforme apresentado por Kerali (2000). Cabe a observação de que quanto mais detalhada a informação, mais precisa se torna a simulação e em contra partida, mais cara e difícil fica a sua obtenção. Desta forma, o importante é equilibrar a necessidade de se obter uma informação precisa com os recursos disponíveis para o estudo.



Figura 4 - Níveis de Qualidade de Informações (Adaptado de Kerali, 2000).

2.4.2 Modelos

Os Modelos utilizados no programa HDM-4 podem ser definidos da seguinte forma:

- ✓ RD (*Road Deterioration* / Deterioração da Rodovia) – modela a deterioração na pista de rodagem para rodovias sem pavimentação e com pavimentação asfáltica e de concreto de cimento Portland;
- ✓ WE (*Work Effects* / Efeitos das Intervenções) – Simula os efeitos das intervenções nas condições da rodovia e determina os custos correspondentes;
- ✓ RUE (*Road User Effects* / Efeitos sobre os Usuários) – Determina os custos de operação dos veículos e do tempo de viagem;
- ✓ SEE (*Safety, Energy and Environmental Effects* / Efeitos Ambientais, Energéticos e na Segurança) – Determina os efeitos da emissão de gases dos veículos, do consumo de energia e dos acidentes.

Os modelos simulam, para cada seção da rede, ano por ano, as condições da rodovia e os recursos usados para manutenção sob determinada estratégia, bem como as velocidades dos veículos e os recursos consumidos pela operação dos veículos. Depois disso, são estimadas as quantidades físicas envolvidas na construção, nas intervenções e na operação dos veículos. Os preços especificados pelo usuário e os custos unitários são aplicados para determinar os custos econômicos.

Deve-se destacar que os modelos do HDM-4 são muito complexos e computacionalmente intensivos, com um grande número de variáveis de entrada. Como destacado por Bennett e Paterson (2000) e salientado por Roy, Isaac e Veeraragavan (2006), é importante para os usuários ter consciência do nível de sensibilidade do modelo para cada parâmetro, para que possa ser dada mais atenção aos parâmetros mais importantes e menos aos parâmetros pouco influentes.

2.4.3 Gerenciador de Dados

O HDM-4 foi concebido para poder ser utilizado em vários ambientes, logo a configuração do HDM oferece facilidades de personalização do sistema operacional para refletir a realidade em estudo. As informações padrão e os coeficientes de calibração podem ser geridos de maneira flexível para minimizar a quantidade de informações que têm de ser mudadas em cada aplicação. O HDM-4 fornece valores de referência (*default*) para suas variáveis, porém, conforme destacado em seus manuais, a mudança desses é possível e muito necessária.

O Gerenciador de Dados do HDM-4 permite ao usuário definir as características relacionadas com:

- ✓ *Rede Viária*: define as características físicas das seções da rodovia nas redes e sub-redes a serem analisadas;
 - ✓ *Frota de Veículos*: define as características da frota de veículos que estará em operação nas redes a serem analisadas;
 - ✓ *Intervenções*: define os padrões das intervenções, junto com seus custos unitários, que serão aplicados nas diferentes seções da rodovia a ser analisada;
 - ✓ *Configurações do HDM*: Define as informações padrão empregadas nas aplicações.
-

Um cenário de parâmetros padrão é definido quando o HDM-4 é instalado, porém os usuários devem modificá-lo para que os parâmetros utilizados reflitam a realidade do local de análise.

2.5 CALIBRAÇÃO DO HDM-4

2.5.1 Introdução

O HDM tem sido usado em mais de 100 países, desenvolvidos e em desenvolvimento, com diferentes níveis de tecnologia, clima e ambiente econômico (BENNETT; PATERSON, 2000). Como seus modelos simulam mudanças futuras nos sistemas rodoviários, dadas certas condições que dependem do local de aplicação, a confiabilidade dos resultados fica sujeita a duas considerações principais:

- ✓ Se os dados de entrada dos modelos representam as condições reais;
- ✓ Se as previsões do modelo representam o comportamento real e as interações entre os vários fatores para as variadas condições em que são aplicadas.

A aplicação de modelos envolve, portanto, dois importantes passos:

- ✓ Obtenção dos dados de entrada: interpretar corretamente os dados de entrada que são requeridos e, posteriormente, alcançar uma qualidade apropriada de informações, de acordo com a aplicação desejada;
- ✓ Calibração dos coeficientes: ajustar os coeficientes dos modelos, para melhorar as previsões e os resultados, representando de forma correta as influências do tempo e dos diversos tipos de intervenções.

Os dados de entrada são, basicamente, os itens requeridos para executar o HDM e consistem em informações que descrevem as características físicas do pavimento e da rede, informações sobre os usuários, sobre o tráfego, sobre os custos unitários e sobre a economia. No estabelecimento dos dados de entrada, a acurácia requerida é dependente dos objetivos da análise. O grau da calibração local apropriada para o HDM é uma escolha que depende muito do tipo de aplicação e dos recursos disponíveis ao usuário.

Existem vários exemplos de calibrações realizadas ao redor do mundo envolvendo o programa HDM-4. Podem ser citadas, como exemplos, a calibração chilena dos coeficientes

relacionados com revestimentos do tipo tratamento superficial, descrita por Solminihac, Hidalgo e Salgado (2003); a calibração do modelo de formação e desenvolvimento de painéis para as condições do Japão, descritas por Taniguchi e Yoshida (2003); a calibração do consumo de combustível para o Canadá e Chile, apresentada por Altamira et al. (2007); a calibração dos coeficientes de ajuste para as condições indianas, exposto por Roy, Isaac e Veeraragavan (2003). De acordo com Bennett e Paterson (2000), existem três níveis de calibração para o HDM, que envolvem baixo, moderado e alto nível de esforços e recursos:

- ✓ Nível 1 – Aplicação básica: determinam-se apenas os valores dos parâmetros básicos de entrada, adotando-se muitos “valores-padrão”, com calibração apenas dos parâmetros mais significativos. Envolvem, na maior parte, estudos de escritório e um mínimo de pesquisa em campo;
- ✓ Nível 2 – Calibração: Requer medidas adicionais de parâmetros de entrada e ainda moderados levantamentos em campo para ajustar as principais relações ao local de interesse. Podem ser necessárias leves modificações no código fonte do modelo;
- ✓ Nível 3 – Adaptação: envolve maiores pesquisas de campo e controle experimental, para melhorar as relações de previsão existentes ou ainda desenvolver novas. Além disso, identifica relações específicas para serem substituídas no código fonte do programa computacional.

Em termos de esforços, os três níveis podem ser vistos, respectivamente, como semanas, meses e anos. Um analista deve estar apto a realizar uma calibração do Nível 1 em aproximadamente uma semana, de Nível 2 em algo próximo a um mês, porém o Nível 3 requer um longo prazo para levantamento dos dados exigidos, algo em torno de um ano ou mais. Cabe destacar que toda análise no HDM requer uma calibração mínima de Nível 1, reforçando, portanto, o que já foi dito anteriormente sobre a necessidade dos usuários terem conhecimento do grau de sensibilidade dos modelos frente à variação de cada fator de entrada, para que, desta forma, seja empregado maior esforço na obtenção dos parâmetros mais importantes e menor na calibração dos menos influentes.

2.5.2 Dados Necessários

Introdução

As aplicações do HDM-4 foram desenvolvidas para trabalhar com uma ampla faixa de tipos de informações e de qualidade variada. Desse modo, os dados utilizados pelo programa HDM-4 podem ser separados em dois tipos:

- ✓ Dados por classe (dados agregados);
- ✓ Dados detalhados.

Nos dados definidos por classe, cada parâmetro é especificado por uma descrição dada pelo usuário. Dentro dessa descrição, o programa possui uma faixa de valores pré-definidos. Por outro lado, é possível do usuário definir a faixa de valores adotada pelo programa, adicionando dados detalhados. Esta flexibilidade nas informações necessárias permite que o usuário utilize todas as informações disponíveis, auxiliando nas funções de gerência.

Os dados requeridos para executar o programa HDM-4 também podem ser divididos de acordo com sua finalidade, ou seja, o que eles visam caracterizar. Desta forma é possível identificar as seguintes classes de dados: as que buscam caracterizar as seções da rede rodoviária, a frota de veículos, as intervenções e as demais configurações (zonas climáticas, tipo de rodovia, comportamento da velocidade do fluxo de tráfego, entre outros).

Rede Rodoviária

Uma rede rodoviária do programa HDM-4 deve apresentar detalhes das rodovias que o usuário deseja analisar. Cada rede é composta por um número de seções, onde cada seção corresponde a um comprimento da rodovia que apresenta características semelhantes, como estrutura, geometria e tráfego. Portanto, quando se deseja adaptar uma rede existente para usar o HDM-4 ou quando se almeja modelar e analisar uma nova rede no programa, o usuário deve dividir a rede em seções homogêneas. A Figura 5 apresenta a janela de diálogo do programa HDM-4 que permite configurar os atributos relacionados com uma determinada seção. Pode-se observar que existem na janela quatro abas, nomeadas de Definição, Geometria, Pavimento e Condição. Além disso, existe um botão no canto inferior esquerdo que permite a configuração de detalhes da seção.

Section: Limite de Velocidade - 100 km/h

Definition | Geometry | Pavement | Condition

Section Name: Limite de Velocidade - 100 km/h

Section ID: 024_SPEED_LIM_1

Link Name:

Link ID:

Speed flow type: Two Lane Standard

Traffic flow pattern: Free-Flow

Climate zone: Sub-humid/Tropical

Road class: Primary or Trunk

Surface class: Bituminous

Pavement Type: Asphalt Mix on Granular Base

Length: 10 km

Carriageway width: 7 m

Shoulder width: 1,5 m

Number of Lanes: 2

Traffic

Motorised: 4500 AADT

NMT: 450 AADT

Year: 2010

Flow direction: Two-way

Details... OK Cancel

Name of section

Figura 5 - Caixa de diálogo do programa HDM-4 que permite configurar os atributos relacionados com a seção da via.

A Figura 6 apresenta a janela de diálogo que possibilita a modificação de detalhes da seção, que contém seis abas: Defeitos do Revestimento, Textura do Revestimento, Defeitos Estruturais, Relacionados com a Velocidade, Drenagem, Acostamentos e Faixas de Não Motorizados e Histórico.

Para seções com revestimentos asfálticos, o programa exige um total de 95 fatores de caracterização. Desta forma, cabe novamente a ressalva de que se trata de um programa de modelagem complexa e que requer grande esforço e capital para obtenção do banco de dados que tornará suas previsões confiáveis e representando de forma satisfatória a realidade. Existe, portanto, mais do que a necessidade de se realizar análises de sensibilidades dos parâmetros, há a obrigação de se efetuar-las, visando uma redução de custos e esforços, sem que a parte técnica seja afetada.

O programa HDM-4 possibilita a modelagem de três tipos de pavimentos: o sem revestimento, o de revestimento asfáltico e o de revestimento de concreto de cimento Portland. O Anexo A exhibe os 159 fatores que caracterizam as seções no programa, com suas respectivas siglas, comentários e a qual tipo de pavimento é endereçado.

Figura 6 - Caixa de diálogo que possibilita a modificação de detalhes da seção.

Pode-se trabalhar, dependendo da finalidade, com os dados de forma agregada. No HDM-4 esta associação de informações é realizada através de classes, que estão dispostas em seus manuais e dentro do próprio programa. Conforme apresentado por Kerali, McMullen e Odoki (2000), a proposta de agregação de parâmetros para pavimentos asfálticos está relacionada com oito tipos de informações, exibidas nas Tabela 1 à Tabela 8, e que se referem a: volume de tráfego, irregularidade longitudinal, classe geométrica, qualidade de construção, adequação estrutural, tipos de estruturas, condição do revestimento e textura do revestimento.

Tabela 1 - Classes em função do volume de tráfego

| Intensidade do Tráfego | Volume Médio Diário Anual (Veículos/dia) |
|------------------------|--|
| Baixo | 750 |
| Médio | 3000 |
| Alto | 7500 |

Tabela 2 - Classes em função da Irregularidade Longitudinal

| Classe Funcional | Irregularidade Longitudinal – IRI (m/km) | | | |
|------------------|--|---------|------|---------|
| | Boa | Regular | Ruim | Péssima |
| Primária | 2,00 | 4,00 | 6,00 | 8,00 |
| Secundária | 3,00 | 5,00 | 7,00 | 9,00 |
| Local | 4,00 | 6,00 | 8,00 | 10,00 |

Tabela 3 - Classes em função da geometria da rodovia

| Classe Geométrica | Rampas (m/km) | Nº de Rampas | Curvatura Horizontal (grau/km) | Superelevação (%) | Limite de Velocidade. (km/h) |
|------------------------------------|---------------|--------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Reta e Plana | 1 | 1 | 3 | 2,0 | 110 |
| Praticamente Reta e Pouco Ondulada | 10 | 2 | 15 | 2,5 | 100 |
| Pouco Sinuosa e Praticamente Plana | 3 | 2 | 50 | 2,0 | 100 |
| Pouco Sinuosa e Pouco Ondulada | 15 | 2 | 75 | 3,0 | 80 |
| Pouco Sinuosa e Muito Ondulada | 25 | 3 | 150 | 5,0 | 70 |
| Sinuosa e Pouco Ondulada | 20 | 3 | 300 | 5,0 | 60 |
| Sinuosa e Muito Ondulada | 40 | 4 | 500 | 7,0 | 50 |

Tabela 4 - Classes em função da qualidade da construção

| Qualidade de Construção | Indicador de Defeitos de Construção da Capa (CDS) | Indicador de Defeitos de Construção da Base (CDB) | Compactação Relativa (%) |
|-------------------------|---|---|--------------------------|
| Boa | 1,00 | 0,00 | 97,00 |
| Regular Rígida | 0,75 | 0,80 | 91,00 |
| Regular Flexível | 1,25 | 0,80 | 91,00 |
| Ruim Rígida | 0,50 | 1,50 | 85,00 |
| Ruim Flexível | 1,50 | 1,50 | 85,00 |

Tabela 5 - Classes em função da adequação estrutural

| Valor de SNP – N° Estrutural do Pavimento Ajustado | | | |
|--|-------|-------|------|
| Adequação Estrutural | Baixa | Média | Alta |
| Ruim | 1,50 | 2,00 | 2,50 |
| Regular | 2,00 | 2,50 | 3,50 |
| Bom | 2,50 | 3,50 | 5,00 |

Tabela 6 - Classes em função do tipo de estrutura

| Faixa de SNP | Espessura da Capa (mm) | | Espessura da Base (mm) |
|-------------------|------------------------|--------|------------------------|
| | Novo | Antigo | |
| SNP < 3,00 | 20,00 | 0,00 | 150,00 |
| 3,00 < SNP ≤ 4,00 | 25,00 | 25,00 | 200,00 |
| 4,00 < SNP ≤ 5,00 | 50,00 | 50,00 | 200,00 |
| SNP > 5,00 | 50,00 | 100,00 | 250,00 |

Tabela 7 - Classes em função da condição do revestimento

| Condição do Pavimento | Frequência dos Defeitos | | | | |
|-----------------------|-------------------------|--------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------|
| | Trincas (%) | Desgaste (%) | Panelas (N°/km) | Trinca de Bordo (m ² /km) | Trilha de Roda (mm) |
| Novo | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Bom | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 |
| Regular | 5,00 | 10,00 | 0,00 | 10,0 | 5,00 |
| Ruim | 15,00 | 20,00 | 5,00 | 100,00 | 15,00 |
| Péssimo | 25,00 | 30,00 | 50,00 | 300,00 | 25,00 |

Tabela 8 - Classes em função da textura do revestimento

| Textura da Capa | Tratamento Superficial | | Mistura Asfáltica | |
|-----------------|------------------------|--|-------------------|--|
| | Macrotextura (mm) | Resistência à Derrapagem (SCRIM a 50 km/h) | Macrotextura (mm) | Resistência à Derrapagem (SCRIM a 50 km/h) |
| Boa | 1,50 | 0,60 | 0,70 | 0,50 |
| Regular | 0,70 | 0,45 | 0,50 | 0,40 |
| Lisa | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |

Frota de Veículos

Os dados relacionados com a frota de veículos descrevem as características dos veículos que utilizam a rede rodoviária em estudo. As características da frota de veículos são requeridas no HDM-4 para que seja possível estimar o fluxo de tráfego em relação à capacidade das seções, os custos de operação dos veículos (COV), o tempo de viagem, os custos dos acidentes e a avaliação dos impactos ambientais relacionados com a emissão de poluentes e ruídos.

Para que haja representatividade de uma frota, primeiramente é realizada uma classificação dos veículos, na qual se procura reproduzir as suas diversas características através de veículos

representativos (veículos tipo). Os veículos de representação podem ou não existir fisicamente, mas devem apresentar uma série de características físicas e de desempenho compatíveis com a do conjunto de veículos por eles simbolizados. O HDM-4 traz para o usuário 16 tipos de veículos motorizados representativos, conforme apresentado a seguir:

- ✓ Motocicletas: motos convencionais;
- ✓ Carros de Passeio: carros de passeio pequenos, médios e grandes;
- ✓ Utilitários: veículos de entrega (vans), veículos de mercadorias (caminhonetes) e veículos com tração nas quatro rodas;
- ✓ Caminhões: caminhões leves, médio, pesados e articulados;
- ✓ Ônibus: micro-ônibus, ônibus leve, médio, pesado e duplo.

Além disso, o usuário tem a possibilidade de alterar as características estabelecidas para os veículos sugeridos pelo programa ou, ainda, adicionar veículos para que a representatividade da realidade local seja melhorada. A Figura 7 apresenta a janela de diálogo do programa que possibilita a edição dos atributos de determinado veículo representativo. Nota-se que a janela exibe quatro abas, denominadas de Definição, Características Básicas, Custos Econômicos Unitários e Custos Financeiros Unitários. Além disso, existe um botão no canto superior direito com o nome de Calibração, que permite a configuração de detalhes do veículo.

A Figura 8 apresenta a janela de diálogo que possibilita a modificação de detalhes do veículo, com nove abas: Manutenção, Ciclo de Vida Ótimo, Emissões, Energia, Forças, Velocidade, Combustível, Efeitos da Aceleração e Pneus.

Para os veículos motorizados, o programa exige um total de 145 itens de caracterização, evidenciando, novamente, a necessidade do conhecimento por parte do usuário da sensibilidade dos modelos às variações dos parâmetros.

Além de veículos motorizados, o programa HDM-4 aceita a inclusão da interferência de veículos não motorizados em seus modelos. O transporte não motorizado é representado por quatro veículos representativos, que são bicicleta, triciclo, charrete e modo a pé. A presença deste tipo de transporte pode influenciar a velocidade dos veículos motorizados, afetando, desta forma, o custo de operação da rodovia.

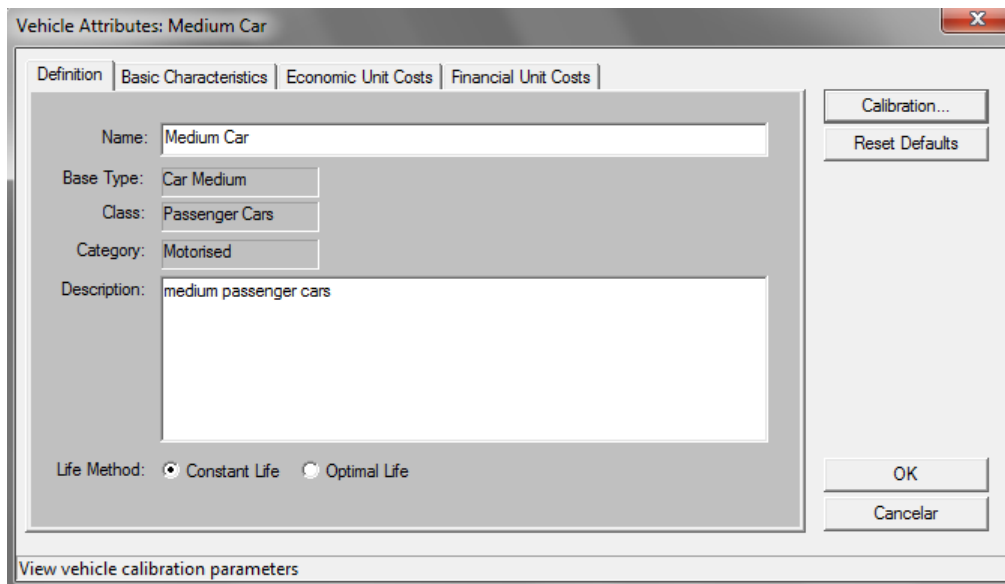


Figura 7 - Caixa de diálogo que possibilita a edição dos atributos de determinado veículo tipo.

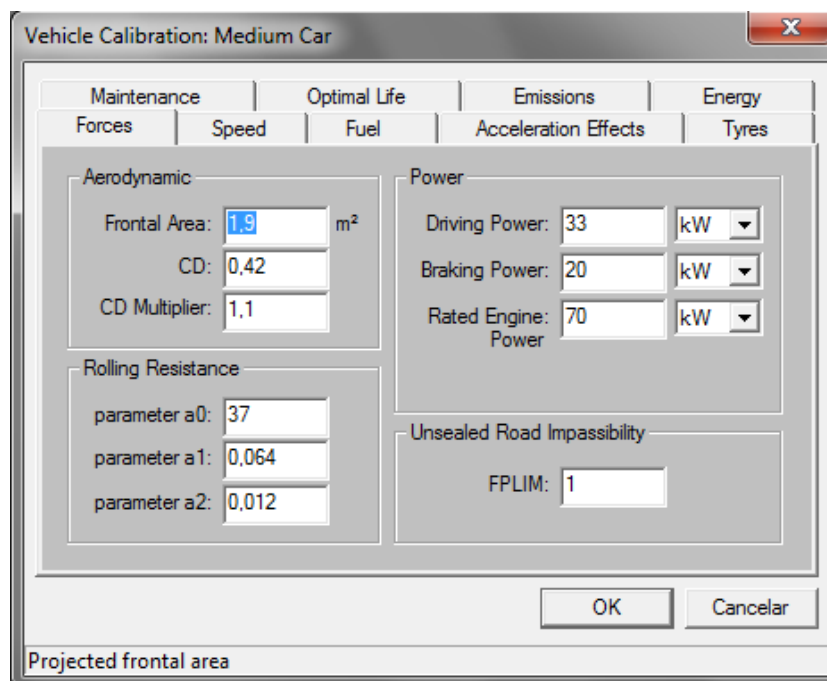


Figura 8 - Caixa de diálogo que possibilita a modificação de detalhes do veículo.

O Anexo B apresenta os 160 parâmetros que caracterizam os veículos (motorizados e não motorizados) no programa, com suas respectivas siglas, comentários e a qual tipo de veículo é endereçado. Novamente é importante destacar o grande número de parâmetros envolvidos na caracterização de uma situação dentro do programa HDM-4.

Intervenções

No HDM-4 os padrões de intervenções são utilizados para representar as metas ou níveis aceitáveis da condição das rodovias pelo organismo rodoviário, assim como a resposta que se pretende alcançar com determinada ação. Essas intervenções são divididas em duas grandes categorias: obras de manutenção e reabilitação e obras de melhoria e ampliação.

As obras de manutenção e reabilitação são as ações necessárias para que o nível de conservação aceitável seja mantido nas seções. Os tipos padrão de manutenção contidos no programa computacional consistem em um conjunto de um ou mais trabalhos na via, onde esses trabalhos são definidos em função do tipo de pavimentação da via, nível de intervenção pretendido, tipo de intervenção almejado e o efeito resultante a ser alcançado.

Já as obras de melhoria e ampliação contidas no HDM incluem intervenções do tipo: alargamento de pista, reconstrução de trecho, modernização, entre outros. Da mesma forma que as obras de manutenção, o tipo de trabalho a ser realizado em uma melhoria depende de uma série de fatores, como o tipo de pavimentação da via, nível de intervenção pretendido, tipo de intervenção almejado e o efeito resultante a ser alcançado, porém o enfoque das ações de melhoria está relacionado com mudanças geométricas, estruturais, entre outras, que não são o foco dos trabalhos de manutenção e reabilitação.

Assim como a rede viária e a frota de veículos, as intervenções também devem sempre refletir, da melhor maneira possível, as condições locais, principalmente no que diz respeito aos custos e ao tempo de realização das obras. Para isso, o programa HDM-4 contém algumas sugestões de intervenções pré-estabelecidas. Como já foi enfatizado, as intervenções podem ser classificadas em duas grandes categorias, subdivididas em classes, as classes em tipos e os tipos em atividades, conforme exibido na Tabela 9, adaptada de Odoki e Kerali (2000).

Além dessas intervenções sugeridas, pode ser necessária a criação de um tipo específico de intervenção, para que a realidade local seja refletida de forma mais precisa. A Figura 9 mostra a caixa de diálogo que permite ao usuário editar padrões de intervenções. Pode-se notar que um padrão de intervenção, seja ele manutenção ou melhoria, admite várias atividades, que podem ser editadas através do botão presente no canto inferior direito da tela.

Tabela 9 - Tipos de intervenções disponíveis no HDM-4

| Categorias | Classes | Tipos | Atividades |
|--|---------------------|-----------------------|---|
| Manutenção e Reabilitação | Rotina | Pavimento | Selagem de trincas, reparos em bordas e acostamentos, fechar painéis etc. |
| | | Drenagem | Reparos nos bueiros, limpeza de drenos, limpeza de lateral etc. |
| | | Outras | Controle de vegetação lateral, remarcação das faixas, sinais etc. |
| | Periódica | Tratamento preventivo | Rejuvenescimento, juntas de vedação, barras de transferência etc. |
| | | Recapeamento | Revestimento superficial, substituição de placas etc. |
| | | Restauração | Substituição ou sobreposição da capa, revestimento de concreto etc. |
| | | Reconstrução | Reconstrução parcial ou total do pavimento |
| | Especial | Emergencial | Limpeza de detritos, remoção de acidentes de trânsito etc. |
| | | De inverno | Remoção da neve, utilização de sal etc. |
| | | Alargamento | Alargamento parcial, adição de faixa etc. |
| Melhoria e Ampliação | Modernização | Realinhamento | Melhoria no alinhamento horizontal, vertical ou interseções |
| | | Extra-pista | Adição ou melhoria de acostamento, melhora na drenagem lateral etc. |
| | Construção | Capeamento | Melhoria através de mudança no tipo de pavimentação |
| | | Nova seção | Duplicação de uma via existente, construção de nova seção |

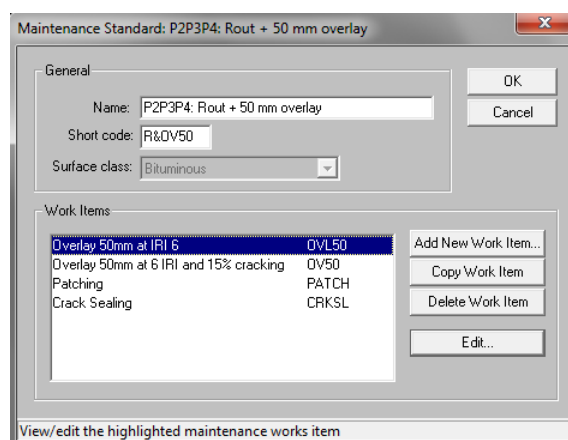


Figura 9 - Caixa de diálogo que permite ao usuário editar padrões de intervenções

A Figura 10 exibe a caixa de diálogo que possibilita a edição de uma atividade específica que compõe um quadro de intervenção padrão. Como pode ser observado, existem quatro abas na janela, sendo elas definidas como Geral, Intervenção, Custos e Efeitos. Deve-se destacar o poder de manipulação conferido ao usuário, já que é possível definir quais efeitos serão gerados por uma determinada intervenção. Faz-se necessário, portanto, que os órgãos que fazem uso dessa ferramenta dediquem uma grande atenção aos dados utilizados para as modelagens, pois simples alterações em alguns parâmetros podem levar a resultados totalmente diferentes dos que serão observados na prática.

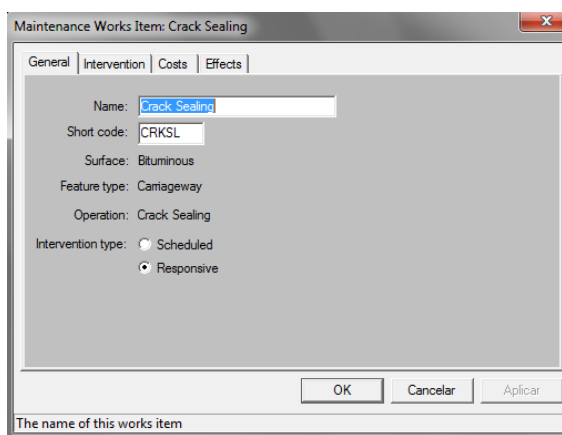


Figura 10 - Caixa de diálogo que possibilita a edição de uma atividade específica de uma intervenção padrão.

Configurações Gerais

Conforme destacado anteriormente, o HDM-4 foi projetado para ser flexível, podendo ser utilizado em vários ambientes. Para tanto, o programa conta com facilidades de personalização, visando sempre representar da melhor maneira possível o local estudado. As configurações do HDM incluem modificações nos padrões de fluxo de tráfego, tipos de rodovias, zonas climáticas e moeda corrente. Cabe a ressalva de que apesar do programa trazer valores de referência ao ser instalado, a modificação e adaptação para as condições locais são possíveis e necessárias.

Padrões de Fluxo do Tráfego

Os padrões de fluxo do tráfego são utilizados para representar as variações da intensidade do tráfego que ocorrem durante o ano na rodovia. As seções de uma mesma rodovia podem apresentar diferentes padrões de fluxo, de acordo com o seu uso. O programa HDM-4 apresenta em suas configurações quatro padrões de fluxo do tráfego, que estão listados a

seguir, além da possibilidade de se criar novos padrões que possam refletir de maneira mais satisfatória a realidade modelada.

- ✓ *Commuter*: quando as viagens predominantes são realizadas por pessoas que estão deslocando-se de casa para o trabalho e vice-versa;
- ✓ *Inter-urban*: quando as viagens predominantes são realizadas por pessoas que estão deslocando-se de uma cidade para outra;
- Seasonal*: quando as viagens predominantes realizadas dependem da época do ano, ou seja, o tráfego é sazonal;
- ✓ *Free-Flow*: quando as viagens ocorrem distribuídas igualmente pelos dias do ano, com volume constante.

A Figura 11 apresenta a janela de diálogo que permite a criação de novos padrões de fluxo do tráfego. Pode-se notar que através dos padrões de fluxo o ano pode ser dividido em períodos e, com isso, consegue-se distribuir o tráfego de acordo com a realidade local.

Traffic Flow Pattern: <New Traffic Flow Pattern>

Definition

Name:

Road use:

OK

Cancel

Defaults...

Flow distribution data

Select method: HV PCNADT

| Period | Description | Hrs per year (HRYRp) | Hourly Volume (HVp) | % of AADT (PCNADTp) |
|--------|-------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Period 1 | 87.60 | 0.000 | 0.00 |
| 2 | Period 2 | 350.40 | 0.000 | 0.00 |
| 3 | Period 3 | 613.20 | 0.000 | 0.00 |
| 4 | Period 4 | 2978.40 | 0.000 | 0.00 |
| 5 | Period 5 | 4730.40 | 0.000 | 0.00 |

8760.00 0.000

NB. HRYRp must equal 8760, and $\frac{(HRYRp * HVp)}{365}$ must equal 1.00 ± 0.05

Road Type

Figura 11 - Caixa de diálogo que permite a criação de novos padrões de fluxo do tráfego.

Tipos de Rodovias

A determinação do tipo de rodovia tem como função principal, no HDM-4, representar as características de capacidade dos diferentes tipos de rodovias existentes. O programa contém oito tipos de rodovias na sua configuração inicial, que estão listadas a seguir. Além disso, o usuário tem a opção de criar novos tipos de rodovias visando a melhor representatividade do local em estudo.

- ✓ *Four Lane Road* - Rodovias com Quatro Faixas;
- ✓ *Intermediate Road* - Rodovias Intermediárias;
- ✓ *Single Lane Narrow* - Rodovias Estreitas de Faixa Única;
- ✓ *Single Lane Road* - Rodovias de Faixa Única;
- ✓ *Two Lane Road* - Rodovias de Duas Faixas;
- ✓ *Two Lane Standard* - Rodovias de Duas Faixas Padrão;
- ✓ *Two Lane Wide* - Rodovias de Duas Faixas Largas;
- ✓ *Wide 2 Lane Road* - Rodovias Largas de Duas Faixas.

É válido observar que alguns dos tipos de rodovias dispostos pelo programa HDM-4 se diferenciam apenas pelo fato de uma delas apresentar dados do número de acidentes, como é o caso da *Two Lane Road*, que não trás dados relativos a acidentes, e da *Two Lane Standard*, que exibe tais dados. Porém, essa diferença pode ser considerada irrelevante, pois conforme apresentado por Odoki e Kerali (2000), a falta de métodos confiáveis para a estimativa dos custos relacionados com acidentes e com o conforto tem limitado e, na maioria das vezes, excluído, a consideração desses itens quando das análises de investimentos rodoviários.

A Figura 12 mostra a caixa de diálogo exibida para a geração de um novo tipo de rodovia. Nota-se que é possível configurar a capacidade da rodovia, suas taxas de acidentes e coeficientes relacionados com a velocidade que será empregada na via.

Zonas Climáticas

As zonas climáticas são usadas nos modelos do HDM para descrever as condições climáticas encontradas em diferentes partes da rede viária a ser analisada, afetando diretamente a modelagem da deterioração do pavimento. As informações utilizadas para representar as zonas climáticas podem ser divididas em duas categorias: dados pluviométricos e de temperatura.

Figura 12 - Caixa de diálogo para a geração de um novo tipo de rodovia.

Conforme mencionado anteriormente, alguns dados do HDM podem ser trabalhados, dependendo da finalidade, de forma agregada. Para cada uma das categorias de dados que representam as zonas climáticas, o programa contempla classes que podem ser utilizadas pelos usuários. A seguir são apresentadas as classes de dados pluviométricos e de temperatura, nas Tabela 10 e

Tabela 11, respectivamente, conforme consta nas configurações iniciais do HDM-4.

Tabela 10 - Classes de dados pluviométricos disponíveis no HDM-4

| Característica | Classes das Zonas Pluviométricas | | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-------|-------------|
| | Árido | Semiárido | Sub-úmido | Úmido | Super Úmido |
| Precipitação Média Mensal (mm) | 15 | 50 | 100 | 175 | 210 |
| Índice de Umidade de Thornthwaite | -80 | -40 | 0 | +60 | +100 |
| Duração do Período Seco (% do ano) | 90 | 75 | 50 | 25 | 10 |

Tabela 11 - Classes de dados de temperatura disponíveis no HDM-4

| Característica | Classes de Zonas de temperatura | | | | |
|--|---------------------------------|--------------|-------------------|----------------|---------------------|
| | Tropical | Sub-tropical | Sub-tropical Frio | Temperado Frio | Temperado Congelado |
| Temperatura Média Anual (°C) | 27 | 22 | 18 | 12 | 8 |
| Intervalo de Temperatura (°C) | 15 | 50 | 40 | 45 | 60 |
| Nº de dias por ano com Temperatura > 32°C | 90 | 60 | 30 | 15 | 10 |
| Índice de Congelamento (Dias T < 0°C) | 0 | 0 | 0 | 55 | 220 |
| Porcentagem do Tempo com vias cobertas de Neve | 0 | 0 | 0 | 10 | 20 |
| Porcentagem do Tempo com vias cobertas de Água | 20 | 10 | 15 | 5 | 10 |
| Densidade do Ar (kg/m ³) | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |

De forma similar às outras configurações apresentadas, as zonas climáticas, consequentemente às classificações de pluviosidade e de temperatura, também aceitam personalização. A Figura 13 apresenta a caixa de diálogo que permite a criação de uma nova zona climática. É possível perceber que o usuário deve entrar com os dados de pluviosidade, temperatura e a porcentagem de tempo que os motoristas irão encontrar adversidades na pista.

Moeda Corrente

O HDM-4 permite que o usuário defina qual a moeda corrente que deve ser utilizada na modelagem, já que valores monetários estão presentes na definição dos custos unitários e nos resultados das análises econômicas que são realizadas. A configuração inicial do HDM apresenta três moedas disponíveis para a escolha: Dólar, Libra e o Franco. Há também a possibilidade de incluir novas moedas, sendo necessário definir o nome, o símbolo, a forma de apresentação e o valor em relação ao Dólar.

Climate Zone: <New Climate Zone>

Climate

Name:

Moisture Classification:

Moisture Index:

Duration of dry season: (as a fraction of a year)

Mean monthly precipitation: mm

Temperature Classification:

Mean temperature: °C

Temp Range: °C

Days T > 32°C: days

Freeze Index: C-days

Percentage Of Time Driven

on snow covered roads: 0<=PCTDS<=100

on water covered roads: 0<=PCTDW<=100

The name of this Climate Zone

OK

Cancel

Defaults...

Figura 13 - Caixa de diálogo que permite a criação de uma nova zona climática.

2.6 ANÁLISES ECONÔMICAS

2.6.1 Análises Econômicas de Projetos Rodoviários

A proposta da análise de investimentos em obras rodoviárias é selecionar projetos com alto retorno econômico. A decisão de se investir em rodovias, não é o principal objetivo da análise de investimentos rodoviários, pois na maioria dos casos a decisão já foi tomada. O objetivo de análises econômicas de projetos de rodovias é, portanto, estabelecer o quanto investir e qual retorno econômico esperar. O tamanho do investimento é determinado pelos custos de construção e manutenção. Os retornos econômicos são relacionados principalmente com a economia dos usuários devido à melhor infraestrutura, através da redução dos custos de operação dos usuários.

A Figura 14 apresenta, esquematicamente, os custos envolvidos com o modo de transporte rodoviário em função das condições de implantação da rodovia. Nota-se que o custo total é a soma dos custos relacionados com os usuários, com a construção e com a manutenção da via, mas o principal aspecto a ser destacado é que os custos dos usuários e de manutenção, que representam em torno de 95% do custo total, decrescem com a melhoria nas condições de implantação da via. Portanto, os organismos rodoviários, no lugar da busca incessante pela

redução dos custos de construção, deveriam entender que, na maioria das vezes, fazer um maior investimento durante a construção pode resultar em uma via de melhor qualidade e, assim, em um menor custo total.

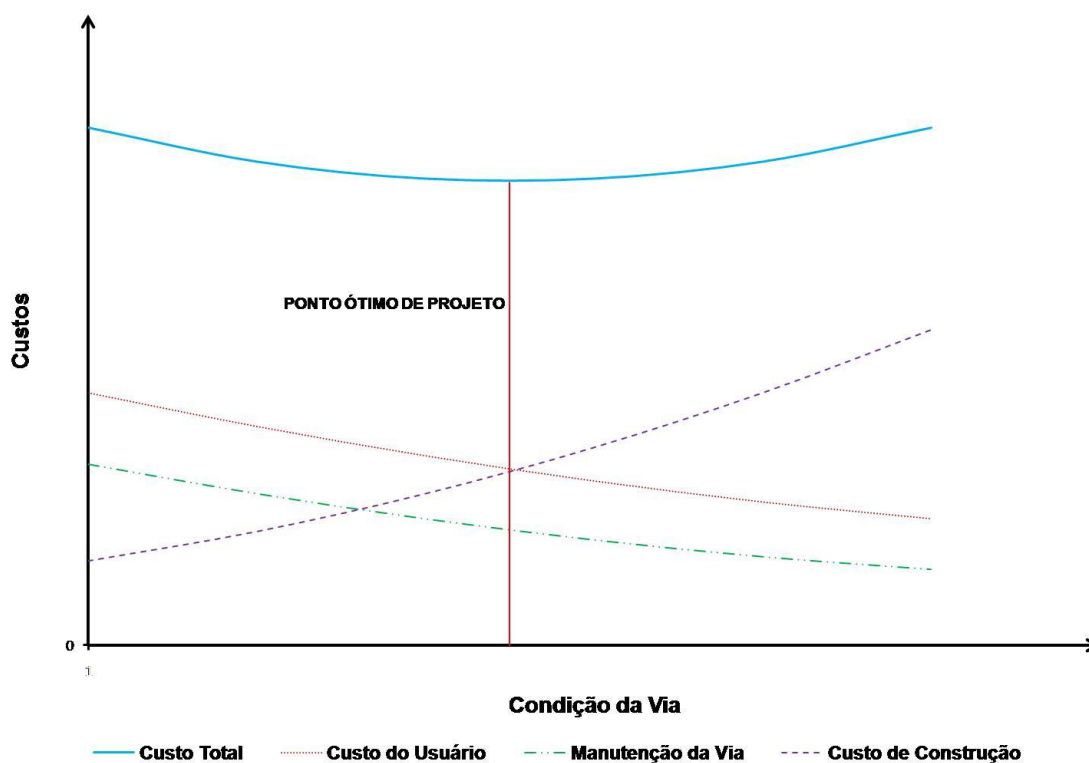


Figura 14 - Parcelas que compõem o custo total de uma via – alterado de PATERSON (1991).

2.6.2 Métodos de Análise do HDM-4

Para que haja otimização dos investimentos na infraestrutura do modo de transporte rodoviário é necessário buscar o menor custo total possível e, dessa forma, aumentar os benefícios derivados da redução dos custos dos usuários e das melhorias socioeconômicas. Para tanto, deve-se analisar e hierarquizar os possíveis investimentos a serem realizados, selecionando a alternativa mais vantajosa. Segundo Odoki e Kerali (2000), os critérios mais comuns de seleção de projeto são o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Relação Benefício-Custo (B/C). O programa HDM-4 apresenta como resultado da análise econômica esses três índices, descritos de forma sucinta a seguir.

Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é um dos métodos mais difundidos na prática de análises de investimentos, principalmente pelo fato de sua fácil elaboração. Outra vantagem do VPL, que

o torna usual na engenharia econômica, é a revelação, de forma clara, de quanto, em termos monetários, o projeto trará de benefícios, representado pelo próprio VPL.

O VPL de um projeto de investimento é o valor presente dos benefícios (retornos de capital esperados), incluindo o valor residual (se houver), menos o valor presente dos custos (investimentos realizados). Apesar de sua fácil aplicação, o método de análise de investimentos através do VPL é considerado sofisticado, pois considera explicitamente o valor do dinheiro no tempo, através da taxa de desconto. A taxa de desconto pode ser definida como sendo a taxa de juros aplicada sobre os valores futuros do projeto de investimento analisado. A Equação 1 descreve a forma de cálculo do VPL.

$$VPL = \sum_{t=0}^T (B_t - C_t) \times (1 + r)^{-t} \quad (1)$$

Em que:

T : período de projeto (anos);

B_t : quantidade de benefícios no ano t ;

C_t : quantidade de custos no ano t ;

r : taxa de desconto.

Esse método pode ser utilizado tanto para análises de investimentos isolados, como para comparação de duas ou mais alternativas de investimento. No primeiro caso, a decisão é favorável ao projeto se o VPL resultante da análise for positivo, ou seja, é vantajoso para o investidor implantar o projeto. Na comparação entre alternativas, o projeto que apresenta o maior VPL é o mais vantajoso.

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno de um projeto pode ser definida como sendo a taxa de desconto para o qual o valor presente dos benefícios iguala-se ao valor presente dos custos. Em outras palavras, a TIR é a taxa que torna o VPL de um projeto nulo (igual a zero). O cálculo da TIR é apresentado pela Equação 2.

$$\sum_{t=0}^T (B_t - C_t) \times (1 + i)^{-t} = 0 \quad (2)$$

Em que:

i = taxa interna de retorno.

Assim como o VPL, a TIR pode ser usada tanto para análises de investimentos isolados, como para comparação de duas ou mais alternativas de investimento. Para a análise de investimentos isolada, o parâmetro de comparação da TIR, para a aceitação ou rejeição do projeto, recebe o nome de Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A TMA deve ser a taxa mínima alcançada pelo investimento para que ele seja viável economicamente, isto é, a taxa mínima de retorno de capital aceitável para que um projeto econômico seja implementado. Logo, se a TIR for maior do que a TMA, o projeto é vantajoso. Na comparação entre alternativas de investimentos, deve-se determinar a TMA e a TIR de cada uma das alternativas, sendo que a mais vantajosa será a que tiver maior TIR, desde que este seja maior do que a respectiva TMA.

Relação Benefício/Custo (B/C)

A Relação Benefício-Custo de um projeto nada mais é do que a relação entre os benefícios em valores atuais e os custos também em valores atuais. A Equação 3 apresenta a forma de cálculo da B/C.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^T B_t \times (1 + r)^{-t}}{\sum_{t=0}^T C_t \times (1 + r)^{-t}} \quad (3)$$

Através da relação B/C pode-se decidir pela aceitação ou rejeição de um projeto, bastando apenas analisar se seu valor é maior do que um (o projeto é viável) ou menor do que um (o projeto é inviável). A hierarquização de projetos também é possível, sendo que o projeto com o maior valor de B/C deve ser considerado o mais vantajoso, desde que seja maior do que um.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Este capítulo apresenta importantes conceitos para o entendimento de modelos computacionais e indica como eles podem ser analisados de forma a se identificar quais fatores possuem maior relevância sobre determinada resposta do modelo. Faz-se uma revisão sobre análises de sensibilidade e são apresentados exemplos de alguns tipos de análises e seus principais aspectos.

3.1 SISTEMAS E MODELOS

Segundo Montgomery (2001), os processos ou sistemas podem ser entendidos como uma combinação de métodos, máquinas, pessoas e outras fontes, que transformam alguma entrada em uma saída (que pode ter uma ou mais respostas observáveis).

Pelo entendimento de Harrel, Ghosh e Bowden (2000), um sistema consiste de múltiplos elementos inter-relacionados e que trabalham em cooperação. Além disso, os autores ressaltam que a existência de um sistema se dá com o propósito de alcançar objetivos específicos.

Observando o lado prático, Law e Kelton (2000) defendem que a definição de um sistema depende do objetivo do estudo. Segundo os autores, o que para um estudo particular é definido como sistema, em outro estudo pode ser apenas um subconjunto de elementos de um sistema mais amplo.

A representação de um sistema é chamada de modelo. Segundo Bertrand e Fransoo (2002), um modelo é sempre uma abstração da realidade no sentido de que a realidade completa não está incluída. A Figura 15 apresenta um modelo esquemático usado por Montgomery (2001) para representar processos, em que os sistemas possuem algumas variáveis controláveis (x_1, x_2, \dots, x_p) e outras variáveis incontroláveis (z_1, z_2, \dots, z_q).

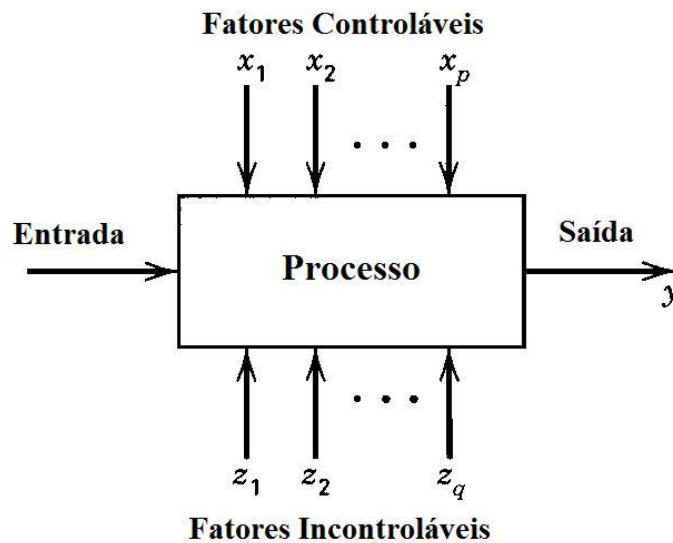


Figura 15 - Modelo esquemático para representar processos, segundo Montgomery (2001).

Dentro desse contexto, a definição de modelos matemáticos pode ser dada como sendo um sistema teórico ou um conceito abstrato pelo qual se descreve uma situação física ou uma série de eventos. É importante destacar que tal descrição não é, e não necessita ser, uma explicação exata da realidade, mas sim uma exposição dos aspectos ou propriedades de interesse. O objetivo principal da modelagem matemática é a obtenção da equação, ou conjunto de equações, que regem os fatos descritos.

No caso dos modelos computacionais, também conhecidos como simuladores, uma definição usual é que eles são representações matemáticas de um sistema real, implementadas em um computador (MORRIS, 1991; BASTOS; WILKINSON, 2010). Uma das características mais marcantes de grande parte dos simuladores é o fato de serem modelos determinísticos de entrada e saída (input / output), onde rodar o simulador várias vezes para o mesmo conjunto de parâmetros de entrada (input) sempre resultará no mesmo resultado (output). Entretanto, é necessário destacar que o valor da saída é desconhecido antes de aplicar o simulador para um conjunto de dados de entrada particular.

Sacks et al. (1989) salientam que a utilização da modelagem computacional na pesquisa científica gerou profundas mudanças. Campolongo, Cariboni e Saltelli (2007) destacam a extrema importância do uso de modelos computacionais no apoio aos processos decisórios dos dias atuais, pois na natureza muitos sistemas são altamente complexos, o que torna a realização de experimentos físicos muito cara ou demorada e, em outros casos, como na

modelagem para previsão meteorológica, experimentos físicos são simplesmente impossíveis. Impulsionado pelo avanço tecnológico na área da informática, a utilização de modelos matemáticos implementados em computadores tem crescido extraordinariamente, juntamente com a complexidade dos sistemas modelados.

São muitos os exemplos de desenvolvimento científico e tecnológico que foram conduzidos com uso de modelagens computacionais. Em ciência climática, Zickfeld, Slawig e Rahmstorf (2004) apresentam um modelo para a circulação térmica no Atlântico que é capaz de reproduzir muitas características do comportamento da circulação, distribuição regional e taxa de mudança climática. Randall et al. (2007) avaliaram a capacidade e limitações de modelos de clima global usando o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Em cosmologia, Benson et al. (2001) usaram um modelo computacional complexo para entender o processo responsável pela formação e evolução das galáxias. Em engenharia de proteção contra incêndios, McGrattan, Hostikka e Floyd (2007) apresentaram um simulador da dinâmica de incêndios, usado para entender a dinâmica do fogo durante um incêndio e baseado em soluções numéricas de uma equação Navier-Stokes apropriada para velocidades baixas, fluidos comandados por fogo e transporte de calor de incêndios. Em engenharia de transportes, Kerali (2000) descreve o HDM-4 (The Highway Development and Management System), que é um modelo computacional que simula as condições físicas e econômicas de uma rodovia em um determinado período de análise, para uma série de alternativas de estratégias e cenários especificados.

3.2 EXPERIMENTOS

Segundo Montgomery (2001), experimentos são desenvolvidos por pesquisadores em praticamente todos os campos de estudos, geralmente para descobrir alguma coisa de interesse sobre um sistema ou processo particular. Pode-se apresentar um experimento como sendo um ensaio. Porém, mais formalmente, pode-se definir um experimento como sendo um ensaio ou uma série de ensaios em que mudanças pré-estabelecidas são feitas nas variáveis de entrada do processo ou sistema de modo que se pode observar e identificar quais são as razões para as mudanças que podem ser observadas nas respostas (saídas do processo ou sistema).

Law e Kelton (2000) entendem que as formas de se estudar um processo ou sistema podem ser esquematizadas conforme a Figura 16. De acordo com os autores, um sistema pode ser avaliado por experimentação direta do sistema real ou através de modelagem. Os experimentos realizados através do uso de um modelo podem valer-se de modelos físicos ou matemáticos para a representação da realidade. Os modelos matemáticos podem ter como resultado uma solução analítica ou utilizar-se de simulação. Neste trabalho, o termo *experimento físico* será utilizado para tratar dos estudos de análise de modelos físicos, enquanto o termo *experimento computacional* será utilizado para tratar dos estudos de modelos matemáticos com auxílio de computadores.

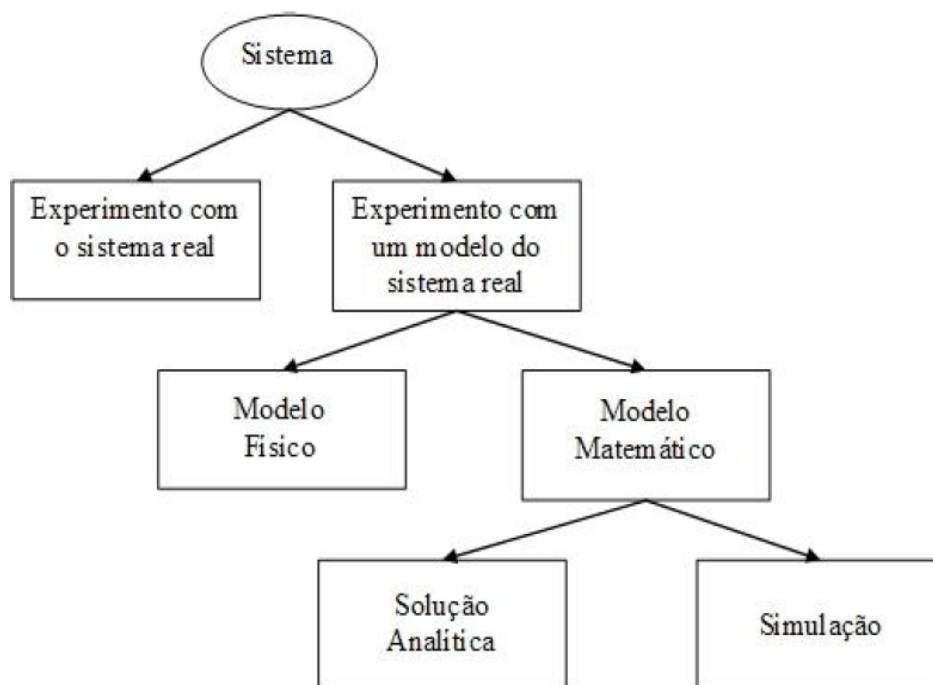


Figura 16 - Formas de estudar um sistema (Adaptado de Law e Kelton, 2000).

Segundo Santer, Williams e Notz (2003) para ser possível a realização de um experimento computacional são necessárias a existência dos seguintes elementos:

- ✓ Teoria matemática que explique o sistema ou processo através de um conjunto de variáveis de entrada;
- ✓ Método numérico que resolva de forma precisa o sistema matemático;
- ✓ *Hardware* e *software* apropriados para implementar o método numérico.

Consoante com o que já foi descrito, pode-se estabelecer que o objetivo principal de experimentos, sejam eles apoiados em modelos físicos ou matemáticos, é derivar inferências

referentes a relações entre as respostas analisadas e o conjunto de entradas definido pelo problema e pela hipótese científica. Santer, Williams e Notz (2003) entendem que outro ponto em comum entre experimentos físicos e computacionais, além do objetivo global, está na forma de análise dos dados obtidos, ou seja, que ambos os experimentos devem basear-se na estatística para identificar ou desenvolver métodos apropriados de análise de dados. Por outro lado, os autores destacam que a maior diferença entre os dois tipos de experimento está no delineamento de experimentos para a geração de dados para a análise. Sacks et al. (1989) apresentam três objetivos principais de experimentos físicos e computacionais realizados em conjunto, que são:

- ✓ Prever a resposta de conjuntos de entradas não ensaiados;
- ✓ Otimizar uma função de resposta;
- ✓ Ajustar o código computacional com os dados físicos.

3.3 DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS

Delineamento de experimentos, segundo a primeira definição de Fisher (1935), pode ser entendido como a seleção da combinação de fatores de entrada de um experimento que proverá informações sobre a relação entre entradas e saídas, na presença de variações. O problema básico no delineamento de experimentos é decidir qual das combinações possíveis de fatores melhor revelará as propriedades das respostas e como elas são afetadas pelos fatores.

Segundo Saltelli, Chan e Scott (2000), um bom delineamento é crucial para que conclusões sejam facilmente retiradas de experimentos. Além disso, destacam que se um experimento for mal delineado, até mesmo sofisticados métodos de análise falharão na busca por inferências relacionadas ao objeto do experimento.

Cabe a ressalva que os esquemas de delineamento de experimentos mais difundidos e utilizados foram projetados para experimentos físicos. Como já foi visto, experimentos físicos e experimentos computacionais possuem algumas características diferentes, que são relevantes no momento de se delinear o experimento. Dessa forma, segue uma breve explicação sobre delineamento de experimentos que visam validar análises de resultados de ensaios.

Os experimentos físicos medem uma resposta estocástica correspondente a um conjunto de variáveis de entrada determinado pelo pesquisador. Infelizmente, muitos desses experimentos também envolvem erros nas variáveis de entrada, que podem ou não causar alguma variação na resposta do experimento. Diante dessa realidade, estatísticos têm desenvolvido várias técnicas de delineamento de experimentos para aumentar a validade das comparações entre experimentos físicos.

Dentre os métodos mais utilizados para validação de experimentos físicos destacam-se os experimentos aleatórios, em blocos e os com réplicas. Entende-se por experimentos aleatórios aqueles experimentos cuja ordem, tanto das variáveis a serem analisadas quanto dos ensaios, são determinadas aleatoriamente (MONTGOMERY, 2001). Santer, Williams e Notz (2003) ressaltam que a utilização deste método se dá para que se possam evitar erros sistemáticos, que afetam a resposta e não são identificados nas análises posteriores. Já os experimentos em blocos são usados quando existem diferenças reconhecidas nas variáveis, que podem influenciar o sistema como, por exemplo, diferença de local e de data. Através desta abordagem é possível eliminar a influência de fatores incontroláveis na comparação de resultados (MONTGOMERY, 2001). Quanto ao experimento com réplicas, Montgomery (2001) destaca duas propriedades importantes: primeiramente, permite que se obtenha uma estimativa do erro experimental e, através dessa estimativa, determinar o quanto as diferenças observadas são estatisticamente diferentes, segundo, permite a obtenção de uma estimativa mais precisa do efeito de um fator no experimento.

Por outro lado, as propriedades relacionadas com o delineamento de experimentos computacionais envolvem outras questões. Os modelos computacionais geralmente possuem respostas determinísticas, isto é, o código produz respostas idênticas se o modelo for rodado mais de uma vez com o mesmo conjunto de variáveis de entrada. Portanto, o uso de experimentos aleatórios a fim de evitar possíveis erros sistemáticos devido à ordem de ensaios é irrelevante. De forma similar, a divisão do experimento em blocos para igualar as condições de realização do experimento se torna desnecessária. Ou seja, nenhum dos tradicionais princípios de experimentos em blocos, aleatórios ou com réplica são usados para resolver a forma de delinear e analisar problemas associados com experimentos computacionais.

Além do fato de experimentos computacionais possuírem respostas determinísticas, outros aspectos importantes os diferenciam de experimentos físicos, como, por exemplo, o número de variáveis de entrada, que pode ser muito grande, e a faixa de variação de cada fator, que pode ser muito maior em experimentos numéricos. Consequentemente, as metodologias aplicadas para experimentos físicos podem não ser ideais para modelos computacionais complexos. McKay, Beckman e Conover (1979) foram os primeiros a considerar explicitamente delineamentos de experimentos voltados para códigos de computador com características determinísticas. Eles introduziram a amostragem através do Hipercubo Latino, que é um processo com baixo custo computacional e capaz de lidar com muitas variáveis de entrada.

Após a delimitação do experimento e definição das análises que podem ser realizadas com os resultados, merece destaque a construção de novos modelos de previsão, assim como o ajuste, a validação, a otimização e a análise de sensibilidade de modelos já existentes. Devido ao escopo deste trabalho, somente a análise de sensibilidade será tratada de forma mais detalhada.

3.4 TIPOS DE ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Segundo Saltelli, Chan e Scott (2000), análise de sensibilidade pode ser definida como sendo o estudo da variação de um resultado de um modelo (numérico ou não), atribuindo-a, qualitativamente ou quantitativamente, a diferentes fontes de variação. Além disso, visa analisar como o dado modelo depende da informação que o alimenta. Portanto, análises de sensibilidade podem ser consideradas um pré-requisito para a construção e utilização de modelos, prognosticando ou diagnosticando problemas.

Em experimentos computacionais as entradas necessárias para que o modelo forneça uma resposta são conhecidas *a priori*. Os dados de entradas são partes da descrição matemática do processo físico que forma a base do código computacional. Entretanto, em determinada região de interesse, alguns dos dados de entrada podem ter um efeito relativamente pequeno sobre determinada saída, ou seja, a resposta pode não ser sensível a mudanças nesses dados de entrada. Quando isso acontece, esses dados podem ser definidos como sendo iguais a um valor nominal, investigando-se como a resposta depende dos outros dados de entrada

remanescentes. Há uma redução da dimensionalidade do problema, que permite o ajuste do modelo e redução do número de variáveis de entrada. Como uma consequência direta, pode-se diminuir o número de observações a serem realizadas visando a obtenção dos dados de entrada.

Trucano et al. (2006) afirmam que a análise de sensibilidade melhora o entendimento quantitativo do que é importante para a validação de um modelo e como prioridades devem ser estabelecidas em determinados pontos no tempo. Segundo os autores, em um mundo com recursos limitados, isto não é apenas desejável, mas necessário.

Como explorado por Santer, Williams e Notz (2003), outra utilidade das análises de sensibilidade é a possibilidade de identificar interações entre variáveis. Quando interações não existem, o efeito de qualquer variável sobre a saída é o mesmo, independentemente dos valores das outras variáveis. Nesse caso, a relação entre a saída e a entrada é dita aditiva e sua compreensão é relativamente simples. Porém, quando existem interações, os efeitos de alguns dados de entrada sobre a saída dependerá do valor de outras variáveis. Este cenário é mais complexo e exige métodos mais sofisticados de análise.

Com o aumento da complexidade dos modelos, devido em grande parte aos avanços tecnológicos das últimas décadas, a utilização de análises de sensibilidade tem-se tornado mais frequente. A seguir é apresentada uma lista com os principais objetivos dos pesquisadores que conduzem análises de sensibilidade, elaborada por Saltelli, Chan e Scott (2000).

- ✓ Se um modelo representa bem o sistema ou processo em estudo;
 - ✓ Quais os fatores que mais contribuem para a variação das saídas e que, com isso, requerem pesquisas adicionais para aumentar a precisão do modelo;
 - ✓ Quais os parâmetros do modelo que são insignificantes e que podem ser eliminados da versão final do modelo;
 - ✓ Se existe alguma região no espaço dos dados de entrada na qual a variação do modelo é máxima;
 - ✓ A região ótima dentro do espaço dos fatores para usar em um estudo de calibração subsequente;
 - ✓ Se existem, e quais são, as interações entre os fatores.
-

Conforme constatado por Saltelli, Chan e Scott (2000), a escolha de qual método de análise de sensibilidade utilizar é difícil, já que cada técnica possui pontos fortes e pontos fracos. A escolha depende do problema que está sendo investigado, das características dos modelos e também das ferramentas computacionais disponíveis.

Para facilitar o processo de escolha do método, Saltelli, Chan e Scott (2000) sugerem uma possibilidade de agrupamento dos métodos de análise de sensibilidade em classes: Método de Triagem, Método de Análise de Sensibilidade Local e Método de Análise de Sensibilidade Global. Dessa forma, após comparar as características do problema com as classes, o número de alternativas de métodos aplicáveis passa a ser menor. A divisão não é rigorosa, já que um Método de Triagem pode ser visto como Local ou como Global. A classificação leva em conta o tipo de uso para definir os Métodos de Triagem, enquanto considera a forma de tratamento dos dados para definir as outras duas classes.

3.4.1 Métodos de Triagem

Os Métodos de Triagem de dados são muito úteis para tratar de modelos que exigem muito esforço computacional e que têm um grande número de parâmetros de entrada. Eles são usados para identificar o subconjunto de fatores que controlam a maior parte da variação da resposta, com um baixo esforço computacional. Esse tipo de consideração é baseado na experiência, que mostra que, frequentemente, um pequeno número de parâmetros tem um efeito significativo sobre a resposta do modelo. Uma das desvantagens desse tipo de análise é que elas tendem a fornecer medidas qualitativas de sensibilidade, isto é, eles classificam os dados de entrada em ordem de importância, porém não quantificam o quanto um fator é mais importante que o outro.

Existem vários Métodos de Triagem propostos na literatura. Devido à abordagem deste trabalho, dois deles serão descritos com mais detalhes, sendo eles o tradicional Método *Ceteris Paribus* (um fator por vez) e o Método dos Efeitos Elementares, proposto por Morris (1991) e que foi complementado por Campolongo, Cariboni e Saltelli (2007). Define-se que fator é qualquer entrada de um modelo, podendo ser um parâmetro, um dado de entrada ou um coeficiente de calibração do modelo. Outra observação é que os fatores podem ser quantitativos (definidos por valores) ou qualitativos (definidos por classes). O esforço

computacional (ou custo computacional) de um experimento é definido como sendo o número requerido de avaliações do modelo (número de vezes que o programa precisa ser rodado).

Método Ceteris Paribus

A abordagem mais simples dos Métodos de Triagem de modelos é aquela em que se faz a variação de um fator por vez, mantendo todo o resto constante, também conhecida como *Ceteris Paribus*. A expressão *Ceteris Paribus* vem do latim e significa “mantidas inalteradas todas as outras coisas”. É um método que utiliza um cenário de controle, em que todos os fatores possuem um valor padrão (nominal). Geralmente o pesquisador define dois valores extremos para representar a faixa de variação de cada fator, sendo usual utilizar o valor central da faixa como o padrão. A influência de cada fator é medida fazendo o fator variar para os valores extremos e analisando a magnitude da diferença entre a resposta do modelo alterado e a resposta obtida do cenário de controle.

O custo computacional é baixo, seguindo o padrão já mencionado dos experimentos de triagem, sendo, geralmente, igual a $2k + 1$, onde k é o número de fatores examinado. A abordagem simples acarreta muitas limitações, que devem ser conhecidas pelos pesquisadores. Uma das principais limitações do método *Ceteris Paribus* é o fato de suas análises não conseguirem reconhecer interações entre os fatores, ou seja, toda a variação da saída é atribuída ao efeito principal do fator. Em modelos complexos, esse tipo de limitação torna a utilização do método inviável, visto que os resultados podem ser mascarados através de interações que não são reconhecidas.

Outro problema é a limitação do espaço amostral dos fatores de entrada, pois o método toma como base um cenário de controle, através do qual são obtidas as magnitudes de variações das saídas em relação às variações das entradas. Assim o espaço amostral fica limitado a uma área muito próxima ao vetor de fatores formado pelo cenário de controle. Saltelli, Chan e Scott (2000) classificam esse método também como um Método de Análise de Sensibilidade Local. Logo, quando o modelo for utilizado para aplicações que fujam dos valores padrão, os resultados da triagem não poderão ser aplicados.

Método dos Efeitos Elementares

O Método dos Efeitos Elementares, proposto por Morris (1991), assim como o *Ceteris Paribus*, utiliza-se da variação de um fator por vez para alcançar seus resultados. Saltelli,

Chan e Scott (2000) classificam este método como um Método de Triagem, mas também como um Método de Análise de Sensibilidade Global, pois o delineamento do experimento cobre todo o espaço de variação dos fatores.

Cada fator pode assumir um número discreto de valores p , chamado de níveis, que são escolhidos dentro de uma faixa de variação previamente determinada. Ao final, Morris (1991) propõe duas medidas de sensibilidade para cada fator, sendo elas:

- ✓ Medida μ : estimativa do efeito total do fator sobre a saída analisada;
- ✓ Medida σ : estimativa do conjunto de interações e não linearidades do fator.

A extensão do método, proposta por Campolongo, Cariboni e Saltelli (2007), baseia-se, principalmente, na inclusão de uma terceira medida nas análises, μ^* , que também está relacionada com a importância do fator na resposta do modelo.

Saltelli et al. (2004) destacam como vantagens do método de Morris (1991) o fato dele ser simples, fácil de implementar e dos seus resultados possuírem uma interpretação direta. Além disso, destacam o fato do método ser econômico no sentido de custo computacional, já que requer um número de avaliações do modelo que é linearmente proporcional ao número de fatores do modelo.

A principal desvantagem do método é que as interações individuais dos fatores não podem ser estimadas. O método oferece uma medida, σ , que engloba as interações do fator com o restante dos fatores do modelo e uma possível não linearidade, porém ele não fornece uma informação específica sobre as interações entre os fatores.

Outra desvantagem é o fato de o método depender de uma medida de sensibilidade, chamada efeito elementar, que usa incrementos proporcionais e é aparentemente local. Entretanto, as medidas finais, μ e μ^* , são obtidas, respectivamente, pela média de vários valores de efeitos elementares e pela média de seus valores absolutos, calculados em diferentes pontos do espaço, de modo que há independência dos pontos específicos nos quais os efeitos elementares são calculados. Por ser uma abordagem que explora diversas regiões do espaço dos fatores de entrada, é considerado, também, como Método de Análise de Sensibilidade Global.

3.4.2 Métodos de Análise de Sensibilidade Local

Segundo a classificação de Saltelli, Chan e Scott (2000), os Métodos de Sensibilidade Local são aqueles que fornecem a tendência do modelo analisado em um determinado ponto do espaço amostral, ou seja, para um dado cenário de controle, o que em muitas situações é exatamente o tipo de informação necessária. No caso de modelos complexos, os métodos de abrangência local podem servir como eficientes técnicas de exploração preliminar, permitindo delinear de forma mais precisa algum outro método mais sofisticado.

3.4.3 Métodos de Análise de Sensibilidade Global

Os Métodos de Sensibilidade Global são os métodos capazes de abranger todo o espaço amostral durante a análise, de forma que as escolhas dos analistas não sejam tão decisivas nos resultados alcançados. De forma geral, os métodos de abrangência global são mais complexos do que os de abrangência local, o que por vezes dificulta a execução de análises rotineiras.

3.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PROGRAMA HDM-4 JÁ REALIZADAS

3.5.1 Manuais do Programa

Conforme descrito no Capítulo 2, o programa computacional de gerência de pavimentos HDM-4 baseia-se em quatro modelos para gerar suas respostas, sendo eles: RD (*Road Deterioration* / Deterioração da Rodovia), WE (*Work Effects* / Efeitos das Intervenções), RUE (*Road User Effects* / Efeitos sobre os Usuários) e o SEE (*Safety, Energy and Environmental Effects* / Efeitos Ambientais, Energéticos e na Segurança).

Para tanto, o usuário do programa deve definir o problema a ser modelado, utilizando-se dos dados de entrada, que podem ser classificados em quatro tipos: seções da rede rodoviária, frota de veículos, intervenções e demais configurações (zonas climáticas, tipo de rodovia, comportamento da velocidade do fluxo de tráfego, entre outros).

O volume 5 dos manuais do programa HDM-4, escrito por Bennett e Paterson (2000), apresenta análises de sensibilidade conduzidas com os modelos RUE do HDM-4 e RD-WE do HDM-III, nos quais foram gerados níveis de sensibilidade e uma classificação foi sugerida.

Para esta análise os autores basearam-se no Método *Ceteris Paribus*, que, como já foi descrito, faz a variação de um fator por vez, sempre relacionado com um determinado cenário de controle. A medida de sensibilidade utilizada foi o impacto elástico dos fatores, que é simplesmente a relação entre a porcentagem da variação da resposta analisada e a porcentagem de mudança do fator que foi modificado. A equação 4 apresenta o cálculo do impacto elástico de um dado fator i .

$$e_i = \frac{\left(\frac{R_i - R_{cc}}{R_{cc}} \times 100\right)}{\left(\frac{V_i - V_{cc}}{V_{cc}} \times 100\right)} \quad (4)$$

Em que

e_i : Impacto elástico do fator i ;

R_i : Valor da resposta com variação do fator i ;

R_{cc} : Valor da resposta no cenário de controle;

V_i : Valor do fator i modificado em relação ao cenário de controle;

V_{cc} : Valor do fator i no cenário de controle.

Cabe a observação que a intenção de se chamar a atenção para a análise de sensibilidade nos manuais do programa é uma importante iniciativa, pois desperta o interesse do usuário para esta etapa essencial no que diz respeito ao bom uso da ferramenta. Porém, é indispensável alertar que o que foi apresentado possui inúmeros pontos que podem e devem ser melhorados, o que impede a utilização imediata dos resultados dispostos.

Segundo Odoki, Stannard e Kerali (2003), a versão 2 do programa HDM-4 apresenta melhorias no que diz respeito à análise de sensibilidade dos modelos. Segundo os autores, esta versão do HMD-4 permite que o usuário defina no próprio ambiente do programa qual análise de sensibilidade pretende fazer, gerando respostas imediatas sobre o cenário definido. Cabe a ressalva que a análise de sensibilidade gerada por esta versão também é feita pelo Método *Ceteris Paribus*, o que acaba acarretando as desvantagens já mencionadas pela utilização de tal método.

3.5.2 Outros trabalhos

Outros autores, observando as falhas aqui descritas, já propuseram análises de sensibilidade para os modelos HDM. É o caso de Mrawira et al. (1999), que utilizaram amostragem aleatória e modelagem de um emulador, ou seja, uma função que se aproxima do modelo verdadeiro, para análise de sensibilidade do programa HDM-III. Para a amostragem aleatória, utilizaram o delineamento de experimento pelo método do Hipercubo Latino. Para a geração de um emulador através de modelagem estatística, utilizaram a Regressão de Primeira Ordem e o Processo de Modelagem Estocástico Gaussiano. A resposta utilizada como base para os cálculos de sensibilidade foi o Valor Presente Líquido, o que gerou, portanto, índices de sensibilidade relacionados com a análise econômica de rodovias. Foram analisados 35 fatores de entrada do programa, sendo a maioria absoluta relacionada com a descrição da seção de rodovia em análise.

A principal deficiência do método utilizado por Mrawira et al. (1999) foi a utilização de um emulador para a realização das análises, pois, com a utilização deste artifício, a análise passa a ser mais demorada e complexa e, dependendo do emulador utilizado, possui certas limitações, como no caso da utilização de Regressão de Primeira Ordem, que não permite identificar interações entre variáveis e não linearidades do modelo.

Outro trabalho, neste caso já utilizando o HDM-4, é o apresentado por Roy, Isaac e Veeraragavan (2006), cuja análise de sensibilidade também baseada na modelagem estatística através de emuladores obtidos por Regressão de Primeira Ordem. O delineamento do experimento baseou-se na amostragem aleatória realizada sobre um conjunto pré-definido de combinações possíveis e a utilização do emulador também se apresentou como limitador dos resultados obtidos.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PROGRAMA HDM-4

Neste capítulo é apresentado o método selecionado para a condução das análises de sensibilidade do programa HDM-4, com a justificativa da seleção do Método dos Efeitos Elementares e uma descrição detalhada do mesmo. São descritas, também, as análises realizadas neste trabalho, que resultaram na determinação do número ótimo de trajetórias a ser utilizado e na avaliação do impacto de modificações nas considerações de projeto e de tráfego.

4.1 ESCOLHA DO MÉTODO

A escolha do método foi precedida por vasta pesquisa a respeito de análise de sensibilidade de modelos computacionais, sendo que, durante a revisão bibliográfica, chegou-se à conclusão de que o método a ser aplicado deveria ser capaz de identificar não somente a importância de cada fator para o modelo, mas, também, de reconhecer possíveis interações e efeitos não lineares. Por outro lado, o método procurado não deveria apresentar uma complexidade muito elevada, pois, além da aplicação acadêmica, a intenção deste trabalho é estimular usuários do programa, gerando, dessa forma um procedimento de análise aplicável na prática.

Optou-se, assim, por um método que se enquadrasse nos métodos de triagem, descritos no Capítulo 3, sendo que Salteli et al. (2004) destacam que métodos de triagem têm sido aplicados em vários estudos de modelos computacionais gerando bons resultados. A primeira opção analisada foi o Método *Ceteris Paribus*, já aplicado e apresentado por Bennett e Paterson (2000), autores do Volume 5 do manual do HDM-4, mas que foi descartado em razão das limitações do método, cuja aplicação é local, ou seja, restrita à região amostral próxima a um cenário de controle definido pelo analista. Outra limitação é o fato de não ter capacidade de reconhecer possíveis interações entre fatores ou não linearidades do modelo. A possibilidade analisada na sequência foi a utilização de métodos já aplicados em trabalhos anteriores, mas optou-se por não utilizar tais métodos pelo fato de utilizarem emuladores para

a geração dos resultados analisados. As simplificações feitas nesses casos podem acarretar erros e a não detecção de interações entre fatores ou não linearidades.

Outros métodos foram analisados, sendo o Método dos Efeitos Elementares, proposto por Morris (1991) e complementado por Campolongo et al. (2007), o escolhido para ser empregado no presente trabalho. Este método, que será descrito adiante, mostrou-se adequado para os fins mencionados, já que é um método cuja análise dos resultados é bastante intuitiva. Além disso, como destacado por Saltelli et al. (2000), este método pode ser considerado de amplitude global, i.e., abrange toda a região amostral determinada, não requer que simplificações sobre o comportamento do modelo sejam feitas, i.e., não precisa de emuladores, e é capaz de identificar a presença de interações entre fatores ou não linearidades do modelo. A principal limitação do método é o fato da não identificação de quais fatores estão envolvidos em determinada interação, ou seja, o método identifica possíveis interações ou não linearidades, mas não é capaz de desvendar quais fatores estão presentes nela.

4.2 MÉTODO DOS EFEITOS ELEMENTARES

O objetivo central do Método dos Efeitos Elementares, apresentado por Morris (1991), é determinar quais fatores do modelo têm efeitos que podem ser considerados:

- ✓ Negligenciáveis;
- ✓ Linear e aditivo;
- ✓ Não linear ou que envolvam interações com os outros fatores.

O delineamento do experimento baseia-se na mudança de um fator por vez, de forma aleatória, avaliando-se o impacto da mudança na resposta do modelo. Para ilustrar o delineamento do experimento, k será definido como o número de fatores que o modelo a ser analisado possui, o que gera um vetor entrada k -dimensional, aqui denominado \mathbf{X} . Os componentes de \mathbf{X} podem assumir, de acordo com o método, valores discretos dentro de um intervalo de variação, sendo que o número de valores possíveis será tratado pela letra p . Qualquer valor dos p níveis assumidos deve pertencer ao conjunto $\{0; 1/(p-1); 2/(p-1); \dots; 1\}$. Logo, a região experimental, Ω , será uma rede k -dimensional com p -níveis.

O método sugerido por Morris (1991) é baseado no chamado efeito elementar. O efeito elementar do *i*-ésimo fator de entrada (d_i) é definido conforme a Equação 5. Considera-se Δ como sendo um múltiplo de $1/(p - 1)$, x sendo um dado valor possível de \mathbf{X} e $y(x)$ sendo a resposta do modelo para o vetor entrada x .

$$d_i(x) = \frac{[y(x + e_i \Delta) - y(x)]}{\Delta} = \frac{[y(x_1, \dots, x_{i-1}, x_i + \Delta, x_{i+1}, \dots, x_k) - y(x)]}{\Delta} \quad (5)$$

Na equação, $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ é qualquer vetor de fatores pertencente ao espaço Ω , assim como o vetor $(x + e_i \Delta)$, onde e_i é um vetor de zeros, mas com valor igual a Δ no *i*-ésimo componente. O vetor $(x + e_i \Delta)$ pertence ao espaço Ω , para i variando de 1 a k .

Para a resolução do método, uma distribuição finita dos efeitos elementares associada com o *i*-ésimo fator de entrada é obtida por amostragem aleatória de x em Ω , sendo denominada F_i . Para a obtenção de cada $d_i(x)$ pertencente a F_i o método vale-se de matrizes de dimensão $(k + 1)$ por k , onde as linhas representam vetores de entrada \mathbf{X} e as colunas representam os k elementos de entrada do modelo. Essas matrizes são tratadas por Morris como trajetórias.

A amostragem proposta por Morris, através da geração de trajetórias, começa pela seleção aleatória de um vetor x^* , que é a primeira linha da trajetória, denominada vetor origem. Cada componente x_i de x^* é amostrado do conjunto $\{0; 1/(p - 1); 2/(p - 1); \dots; 1\}$. A segunda linha da trajetória, denominada $x^{(1)}$, é gerada modificando-se um dos componentes de x^* por Δ . A escolha de qual dos componentes de x^* variar é aleatória. A terceira linha da trajetória, $x^{(2)}$, é gerada modificando um dos componentes de $x^{(1)}$. A seleção de qual das componentes de $x^{(1)}$ modificar também é aleatória, porém a escolha é feita somente dentre os componentes que ainda não foram modificados, após comparação com o vetor origem. Ou seja, ao se gerar a linha $k+1$ da trajetória, todos os k elementos terão sido modificados uma vez. Dessa forma, cada trajetória permite a obtenção de k efeitos elementares, sendo que cada efeito elementar está associado à mudança de uma variável.

Para exemplificar, considere \mathbf{X} como o vetor de entrada de um modelo que possui 4 fatores de entrada. Com isso, é necessária a geração de r matrizes de tamanho 5×4 para a resolução do método dos efeitos elementares, ou seja, r trajetórias. A Equação 6 apresenta uma determinada trajetória z do experimento ilustrado, sendo x^* , $x^{(1)}$, $x^{(2)}$, $x^{(3)}$ e $x^{(4)}$ possíveis

valores de X e considerando-se $x^* = (x_1, x_2, x_3, x_4)$. Nota-se que a diferença entre x^* e $x^{(1)}$ se dá apenas no valor do fator x_3 . Dessa forma, o efeito elementar de x_3 , nesta trajetória, pode ser calculado conforme a Equação 7. Já entre $x^{(1)}$ e $x^{(2)}$, a diferença se dá no valor de x_1 , tornando possível o cálculo do efeito elementar $d_{1,z}(x)$. De forma similar é possível calcular todos os 4 efeitos elementares resultantes da trajetória z .

$$\text{Trajetória } z = \begin{Bmatrix} x^* \\ x^{(1)} \\ x^{(2)} \\ x^{(3)} \\ x^{(4)} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x_1 & x_2 & x_3 + \Delta & x_4 \\ x_1 + \Delta' & x_2 & x_3 + \Delta & x_4 \\ x_1 + \Delta' & x_2 & x_3 + \Delta & x_4 + \Delta'' \\ x_1 + \Delta' & x_2 + \Delta''' & x_3 + \Delta & x_4 + \Delta'' \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} d_{3,z}(x) &= \frac{[y(x^* + e_3\Delta) - y(x^*)]}{\Delta} = \frac{[y(x^{(1)}) - y(x^*)]}{\Delta} \\ &= \frac{[y(x_1, x_2, x_3 + \Delta, x_4) - y(x_1, x_2, x_3, x_4)]}{\Delta} \end{aligned} \quad (7)$$

A resolução do problema, proposta por Morris, depende de uma distribuição de efeitos elementares associada a um determinado fator de entrada. Como cada trajetória gera apenas um efeito elementar por fator, é indispensável a geração de r trajetórias independentes para que se possa proceder as análises. A definição do número r é um problema estatístico, pois o que está sendo realizado é uma amostragem aleatória de efeitos elementares, de forma que se possa fazer inferências sobre a população de efeitos possíveis. Campolongo et al. (2007) citam que a utilização do método baseia-se, geralmente, na construção de 10 a 50 trajetórias. Montgomery e Runger (2003) afirmam que uma amostragem aleatória com mais de 30 elementos pode ser considerada grande, o que permite fazer inferências sobre a população com as estatísticas da amostra sem grandes prejuízos.

Portanto, o delineamento do experimento necessário para implementar o método dos efeitos elementares é definido pela construção de r trajetórias, sendo r definido pelo analista. É importante lembrar que as r trajetórias geradas devem ser aleatórias e independentes, já que a análise do método é baseada nesse pressuposto.

Ao final do experimento proposto, os resultados obtidos são as distribuições de efeitos elementares F_i , para $i = 1, \dots, k$. Morris (1991) propõe duas medidas de sensibilidade para

cada fator, que são a média, μ , e o desvio padrão, σ , da distribuição F_i . O autor salienta que a comparação entre as médias dos efeitos elementares dos fatores permite identificar quais fatores têm maior influência na resposta do modelo, sendo os que possuem maiores médias os mais influentes. Já a análise do desvio padrão permite identificar quais fatores sofrem os efeitos de interações com outros fatores ou possuem comportamento não linear. Os fatores que possuem os maiores desvios padrão são aqueles que mais interagem com outros fatores ou que possuem comportamento não linear mais pronunciado.

Porém, conforme destacado por Campolongo et al. (2007), em alguns casos a medida de importância μ pode apresentar o que é definido em estatística como Erro Tipo II, ou seja, falhar na identificação de um fator de influência considerável sobre o modelo. Isso pode acontecer quando a distribuição F_i possuir tanto efeitos elementares positivos quanto negativos, i.e., se o modelo não for monolítico. Dessa forma, alguns efeitos podem ser cancelados com outros, produzindo um baixo valor de μ , até mesmo para um fator importante.

Para resolver o problema, Campolongo et al. (2007) propõem que se considere, juntamente com a distribuição F_i , uma distribuição denominada G_i . A distribuição G_i corresponde aos valores absolutos dos efeitos elementares obtidos em F_i . Com isso, gera-se uma terceira medida de sensibilidade, representada por μ^* , que é a média dos valores de G_i . A análise de μ^* é também uma análise da importância dos fatores sobre o modelo, porém é mais abrangente que μ , já que é aplicável tanto em modelos monolíticos quanto em modelos não monolíticos. As Equações 8, 9 e 10 apresentam as formas de cálculo de, respectivamente, μ , σ , e μ^* do i -ésimo fator de entrada de um dado modelo.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^r d_{i,j}/r \quad (8)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^r (d_{i,j} - \mu_i)^2/r} \quad (9)$$

$$\mu_i^* = \sum_{j=1}^r |d_{i,j}|/r \quad (10)$$

Em que:

$d_{i,j}$: Efeito elementar do fator i calculado na trajetória j ;

r : Número de trajetórias construídas no experimento.

4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS EFEITOS ELEMENTARES NO PROGRAMA HDM-4

4.3.1 Definição da Análise

Para tornar possível a aplicação do Método dos Efeitos Elementares nos modelos do programa HDM-4 foram necessárias definições de algumas situações. É válido lembrar que, apesar do presente trabalho ter utilizado algumas considerações particulares, a aplicação do método pode ser realizada em outras situações, necessitando, para tanto, somente de alguns ajustes. Dessa forma, apresenta-se uma forma genérica de análise de sensibilidade do programa HDM-4, aplicável, portanto, em diversas situações.

Primeiramente, foi essencial a divisão dos fatores de entrada do HMD-4 em duas categorias: os fatores quantitativos e os fatores qualitativos. Como já foi esclarecido, os fatores quantitativos são aqueles definidos por valores, enquanto os qualitativos são os definidos por classes. A divisão foi necessária porque cada tipo de fator requer um tipo de análise, tendo o presente estudo optado por trabalhar com os fatores quantitativos, pois são os mais numerosos e provavelmente os mais importantes para o modelo.

Uma segunda definição importante foi a escolha da classe de dados requeridos para servir de base para a análise de sensibilidade. Como o HDM-4 requer quatro tipos de dados (seções da rede rodoviária, frota de veículos, intervenções e demais configurações, englobando zonas climáticas, tipo de rodovia, comportamento da velocidade do fluxo de tráfego, entre outros) optou-se por tratar os dados que definem as seções da rede rodoviária, pois é a classe que mais possui afinidade com os conceitos relacionados à Engenharia de Infraestrutura de Transportes.

Outra escolha foi a definição de qual das respostas geradas pelos modelos seria utilizada para a realização dos cálculos. A opção escolhida foi a utilização do índice de análise econômica Valor Presente Líquido (VPL). O principal motivo desta escolha foi o fato de o HDM-4 ser

muito utilizado para análises de viabilidade de projetos, sendo, portanto, os índices econômicos muito empregados, inclusive nos trabalhos de Roy et al. (2006), que utilizaram a Taxa Interna de Retorno (TIR) na análise do HDM-4, e de Mrawira et al. (1999), que levaram em consideração o VPL para os cálculos da análise de sensibilidade do HDM-III. É notório destacar que o VPL tem sido considerado o critério mais importante em decisões de investimentos públicos (KLEIN, 2005).

A Tabela 12 apresenta um resumo das definições realizadas nesta etapa preliminar da análise de sensibilidade. As opções escolhidas para a aplicação no presente trabalho encontram-se em destaque.

Tabela 12 - Definições da etapa preliminar a análise de sensibilidade do HDM-4

| CATEGORIAS DE FATORES | | | |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|
| <i>Fatores Quantitativos</i> | | Fatores Qualitativos | |
| CLASSE DE DADOS REQUERIDOS PELO HDM-4 | | | |
| <i>Seção da Via</i> | Frota de Veículos | Intervenções | Demais Configurações |
| RESPOSTA EM ANÁLISE | | | |
| <i>Análise Econômica (Valor Presente Líquido - VPL)</i> | | | |

Outro importante passo para a realização dos estudos foi o delineamento do experimento computacional. Por se tratar do Método dos Efeitos Elementares, o delineamento para gerar o conjunto de fatores de entrada a ser aplicado no modelo foi baseado na construção de trajetórias, que são vetores de entrada amostrados aleatoriamente, onde cada vetor contém a mudança de um fator comparado com o vetor anterior. Dessa forma, cada trajetória permite o cálculo de um efeito elementar por fator envolvido na análise, como já foi esclarecido.

As opções realizadas definiram a quantidade de fatores envolvidos na análise a ser realizada. Neste trabalho, com a escolha de fatores quantitativos relacionados à caracterização das seções da rede rodoviária, o total de fatores analisados foi de 61. Dessa forma, as trajetórias geradas foram matrizes de dimensão 62 x 61, onde as 62 linhas representam 62 vetores de entrada do modelo e cada uma das 61 colunas representam um fator de entrada. Para a geração das trajetórias, definiu-se p como sendo 3, ou seja, cada fator possuiu 3 níveis dentro do seu intervalo de variação. A Tabela 13 mostra os 61 fatores analisados neste estudo, bem como os valores de cada um dos níveis. As escolhas das faixas de variação adotadas foram

balizadas, para alguns fatores, pelos limites pré-definidos pelo próprio programa HDM-4, ou seja, adotando-se os valores máximos e mínimos possíveis no modelo e, em outros casos, foram balizadas pelo seu significado na engenharia, buscando, particularmente, adequá-las para a realidade brasileira.

Tabela 13 - Fatores analisados e suas respectivas faixas de variação

| MÉTODO DOS EFEITOS ELEMENTARES - FATORES EM ANÁLISE | | | | | |
|--|--|----------------|---------------|----------|----------|
| Caracterização da Seção da Via | | | Níveis | | |
| Código | Variável | Unidade | 1 | 2 | 3 |
| ACA_INIT | Fator de Calibração para o Surgimento das Trincas Estruturais Totais | | 0,5 | 1 | 2 |
| ACA_PROG | Fator de Calibração para Progressão do Trincamento Estrutural Total | | 0,5 | 1 | 2 |
| ACT_INIT | Fator de Calibração para o Início do Trincamento Térmico Transversal | | 0,5 | 1 | 2 |
| ACT_PROG | Fator de Calibração para a Progressão do Trincamento Térmico Transversal | | 0,5 | 1 | 2 |
| ACW_INIT | Fator de Calibração para o Surgimento das Trincas Estruturais Largas | | 0,5 | 1 | 2 |
| ACW_PROG | Fator de Calibração para a Progressão das Trincas Estruturais Largas | | 0,5 | 1 | 2 |
| ALTITUDE | Altitude | m | 0 | 750 | 1500 |
| CBR | Índice de Suporte Califórnia | % | 4 | 10 | 16 |
| CRACK_CRT | Tempo de Retardo no Trincamento Devido à Manutenção | anos | 0 | 2 | 4 |
| CRACKS_TOT | Porcentagem da Área Total da Pista com Trincas Estruturais | % | 10 | 40 | 70 |
| CURVATURE | Curvatura Média Horizontal | °/km | 10 | 160 | 310 |
| CWAY_WIDTH | Largura da Faixa de Rolamento | m | 6,5 | 7 | 7,5 |
| DEFECTBASE | Indicador das Falhas Construtivas na Camada de Base | | 0 | 0,75 | 1,5 |
| DEFECTSURF | Indicador das Falhas Construtivas em Revestimentos Asfálticos | | 0,5 | 1 | 1,5 |
| DIST_ACA | Porcentagem da Área Total de Trincamento com Trincas Estruturais | % | 0 | 25 | 50 |
| DIST_ACT | Porcentagem da Área Total de Trincamento com Trincas Transversais Térmicas | % | 0 | 1 | 2 |
| DIST_ACW | Porcentagem da Área com Trincas Estruturais consideradas Largas | % | 0 | 25 | 50 |

| MÉTODO DOS EFEITOS ELEMENTARES - FATORES EM ANÁLISE | | | | | |
|--|---|--------------------|---------------|----------|----------|
| Caracterização da Seção da Via | | | Níveis | | |
| Código | Variável | Unidade | 1 | 2 | 3 |
| DRAINAGE | Fator de Calibração para a Drenagem | | 0,5 | 1 | 2 |
| DRAINLIFE | Fator de Calibração Para a Vida Útil da Drenagem | | 1 | 5 | 9 |
| EDGE_STEP | Desnível do Bordo | mm | 0 | 25 | 50 |
| EDGEB_PROG | Fator de Calibração para a Progressão das Trincas nos Bordo | | 0,5 | 1 | 2 |
| EDGEBREAK | Área com Trincas nos Bordos | m ² /km | 0 | 150 | 300 |
| ENFORCEMNT | Fator de Regulamentação da Velocidade | | 0,5 | 1 | 1,5 |
| ENVIR_FCTR | Fator de Calibração do Coeficiente Ambiental | | 0,5 | 1 | 2 |
| HSNEW | Espessura do Revestimento Mais Recente | mm | 50 | 75 | 100 |
| HSOLD | Espessura Total do Revestimento Antigo | mm | 30 | 50 | 70 |
| K_SNPK | Fator de Calibração para o Cálculo da Componente Estrutural da Irregularidade | | 0,5 | 1 | 2 |
| MT_AADT | Volume Diário Médio Anual de Veículos Motorizado | Veic/dia | 1000 | 10000 | 19000 |
| NM_AADT | Volume Diário Médio Anual de Veículos Não-Motorizado | Veic/dia | 100 | 800 | 1500 |
| NUM_RFS | Nº de Subidas e Descidas | nº/km | 1 | 3 | 5 |
| PHOLE_INIT | Fator de Calibração para o Início das Panelas | | 0,5 | 1 | 2 |
| PHOLE_NUM | Nº de Panelas | nº/km | 0 | 50 | 100 |
| PHOLE_PROG | Fator de Calibração para a Progressão das Panelas | | 0,5 | 1 | 2 |
| PREV_ACA | Área de Trincamento Total Ocorrido Antes da Última Reabilitação | % | 40 | 60 | 80 |
| PREV_ACW | Área com Trincas Largas Antes da Última Reabilitação | % | 20 | 30 | 40 |
| PREV_NCT | Nº de Trincas Térmicas Transversais Antes da Última Intervenção | nº/km | 0 | 1 | 2 |
| RAVEL_AREA | Porcentagem da Área Total da Pista Com Desgaste | % | 10 | 40 | 70 |
| RAVEL_INIT | Fator de Calibração para o Início do Desgaste | | 0,5 | 1 | 2 |

| MÉTODO DOS EFEITOS ELEMENTARES - FATORES EM ANÁLISE | | | | | |
|--|---|----------------|---------------|----------|----------|
| Caracterização da Seção da Via | | | Níveis | | |
| Código | Variável | Unidade | 1 | 2 | 3 |
| RAVEL_PROG | Fator de Calibração para a Progressão do Desgaste | | 0,5 | 1 | 2 |
| RAVEL_RRF | Fator de Retardo no Surgimento do Desgaste Devido à Manutenção | anos | 1 | 2,5 | 4 |
| REL_COMPCT | Compactação Relativa da Sub-base | % | 90 | 95 | 100 |
| RF | Média das Subidas e Descidas | m/km | 2 | 20 | 38 |
| ROUGH_FCTR | Fator de Calibração para a Progressão da Irregularidade | | 0,5 | 1 | 2 |
| ROUGHNESS | Irregularidade Superficial | m/km | 2 | 5 | 8 |
| RUT_DEPTH | Deformação Permanente Média | mm | 5 | 20 | 35 |
| RUT_INITDN | Fator de Calibração para Densificação Inicial | | 0,5 | 1 | 2 |
| RUT_PLASTC | Fator de Calibração para Deformação Plástica. | | 0,5 | 1 | 2 |
| RUT_STRUCT | Fator de Calibração para Deformação Estrutural | | 0,5 | 1 | 2 |
| SHLD_WIDTH | Largura do Acostamento | m | 0 | 1,5 | 3 |
| SKIDR_FCTR | Fator de Calibração para o Modelo de Resistência a Derrapagem | | 0,5 | 1 | 2 |
| SKIDR_SPED | Fator de Calibração para o Efeito da Velocidade na Resistência à Derrapagem | | 0,5 | 1 | 2 |
| SKIDRESIST | Resistência à Derrapagem | | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| SN | Nº Estrutural do Pavimento | | 2 | 4 | 6 |
| SNP_RATIO | Fator de Calibração para a Razão do SNP das Estações Úmida e Seca | | 1 | 5 | 9 |
| SPEED_LIM | Limite de Velocidade Regulamentado | km/h | 60 | 90 | 120 |
| SUPERELEV | Superelevação | % | 2 | 5 | 8 |
| TEXT_DEPTH | Profundidade da Macrotextura | mm | 0,3 | 0,5 | 0,7 |
| TEXTD_FCTR | Fator de Calibração para o Modelo da Profundidade da Macrotextura | | 0,5 | 1 | 2 |
| XFRI | Fator de Redução Devido ao Atrito Lateral | | 0,6 | 0,8 | 1 |

| MÉTODOS DOS EFEITOS ELEMENTARES - FATORES EM ANÁLISE | | | | | |
|--|--|---------|--------|-----|---|
| Caracterização da Seção da Via | | | Níveis | | |
| Código | Variável | Unidade | 1 | 2 | 3 |
| XMT | Fator de Redução Devido aos Veículos Motorizados | | 0,4 | 0,7 | 1 |
| XNMT | Fator de Redução Devido aos Veículos Não-Motorizados | | 0,6 | 0,8 | 1 |

Para a construção das trajetórias utilizadas no presente trabalho, foram elaboradas planilhas eletrônicas que realizavam desde o sorteio dos valores a serem empregados, até a gravação de arquivos com extensão “dbf”. Desta forma, foi possível automatizar o processo de obtenção das matrizes aleatórias exigidas pelo método escolhido. A Figura 17 apresenta o arranjo dado à planilha de sorteio de matrizes base das trajetórias. Esta planilha foi elaborada no programa Microsoft Excel e fez uso de programação na linguagem Visual Basic para a automatização de alguns procedimentos. A aleatoriedade das mudanças nos valores dos fatores de entrada foi obtida através da mescla de algumas funções fornecidas pelo programa. Dentre as funções mais importantes encontram-se as funções de condição (SE), sorteio (ALEATÓRIOENTRE) e de classificação (ORDEM). Nesta etapa, os valores dos fatores foram tratados de forma codificada, apresentando os níveis 1, 2 ou 3 ao invés dos valores reais.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data structure:

| VECTORES ORIGEM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 012_CWAY_WIDTH | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 013_SHLD_WIDTH | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 015_MT_AADT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 016_NM_AADT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 019_RF | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 020_NUM_RFS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 021_SUPERELEV | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 022_CURVATURE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 024_SPEED_LIM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 025_ENFORCEMNT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 026_XNMT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 027_XM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

Figura 17 - Arranjo da planilha de sorteio das trajetórias.

A Figura 18 apresenta o arranjo da segunda planilha elaborada para a criação das trajetórias, através da qual transforma-se a matriz base, gerada na planilha de sorteio (Figura 17), em uma matriz com os valores reais dos fatores. Para tanto, foi necessário preencher os campos da planilha que representam os três níveis de valores de cada fator (1: Baixo; 2: Médio; 3: Alto).

| EXPERIMENTO DE TRIAGEM DOS DADOS | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------|--------|--|----------|------|-------|-------|---------|
| DADOS RELACIONADOS COM A SEÇÃO | | | | | | | | |
| 1 | Código | Sigla | Variável | Unidade | 1 | 2 | 3 | Δ faixa |
| 1 | CWAY_WIDTH | CW | Largura da Faixa de Rolamento | m | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 1 |
| 2 | SHLD_WIDTH | SW | Largura do Acostamento | m | 0 | 1,5 | 3 | 3 |
| 3 | MT_AADT | AADT | Volume Diário Médio Anual de Veículos Motorizado | Veic/dia | 1000 | 10000 | 19000 | 18000 |
| 4 | NM_AADT | AADT | Volume Diário Médio Anual de Veículos Não-Motorizado | Veic/dia | 100 | 800 | 1500 | 1400 |
| 5 | RF | RF | Média das Subidas e Descidas | m/km | 2 | 20 | 38 | 36 |
| 6 | NUM_RFS | NUM_RF | Nº de Subidas e Descidas | | 1 | 3 | 5 | 4 |
| 7 | SUPERLEV | e | Superelevação | % | 2 | 5 | 8 | 6 |
| 8 | CURVATURE | C | Curvatura Média Horizontal | °/km | 10 | 150 | 310 | 300 |
| 9 | SPEED_LIM | PLIMIT | Limite de Velocidade Regulamentado | km/h | 60 | 90 | 120 | 60 |
| 10 | ENFORCEMNT | ENFAC | Fator de Regulamentação da Velocidade | | 0,5 | 1 | 1,5 | 1 |
| 11 | XNMT | XNMT | Fator de Redução Devido aos Veículos Não-Motorizados | | 0,6 | 0,8 | 1 | 0,4 |
| 12 | XMT | XMT | Fator de Redução Devido aos Veículos Motorizados | | 0,4 | 0,7 | 1 | 0,6 |
| 13 | XFRI | XFRI | Fator de Redução Devido ao Atrito Externo | | 0,6 | 0,8 | 1 | 0,4 |
| 14 | HSNEW | HSNEW | Espessura do Revestimento Mais Recente | mm | 50 | 75 | 100 | 50 |
| 15 | HSOLD | HSOLD | Espessura Total do Revestimento Antigo | mm | 30 | 50 | 70 | 40 |
| 16 | REL_COMPCT | COMP | Compactação Relativa da Sub-base | % | 90 | 95 | 100 | 10 |
| 17 | SN | SN | Nº Estrutural do Pavimento | | 2 | 4 | 6 | 4 |
| 18 | CBR | CBR | Índice de Suporte Califórnia | % | 4 | 10 | 16 | 12 |
| 19 | ROUGHNESS | IRI | Irregularidade Superficial | m/km | 2 | 5 | 8 | 6 |
| 20 | CRACKS_TOT | ACRA | Porcentagem da Área Total da Pista com Trincas Estruturais | % | 10 | 40 | 70 | 60 |
| 21 | RAVEL_AREA | ARV | Porcentagem da Área Total da Pista Com Desgaste | % | 10 | 40 | 70 | 60 |
| 22 | PHOLE_NUM | NPT | Nº de Painelas | nº/km | 0 | 50 | 100 | 100 |

Figura 18 - Arranjo da planilha que descodifica os valores das matrizes geradas na etapa de sorteio.

Em uma terceira planilha, os valores dos fatores sob análise são incorporados às demais variáveis, mantidas com valores constantes, de forma a gerar um arquivo compatível com a entrada de dados do programa HDM-4 (Figura 19). É importante observar que a forma de entrada dos valores dos fatores deve ser feita exatamente da forma como são apresentados no programa HDM-4, pois caso não seja, haverá erro no momento em que a trajetória estiver sendo simulada no programa.

Uma quarta planilha foi desenvolvida somente com a função de ajustar os dados consolidados e gravá-los em formato “dbf”. Esta última planilha de apoio foi concebida na versão 2003 do programa Microsoft Excel, pelo fato deste apresentar a possibilidade de gravação na extensão necessária.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Gerenciador_DBF - Microsoft Excel'. The spreadsheet is divided into two main sections. On the left, there is a control panel with buttons for 'Gerar DBF', 'GERAR', 'DELETAR', and 'EXPORTAR', along with input fields for 'Nome do DBF', 'N° da Última Pasta', and 'Localização do Arquivo'. The main area of the spreadsheet is a table with the following columns: SECT_ID, SECT_NAME, LINK_ID, LINK_NAME, SPEED_FLOW, TRAF_FLOW, ROAD_CLASS, CLIM_ZONE, SURF_CLASS, PAVE_TYPE, LENGTH, CWAY_WIDTH, SHLD_WIDTH, and NUM_LANES. The table contains multiple rows of data, all with identical values: SECT_ID is empty, SECT_NAME is 'Primary or Trunk', LINK_ID is empty, LINK_NAME is 'Two Lane Standard', SPEED_FLOW is 'Free-Flow', TRAF_FLOW is 'Primary or Trunk', ROAD_CLASS is 'Sub-humid/Tropical', CLIM_ZONE is '0', SURF_CLASS is '0', PAVE_TYPE is '0', LENGTH is '10,00', CWAY_WIDTH is '0', SHLD_WIDTH is '0', and NUM_LANES is '2,00'.

Figura 19 - Layout da planilha de incorporação dos fatores simulados e dos não simulados.

4.3.2 Definição do Número de Trajetórias

A definição do número de trajetórias a ser utilizado no Método dos Efeitos Elementares é um problema estatístico que deve ser resolvido para que a aplicação do método seja eficaz, conforme já apresentado. Apesar de haver indicações sobre o número de trajetórias a se usar, nenhum autor afirma diretamente qual deve ser este número. Assim, a primeira etapa consistiu na realização de análises que pudessem fundamentar a escolha de um número de trajetórias ótimo para a aplicação do método na análise de sensibilidade do programa HDM-4. A seguir são apresentados os passos que tornaram possível esta definição.

Passo 1 - Definição do Cenário e Demais Variáveis

No presente trabalho optou-se por analisar os fatores quantitativos relacionados com a caracterização das seções da rede rodoviária. Com isso, para que o programa HDM-4 gerasse respostas, foi necessária a definição dos valores das demais variáveis envolvidas. A seguir são apresentadas as definições do cenário que possibilitou a determinação do número ótimo de trajetórias.

Caracterização das seções da rede rodoviária

A Tabela 14 apresenta as escolhas realizadas para as variáveis qualitativas envolvidas na descrição das seções da rede rodoviária. Vale a pena destacar, dentre as definições, a escolha por vias com pavimentação de revestimento asfáltico sobre base granular. Sabe-se que essas escolhas podem influenciar os resultados, porém a identificação dessa influência, assim como sua quantificação, não será abordada neste trabalho.

Tabela 14 – Condição assumida para os fatores qualitativos no estudo de caso

| FATOR QUALITATIVO | CONDIÇÃO ASSUMIDA |
|--|---------------------------------------|
| Classe da rodovia | Principal |
| Classe da superfície de rolamento | Asfáltica |
| Tipo de pavimento | Mistura asfáltica sobre base granular |
| Direção do fluxo | Ambas as direções |
| Número de faixas | Duas |
| Material da superfície de rolamento | Concreto asfáltico (CBUQ) |
| Condição de drenagem | Regular |
| Intervalo de tempo entre a ocorrência da panela e o seu remendo | Menor que duas semanas |
| Tipo de drenagem | Forma de V |

Caracterização da frota de veículos

Os dados relacionados com a frota descrevem as características dos veículos que utilizam a rede rodoviária em estudo. Neste estudo, foram definidas apenas duas classes de transporte motorizado, caminhão pesado e automóvel médio, e duas classes de transporte não motorizado, ciclista e pedestre, que foram utilizadas em todas as simulações realizadas. As Tabelas 15 e 16 apresentam, respectivamente, as principais características dos transportes motorizados e não motorizados utilizados. Além da definição das características dos veículos e do tráfego não motorizado, a simulação no HDM exige que o usuário indique a composição da frota (Tabela 17).

Tabela 15 - Características dos transportes motorizados utilizados na análise

| CARACTERÍSTICA | AUTOMÓVEL MÉDIO | CAMINHÃO PESADO |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| Tipo Padrão do HDM | Medium Car | Truck – heavy |
| Classe | Carro de Passageiro | Caminhão |
| Categoria | Motorizado | Motorizado |
| Nº de Eixos | 2 | 3 |
| Nº de Rodas | 4 | 10 |
| Tipo de Pneu | Radial | Diagonal |
| Peso de Operação (t) | 1,2 | 13 |
| ESALF⁽¹⁾ | 0 | 2,28 |
| PCSE⁽²⁾ | 1 | 1,6 |

⁽¹⁾ Equivalent Standard Axles Load Factor = fator de equivalência de cargas.

⁽²⁾ Passenger Car Space Equivalent = fator de equivalência ao espaço do veículo de passageiro.

Tabela 16 - Características dos transportes não motorizados utilizados na análise

| CARACTERÍSTICA BICICLETA | | CARACTERÍSTICA PEDESTRE | |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| Tipo Padrão do HDM | Bicycle | Tipo Padrão do HDM | Pedestrian |
| Classe | Bicicleta | Classe | Pedestre |
| Categoria | Não Motorizado | Categoria | Não Motorizado |
| Nº de Rodas | 2 | Peso de Operação (kg) | 80 |
| Peso de Operação (kg) | 100 | Carga carregada (kg) | 15 |
| Vida Útil (anos) | 10 | | |
| Horas de uso | 150 | | |
| Percurso anual (km) | 2500 | | |
| Passageiros | 1 | | |

Tabela 17 - Composição de tráfego utilizada na análise

| TIPO DE TRANSPORTE | CLASSE | PORCENTAGEM DO VDM |
|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| Motorizado | Automóvel Médio | 70 |
| | Caminhão Pesado | 30 |
| Não Motorizado | Pedestre | 50 |
| | Ciclista | 50 |

Intervenções

Para a geração de indicadores econômicos existe a necessidade de se definir pelo menos duas alternativas de intervenções a serem comparadas, mesmo que uma delas seja a não execução de manutenção e melhorias. Neste trabalho, foram escolhidos dois padrões de intervenções pré-definidos no programa HDM-4, sendo que cada padrão de intervenção envolve uma série de atividades na rodovia. A Tabela 18 apresenta as duas estratégias de intervenções utilizadas e suas atividades relacionadas.

Tabela 18 - Estratégias de intervenção utilizadas na análise

| ESTRATÉGIA DE INTERVENÇÃO 1 | |
|------------------------------------|---|
| Nomenclatura | <i>P2P3P4: Rout + 50 mm overlay</i> |
| Atividades | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Recapeamento de 50 mm se IRI 6 ✓ Recapeamento de 50 mm se IRI 6 ou área trincada for 15% ✓ Remendo e selagem de trincas |
| ESTRATÉGIA DE INTERVENÇÃO 2 | |
| Nomenclatura | <i>PHT4: Patch, Reseal, Overlay e Reconstruct</i> |
| Atividades | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Reconstrução se IRI 8 ✓ Recapeamento de 50 mm se IRI 6 ✓ Selagem quando 20% da área estiver defeituosa ✓ Remendo de Painelas |

Configurações Gerais

As configurações do HDM incluem definição dos padrões de fluxo de tráfego, tipos de rodovias, zonas climáticas e moeda corrente. Foram utilizadas definições já presentes no programa HDM-4. A Tabela 19 exhibe as configurações adotadas neste trabalho lembrando-se que cada escolha implica na definição de alguns parâmetros utilizados na modelagem, conforme discutido no Capítulo 2.

Tabela 19 - Configurações gerais utilizadas

| FATOR | ESCOLHA DO EXPERIMENTO |
|------------------------|---------------------------------------|
| Tipo do tráfego | Tráfego com velocidade de fluxo livre |
| Tipo da rodovia | Pista simples com duas faixas padrão |
| Zona climática | Sub-úmida tropical |
| Moeda Corrente | Dólar |

Considerações do Projeto

Cada projeto a ser analisado possui um conjunto de considerações que guiam suas análises. Essas definições são de suma importância para que a simulação represente de forma correta a realidade. O programa HDM-4 requer que cada projeto seja definido individualmente pelo analista, o que exige que os valores de período de análise, de taxa de desconto e de taxa de crescimento do tráfego sejam fixados pelo usuário. Assim, foram definidos para esta análise preliminar os seguintes valores:

- ✓ Período de Análise: 25 anos;
- ✓ Taxa de Desconto: 12% ao ano;
- ✓ Taxa de Crescimento do Tráfego: 5% ao ano.

Passo 2 - Geração das Trajetórias

Com o cenário definido, foram geradas, a partir das planilhas eletrônicas apresentadas anteriormente, 300 trajetórias, totalizando um esforço computacional de 18.600 simulações (18.600 simulações = 300 trajetórias x 62 vetores/trajetória).

Passo 3 - Simulação no Programa HDM-4

Conforme já esclarecido, através das planilhas eletrônicas foi possível obter as trajetórias necessárias para as análises no formato de banco de dados, ou seja, arquivos com extensão “dbf”. Este tipo de extensão é compreendido pelo programa HDM-4. Dessa maneira, foi possível importar os arquivos que continham as trajetórias geradas e proceder as simulações no programa. A Figura 20 apresenta uma simulação do HDM sendo executada. A ferramenta de análise utilizada para proceder as simulações foi a análise de projetos.

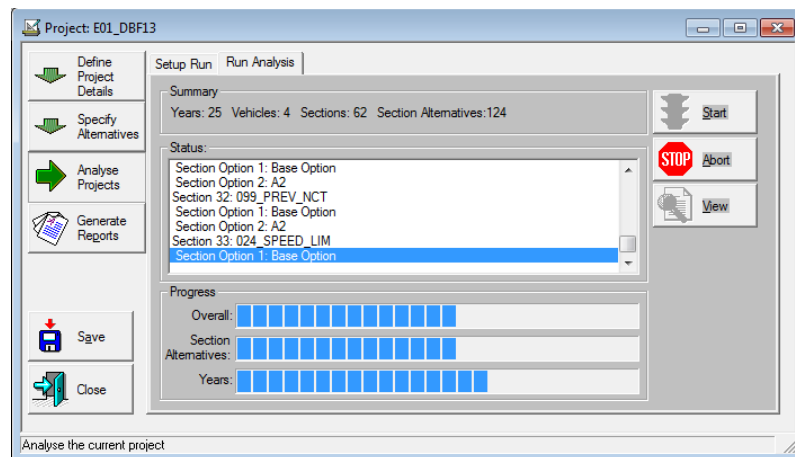


Figura 20 - Simulação sendo executada no HDM-4.

Ao final das simulações, o programa HDM-4 gerou, para cada trajetória, um resumo das análises econômicas, do qual foi possível retirar os valores da resposta escolhida para análise, ou seja, o Valor Presente Líquido de cada vetor de entrada (Figura 21).

| | | Increase in Road Agency Costs | | | Savings in MT VOC | Savings in MT Travel Time Costs | Savings in NMT Travel & Operating Costs | Reduction in Accident Costs | Net Exogenous Benefits | Net Economic Benefits (NPV) |
|---|-------|-------------------------------|-----------|---------|-------------------|---------------------------------|---|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | | Capital | Recurrent | Special | | | | | | |
| Section: VETOR ORIGEM Alternative: A2 vs Base Alternative | | | | | | | | | | |
| Undiscounted | -3,71 | -0,03 | 0,00 | 3,40 | 0,00 | 0,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7,76 |
| Discounted | -0,68 | -0,04 | 0,00 | 1,20 | 0,00 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,13 |
| Economic Internal Rate of Return (EIRR) = 105,8% (No. of solutions = 2) | | | | | | | | | | |
| Section: 016_NM_AADT Alternative: A2 vs Base Alternative | | | | | | | | | | |
| Undiscounted | -3,71 | -0,03 | 0,00 | 3,40 | 0,00 | 0,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7,48 |
| Discounted | -0,68 | -0,04 | 0,00 | 1,20 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,03 |
| Economic Internal Rate of Return (EIRR) = 101,2% (No. of solutions = 2) | | | | | | | | | | |

Figura 21 - Forma de apresentação do resumo das análises econômicas realizadas pelo HDM-4.

Passo 4 – Cálculo dos Efeitos Elementares

Para que a análise dos dados pudesse ser processada foi necessário que os efeitos elementares de cada fator, em todas as trajetórias, fossem calculados. No presente estudo, devido as escolhas e decisões tomadas, a Equação 5 pode ser adaptada e, dessa forma, os efeitos elementares puderam ser calculados segundo a Equação 11.

$$d_{i,j}(x) = \frac{[VPL(x_k) - VPL(x_{k-1})]}{\Delta} \quad (11)$$

Em que:

$d_{i,j}$: efeito elementar do i -ésimo fator de entrada calculado na trajetória j ;

VPL(): Valor Presente Líquido calculado para um dado vetor de entrada;

x_k : vetor entrada do modelo, posicionado na linha k da trajetória, que contém os 61 fatores em análise, $x = \{x_1, x_2, \dots, x_{61}\}$;

Δ = variação do valor do i -ésimo fator de entrada nos vetores de entrada x_k e x_{k-1} .

Conforme o estabelecido, i varia de 1 a 61, pois representa os fatores em análise, k varia de 2 a 62, pois representa as linhas da matriz trajetória, esclarecendo-se que somente com a primeira linha não é possível o cálculo de um efeito elementar, e j varia de 1 a r , onde r é o número de trajetórias construídas.

Após o cálculo de todos os efeitos elementares, as distribuições F_i e G_i , associadas aos 61 fatores de entrada, podem ser obtidas em cada trajetória, permitindo o cálculo dos índices μ , σ e μ^* propostos pelo método.

Passo 5 – Análises para Definição do Número de Trajetórias

Para a definição do número de trajetórias ótimo a ser utilizado na análise de sensibilidade do programa HDM-4, foram feitas duas análises com os resultados das simulações. A primeira teve o intuito de medir a precisão em relação a uma amostra de referência, enquanto a segunda teve o intuito de medir a variabilidade entre as análises que continham o mesmo número de trajetórias.

Análise da precisão - Via identificação das principais variáveis (“Top 12”)

Conforme já salientado, uma das principais utilidades da análise de sensibilidade é entender quais os fatores que mais contribuem para a variação dos resultados do modelo. Partindo deste pressuposto, para a obtenção do número ótimo de trajetórias no presente trabalho, foi feita uma análise através da qual se mediu a precisão do Método dos Efeitos Elementares na obtenção dos fatores mais importantes e mais influentes em comportamentos não lineares, variando o número de trajetórias utilizado. Para tanto, foram feitas as seguintes considerações:

- ✓ O grupo de referência, ou seja, o que foi considerado como o mais preciso e que serviu de base para as comparações, foi composto de uma amostra com 250 trajetórias;
- ✓ Definiu-se como sendo os fatores mais importantes e os com comportamento não linear mais pronunciado os 12 com maiores valores de μ^* e σ , respectivamente, dentro de cada análise. A definição pelos 12 fatores com maiores índices, ou seja, aproximadamente 20% dos 61 fatores em análise, baseou-se na Lei de Pareto, que

afirma que para muitos processos, 20% dos fatores são responsáveis por 80% do resultado dos mesmos;

- ✓ Foram analisados, além do grupo de referência, composto de 250 trajetórias, 5 grupos de 60 trajetórias, 5 grupos de 50 trajetórias, 5 grupos de 40 trajetórias, 5 grupos de 30 trajetórias, 5 grupos de 20 trajetórias e 5 grupos de 10 trajetórias, todos independentes entre si, conforme a Figura 22.

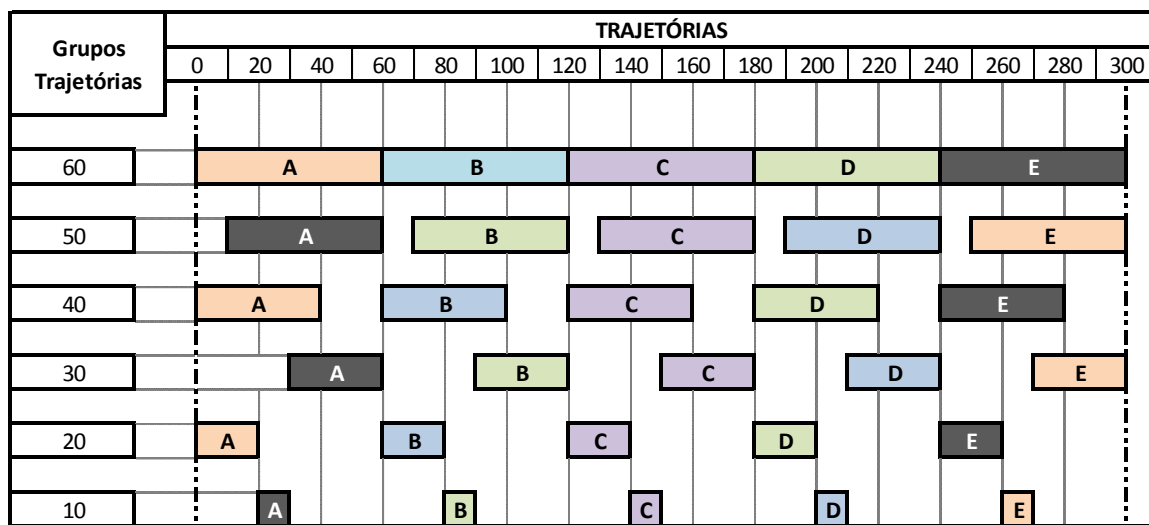


Figura 22 - Distribuição dos grupos utilizados nas análises.

Com base nos resultados obtidos, foram feitas duas análises distintas. A primeira delas considerou os 12 fatores que apresentaram os maiores valores do índice μ^* em todos os grupos analisados. A partir disso, foram analisados quantos dos 12 fatores obtidos no grupo de referência não foram identificados nos 12 fatores de cada um dos demais grupos. Como se partiu da premissa que o grupo de referência é o que permitiu a melhor precisão do Método dos Efeitos Elementares, por apresentar o maior número de trajetórias, foi possível afirmar que quanto maior o número de diferenças encontradas, maior a imprecisão da análise do grupo. A segunda análise baseou-se na mesma ideia da primeira, porém considerando o índice σ , tornando possível analisar a precisão dos grupos na identificação dos fatores que possuem o comportamento não linear mais pronunciado.

Análise da variabilidade – Via mudança de posições no ranking

Outra importante análise realizada foi a que avaliou a variabilidade das análises de sensibilidade quando se trabalha com grupos com o mesmo número de trajetórias. Buscando obter esta sensibilidade, foram realizadas análises que mediram a mudança de posição dos

fatores, ranqueados pelo valor de μ^* e σ , de um grupo para o outro, com o mesmo número de trajetórias. Ou seja, se vários grupos identificaram o fator como, por exemplo, o sétimo fator mais importante da análise, isto é bom, pois indica consistência nas mesmas. Porém, se uma hora o fator aparece como sétimo mais importante, outra ele aparece como vigésimo e outra como quinquagésimo, a confiabilidade nos resultados obtidos através deste número de trajetórias é baixa.

Para tanto foram utilizados os mesmos grupos da análise de precisão apresentada anteriormente. O método consistiu na geração de 5 rankings diferentes, um para cada um dos 5 grupos de trajetórias (60, 50, 40, 30, 20 e 10), considerando os índices μ^* e σ . Em seguida, foi calculado o desvio padrão das posições, de cada um dos fatores, nos rankings dos grupos com o mesmo número de trajetórias. Com estes resultados, pode-se inferir que quanto mais baixo este valor de desvio, mais confiáveis são as análises (no caso de ser zero, significa que o fator manteve-se sempre na mesma posição). Para resumir os grupos de trajetórias, foi calculada a média dos desvios padrão de todas as variáveis.

4.3.3 Análises de Sensibilidade Relacionadas à Modificação de Cenários

Além da definição do número de trajetórias ótimo a ser utilizado nas análises de sensibilidade, o presente trabalho buscou estudar, também, a sensibilidade das respostas encontradas ao se modificar o cenário pré-definido. Para tanto, foram modificadas variáveis relacionadas a dois tipos de dados: Considerações de Projeto e Considerações de Tráfego. A seguir são apresentadas as justificativas dos tipos de dados escolhidos e as análises que foram processadas.

Análise de Modificações nas Considerações de Projeto

A opção por estudar o impacto da mudança dos fatores relacionados às considerações de projetos se deu pelo fato destas variáveis serem de extrema importância para a adequação do modelo à realidade em que a simulação está inserida. Por exemplo, a escolha da taxa de desconto, geralmente, é cercada de incertezas, pois depende do cenário econômico, político e social do local, em um período de análise. O período de análise é outra variável importante para o modelo, pois define o horizonte do estudo e pode assim como a taxa de desconto, tornar um negócio viável ou não.

Passo 1 - Definição dos Cenários

O presente estudo fez a análise das seguintes variáveis: Taxa de Desconto Monetário Anual e Período de Análise. A Tabela 20 apresenta os valores de referência adotados, assim como os valores adotados em outros cenários, sempre variando um dos fatores.

Tabela 20 - Cenários utilizados para análise dos impactos das modificações nas considerações de projeto

| Variável | Unidade | Cenários | | | | |
|---------------------------|-----------|------------|----|----|----|----|
| | | Referência | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Taxa de Desconto | (% / ano) | 12 | 6 | 18 | 12 | 12 |
| Período de Análise | (anos) | 25 | 25 | 25 | 15 | 35 |

As variáveis que não foram envolvidas nas análises continuaram com os valores constantes e iguais aos descritos no item 4.3.2 deste trabalho. Já os fatores que formam as trajetórias variaram de forma aleatória, conforme apresentado no item 4.3.1 deste trabalho.

Passo 2 - Geração das Trajetórias

Para a realização das análises foram geradas 30 trajetórias, simuladas nos cinco cenários descritos anteriormente, totalizando um esforço computacional de 9.300 simulações (9.300 simulações = 30 trajetórias x 62 vetores/trajetória x 5 cenários) somente nesta etapa. Salientando-se que as trajetórias foram geradas a partir das planilhas eletrônicas apresentadas anteriormente.

Passo 3 - Simulação no Programa HDM-4

A simulação no programa HDM-4 ocorreu da mesma forma que foi apresentada no item 4.3.2 deste trabalho.

Passo 4 – Cálculo dos Efeitos Elementares

O cálculo dos efeitos elementares foi realizado da mesma forma como foi apresentado no item 4.3.2 deste trabalho.

Passo 5 – Análises de Sensibilidade às Variações Propostas

Para a mensuração da sensibilidade do programa HDM-4 frente às alterações feitas nas condições de projeto, foram feitas duas análises com os resultados das simulações. A primeira análise teve o intuito de avaliar o impacto da variação dos cenários na identificação dos principais fatores, sempre em relação ao cenário de referência. Já a segunda análise teve o intuito de avaliar o impacto das mesmas mudanças de cenário, agora considerando a

hierarquização de todos os fatores, rastreando a variabilidade de posições entre as análises dos vários cenários definidos.

Análise de sensibilidade - Identificação das principais variáveis (Top 12)

Para avaliação do impacto causado pela mudança nas condições de projeto sobre a identificação das principais variáveis, foram considerados tanto os 12 fatores com maior índice μ^* (impacto na análise de importância) bem como os fatores com maior valor do índice σ (impacto na análise de não linearidade), sempre em relação ao cenário de referência. Assim foi possível analisar quantos fatores identificados como principais no cenário de referência não estavam presentes nas identificações dos demais cenários, permitindo mensurar o impacto causado pela mudança proposta.

Análise de sensibilidade - Variabilidade na hierarquização dos fatores

Avaliou-se a mudança de posições de cada fator, classificados pelo valor de μ^* e σ , em dois conjuntos de cenários, descritos na Tabela 21. A análise foi feita através dos desvios padrão das posições de cada variável, considerando-se a condição de referência e as modificações propostas, sendo determinado um índice, calculado pela média dos desvios padrões das variáveis. É notório observar que cada conjunto envolve os cenários relacionados com uma variável de projeto, por exemplo, o conjunto A, que avaliou as mudanças de posição nos cenários de referência, 1 e 2, está associado a variação da Taxa de Desconto. Essa análise permite a mensuração da perturbação causada pelas modificações nas variáveis de projeto, facilitando a comparação entre as variáveis analisadas.

Tabela 21 - Conjuntos de cenários utilizados para análise de variabilidade das posições geradas

| Conjunto | Variável avaliada | Cenários envolvidos na análise de variabilidade |
|-----------------|--------------------------|--|
| A | Taxa de Desconto | Referência + 1 + 2 |
| B | Período de Análise | Referência + 3 + 4 |

Análise de Modificações nas Considerações de Tráfego

O tráfego é importante na análise de qualquer projeto de infraestrutura rodoviária, porque é através dele que são obtidos os parâmetros necessários para o dimensionamento estrutural do pavimento e cálculo dos custos relacionados aos usuários, como o feito pelo programa HDM-4, analisado no presente trabalho. Assim, procurou-se verificar quais os impactos que as mudanças do Percentual de Veículos Comerciais e da Taxa de Crescimento Anual do

Tráfego causariam nas análises de sensibilidade procedidas através do Método dos Efeitos Elementares.

Os passos para a mensuração do impacto causado pelas alterações nas condições de tráfego foram os mesmos apresentados para a avaliação das modificações das variáveis de projeto. Os cenários utilizados para as simulações no programa HDM-4 estão expostos na Tabela 22. Também foram geradas 30 trajetórias para a realização das simulações, totalizando um esforço computacional de 9300 simulações (9300 simulações = 30 trajetórias x 62 vetores/trajetória x 5 cenários).

Tabela 22 - Cenários utilizados para análise dos impactos das modificações nas considerações de tráfego

| Variável | Unidade | Cenários | | | | |
|--------------------------------------|---------|------------|----|----|----|----|
| | | Referência | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Porcentagem de Veículos Comerciais | (%) | 30 | 10 | 50 | 30 | 30 |
| Taxa de Crescimento Anual do Tráfego | (%) | 5 | 5 | 5 | 2 | 8 |

Da mesma forma como foi procedida a avaliação dos impactos das modificações nas variáveis de projeto, também foram realizadas duas análises com os resultados obtidos das simulações. Vale salientar que, neste caso, na análise de sensibilidade através da variabilidade de posições foram levados em conta os dois conjuntos apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Conjuntos de cenários utilizados para análise de variabilidade das posições geradas

| Conjunto | Variável avaliada | Cenários envolvidos na análise de variabilidade |
|----------|--------------------------------------|---|
| A | Porcentagem de Veículos Comerciais | Referência + 1 + 2 |
| B | Taxa de Crescimento Anual do Tráfego | Referência + 3 + 4 |

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo destina-se à apresentação dos resultados obtidos, após a aplicação do método proposto, juntamente com a discussão do que foi observado. Seguem, portanto, a análise para a definição do número de trajetórias a ser usado no Método dos Efeitos Elementares no programa HDM-4, além da mensuração dos impactos das modificações nas considerações de projeto e de tráfego nas análises de sensibilidade realizadas.

5.1 INTRODUÇÃO AOS RESULTADOS

O objetivo principal deste trabalho é definir um procedimento para análise de sensibilidade do programa HDM-4, sendo que, para tanto, teve que se estabelecer o número de trajetórias que deve ser usado, através do Método dos Efeitos Elementares, para obter uma resposta confiável. Complementarmente, procurou quantificar a influência das considerações de projeto, Taxa de Desconto Monetário Anual e Período de Análise e das considerações de tráfego, Taxa de Veículos Comerciais e Taxa de Crescimento Anual do Tráfego, na análise de sensibilidade do programa HDM-4.

Apesar da principal preocupação deste estudo ser a definição de um procedimento de análise de sensibilidade confiável para o programa HDM-4, aproveitaram-se os resultados obtidos e fez-se uma análise crítica da sensibilidade do programa HDM-4 frente às modificações nas variáveis analisadas. Assim, os resultados são apresentados em quatro etapas: Definição do número de trajetórias, influência das considerações de projeto, influência das considerações de tráfego e análise de sensibilidade do programa HDM-4.

5.2 DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE TRAJETÓRIAS

A definição do número ótimo de trajetórias a ser utilizado no Método dos Efeitos Elementares, para a análise de sensibilidade do programa HDM-4, foi baseada nos resultados de análises de sensibilidade de 31 grupos de trajetórias, sendo um grupo de referência com

250 trajetórias e 5 grupos com 60 trajetórias, 5 com 50 trajetórias, 5 com 40 trajetórias, 5 com 30 trajetórias, 5 com 20 trajetórias e 5 grupos com 10 trajetórias. As análises de sensibilidade de cada um dos grupos estão no Apêndice A.

A definição do número ótimo de trajetórias baseou-se em duas análises: análise da precisão e da variabilidade dos grupos estudados. A análise de precisão levou em conta uma comparação entre o grupo de referência e os demais grupos analisados. A Tabela 24 apresenta quantos, dos 12 fatores indicados na análise do grupo de referência como mais importantes, ou seja, com maior valor de μ^* , não foram identificados entre os 12 fatores mais importantes dos cinco grupos descritos (A, B, C, D e E).

Tabela 24 - Número de fatores indicados como importantes e não identificados nos grupos analisados

| N° de Trajetórias | Grupos | | | | | Média |
|-------------------|--------|---|---|---|---|-------|
| | A | B | C | D | E | |
| 60 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0,80 |
| 50 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,60 |
| 40 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1,00 |
| 30 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1,00 |
| 20 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2,00 |
| 10 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1,80 |

A Figura 23 apresenta um gráfico que dispõe o número de trajetórias pela média do número de fatores indicados na análise do grupo de referência como mais importantes e que não foram identificados entre os 12 fatores mais importantes dos grupos descritos.

Pode-se observar que a média de fatores importantes não identificados nos grupos com 30, 40, 50 e 60 trajetórias é parecida e gira em torno de 1,0 erro dentre os 12 fatores mais importantes. Já quando se trabalha com 10 e 20 trajetórias a média de erros aumenta, ficando próxima a 2,0 erros dentre os 12 fatores mais importantes.

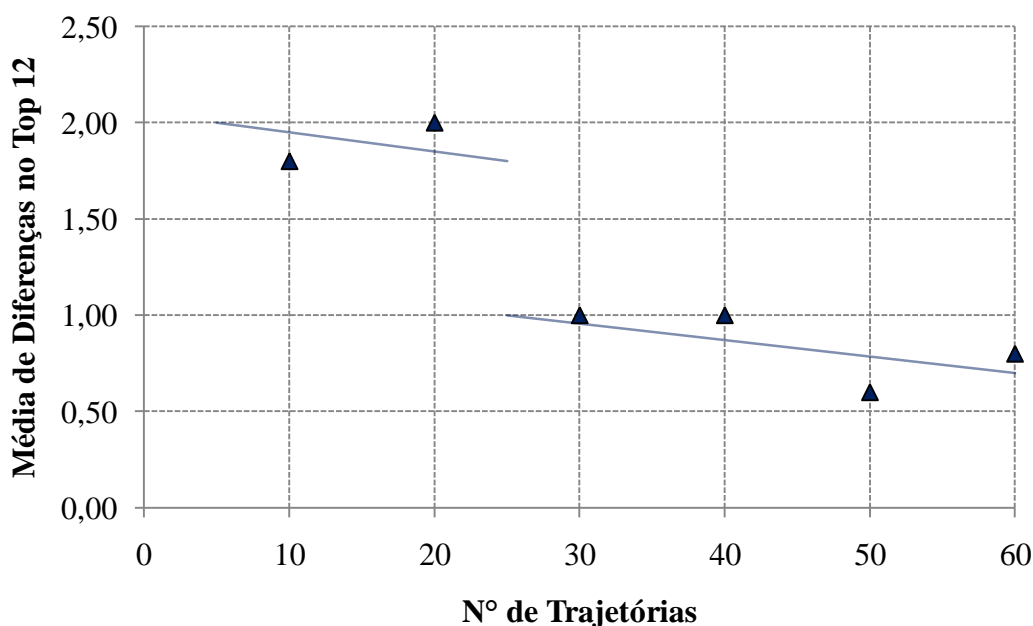


Figura 23 – Média de fatores indicados na análise do grupo de referência como mais importantes e que não foram identificados entre os 12 fatores mais importantes dos grupos, em função do número de trajetórias.

A Tabela 25 apresenta quantos, dos 12 fatores indicados na análise do grupo de referência como apresentando interações ou não linearidade, ou seja, com maior valor de σ , não foram identificados entre os 12 fatores com comportamento não linear mais pronunciado dos cinco grupos descritos.

Tabela 25 - Número de fatores indicados como apresentando interações ou não linearidade e não identificados nos grupos analisados

| Nº de Trajetórias | Grupos | | | | | Média |
|-------------------|--------|---|---|---|---|-------|
| | A | B | C | D | E | |
| 60 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2,20 |
| 50 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2,20 |
| 40 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2,60 |
| 30 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2,40 |
| 20 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2,20 |
| 10 | 3 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3,00 |

A Figura 24 apresenta um gráfico que dispõe o número de trajetórias pela média do número de fatores indicados na análise do grupo de referência como apresentando interações ou não linearidade e que não foram identificados entre os 12 fatores como apresentando interações ou não linearidade dos grupos descritos.

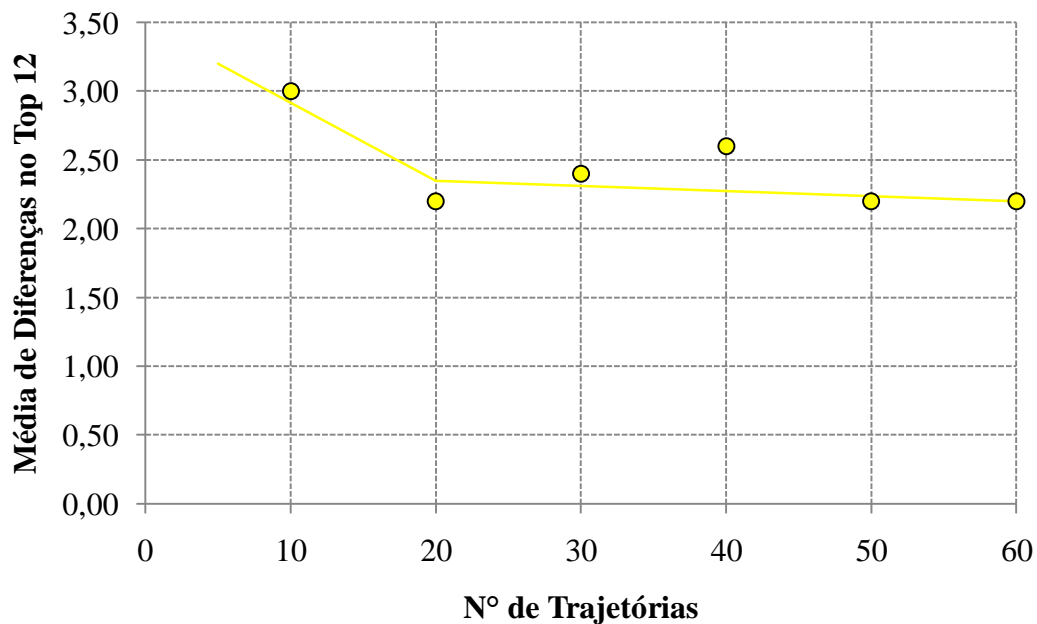


Figura 24 - Média de fatores indicados na análise do grupo de referência como apresentando interações ou não linearidade e que não foram identificados entre os 12 fatores dos grupos, em função do número de trajetórias.

É possível perceber que a média de fatores indicados como apresentando interações ou não linearidade não identificados nos grupos com 20, 30, 40, 50 e 60 trajetórias é próxima e gira em torno de 2,5 diferenças, em relação aos 12 fatores do grupo de referência. Já quando se trabalha com 10 trajetórias, a média de diferenças aumenta, passando a 3,0 diferenças dentre os 12 fatores mais importantes.

Examinando os resultados descritos na análise de precisão realizada, observa-se, primeiramente, que a análise de não linearidade é mais sensível à diminuição no número de trajetórias do que a análise de importância. Esta constatação é baseada no fato de que existem menos diferenças, em comparação ao grupo de referência, no levantamento das variáveis mais importantes do que no levantamento das variáveis com comportamento não linear mais pronunciado, considerando-se o mesmo número de trajetórias.

Outro fato importante a ser observado é que na análise de importância, o maior ganho de precisão ocorre quando se passa de 20 para 30 trajetórias no grupo. Já na análise de não linearidade, o maior ganho de precisão é observado quando se passa de 10 para 20 trajetórias.

Outra análise realizada tratou da variabilidade entre grupos com o mesmo número de trajetórias. Com cada número de trajetórias foram gerados 5 classificações diferentes para

cada um dos índices μ^* e σ , possibilitando o cálculo do desvio padrão das posições, de cada um dos fatores. A Tabela 26 apresenta a média dos desvios padrão de todas as variáveis para cada número de trajetória ensaiado, de acordo com a classificação de importância, ou seja, com base no valor de μ^* . A Figura 25 apresenta a média dos desvios padrão das variáveis, classificados pelo valor de μ^* , nos grupos analisados, em função do número de trajetórias.

Tabela 26 - Média dos desvios padrão de todas as variáveis para cada número de trajetória ensaiado, de acordo com o ranking de importância

| Nº de Trajetórias | Média dos desvios padrão |
|-------------------|--------------------------|
| 60 | 2,23 |
| 50 | 2,21 |
| 40 | 2,59 |
| 30 | 2,54 |
| 20 | 3,27 |
| 10 | 3,90 |

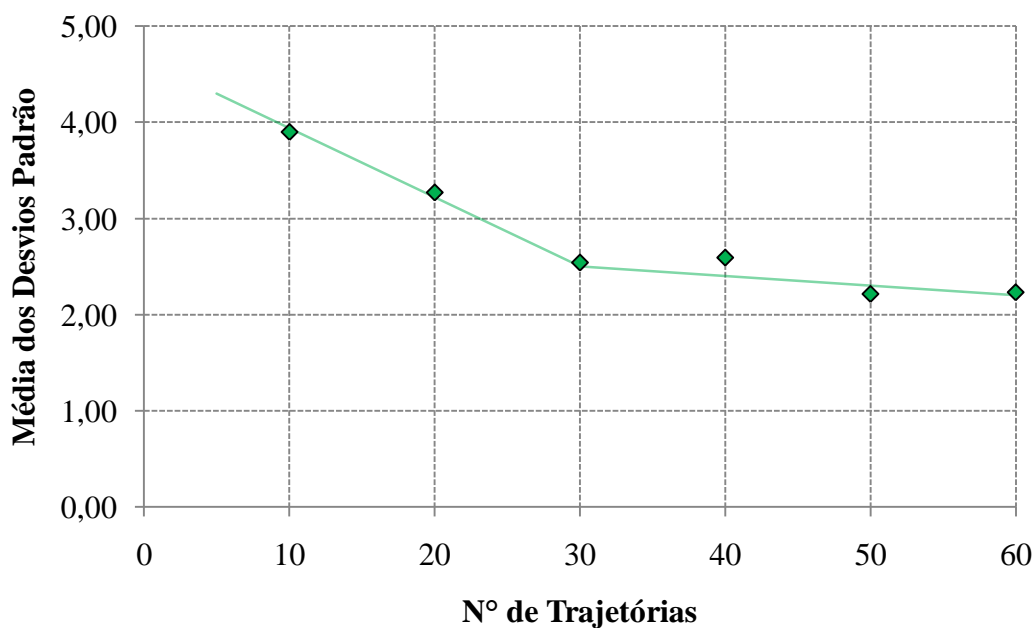


Figura 25 - Média dos desvios padrão dos fatores na classificação de importância, em função do número de trajetórias.

É notório que, quando foram considerados os grupos com 30, 40, 50 e 60 trajetórias, a média dos desvios padrão ficou em torno de 2,5 posições por fator, muito inferior do que quando o número de trajetórias foi igual a 20 (desvio de aproximadamente 3,3 posições) ou quando foram utilizadas 10 trajetórias (desvio de 3,9 posições).

A Tabela 27 apresenta a média dos desvios padrão de todas as variáveis para cada número de trajetória ensaiado, de acordo com o ranking que indica interações ou não linearidade, ou seja, que levou em conta o valor de σ . A Figura 26 apresenta a média dos desvios padrão das variáveis, ranqueados pelo valor de σ , nos grupos analisados, em função do número de trajetórias.

Tabela 27 - Média dos desvios padrão de todas as variáveis para cada número de trajetória ensaiado, de acordo com o ranking que indica interações ou não linearidade

| Nº de Trajetórias | Média dos desvios padrão |
|-------------------|--------------------------|
| 60 | 3,09 |
| 50 | 3,38 |
| 40 | 3,56 |
| 30 | 3,52 |
| 20 | 4,08 |
| 10 | 4,82 |

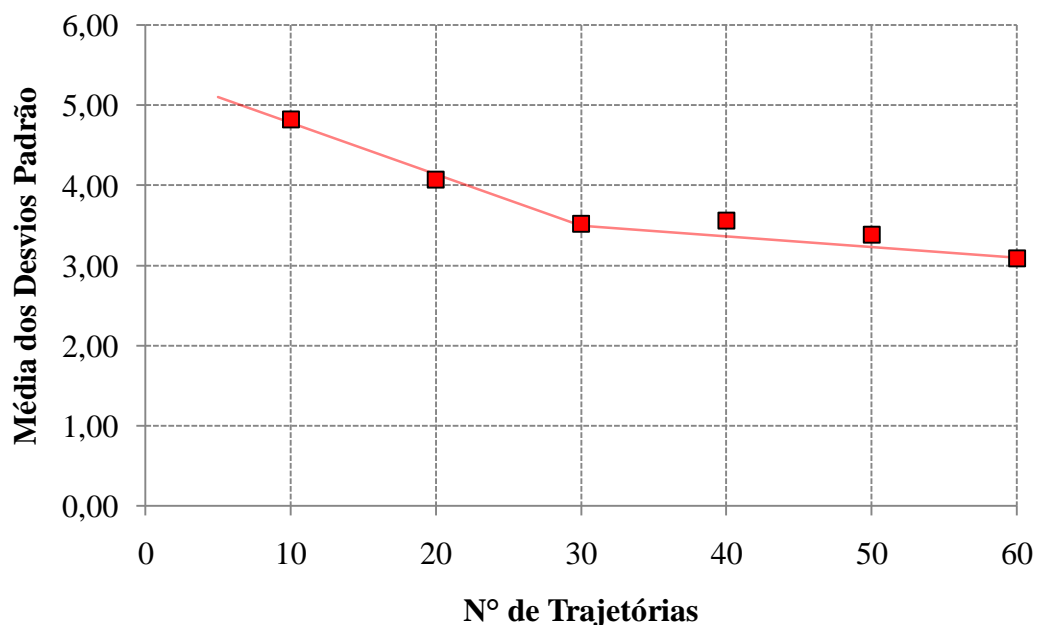


Figura 26 - Média dos desvios padrão das variáveis no ranking que indica interações ou não linearidade, em função do número de trajetórias.

Deve-se observar que, quando foram utilizados os grupos de 30, 40, 50 e 60 trajetórias, a média dos desvios padrão ficou em torno de 3,5 posições por variável, mas quando o número de trajetórias foi 20 o desvio tornou-se igual a 4,0 e utilizando-se 10 trajetórias o desvio ficou próximo de 5,0 posições por variável.

Analisando-se os resultados do estudo da variabilidade observa-se, igualmente, que a análise de comportamento não linear é mais sensível à diminuição no número de trajetórias do que a análise de importância. Tal constatação é baseada no fato de que a média dos desvios padrão das posições das variáveis classificadas por importância é menor do que na média dos desvios padrão das posições das variáveis classificadas via comportamento não linearidade, considerando-se o mesmo número de trajetórias.

Outra constatação importante pode ser notada na Figura 27, que apresenta todas as curvas de análise da variação do número de trajetórias de uma só vez. Observa-se que o comportamento das análises com menos de 20 trajetórias é relevantemente distinto das análises com mais de 30 trajetórias. Desta forma, podemos afirmar que a zona de transição entre um melhor ou pior comportamento das análises está entre 20 e 30 trajetórias.

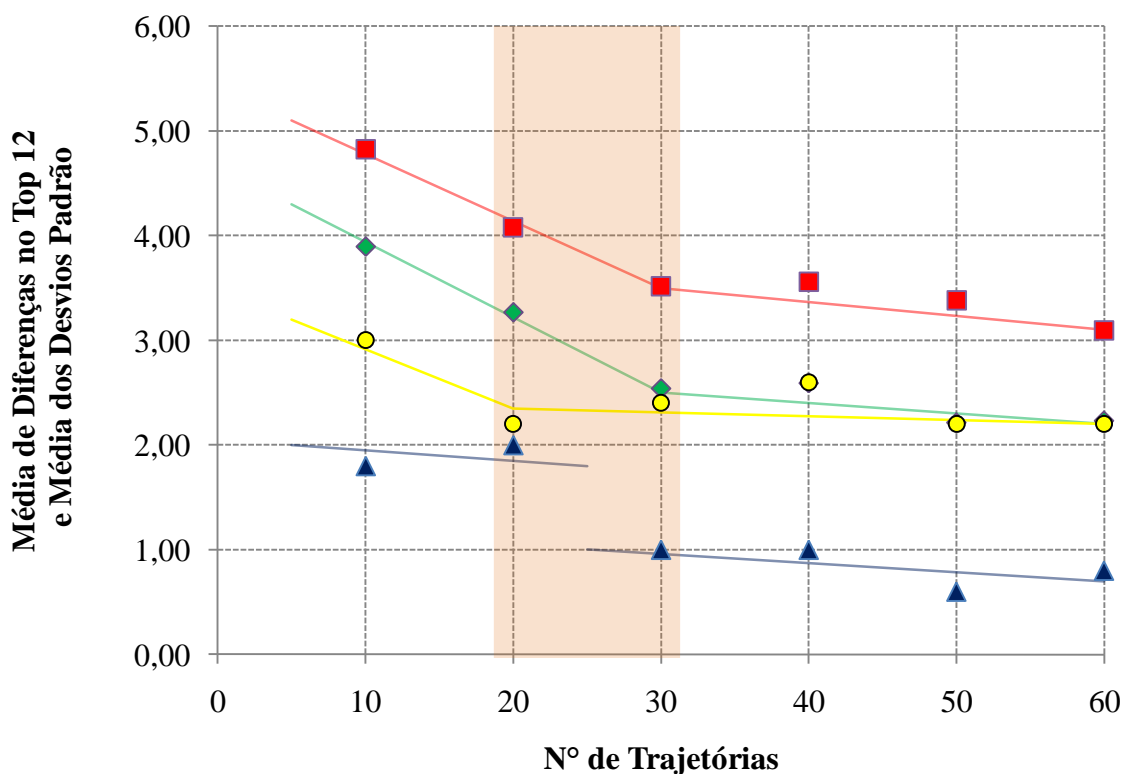


Figura 27 - Análise em conjunto da relação do número de trajetórias com o desempenho das respostas obtidas.

Portanto, após examinar os resultados das análises realizadas, é possível indicar que para as análises de sensibilidade do programa HDM-4, via Métodos dos Efeitos Elementares, deve ser utilizada uma amostra com 30 trajetórias, visto que aumentar este número não acarreta ganhos significativos e a sua diminuição ocasiona prejuízos. Esta constatação está de acordo com o

trabalho de Campolongo et al. (2007) e as indicações de amostragem de Montgomery e Runger (2003).

Observa-se, também, que a análise de importância é menos afetada quando se diminui o número de trajetórias analisadas do que a análise de não linearidade, o que de certo modo é positivo, visto que a análise de importância é geralmente a que motiva este tipo de estudo.

5.3 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE RELACIONADAS À MODIFICAÇÃO DE CENÁRIOS

5.3.1 Análise de Modificações nas Considerações de Projeto

O estudo do impacto das considerações de projeto na análise de sensibilidade foi baseado na construção de cinco cenários (Tabela 20), visando quantificar o impacto na análise via identificação das principais variáveis e o impacto na variabilidade de posições em classificações, utilizando-se os índices μ^* e σ .

A Tabela 28 apresenta a análise do impacto das modificações nas considerações de projeto na identificação das principais variáveis, ou seja, quantas das 12 principais variáveis definidas no cenário de referência não estavam entre as 12 principais dos demais cenários. As análises de sensibilidade de cada um dos cenários estão dispostas no Apêndice B.

Tabela 28 - Número de fatores indicados como importantes / com comportamento não linear no cenário de referência e não identificados nos demais grupos analisados

| Cenários | Análise de Importância (μ^*) | Análise de Comportamento (σ) |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Cenário 1 | 2 | 3 |
| Cenário 2 | 2 | 3 |
| Cenário 3 | 0 | 1 |
| Cenário 4 | 1 | 2 |

Como se pode observar, os cenários 3 e 4, que são relacionados com a mudança no período de análise, geraram menos perturbação na análise de sensibilidade do que os cenários 1 e 2, relacionados com a taxa de desconto. Outra consideração a ser feita é que a análise de comportamento foi mais influenciada pelas mudanças do que a análise de importância. Esta ocorrência está ligada, provavelmente, ao fato da análise de comportamento ser capaz de

evidenciar possíveis interações entre as variáveis, o que torna o resultado mais suscetível a perturbações.

O outro impacto estudado foi a variabilidade causada pelas mudanças nas posições de todas as variáveis. Esta análise foi feita através dos desvios padrão das posições de cada variável, considerando a condição de referência e as modificações propostas, conforme os conjuntos apresentados na Tabela 21. A Tabela 29 apresenta o índice calculado para mensurar a variabilidade, que nada mais é do que a média dos desvios padrão das variáveis.

Tabela 29 – Influência da Taxa de Desconto e do Período de Análise

| Conjunto | Variável Avaliada | Análise de Importância (μ^*) | Análise de Comportamento (σ) |
|-----------------|--------------------------|--|---|
| A | Taxa de Desconto | 2,13 | 2,57 |
| B | Período de Análise | 0,61 | 1,12 |

Nota-se, novamente, que as modificações na Taxa de Desconto são mais influentes que as modificações no Período de Análise, o que reforça a preocupação com o valor a ser adotado nas análises, pois a Taxa de Desconto afeta diretamente o cálculo do VPL. Além disso, é possível verificar que a análise de comportamento também se mostrou mais sensível às modificações do que a análise de importância, por ser capaz de evidenciar possíveis interações entre as variáveis e, assim, ser mais susceptível às modificações.

5.3.2 Análise de Modificações nas Considerações de Tráfego

Da mesma maneira que o estudo do impacto das considerações de projeto, o estudo do impacto das considerações de tráfego na análise de sensibilidade foi baseado na construção de cinco cenários (Tabela 22), visando quantificar o impacto na análise via identificação das principais variáveis e o impacto na variabilidade de posições em classificações, utilizando-se dos índices μ^* e σ . A Tabela 30 apresenta a análise do impacto nas considerações de tráfego na identificação das principais variáveis, ou seja, quantas das 12 principais variáveis definidas no cenário de referência não estavam entre as 12 principais dos demais cenários. As análises de sensibilidade de cada um dos cenários estão dispostas no Apêndice C.

Tabela 30 - Número de fatores indicados como importantes ou com comportamento não linear no cenário de referência e não identificados nos demais grupos analisados

| Cenários | Análise de Importância (μ^*) | Análise de Comportamento (σ) |
|-----------------|--|---|
| Cenário 1 | 3 | 3 |
| Cenário 2 | 10 | 12 |
| Cenário 3 | 1 | 2 |
| Cenário 4 | 2 | 4 |

Deve-se observar que os quatro cenários impactaram de forma significativa a análise de sensibilidade realizada. Vale destacar que o cenário 2, referente ao aumento da Porcentagem de Veículos Comerciais de 30% para 50% foi o que mais afetou a análise de sensibilidade, mudando 10 das 12 variáveis identificadas como importantes no cenário de referência e alterando as 12 variáveis na análise de comportamento não linear. Este fenômeno pode ser entendido pela enorme importância dos veículos comerciais nas condições do pavimento e nos custos de operação dos veículos. Igualmente a análise da modificação das considerações de projeto, a análise de comportamento se mostrou mais sensível do que a análise de importância.

Outro impacto estudado foi a variabilidade causada pelas mudanças nas posições de todas as variáveis. Esta análise foi feita através dos desvios padrão das posições de cada variável, considerando a condição de referência e as modificações propostas, conforme os conjuntos apresentados na Tabela 23. A Tabela 31 apresenta o índice calculado para mensurar a variabilidade, ou seja, a média dos desvios padrão das variáveis.

Tabela 31 - Influência da Porcentagem de Veículos Comerciais e da Taxa de Crescimento Anual do Tráfego

| Conjunto | Variável Avaliada | Análise de Importância (μ^*) | Análise de Comportamento (σ) |
|-----------------|--------------------------------------|--|---|
| A | Porcentagem de Veículos Comerciais | 12,28 | 12,62 |
| B | Taxa de Crescimento Anual do Tráfego | 2,86 | 3,59 |

Na Tabela 31 evidente a grande influência da Porcentagem de Veículos Comerciais na análise de sensibilidade. Este resultado pode ser encarado como um alerta, ou seja, sempre que houver a necessidade de se gerenciar uma rodovia existe a necessidade de se conhecer o volume de tráfego, com a adequada classificação de veículos, pois para um determinado

cenário de tráfego, certas variáveis podem se mostrar muito importantes e para outro elas podem não ser tão significativas. Outro aspecto importante é o impacto causado pela Taxa de Crescimento Anual do Tráfego, que se mostrou significativo, ainda que menor do que a alteração na Porcentagem de Veículos Comerciais.

5.4 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE DO PROGRAMA HDM-4

A

Como já foi explicado, quanto maior o valor de μ^* , mais forte é a indicação de que se trata de um fator influente para o cálculo do VPL. Dessa forma, pode-se inferir, a partir dos resultados apresentados na Tabela 33, que os três fatores mais influentes sobre o VPL, sob as condições aqui definidas, são o Volume Diário Médio Anual de Veículos Motorizados (MT_AADT), o Fator de Calibração para a Progressão da Irregularidade Longitudinal (ROUGH_FCTR) e o Fator de Calibração para a Razão do SNP das Estações Úmida e Seca (SNP_RATIO).

Tabela 32 apresenta o resultado da análise de sensibilidade procedida com o grupo de referência, que se utilizou de 250 trajetórias. Antes, porém, destaca-se a comparação entre os valores de μ e μ^* , pois um fator que apresente alto valor de μ^* , ou seja, alta média dos valores absolutos dos efeitos elementares, e, ao mesmo tempo, baixo valor de μ , ou seja, baixa média dos valores reais dos efeitos elementares, terá o sinal da sua influência, i.e., se é favorável ou desfavorável ao aumento do VPL, dependente da posição no espaço amostral em que o efeito é calculado.

Para facilitar a análise, no presente trabalho, sugere-se o cálculo de um quarto índice de sensibilidade, β , que nada mais é do que a relação entre o módulo do índice μ e o índice μ^* . Assim, quanto mais próximo de 0 for este índice, mais o sinal do efeito elementar do fator é dependente da região onde está sendo calculado. A Equação 12 apresenta o cálculo de β do i -ésimo fator de entrada do modelo, enquanto a Tabela 33 apresenta os fatores classificados em ordem decrescente de μ^* e σ e em ordem crescente de β .

$$\beta_i = \frac{|\mu_i|}{\mu^*_i} \quad (12)$$

Como já foi explicado, quanto maior o valor de μ^* , mais forte é a indicação de que se trata de um fator influente para o cálculo do VPL. Dessa forma, pode-se inferir, a partir dos resultados apresentados na Tabela 33, que os três fatores mais influentes sobre o VPL, sob as condições aqui definidas, são o Volume Diário Médio Anual de Veículos Motorizados (MT_AADT), o Fator de Calibração para a Progressão da Irregularidade Longitudinal (ROUGH_FCTR) e o Fator de Calibração para a Razão do SNP das Estações Úmida e Seca (SNP_RATIO).

Tabela 32 - Índices de sensibilidade resultantes da análise

| ANÁLISE DE SENSIBILIDADE | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|---------------------------|------------|--------|---------|---------------------------|
| ÍNDICES DE SENSIBILIDADE | | | | | | | |
| Variável | Médias | | Desvio Padrão σ | Variável | Médias | | Desvio Padrão σ |
| | μ | μ^* | | | μ | μ^* | |
| ACA_INIT | -0,118 | 0,246 | 0,703 | PHOLE_NUM | 2,679 | 3,456 | 5,238 |
| ACA_PROG | 0,167 | 0,305 | 1,214 | PHOLE_PROG | 0,891 | 1,321 | 5,171 |
| ACT_INIT | 0,000 | 0,000 | 0,000 | PREV_ACA | -0,002 | 0,002 | 0,008 |
| ACT_PROG | 0,005 | 0,010 | 0,086 | PREV_ACW | -0,002 | 0,008 | 0,042 |
| ACW_INIT | -0,002 | 0,007 | 0,038 | PREV_NCT | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| ACW_PROG | 0,008 | 0,044 | 0,167 | RAVEL_AREA | 0,046 | 0,084 | 0,346 |
| ALTITUDE | 0,047 | 0,095 | 0,189 | RAVEL_INIT | 0,002 | 0,021 | 0,107 |
| CBR | 1,277 | 2,183 | 2,803 | RAVEL_PROG | 0,002 | 0,015 | 0,083 |
| CRACK_CRT | -0,113 | 0,269 | 0,699 | RAVEL_RRF | -0,017 | 0,066 | 0,349 |
| CRACKS_TOT | 0,190 | 0,233 | 0,858 | REL_COMPCT | -0,014 | 0,028 | 0,072 |
| CURVATURE | -0,077 | 0,145 | 0,387 | RF | -0,100 | 0,191 | 0,327 |
| CWAY_WIDTH | 0,066 | 1,031 | 1,912 | ROUGH_FCTR | 15,244 | 15,630 | 17,648 |
| DEFECTBASE | 0,304 | 0,488 | 1,721 | ROUGHNESS | 0,942 | 1,765 | 3,511 |
| DEFECTSURF | 0,037 | 0,386 | 1,634 | RUT_DEPTH | -0,002 | 0,024 | 0,136 |
| DIST_ACA | 0,446 | 0,598 | 2,147 | RUT_INITDN | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| DIST_ACT | -0,005 | 0,008 | 0,044 | RUT_PLASTC | 4,819 | 4,883 | 7,518 |
| DIST_ACW | 0,039 | 0,058 | 0,200 | RUT_STRUCT | 0,073 | 0,164 | 0,516 |
| DRAINAGE | 0,012 | 0,021 | 0,064 | SHLD_WIDTH | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| DRAINLIFE | -0,024 | 0,042 | 0,093 | SKIDR_FCTR | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| EDGE_STEP | -0,379 | 0,808 | 1,800 | SKIDR_SPED | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| EDGEB_PROG | -0,006 | 0,018 | 0,184 | SKIDRESIST | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| EDGEBREAK | 0,005 | 0,006 | 0,025 | SN | -2,400 | 2,863 | 5,666 |
| ENFORCEMNT | 0,265 | 0,658 | 2,266 | SNP_RATIO | 8,984 | 9,520 | 14,901 |

| | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|--------|-------|-------|
| ENVIR_FCTR | 1,875 | 2,268 | 2,592 | SPEED_LIM | -0,151 | 0,429 | 1,257 |
| HSNEW | 0,424 | 0,830 | 1,372 | SUPERELEV | 0,013 | 0,030 | 0,069 |
| HSOLD | 0,276 | 0,635 | 1,120 | TEXT_DEPTH | 0,002 | 0,002 | 0,010 |
| K_SNP | 0,222 | 0,248 | 0,860 | TEXTD_FCTR | -0,004 | 0,012 | 0,025 |
| MT_AADT | 17,038 | 18,753 | 20,068 | XFRI | 0,136 | 0,966 | 2,133 |
| NM_AADT | 0,290 | 0,329 | 0,457 | XMT | -0,138 | 0,153 | 0,279 |
| NUM_RFS | 0,000 | 0,000 | 0,000 | XNMT | 0,120 | 0,900 | 1,906 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | | | |

Como já foi explicado, quanto maior o valor de μ^* , mais forte é a indicação de que se trata de um fator influente para o cálculo do VPL. Dessa forma, pode-se inferir, a partir dos resultados apresentados na Tabela 33, que os três fatores mais influentes sobre o VPL, sob as condições aqui definidas, são o Volume Diário Médio Anual de Veículos Motorizados (MT_AADT), o Fator de Calibração para a Progressão da Irregularidade Longitudinal (ROUGH_FCTR) e o Fator de Calibração para a Razão do SNP das Estações Úmida e Seca (SNP_RATIO).

O desempenho de pavimentos asfálticos é influenciado, basicamente, pela ação do clima na área, pela capacidade estrutural das camadas do pavimento e pela ação de cargas de tráfego. Como podem ser observados, os resultados indicam estas três características como sendo as mais importantes para análise econômica de uma rodovia através do modelo do HDM. O Volume Diário Médio Anual de Veículos Motorizados está relacionado com a ação de cargas de tráfego no pavimento. Desta forma, o fator influencia diretamente os custos de manutenção da via. Além disso, é esta variável que amplifica ou minimiza os custos operacionais, pelo fato de indicar quantos usuários trafegam pela via. O Fator de Calibração para a Progressão da Irregularidade Longitudinal está relacionado com a capacidade estrutural do pavimento, ou seja, indica quanto tempo o pavimento irá resistir sem o aparecimento de defeitos que influenciem a dinâmica do movimento e, por consequência, a estabilidade e o controle dos veículos. Como já destacados nos trabalhos de Queiroz (1981) e Paterson (1987) a irregularidade longitudinal do pavimento afeta diretamente os custos operacionais das rodovias. E o Fator de Calibração para a Razão do SNP das Estações Úmida e Seca indica a importância do fator climático no comportamento dos pavimentos asfálticos. Desta forma, o clima pode alterar a capacidade de suporte da estrutura do pavimento, deixando-o mais ou menos suscetível ao aparecimento de defeitos, variando os custos de manutenção.

Tabela 33 - Classificação dos fatores em função dos índices de sensibilidade obtidos

CLASSIFICAÇÃO

| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | | DEPENDÊNCIA DA TRAJETÓRIA | |
|-------------|---------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|----------------|
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ | Variável | Índice β |
| MT_AADT | 18,753 | MT_AADT | 20,068 | CWAY_WIDTH | 0,064 |
| ROUGH_FCTR | 15,630 | ROUGH_FCTR | 17,648 | RAVEL_INIT | 0,086 |
| SNP_RATIO | 9,520 | SNP_RATIO | 14,901 | DEFECTSURF | 0,096 |
| RUT_PLASTC | 4,883 | RUT_PLASTC | 7,518 | RUT_DEPTH | 0,100 |
| PHOLE_NUM | 3,456 | SN | 5,666 | RAVEL_PROG | 0,112 |
| SN | 2,863 | PHOLE_NUM | 5,238 | XNMT | 0,134 |
| ENVIR_FCTR | 2,268 | PHOLE_PROG | 5,171 | XFRI | 0,141 |
| CBR | 2,183 | ROUGHNESS | 3,511 | ACW_PROG | 0,181 |
| ROUGHNESS | 1,765 | CBR | 2,803 | PREV_ACW | 0,232 |
| PHOLE_PROG | 1,321 | ENVIR_FCTR | 2,592 | RAVEL_RRF | 0,256 |
| CWAY_WIDTH | 1,031 | ENFORCEMNT | 2,266 | ACW_INIT | 0,306 |
| XFRI | 0,966 | DIST_ACA | 2,147 | TEXTD_FCTR | 0,336 |
| XNMT | 0,900 | XFRI | 2,133 | EDGEB_PROG | 0,349 |
| HSNEW | 0,830 | CWAY_WIDTH | 1,912 | SPEED_LIM | 0,351 |
| EDGE_STEP | 0,808 | XNMT | 1,906 | ENFORCEMNT | 0,403 |
| ENFORCEMNT | 0,658 | EDGE_STEP | 1,800 | CRACK_CRT | 0,422 |
| HSOLD | 0,635 | DEFECTBASE | 1,721 | SUPERELEV | 0,430 |
| DIST_ACA | 0,598 | DEFECTSURF | 1,634 | HSOLD | 0,434 |
| DEFECTBASE | 0,488 | HSNEW | 1,372 | RUT_STRUCT | 0,441 |
| SPEED_LIM | 0,429 | SPEED_LIM | 1,257 | EDGE_STEP | 0,469 |
| DEFECTSURF | 0,386 | ACA_PROG | 1,214 | ACA_INIT | 0,479 |
| NM_AADT | 0,329 | HSOLD | 1,120 | REL_COMPCT | 0,496 |
| ACA_PROG | 0,305 | K_SNPK | 0,860 | ALTITUDE | 0,500 |
| CRACK_CRT | 0,269 | CRACKS_TOT | 0,858 | HSNEW | 0,511 |
| K_SNPK | 0,248 | ACA_INIT | 0,703 | RF | 0,526 |
| ACA_INIT | 0,246 | CRACK_CRT | 0,699 | CURVATURE | 0,530 |
| CRACKS_TOT | 0,233 | RUT_STRUCT | 0,516 | ROUGHNESS | 0,534 |
| RF | 0,191 | NM_AADT | 0,457 | ACA_PROG | 0,545 |
| RUT_STRUCT | 0,164 | CURVATURE | 0,387 | RAVEL_AREA | 0,548 |
| XMT | 0,153 | RAVEL_RRF | 0,349 | DRAINAGE | 0,550 |
| CURVATURE | 0,145 | RAVEL_AREA | 0,346 | DRAINLIFE | 0,565 |
| ALTITUDE | 0,095 | RF | 0,327 | ACT_PROG | 0,567 |
| RAVEL_AREA | 0,084 | XMT | 0,279 | CBR | 0,585 |
| RAVEL_RRF | 0,066 | DIST_ACW | 0,200 | DEFECTBASE | 0,622 |
| DIST_ACW | 0,058 | ALTITUDE | 0,189 | DIST_ACT | 0,630 |
| ACW_PROG | 0,044 | EDGEB_PROG | 0,184 | PHOLE_PROG | 0,675 |
| DRAINLIFE | 0,042 | ACW_PROG | 0,167 | DIST_ACW | 0,679 |
| SUPERELEV | 0,030 | RUT_DEPTH | 0,136 | DIST_ACA | 0,746 |
| REL_COMPCT | 0,028 | RAVEL_INIT | 0,107 | PHOLE_NUM | 0,775 |
| RUT_DEPTH | 0,024 | DRAINLIFE | 0,093 | EDGEBREAK | 0,814 |
| DRAINAGE | 0,021 | ACT_PROG | 0,086 | CRACKS_TOT | 0,815 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|----------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | | DEPENDÊNCIA DA TRAJETÓRIA | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ | Variável | Índice β |
| RAVEL_INIT | 0,021 | RAVEL_PROG | 0,083 | ENVIR_FCTR | 0,827 |
| EDGEB_PROG | 0,018 | REL_COMPCT | 0,072 | SN | 0,838 |
| RAVEL_PROG | 0,015 | SUPERELEV | 0,069 | NM_AADT | 0,881 |
| TEXTD_FCTR | 0,012 | DRAINAGE | 0,064 | K_SNPK | 0,893 |
| ACT_PROG | 0,010 | DIST_ACT | 0,044 | XMT | 0,899 |
| DIST_ACT | 0,008 | PREV_ACW | 0,042 | MT_AADT | 0,909 |
| PREV_ACW | 0,008 | ACW_INIT | 0,038 | SNP_RATIO | 0,944 |
| ACW_INIT | 0,007 | TEXTD_FCTR | 0,025 | ROUGH_FCTR | 0,975 |
| EDGEBREAK | 0,006 | EDGEBREAK | 0,025 | RUT_PLASTC | 0,987 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | TEXT_DEPTH | 0,010 | PHOLE_INIT | 1,000 |
| PREV_ACA | 0,002 | PREV_ACA | 0,008 | PREV_ACA | 1,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 | TEXT_DEPTH | 1,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | - |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | - |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | - |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | - |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | - |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | - |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | - |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | - |

É importante destacar, nos resultados apresentados, que seis fatores de calibração (ROUGH_FCTR, SNP_RATIO, RUT_PLASTC, ENVIR_FCTR, PHOLE_PROG e XFRI) estão entre os doze fatores mais influentes no VPL do experimento realizado. Essa observação adquire ainda maior importância quando se sabe que para os usuários do programa HMD-4, muitas vezes, a calibração do modelo é realizada somente em função dos fatores que podem ser medidos diretamente, deixando em segundo plano os fatores de calibração. Além disso, reflete os baixos valores de coeficiente de determinação dos modelos de previsão de desempenho e custo do HDM-4 (entre 0,3 e 0,5), já que fatores de calibração, normalmente, devem ser para ajustes finos e não para afetar consideravelmente o resultado.

É interessante notar que os dez fatores que apresentam maior indicação de interações ou não linearidade, ou seja, maior valor de σ , foram também os dez fatores apontados como mais importantes, ou seja, com maior valor de μ^* . Sendo, ainda, os quatro primeiros na mesma ordem de importância e de indicação de interações ou não linearidade. Este fato ocorreu,

provavelmente, pela razão de que, se o fator é importante para o modelo, suas interações tendem a ser também. Logo, quando há mudanças em alguma das variáveis com o qual o fator interage, isto é refletido de forma notável na resposta do modelo.

Quanto ao índice β , é relevante notar que os fatores que foram indicados como mais importantes para o modelo têm a sua influência praticamente independente da região amostral na qual está sendo calculado o efeito, ou seja, possuem alto valor do índice β . Isso significa que mesmo com mudanças dos valores dos fatores com os quais estes interagem, a influência das alterações é quase sempre no mesmo sentido. Por outro lado, existem fatores que são extremamente dependentes da região amostral na qual o efeito está sendo calculado, ou seja, possuem baixo valor do índice β , como por exemplo, o fator CWAY_WIDTH (largura da faixa de rolamento). Portanto, as interações são predominantes no sentido da influência do fator no resultado do modelo.

Finalmente, é importante reforçar que os resultados apresentados devem ser utilizados como referência apenas em situações semelhantes à do estudo realizado. Este trabalho apresenta o quanto suscetível a modificações nas considerações de projeto e tráfego são as análises de sensibilidade, destacando a necessidade de cuidado quando de extrapolações para outras situações, dada a complexidade do programa HDM-4. É de fundamental importância proceder análise de sensibilidade preliminarmente à utilização de qualquer modelo, pois dela dependem os estudos para calibração e conseqüentemente melhor representação da realidade.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo reserva-se a apresentação das conclusões originadas da análise e discussão dos resultados obtidos. Além disto, são retratadas sugestões de trabalhos futuros a fim de complementar o assunto discutido neste estudo.

6.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho se propôs a delinear um procedimento para análise de sensibilidade do programa HDM-4 e, após isso, realizar estudos de caso para verificar o impacto de mudanças nos cenários pré-definidos. Para tanto, o primeiro passo foi a escolha de um método de análise de sensibilidade que fosse capaz de se adaptar ao modelo HDM, identificando importância e interações entre variáveis, sem apresentar grande nível de complexidade. Ao final desta busca, optou-se pela utilização do Método dos Efeitos Elementares, proposto por Morris (1991) e complementado por Campolongo, Cariboni e Saltelli (2007).

O delineamento do procedimento prosseguiu com várias definições que buscaram formatar o método escolhido ao modelo HDM. Dentre estas, a principal delas foi a determinação do número de trajetórias necessário, ou seja, quantos conjuntos de dados de entrada são essenciais para se obter um resultado confiável com o menor esforço possível. Após 18.600 simulações chegou-se a conclusão que com 30 trajetórias o resultado mostra-se confiável, sendo que incrementos neste número não representam ganhos significativos na confiabilidade da análise.

Com o procedimento desenhado, outro ponto importante foi a verificação dos impactos na modificação dos cenários pré-definidos para a análise. Para tanto, foram estudadas modificações nas considerações de projeto (Taxa de Desconto Monetário Anual e Período de Análise) e nas considerações de tráfego (Percentual de Veículos Comerciais e da Taxa de Crescimento Anual do Tráfego). As conclusões resultantes foram:

- ✓ As modificações nas considerações de projeto do cenário estudado mostraram impacto moderado nas análises de sensibilidade realizadas, ou seja, houve mudanças nas listas de variáveis mais importantes e com interações, porém a maioria se manteve antes e depois das modificações. Cabe ressaltar que as modificações na Taxa de Desconto Monetário Anual apresentaram maior impacto do que mudanças no Período de Análise;
- ✓ Já as modificações nas considerações de tráfego mostraram grande impacto nas análises de sensibilidade realizadas, chegando a apresentar mudanças nos 12 fatores com maior grau de interações, para os cenários antes e depois das modificações. Ainda neste sentido, vale destacar que as modificações na Taxa de Veículos Comerciais apresentaram um impacto muito maior do que as mudanças na Taxa de Crescimento Anual do Tráfego;

Apesar de não ser a principal motivação do trabalho, outra conclusão relevante a ser apresentada está relacionada com os resultados obtido na análise de sensibilidade realizada com 250 trajetórias e sob as condições pré-estabelecidas no decorrer do estudo. Nesta avaliação, os fatores que se mostraram mais influentes nas análises econômicas do modelo HDM, tendo como medida de saída o Valor Presente Líquido (VPL), foram:

- ✓ Volume Diário Médio Anual de Veículos Motorizados (MT_AADT);
- ✓ Fator de Calibração para a Progressão da Irregularidade Longitudinal (ROUGH_FCTR); e
- ✓ Fator de Calibração para a Razão do SNP das Estações Úmida e Seca (SNP_RATIO).

Além disso, cabe a observação que os dez fatores que apresentam maior indicação de interações ou não linearidade foram também os dez fatores indicados como sendo os mais importantes para o modelo.

6.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho utilizou-se de um cenário pré-definido, através do qual foram realizadas todas as análises: definição do número de trajetórias a ser utilizado, mensuração do impacto de modificações nas considerações de projeto e tráfego, além da própria análise de sensibilidade. Para um próximo trabalho, estabeleceu, portanto, um método que permite,

modificações do cenário de referência e verificação se as conclusões nele descritas são realmente abrangentes em outras situações. Exemplos de situações a serem exploradas são: a interação entre a influência da Taxa Anual de Desconto Monetário e do Período de Análise do Projeto; a influência do Fator de Equivalência dos Veículos adotado como padrão neste trabalho.

Por se tratar de um método estatístico que envolve inúmeros cálculos, sugere-se a elaboração de uma ferramenta computacional capaz de executar análises de sensibilidade no programa HDM-4, o que incentivaria os usuários a se utilizarem desta poderosa e importante ferramenta para orientação na calibração do modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAYNAYAKA, S.W.; MOROSIUK G.; HIDE H. Prediction of road construction and vehicle operating costs in developing countries. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, v.62 (Parte 1), p. 419-446, 1977.

ALTAMIRA, A.; SOLMINIHAC, H.; HARRISON, R.; COVARRUBIAS J. P. Calibration of Fuel Consumption Model in HDM-4 Model: An Application to observed Consumption in Canada and Chile. **Transportation Research Board Conference**, Washington, D.C., 2004.

ARCHONDO-CALLAO, R.; PUROHIT R. HDM-PC: user's guide. **The Highway Design and Maintenance Standards Series**. Washington DC: The World Bank. (1989)

BASTOS, L. S. ; WILKINSON, R. D. **Análise Estatística de Simuladores**. Associação Brasileira de Estatística, São Paulo, 91 p, 2010.

BENNETT E, C.R.; PATERSON, W.D.O. Volume five: A Guide to Calibration and Adaptation. **The Highway Development and Management Series Collection**, ISOHDM Technical Secretariat, School of Civil Engineering, The University of Birmingham, 2000.

BENSON, A.J.; FRENK, P.C.S.; BAUGH, C.M.; COLE, S.; LACEY, C.G. The clustering evolution of the galaxy distribution. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.**, 2001.

BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Modeling and simulation. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, p. 241-264, 2002.

CAMPOLONGO, F.; CARIBONI, J.; SALTELLI, A. An effective screening design for sensitivity analysis of large models. **Environmental Modelling & Software**, v.22(10), p.1509-1518, 2007.

CRRRI - CENTRAL ROAD RESEARCH INSTITUTE. Road user cost study in India. **Final Report**, New Delhi: Central Road Research Institute, 1982.

CUNDILL, M.A.; WITHNALL S.J. Road transport investment model RTIM3. **TRB. Sixth International Conference on Low-Volume Roads, Conference Proceedings 6**, Washington DC, v.1, p.187-192, 1995.

FERNANDES JR., J. L. **Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego sobre o Desempenho de Pavimentos**. São Carlos. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

FERNANDES JR., J. L. **Eficiência Econômica e de Engenharia para as Rodovias: Uma Introdução ao HDM**. Apostila FIPAI, EESC-USP, Araraquara, São Paulo, 1997.

FISHER, R.A. **The Design of Experiments**. New York: Hafner Press, 1935.

GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - **Pesquisa do Interrelacionamento entre Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias, Relatório 1 - Conceitos e Metodologias**, Brasília-DF, 1976.

HAAS, R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Krieger Publishing Co. Malamar, Florida, 1994.

HARRAL, C.G. The highway design and maintenance standards model (HDM): model structure, empirical foundations and applications. **PTRC Summer Annual Meeting**, University of Warwick, Londres, p.13-16, 1979.

HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation using Promodel**, 3rd ed. Boston: McGraw-Hill. 603 p. ISBN 0-07-234144-0, 2000.

HIDE, H. Vehicle operating costs in the Caribbean: results of a survey of vehicle operators. **TRRL Laboratory Report**, v.1031. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory, 1982.

HUDSON, W.R.; HAAS, R.; PERDIGO, R.D. Pavement Management System Development. **National Cooperative Highway Research Program**, Report 215, Transportation Research Board, 1979.

KERALI, H.G.R. Volume one: Overview of HDM-4. **The Highway Development and Management Series Collection**, ISOHDM Technical Secretariat, School of Civil Engineering, The University of Birmingham, 2000.

KERALI, H.G.R; McMULLEN, D.; ODOKI, J.B. Volume two: Applications Guide. **The Highway Development and Management Series Collection**, ISOHDM Technical Secretariat, School of Civil Engineering, The University of Birmingham, 2000.

KERALI, H.R.; PARSLEY L.L.; ROBINSON R.; SNAITH M.S. Development of a microcomputer based model for road investment in developing countries. **CIVILCOMP. Proceedings of the Second International Conference on Civil and Structural Engineering Computing**, Londres, 1985.

KLEIN, F.C. **Análise da Influência de Características Geométricas de Rodovias nos Custos dos Usuários Utilizando o Programa HDM-4**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation modeling and analysis**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill. 760 p. ISBN 0-07-059292-6, 2000.

MCGRATTAN, K.B.; HOSTIKKA, S.; FLOYD, J.E. Fire Dynamics Simulator (Version 5), User's Guide. **Nist special publication**, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, v.1019-5, 2007.

MCKAY, M. D.; BECKMAN, R. J.; CONOVER, W.J. A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code. **Technometrics**, v.21, p.239-245, 1979.

MOAVENZADEH, F.; STAFFORD J.H.; SUHBRIER J.; ALEXANDER J. Highway design study phase I: the model. **IBRD Economics Department Working**, v.96. Washington DC: International Bank for Reconstruction and Development, 1971.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 5th ed. New York: John Wiley & Sons. 684 p. ISBN 0-471-31649-0, 2001.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Tradução Verônica Calado, 2.ed. Rio de Janeiro: LTC. 463 p., 2003.

MOROSIUK, G.; ABAYNAYAKA S.W. Vehicle operating costs in the Caribbean: an experimental study of vehicle performance. **TRRL Laboratory Report**, v.1056. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory, 1982.

MORRIS, M.D. Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments. **Technometrics**, v.33(2), p.161-174, 1991.

MRAWIRA, D.; WELCH, J.W.; SCHONLAU, M.; HAAS, R. Sensitivity Analysis of Computer Models: World Bank HDM-III Model. **ASCE Journal of Transportation Engineering**. v.125, N° 5, p.421 – 428, 1999.

ODOKI, J.B.; KERALI, H.G.R.. Volume four: Analytical Framework and Model descriptions. **The Highway Development and Management Series Collection**, ISOHDM Technical Secretariat, School of Civil Engineering, The University of Birmingham, 2000.

PARSLEY, L.L.; ROBINSON R. The TRRL road investment model for developing countries (RTIM2). **TRRL Laboratory Report**, v.1057. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory, 1982.

RANDALL, D.A.; WOOD, R.A.; BONY, S.; COLMAN, R.; FICHEFET, T.; FYFE, J.; KATTSOV, V.; PITMAN, A.; SHUKLA, J.; SRINIVASAN, J.; STOUER, R. J.; SUMI, A.; TAYLOR, K. E. Climate Models and Their Evaluation. **Climate Change 2007: the Physical Science Basis**, Cambridge, 2007.

ROY N.; ISAAC, K.P.; VEERARAGAVAN, A. Sensitivity Analysis of Input Parameters for Application of Highway Development and Management Tool (HDM-4) for Investment Decision. **Indian Highways Journal**, v.34, N°1, 2006.

ROY N.; ISAAC, K.P.; VEERARAGAVAN, A. Highway Development and Management Tool (HDM-4): Calibration to Indian Conditions and its Applications - Case Study. **Highway Research Bulletin**, 2003.

SACKS, J.; WELCH, W.J.; MITCHELL, T.J.; WYNN, H. P. Design and Analysis of Computer Experiments. **Statistical Science**, v.4, p.409 – 435, 1989.

SALTELLI, A.; CHAN, K.; SCOTT, M. **Sensitivity Analysis**, New York, USA: Wiley, 2000.

SALTELLI, A.; TARANTOLA, S.; CAMPOLONGO, F.; RATTO M. **Sensitivity analysis in practice : a guide to assessing scientific models**. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, Inglaterra, 2004.

SANTNER, T.J.; WILLIAMS, B.J.; NOTZ, W.I. **The Design and Analysis of Computer Experiments**, New York: Springer-Verlag, 2003.

SEVERI, A.A. **Considerações sobre os custos de pavimentos rígidos com base em conceitos de gerência de pavimentos**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC-USP, São Carlos, 1997.

SOLMINIHAC H.T.; HIDALGO P.S.; SALGADO M.T. Calibration of Performance Models for Surface Treatment to Chilean Conditions. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, N° 1819, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., p. 285-293, 2007.

TANIGUCHI, S.; YOSHIDA T. Calibrating Hdm-4 Rutting Model on National Highways in Japan. Road Technology Research Group, **Public Works Research Institute**, Japan, 2007

TRUCANO, T.G.; SWILER, L.P.; IGUSA, T.; OBERKAMPF, W.L.; PILCH, M. Calibration, validation, and sensitivity analysis: What's what. **Reliability Engineering & System Safety**, Volume 91, p.1331-1357, The Fourth International Conference on Sensitivity Analysis of Model Output (SAMO 2004), 2006.

WATANATADA T.; HARRAL C.G.; PATERSON W.D.O.; DHARESHWAR A.M.; BHANDARI A.; TSUNOKAWA K. The highway design and maintenance standards model volume 1: description of the HDM-III model. **The Highway Design and Maintenance Standards Series**. Baltimore: Johns Hopkins for the World Bank, 1987.

ZICKFELD, K.; SLAWIG, T.; RAHMSTORF, S. A low-order model for the response of the Atlantic thermohaline circulation to climate change. **Ocean Dynamics**, v.54, p.8 – 26, 2004.

ANEXOS

ANEXO A

Este anexo apresenta os 159 fatores que são utilizados para caracterizar as seções viárias para análise do programa HDM-4. Na coluna Tipo de Pavimento é utilizada uma codificação com o seguinte significado: B – pavimento com revestimento asfáltico; C – pavimento com revestimento de concreto de cimento Portland; e S – pavimentos sem revestimento. Na coluna Comentários a sigla NE significa Não Especificado, ou seja, não é apresentada uma definição clara na atual versão do HDM.

| Sigla | Tipo de Pavimento | Comentários |
|--------------|--------------------------|--|
| SECT_ID | Todos | Sigla de identificação da seção |
| SECT_NAME | Todos | Nome de identificação da seção |
| LINK_ID | Todos | Sigla de identificação da ligação |
| LINK_NAME | Todos | Nome de identificação da ligação |
| SPEED_FLOW | Todos | Tipo de Velocidade do Fluxo de Tráfego |
| TRAF_FLOW | Todos | Tipo de Fluxo de Tráfego Padrão |
| ROAD_CLASS | Todos | Classe da rodovia |
| CLIM_ZONE | Todos | Zona climática da seção |
| SURF_CLASS | Todos | Classe da superfície de rolamento (Ver notas a seguir) |
| PAVE_TYPE | Todos | Tipo de pavimento (Ver notas a seguir) |
| LENGTH | Todos | Comprimento da seção em km (L) |
| CWAY_WIDTH | Todos | Largura da faixa de rolamento (CW) |
| SHLD_WIDTH | Todos | Média da largura do acostamento (SW) |
| NUM_LANES | Todos | Número de faixas de rolamento (NLANES) |
| MT_AADT | Todos | Volume diário médio anual de veículos motorizados (AADT) |
| NM_AADT | Todos | Volume diário médio anual de veículos não motorizados (AADT) |

| Sigla | Tipo de Pavimento | Comentários |
|----------------|--------------------------|---|
| AADT_YEAR | Todos | Ano de obtenção do volume médio diário anual (VDMA) |
| DIRECTION | Todos | Direção do tráfego na seção (subida, descida ou ambos) |
| RF | Todos | Média absoluta de subidas e descidas da seção em m/km (RF) |
| NUM_RFS | Todos | Média do número de subidas e descidas da seção por km (NUM_RF) |
| SUPERELEV | Todos | Superelevação da rodovia em % (e) |
| CURVATURE | Todos | Média da curvatura do alinhamento horizontal em graus/km (C) |
| SIGM_ADRAL | Todos | Aceleração natural devido ao comportamento do motorista e ao alinhamento da rodovia em m/s ² |
| SPEED_LIM | Todos | Limite de velocidade regulamentado (PLIMIT) |
| ENFORCEMNT | Todos | Fator de calibração da velocidade |
| XNMT | Todos | Fator de redução da velocidade devido aos veículos não motorizados (1 = sem redução; 0,6 = redução significativa) |
| XMT | Todos | Fator de redução da velocidade devido aos veículos motorizados |
| XFRI | Todos | Fator de redução da velocidade devido ao atrito lateral (1 = sem atrito; 0,6 = atrito significativa) |
| SURF_MATRL | BS | Tipo do material do revestimento (Ver notas a seguir) |
| HSNEW | B | Espessura do revestimento mais recente em mm |
| HSOLD | B | Espessura total do revestimento antigo em mm |
| HBASE | B | Espessura da base no pavimento original em mm (somente para bases estabilizadas) |
| RES_MODULU | B | Módulo de resiliência do solo-cimento em GPa (somente para bases estabilizadas) |
| REL_COMPCT | B | Compactação relativa das camadas de base, sub-base e subleito em % (Indicador da Qualidade de Construção) |
| SNP_DERIVE | B | Método de derivação do Número Estrutural do Pavimento (Ver notas a seguir) |
| SN | B | Número Estrutural do Pavimento |
| CBR | B | Índice de Suporte Califórnia |
| SNP_DRY | B | VERDADEIRO se o SNP foi especificado para a estação seca, e FALSO se o SNP foi especificado para a estação úmida |
| D ₀ | B | Deflexão no centro da bacia (a 700 kPa) (usado para calcular SNP) |
| BENKEL_DEF | B | Deflexão medida com a Viga Benkelman, em mm, sob carga de 80 kN |

| Sigla | Tipo de Pavimento | Comentários |
|--------------|--------------------------|---|
| | | por eixo, pressão dos pneus de 520 kPa e temperatura média do revestimento asfáltico de 30°C |
| SURF_STREN | B | Coefficiente de estrutural da nova camada de revestimento (usado para calcular SNP) |
| BASE_STREN | B | Coefficiente estrutural da camada de base (usado para calcular SNP) |
| SUBB_STREN | B | Coefficiente estrutural da camada de sub-base (usado para calcular SNP) |
| HSUBBASE | B | Altura da sub-base em mm (usada para calcular SNP) |
| SUBG_TYPE | C | NE |
| KMODULUS | C | NE |
| SURF_THICK | C | NE |
| SLAB_LENTH | C | NE |
| ELAST_MOD | C | NE |
| RUPT_MOD | C | NE |
| SHRINKAGE | C | NE |
| THERMALEXP | C | NE |
| DOWEL_DIAM | C | NE |
| CORR_COAT | C | NE |
| JOINT_SEAL | C | NE |
| REINFSTEEL | C | NE |
| REINFPLACE | C | NE |
| BASE_THICK | C | NE |
| BASE_MODUL | C | NE |
| BASE_TYPE | C | NE |
| PERMEABLE | C | NE |
| CNSTR_YEAR | C | NE |
| SURF_D95 | S | Tamanho máximo da partícula de material de revestimento, definido como a abertura equivalente da peneira pela qual passa 95% do material, em mm |
| SURF_PI | S | Índice de plasticidade (IP) do material da superfície (%) |
| SURF_P02 | S | Quantidade de material de superfície que passa na peneira de abertura |

| Sigla | Tipo de Pavimento | Comentários |
|--------------|--------------------------|---|
| | | 2,00 mm (ASTM #10), em % de massa |
| SURF_P425 | S | Quantidade de material de superfície que passa na peneira de abertura 0,425 mm (ASTM #40), em % de massa |
| SURF_P075 | S | Quantidade do material de superfície que passa na peneira de abertura 0,075 mm (ASTM #200), em % de massa |
| SUBG_PI | S | Índice de plasticidade (IP) do material de subleito (%) |
| SUBG_P02 | S | Quantidade do material de subleito que passa na peneira de abertura 2,00 mm (ASTM #10), em % de massa |
| SUBG_P425 | S | Quantidade do material de subleito que passa na peneira de abertura 0,425 mm (ASTM #40), em % de massa |
| SUBG_P075 | S | Quantidade do material de subleito que passa na peneira de abertura 0,075 mm (ASTM #200), em % de massa |
| SUBG_D95 | S | Tamanho máximo da partícula de material do subleito, definido como a abertura equivalente da peneira pela qual passa 95% do material, em mm |
| SUBG_MATRL | S | Material de subleito do pavimento sem revestimento (Ver notas a seguir) |
| COMPMETHOD | S | Método de compactação (mecânico ou não mecânico) (Ver notas a seguir) |
| COND_YEAR | B | Ano do levantamento de defeitos |
| ROUGHNESS | Todos | Irregularidade longitudinal, em m/km (IRI) |
| CRACKS_TOT | B | Área total de trincas, em % da área da faixa de rolamento (ACRA) |
| RAVEL_AREA | B | Área com desgaste, em % da área da faixa de rolamento (ARV) |
| PHOLE_NUM | B | Número de painéis por km (NPT) |
| EDGEBREAK | B | Área com trincas nos bordos, em m ² por km (VEB) |
| RUT_DEPTH | B | Média da deformação permanente, em mm (RDM) |
| TEXT_DEPTH | B | Profundidade da macrotextura, em mm (TD) |
| SKIDRESIST | B | Resistência à derrapagem (medida a 50 km/h) (SFC ₅₀) |
| DRAIN_COND | B | Condições da drenagem (Ver notas a seguir) |
| FAULTING | C | NE |
| SPALL_JNTS | C | NE |
| CRACKSLABS | C | NE |

| Sigla | Tipo de Pavimento | Comentários |
|--------------|--------------------------|---|
| DETERCRACK | C | NE |
| FAILURESKM | C | NE |
| GRAV_THICK | S | Espessura do cascalho em mm (THG) |
| DEFECTSURF | B | Indicador das falhas construtivas para revestimentos asfálticos (CDS) |
| DEFECTBASE | B | Indicador de falhas construtivas na camada de base (CDB) |
| LAST_CONST | B | Ano da última reconstrução |
| LAST_SURF | B | Ano do último recapeamento |
| LAST_PRVNT | B | Ano do último tratamento preventivo |
| LAST_REHAB | B | Ano da última reabilitação |
| PREV_ACA | B | Área de todas as trincas estruturais antes da última reabilitação como % da área da faixa de rolamento (PCRA) |
| PREV_ACW | B | Área das trincas largas antes da última reabilitação como % da área da faixa de rolamento (PCRW) |
| PREV_NCT | B | Número de trincas térmicas transversais antes da última manutenção ou recapeamento (n°/km) (PNCT) |
| LASTGRAVEL | S | Ano da última reposição de cascalho |
| CRACK_CRT | B | Tempo de retardo no trincamento devido à manutenção |
| RAVEL_RRF | B | Fator de retardo no surgimento do desgaste devido à manutenção (RRF) |
| ACA_INIT | B | Fator de calibração para o surgimento de todas as trincas estruturais (Kcia) |
| ACA_PROG | B | Fator de calibração para progressão de todas as trincas estruturais (Kcpa) |
| ACW_INIT | B | Fator de calibração para o surgimento das trincas estruturais largas (Kciw) |
| ACW_PROG | B | Fator de calibração para a progressão das trincas estruturais largas (Kcpw) |
| ACT_INIT | B | Fator de calibração para o início das trincas transversais térmicas (Kcit) |
| ACT_PROG | B | Fator de calibração para a progressão das trincas transversais térmicas (Kcpt) |
| RAVEL_INIT | B | Fator de calibração para o início do desgaste (Kvi) |
| RAVEL_PROG | B | Fator de calibração para a progressão do desgaste (Kvp) |

| Sigla | Tipo de Pavimento | Comentários |
|---------------|--------------------------|---|
| PHOLE_INIT | B | Fator de calibração para o início das panelas (Kpi) |
| PHOLE_PROG | B | Fator de calibração para a progressão das panelas (Kpp) |
| EDGEB_PROG | B | Fator de calibração para a progressão das trincas nos bordo (Keb) |
| TEXTD_FCTR | B | Fator de calibração para o modelo da profundidade da macrotextura (Ktd) |
| SKIDR_FCTR | B | Fator de calibração para o modelo da resistência à derrapagem (Ksfc) |
| SKIDR_SPED | B | Fator de calibração para o efeito da velocidade na resistência ao deslizamento (Ksfcs) |
| RUT_INITDN | B | Fator de calibração para início da deformação estrutural (Krid) |
| RUT_STRUCTURE | B | Fator de calibração para deformação estrutural (Krst) |
| RUT_PLASTC | B | Fator de calibração para deformação plástica (Krpdc) |
| ELANES | BC | Número efetivo de faixas de rolamento (ELANES) |
| PATCH_TIME | B | Intervalo de tempo entre a ocorrência da panela e o seu remendo (Ver notas a seguir) |
| DRAINLIFE | B | Fator de calibração para a vida útil da drenagem (Kdrain) |
| K_SNPK | B | Fator de calibração para o cálculo da componente estrutural da irregularidade (Ksnpk) |
| DIST_ACA | B | Total de trincas estruturais (ACA), em % do total de área trincada (ACRA) |
| DIST_ACW | B | Trincas estruturais largas (ACW), em % do total de trincas estruturais (ACA) |
| DIST_ACT | B | Trincas transversais térmicas (ACT), em % do total de área trincada (ACRA) |
| RUT_WEAR | B | Fator de calibração para a superfície de rolamento devido à utilização de pneus com pregos (Krsw) |
| SNP_RATIO | B | Fator de calibração para a razão do SNP das estações úmida e seca (Kf) |
| ENVIR_FCTR | B | Fator de calibração do coeficiente ambiental (Kgm) |
| ROUGH_FCTR | B | Fator de calibração para a progressão da irregularidade longitudinal (Kgp) |
| STUD_TYRES | B | Porcentagem dos veículos que utilizam pneus com pregos |
| SALTONROAD | B | O sal é utilizado no inverno para derreter o gelo? (Sim / Não) |
| DRAINAGE | B | Fator de calibração para a drenagem (Kddf) |

| Sigla | Tipo de Pavimento | Comentários |
|--------------|--------------------------|---|
| IRI_K0 | C | NE |
| FAULTINGK0 | C | NE |
| SPALLINGK0 | C | NE |
| CRACKINGK0 | C | NE |
| CRACKDETK0 | C | NE |
| FAILURESK0 | C | NE |
| ROUGH_USER | S | VERDADEIRO = Irregularidade especificada pelo usuário; FALSO = Irregularidade calculada |
| SURFTMLOSS | S | Fator de calibração da perda de material de superfície devido o tráfego (Kkt) |
| SURFGRVLOS | S | Fator de calibração de perda de cascalho (Kgl) |
| MINSURFIRI | S | Irregularidade longitudinal mínima do material de superfície em m/km (QIMINg) |
| MAXSURFIRI | S | Irregularidade longitudinal máxima do material de superfície em m/km (QIMAXg) |
| SUBGTMLOSS | S | Fator de calibração da perda de material de subleito devido o tráfego (Kkt) |
| SUBGGRVLOS | S | Fator de calibração de perda do material de subleito (Kgl) |
| MINSUBGIRI | S | Irregularidade longitudinal mínima do material de subleito em m/km (QIMINs) |
| MAXSUBGIRI | S | Irregularidade longitudinal máxima do material de subleito em m/km (QIMAXs) |
| NUM_SHLDRS | BS | Número de acostamentos |
| EDGE_STEP | B | Média do desnível de bordo em mm (ESTEP) |
| DRAIN_TYPE | B | Tipo de drenagem (Ver notas a seguir) |
| ALTITUDE | Todos | Altitude em m (ALT) |
| SHOULDTYPE | C | NE |
| WIDN_WIDTH | C | NE |
| EDGEDRAINS | C | NE |
| DRAIN_FCTR | C | NE |

| Sigla | Tipo de Pavimento | Comentários |
|--------------|--------------------------|--|
| NMT_SEPAR | Todos | VERDADEIRO = Faixas para veículos não motorizados separadas; FALSO = Sem faixas para veículos não motorizados separadas |
| NMTLANES | Todos | Número de faixas para veículos não motorizados (NMTLN) |
| NMT_LTYPE | Todos | Tipo de pavimento para veículos não motorizados (Ver notas a seguir) |

NOTAS

CLASSES DE REVESTIMENTO

Asfáltico
 Concreto de cimento Portland
 Sem Revestimento

TIPO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Mistura asfáltica sobre base granular
 Mistura asfáltica sobre base betuminosa
 Mistura asfáltica sobre pavimento asfáltico
 Mistura asfáltica sobre base estabilizada
 Tratamento superficial sobre base granular
 Tratamento superficial sobre base betuminosa
 Tratamento superficial sobre pavimento asfáltico
 Tratamento superficial sobre base estabilizada

TIPO DE PAVIMENTOS SEM REVESTIMENTO

Cascalho
 Solo
 Areia

TIPO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Concreto simples com barras de transferência nas juntas
 Concreto simples sem barras de transferência nas juntas
 Concreto armado com juntas
 Concreto armado contínuo

MATERIAL DE REVESTIMENTO BETUMINOSO

Concreto Asfáltico
 Pré-misturado a quente
 Asfalto modificado com polímeros
 Pré-misturado a frio
 Camada Porosa de Atrito
 SMA
 Tratamento superficial simples
 Tratamento superficial duplo
 Capa selante
 Lama asfáltica
 Macadame betuminoso

MATERIAL DE SUPERFÍCIE EM PAVIMENTO SEM REVESTIMENTO

Solo laterítico
 Solo quartizítico
 Solo vulcânico
 Cascalho angular

MÉTODOS DE CÁLCULO DE SNP

Especificado pelo usuário
Coeficientes das camadas
Viga Benkelman
FWD

TIPO DE BASE DE PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Granular
Tratada com betume
Tratada com cimento

TIPO DE SELAGEM DE JUNTAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Silicone
Asfalto
Pré-formados
Nenhum

TIPO DE SUBLEITO EM PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Fino
Grosseiro

MATERIAL DE SUBLEITO EM PAVIMENTOS SEM REVESTIMENTOS

Cascalho / Areia bem graduado com pequena fração de argila
Misturas cascalho / areia com excesso de finos
Siltes argilosos inorgânicos
Argilas inorgânicas com plasticidade média
Argilas inorgânicas com plasticidade alta

CONDIÇÃO DA DRENAGEM

Excelente
Boa
Regular
Ruim
Péssima

TEMPO PARA FECHAMENTO DE PANEAS

Menor que 2 semanas
1 mês
2 meses
3 meses
4 meses
6 meses
12 meses

TIPO DE DRENAGEM

Totalmente revestida e ligada
Superficial revestida
Forma de V rígida
Forma de V flexível
Rasa rígida
Rasa Flexível
Revestimento em grama
Sem efeitos de drenagem



TIPO DE REVESTIMENTO EM FAIXA DE VEÍCULOS NÃO MOTORIZADOS























Betuminoso
Concreto Portland
Blocos
































Cascalho
Solo
Areia
























ANEXOS


















ANEXO B






















Este anexo apresenta os 160 fatores que são utilizados para caracterizar os veículos tipo no programa HDM-4. Na coluna Categoria é utilizada uma codificação com o seguinte significado:  - veículos da categoria motorizados;  - veículos da categoria não motorizados.























| Sigla | Categoria | Comentários |
|------------|---|--|
| VEH_NAME |   | Nome especificado pelo usuário para o veículo tipo |
| CATEGORY |   | Categoria do veículo tipo (motorizado ou não motorizado) |
| BASE_TYPE |   | Veículo base do HDM-4 através do qual o veículo foi derivado (Ver notas a seguir) |
| CLASS |   | Classe do veículo (Ver notas a seguir) |
| INFO |   | Descrição do veículo |
| LIFE_MODEL |  | Modelo de ciclo de vida usado para análises dos efeitos sobre os usuários (constante ou ótima) |
| PCSE |  | Fator de equivalência por carros de passeio |
| NUM_WHEELS |   | Número de pneus por veículo |
| NUM_AXLES |  | Número de eixos por veículo |
| TYRE_TYPE |  | Tipo de pneu (radial, diagonal ou extralargo) |
| TYRE_NRO |  | Número de recapamentos por pneu |
| TYRE_RREC |  | Custo da recauchutagem em relação a um pneu novo (%) |
| AKM0 |   | Número médio de quilômetros rodados (km) |
| HRWK0 |   | Número de horas por ano em viagens (horas) |






















| Sigla | Categoria | Comentários |
|--------------|---|---|
| LIFE0 |   | Vida útil média do veículo (ano) |
| PP |  | Porcentagem do uso do veículo para viagens privadas (%) |
| PAX |   | Número médio de passageiros no veículo |
| W |  | Porcentagem de viagens com passageiros ligadas com o trabalho (%) |
| WEIGHT_OP |   | Peso médio de operação do veículo |
| WGT_UNIT |  | Unidade em que o peso médio é dado (toneladas, libras ou quilos) |
| ESAL |  | Número de equivalência em eixos padrão |
| EUC_VEH |   | Custo econômico de um veículo novo |
| EUC_TYRE |  | Custo econômico da substituição de um pneu |
| EUC_FUEL |  | Custo econômico do combustível por litro |
| EUC_OIL |  | Custo econômico do lubrificante por litro |
| EUC_LABOUR |  | Custo econômico do trabalho de manutenção por hora |
| EUC_CREW |   | Custo econômico dos salários para a tripulação por hora |
| EUC_OHEAD |   | Custos econômicos indiretos |
| EUC_INTRST |   | Taxa de juros (%), em custos econômicos |
| EUC_WORK |  | Custo econômico do trabalho dos passageiros por hora |
| EUC_NONWRK |  | Custo econômico do tempo vago dos passageiros por hora |
| EUC_CARGO |   | Custo econômico do atraso da carga transportada por hora |
| FUC_VEH |   | Custo financeiro de um veículo novo |
| FUC_TYRE |  | Custo financeiro da substituição de um pneu |
| FUC_FUEL |  | Custo financeiro do combustível por litro |
| FUC_OIL |  | Custo financeiro do lubrificante por litro |























| Sigla | Categoria | Comentários |
|------------|---|--|
| FUC_LABOUR |  | Custo financeiro da substituição de um pneu |
| FUC_CREW |   | Custo financeiro do combustível por litro |
| FUC_OHEAD |   | Custo financeiro do lubrificante por litro |
| FUC_INTRST |   | Taxa de juros (%), em custos financeiros |
| AF |  | Área frontal do veículo (m ²) |
| CD |  | Coefficiente de arrasto aerodinâmico |
| CDMULT |  | Multiplicador do arrasto aerodinâmico |
| CR_B_A0 |  | Parâmetro do modelo em função da resistência ao rolamento |
| CR_B_A1 |  | Parâmetro do modelo em função da resistência ao rolamento |
| CR_B_A2 |  | Parâmetro do modelo em função da resistência ao rolamento |
| PDRIVE |  | Força motriz máxima utilizada |
| PDRV_UNITS |  | Unidade em que a força motriz é dada (hp, kW, mph ou ps) |
| PBRAKE |  | Força de parada máxima utilizada |
| PBRK_UNITS |  | Unidade em que a força de parada é dada (hp, kW, mph ou ps) |
| PRAT |  | Potência nominal do motor |
| PRAT_UNITS |  | Unidade em que a potência nominal é dada (hp, kW, mph ou ps) |
| FPLIM |  | Fator de transitabilidade de rodovias sem revestimento (1=completamente transitável; 3=intransitável) |
| B_VDES2 |  | Velocidade desejável em uma rodovia de duas faixas com revestimento betuminoso (km/h) |
| B_VDES_A0 |  | Parâmetro de efeito sobre a velocidade desejável em rodovias com revestimento betuminoso |
| B_VDES_A1 |  | Taxa de aumento na velocidade desejada para uma estrada de duas faixas com revestimento betuminoso por metro de largura de estrada aumentada ((m/s)/m) |




| Sigla | Categoria | Comentários |
|------------|---|---|
| B_VDES_A2 |  | Relação entre o valor mínimo desejado de velocidade e a velocidade desejada para uma estrada de duas faixas com revestimento betuminoso |
| B_VDES_CW1 |  | Largura mínima para uma rodovia de faixa única com revestimento betuminoso (m) |
| B_VDES_CW2 |  | Largura mínima para uma rodovia com duas faixas e revestimento betuminoso (m) |
| C_VDES2 |  | Velocidade desejável em uma rodovia de duas faixas com revestimento de concreto (km/h) |
| C_VDES_A0 |  | Parâmetro de efeito sobre a velocidade desejável em rodovias com revestimento de concreto |
| C_VDES_A1 |  | Taxa de aumento na velocidade desejada para uma estrada de duas faixas com revestimento de concreto por metro de largura de estrada aumentada ((m/s)/m) |
| C_VDES_A2 |  | Relação entre o valor mínimo desejado de velocidade e a velocidade desejada para uma estrada de duas faixas com revestimento de concreto |
| C_VDES_CW1 |  | Largura mínima para uma rodovia de faixa única com revestimento de concreto (m) |
| C_VDES_CW2 |  | Largura mínima para uma rodovia com duas faixas e revestimento de concreto (m) |
| U_VDES2 |  | Velocidade desejável em uma rodovia de duas faixas com revestimento de sem revestimento (km/h) |
| U_VDES_A0 |  | Parâmetro de efeito sobre a velocidade desejável em rodovias sem revestimento |
| U_VDES_A1 |  | Taxa de aumento na velocidade desejada para uma estrada de duas faixas sem revestimento por metro de largura de estrada aumentada ((m/s)/m) |
| U_VDES_A2 |  | Relação entre o valor mínimo desejado de velocidade e a velocidade desejada para uma estrada de duas faixas sem revestimento |
| U_VDES_CW1 |  | Largura mínima para uma rodovia de faixa única sem revestimento (m) |
| U_VDES_CW2 |  | Largura mínima para uma rodovia com duas faixas e sem revestimento (m) |
| VCURVE_A0 |  | Parâmetro de regressão do modelo VCURVE |
| VCURVE_A1 |  | Parâmetro de regressão do modelo VCURVE |

| Sigla | Categoria | Comentários |
|------------|---|---|
| VROUGH_A0 |  | Parâmetro de regressão do modelo VROUGH |
| ARVMAX |  | Velocidade máxima média corrigida dos movimentos de suspensão (mm/s) |
| SPEED_SIG |  | Erro padrão da estimativa dos parâmetros do modelo de velocidade de estado estacionário |
| SPEED_BETA |  | A forma determinante da distribuição de Weibull |
| COV |  | Coefficiente de variação de velocidade no fluxo de tráfego |
| CGR_A0 |  | Parâmetro para o modelo do comprimento crítico em rampa |
| CGR_A1 |  | Parâmetro para o modelo do comprimento crítico em rampa |
| CGR_A2 |  | Parâmetro para o modelo do comprimento crítico em rampa |
| RPM_A0 |  | Parâmetro para o modelo de velocidade do motor (RPM) |
| RPM_A1 |  | Parâmetro para o modelo de velocidade do motor (RPM/(m/s)) |
| RPM_A2 |  | Parâmetro para o modelo de velocidade do motor (RPM/(m/s) ²) |
| RPM_A3 |  | Parâmetro para o modelo de velocidade do motor (m/s) |
| RPM_IDLE |  | Rotação da marcha lenta do motor (RPM) |
| IDLE_FUEL |  | Taxa de consumo de combustível da marcha lenta do motor (mL/s) |
| ZETAB |  | Fator de eficiência da potencia do motor em base de combustível (mL/kW/s) |
| EHP |  | Fator de redução da eficiência do motor com maior potência |
| EDT |  | Fator de eficiência da combinação em caminhões |
| PACCS_A0 |  | Taxa de arrasto do motor e acessórios trabalhando a uma velocidade de 100 km/h |
| PCTPENG |  | Arrasto do motor como uma porcentagem da potência do motor e acessórios (%) |
| OILCONT |  | Perda de óleo por contaminação por 100 veículos – km (L/1000 km) |
| OILOPER |  | Perda de óleo por operação por 100 veículos – km (L/1000 km) |

| Sigla | Categoria | Comentários |
|------------|---|--|
| AMAXV |  | Desaceleração máxima do veículo (m/s ²) |
| FRIAMAX |  | Desaceleração máxima devido ao atrito lateral (m/s ²) |
| NMTAMAX |  | Desaceleração máxima devido aos veículos não motorizados (m/s ²) |
| RIAMAX |  | Desaceleração máxima devido a irregularidade (m/s ²) |
| AMAXRI |  | Irregularidade na qual a desaceleração máxima ocorre (m/km) |
| WHEEL_DIAM |   | Diâmetro do pneu (m) |
| TYRE_COTC |  | Parâmetro relativo as propriedades do material do pneu (dm ³) |
| TYRE_CTCTE |  | Coefficiente de desgaste do pneu (dm ³ /J-m) |
| TYRE_CTCON |  | Fator de aumento no desgaste do pneu relacionado com o congestionamento |
| TYRE_VOL |  | Volume útil de borracha por pneu (dm ³) |
| PARTS_A0 |  | Termo constante do modelo de consumo de peças |
| PARTS_A1 |  | Parâmetro da dependência do consumo de peças em relação a irregularidade |
| PARTS_KP |  | Parâmetro do efeito da idade no modelo de consumo de peças |
| RI_SHAPE |  | Fator de nivelamento de forma para o modelo de consumo de peças |
| RIMIN |  | Irregularidade mínima para usar o modelo de consumo de peças |
| CPCON |  | Fator de aumento do consumo de peças relacionados com o congestionamento |
| PARTS_K0PC |  | Fator rotação para calibração do modelo de consumo de peças |
| PARTS_K1PC |  | Fator de translação para calibração do modelo de consumo de peças |
| LAB_A0 |  | Termo constante do modelo de horas de trabalho |
| LAB_A1 |  | Expoente do consumo de peças do modelo de horas de trabalho |
| LAB_K0LH |  | Fator rotação de calibração do modelo de horas de trabalho |

| Sigla | Categoria | Comentários |
|------------|---|---|
| LAB_K1LH |  | Fator translação de calibração do modelo de horas de trabalho |
| OPTLIFE_A0 |  | Coefficiente de regressão para o modelo de ciclo de vida ótimo |
| OPTLIFE_A1 |  | Coefficiente de regressão para o modelo de ciclo de vida ótimo |
| OPTLIFE_A2 |  | Valor mínimo residual de um veículo como porcentagem do preço de um veículo novo (%) |
| OPTLIFE_A3 |  | Valor máximo residual de um veículo como porcentagem do preço de um veículo novo (%) |
| OPTLIFE_A4 |  | Irregularidade máxima média sob a qual o valor residual máximo do veículo é suscetível de se obter (m/km) |
| EM_HC_0 |  | Fator de calibração do modelo de emissão de hidrocarbonetos |
| EM_HC_1 |  | Fator de calibração da emissão de hidrocarbonetos relacionado com o consumo de combustível |
| EM_CO_0 |  | Fator de calibração do modelo de emissão de monóxido de carbono |
| EM_CO_1 |  | Fator de calibração da emissão de monóxido de carbono relacionado com o consumo de combustível |
| EM_NOX_0 |  | Fator de calibração do modelo de emissão de óxido nitroso |
| EM_NOX_1 |  | Fator de calibração da emissão de óxido nitroso relacionado com o consumo de combustível |
| EM_PART_0 |  | Fator de calibração do modelo de emissão de partículas |
| EM_PART_1 |  | Fator de calibração da emissão de partículas relacionado com o consumo de combustível |
| EM_CO2_0 |  | Fator de calibração do modelo de emissão de dióxido de carbono |
| EM_SO2_0 |  | Fator de calibração do modelo de emissão de dióxido sulfúrico |
| EM_LEAD_0 |  | Fator de calibração do modelo de emissão de chumbo |
| EN_FUELTYP |  | Tipo de combustível (gasolina ou diesel) |
| EN_PRODVEH |  | Energia utilizada na produção de um veículo (GJ) |
| EN_PCTPART |  | Porcentagem das peças produzidas no país em análise (%) |
| EN_PCTVEH |  | Porcentagem do veículo fabricado no país em análise (%) |

| Sigla | Categoria | Comentários |
|------------|---|---|
| EN_TYREWGT |  | Peso médio do pneu (kg) |
| EN_TAREWGT |  | Peso médio do veículo vazio |
| EN_TAREUNT |  | Unidade em que o peso vazio é dado (toneladas, libras, quilos) |
| NM_WHEEL |  | Tipo de pneu (pneumático, aço ou madeira) |
| NM_PAYLOAD |  | Peso médio de carga por veículo |
| NM_VDESP |  | Velocidade desejada do veículo em rodovias revestidas (km/h) |
| NM_VDESU |  | Velocidade desejada do veículo em rodovias sem revestimento (km/h) |
| NM_A_RGH |  | Coefficiente irregularidade do modelo de velocidade |
| NM_CRGR |  | Rampa crítica do tipo de veículo |
| NM_A_GRD |  | Coefficiente dependente da rampa do modelo de velocidade |
| NM_A_RMC |  | Fator de calibração do modelo de custos de reparos e manutenção |
| NM_B_RMC |  | Fator de calibração do modelo de custos de reparos e manutenção |
| NM_KEF |  | Fator de eficiência da energia |
| EUC_PSGR |  | Custo econômico médio do tempo do passageiro (por horas) |
| EUC_ENERGY |  | Custo econômico da energia usada nos veículos não motorizados (custo/Joule) |
| FUC_PSGR |  | Custo financeiro médio do tempo do passageiro (por horas) |
| FUC_CARGO |  | Custo financeiro médio do atraso da carga (por horas) |
| FUC_ENERGY |  | Custo financeiro da energia usada nos veículos não motorizados (custo/Joule) |
| CURRENCY |   | Moeda em que todos os custos unitários da frota são especificados. Deve ser o mesmo para todos os tipos de veículos |
| EMRAT_A0 |  | Parâmetro de inércia |
| EMRAT_A1 |  | Parâmetro de inércia |

| Sigla | Categoria | Comentários |
|--------------|---|---|
| EMRAT_A2 |  | Parâmetro de inércia |
| KPFAC |  | |
| KPEA |  | Fator de calibração da potência total do motor e acessórios |

NOTAS

MODELO BASE DO VEÍCULO

Motorizados

Motos convencionais
 Carros de passeio pequeno
 Carros de passeio médio
 Carros de passeio grande
 Veículos de entrega (vans)
 Veículos de mercadorias (caminhonetes)
 Veículos com tração nas quatro rodas
 Caminhões leves
 Caminhões médios
 Caminhões pesados
 Caminhões articulados
 Micro-ônibus
 Ônibus leve
 Ônibus médio
 Ônibus pesado
 Ônibus duplo

Não Motorizados

Pedestres
 Bicicleta
 Carro leve de duas rodas para transporte de pessoas , puxado por um ou mais homens
 Carroça de tração animal

CLASSE DO VEÍCULO

Motorizados

Motocicletas
 Carros de passeio
 Utilitários
 Caminhões
 Ônibus

Não Motorizados

Pedestres
 Bicicleta
 Carro leve de duas rodas para transporte de pessoas , puxado por um ou mais homens
 Carroça de tração animal

APÊNDICES

APÊNDICE A

Este apêndice apresenta os resultados das análises de sensibilidade realizadas em cada grupo ensaiado, para a determinação do número ótimo de trajetórias a ser utilizado no Método dos Efeitos Elementares, para avaliação do programa HDM-4.

Análise do grupo 60-A (com 60 trajetórias e identificado como A)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 21,657 | MT_AADT | 21,145 |
| ROUGH_FCTR | 15,348 | ROUGH_FCTR | 19,989 |
| SNP_RATIO | 8,879 | SNP_RATIO | 14,995 |
| RUT_PLASTC | 4,890 | RUT_PLASTC | 7,798 |
| SN | 3,353 | PHOLE_PROG | 7,231 |
| PHOLE_NUM | 3,316 | SN | 6,564 |
| ENVIR_FCTR | 2,067 | PHOLE_NUM | 4,611 |
| ROUGHNESS | 1,941 | ROUGHNESS | 3,938 |
| PHOLE_PROG | 1,600 | ENFORCEMNT | 2,720 |
| CBR | 1,501 | DIST_ACA | 2,504 |
| XFRI | 0,988 | XFRI | 2,473 |
| CWAY_WIDTH | 0,938 | DEFECTBASE | 2,446 |
| XNMT | 0,829 | ENVIR_FCTR | 2,308 |
| ENFORCEMNT | 0,808 | CBR | 2,068 |
| DIST_ACA | 0,740 | XNMT | 2,022 |
| HSOLD | 0,667 | CWAY_WIDTH | 1,780 |
| HSNEW | 0,583 | EDGE_STEP | 1,519 |
| DEFECTBASE | 0,559 | DEFECTSURF | 1,222 |
| EDGE_STEP | 0,554 | HSOLD | 1,155 |
| DEFECTSURF | 0,476 | RUT_STRUCT | 0,982 |
| CRACK_CRT | 0,356 | ACA_PROG | 0,956 |
| NM_AADT | 0,321 | CRACK_CRT | 0,886 |
| ACA_PROG | 0,318 | HSNEW | 0,884 |
| RUT_STRUCT | 0,258 | K_SNPK | 0,867 |
| K_SNPK | 0,252 | ACA_INIT | 0,581 |
| SPEED_LIM | 0,249 | SPEED_LIM | 0,525 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ACA_INIT | 0,218 | CRACKS_TOT | 0,450 |
| RF | 0,192 | EDGEB_PROG | 0,373 |
| CRACKS_TOT | 0,154 | NM_AADT | 0,334 |
| XMT | 0,129 | RF | 0,309 |
| ALTITUDE | 0,125 | CURVATURE | 0,281 |
| CURVATURE | 0,124 | ALTITUDE | 0,277 |
| RAVEL_AREA | 0,061 | XMT | 0,201 |
| EDGEB_PROG | 0,053 | RAVEL_AREA | 0,191 |
| ACW_PROG | 0,052 | RAVEL_RRF | 0,172 |
| DIST_ACW | 0,051 | DIST_ACW | 0,168 |
| REL_COMPCT | 0,040 | ACW_PROG | 0,150 |
| RAVEL_RRF | 0,037 | RAVEL_PROG | 0,137 |
| SUPERELEV | 0,033 | REL_COMPCT | 0,104 |
| DRAINLIFE | 0,029 | RUT_DEPTH | 0,099 |
| RAVEL_PROG | 0,029 | SUPERELEV | 0,089 |
| RUT_DEPTH | 0,021 | DRAINLIFE | 0,054 |
| DRAINAGE | 0,015 | ACT_PROG | 0,051 |
| TEXTD_FCTR | 0,013 | RAVEL_INIT | 0,045 |
| ACT_PROG | 0,011 | EDGEBREAK | 0,044 |
| RAVEL_INIT | 0,009 | DIST_ACT | 0,034 |
| EDGEBREAK | 0,009 | PREV_ACW | 0,033 |
| DIST_ACT | 0,008 | TEXTD_FCTR | 0,028 |
| PREV_ACW | 0,008 | DRAINAGE | 0,026 |
| TEXT_DEPTH | 0,004 | TEXT_DEPTH | 0,016 |
| PREV_ACA | 0,003 | PREV_ACA | 0,014 |
| ACW_INIT | 0,002 | ACW_INIT | 0,012 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 60-B (com 60 trajetórias e identificado como B)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 17,303 | MT_AADT | 18,967 |
| ROUGH_FCTR | 13,443 | ROUGH_FCTR | 16,436 |
| SNP_RATIO | 10,245 | SNP_RATIO | 14,305 |
| RUT_PLASTC | 4,209 | RUT_PLASTC | 6,807 |
| PHOLE_NUM | 3,944 | SN | 6,516 |
| SN | 3,139 | PHOLE_NUM | 6,128 |
| CBR | 2,931 | CBR | 3,660 |
| ENVIR_FCTR | 2,341 | ENVIR_FCTR | 2,826 |
| ROUGHNESS | 1,384 | ROUGHNESS | 2,634 |
| XFRI | 1,034 | SPEED_LIM | 1,907 |
| XNMT | 0,937 | XFRI | 1,896 |
| CWAY_WIDTH | 0,904 | EDGE_STEP | 1,802 |
| EDGE_STEP | 0,782 | XNMT | 1,682 |
| HSNEW | 0,759 | CWAY_WIDTH | 1,632 |
| SPEED_LIM | 0,748 | PHOLE_PROG | 1,283 |
| HSOLD | 0,631 | HSNEW | 1,174 |
| PHOLE_PROG | 0,420 | HSOLD | 1,032 |
| DIST_ACA | 0,408 | DIST_ACA | 0,935 |
| ENFORCEMNT | 0,338 | ENFORCEMNT | 0,844 |
| NM_AADT | 0,286 | K_SNPK | 0,749 |
| CRACK_CRT | 0,255 | ACA_INIT | 0,723 |
| ACA_INIT | 0,225 | CRACKS_TOT | 0,721 |
| RF | 0,215 | DEFECTBASE | 0,582 |
| DEFECTBASE | 0,203 | CRACK_CRT | 0,570 |
| K_SNPK | 0,202 | CURVATURE | 0,449 |
| DEFECTSURF | 0,185 | RF | 0,441 |
| CRACKS_TOT | 0,182 | DEFECTSURF | 0,415 |
| RUT_STRUCT | 0,169 | NM_AADT | 0,406 |
| CURVATURE | 0,156 | ACA_PROG | 0,335 |
| ACA_PROG | 0,155 | RAVEL_AREA | 0,321 |
| XMT | 0,125 | RUT_STRUCT | 0,275 |
| ALTITUDE | 0,104 | ACW_PROG | 0,262 |
| ACW_PROG | 0,058 | ALTITUDE | 0,179 |
| RAVEL_AREA | 0,056 | DIST_ACW | 0,175 |
| DIST_ACW | 0,045 | ACT_PROG | 0,168 |
| DRAINLIFE | 0,043 | XMT | 0,150 |
| SUPERELEV | 0,031 | DRAINLIFE | 0,093 |
| ACT_PROG | 0,023 | SUPERELEV | 0,066 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DRAINAGE | 0,022 | ACW_INIT | 0,059 |
| REL_COMPCT | 0,022 | DRAINAGE | 0,054 |
| ACW_INIT | 0,013 | PREV_ACW | 0,050 |
| RAVEL_INIT | 0,011 | RAVEL_INIT | 0,048 |
| PREV_ACW | 0,009 | DIST_ACT | 0,040 |
| TEXTD_FCTR | 0,009 | RAVEL_PROG | 0,036 |
| RAVEL_RRF | 0,007 | RAVEL_RRF | 0,035 |
| DIST_ACT | 0,007 | REL_COMPCT | 0,030 |
| RAVEL_PROG | 0,007 | TEXTD_FCTR | 0,015 |
| EDGEB_PROG | 0,005 | RUT_DEPTH | 0,013 |
| RUT_DEPTH | 0,004 | EDGEB_PROG | 0,013 |
| EDGEBREAK | 0,003 | PREV_ACA | 0,006 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,005 |
| PREV_ACA | 0,001 | EDGEBREAK | 0,002 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 60-C (com 60 trajetórias e identificado como C)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 18,996 | MT_AADT | 20,133 |
| MT_AADT | 18,425 | SNP_RATIO | 19,207 |
| SNP_RATIO | 12,793 | ROUGH_FCTR | 17,969 |
| RUT_PLASTC | 5,627 | RUT_PLASTC | 8,585 |
| PHOLE_NUM | 3,636 | PHOLE_PROG | 6,526 |
| SN | 2,887 | PHOLE_NUM | 5,998 |
| CBR | 2,807 | ROUGHNESS | 4,915 |
| ROUGHNESS | 2,581 | SN | 4,290 |
| ENVIR_FCTR | 2,458 | CBR | 3,207 |
| PHOLE_PROG | 1,784 | DEFECTSURF | 3,051 |
| CWAY_WIDTH | 1,434 | XFRI | 2,614 |
| XFRI | 1,228 | ENVIR_FCTR | 2,428 |
| XNMT | 1,146 | CWAY_WIDTH | 2,423 |
| EDGE_STEP | 1,077 | XNMT | 2,345 |
| HSNEW | 1,044 | DIST_ACA | 2,306 |
| DEFECTSURF | 0,733 | ACA_PROG | 2,111 |
| DIST_ACA | 0,726 | EDGE_STEP | 2,085 |
| HSOLD | 0,705 | HSNEW | 1,586 |
| ACA_PROG | 0,587 | HSOLD | 1,366 |
| DEFECTBASE | 0,545 | DEFECTBASE | 1,305 |
| ACA_INIT | 0,440 | K_SNPK | 1,203 |
| ENFORCEMNT | 0,379 | ACA_INIT | 1,069 |
| K_SNPK | 0,363 | CRACKS_TOT | 0,884 |
| NM_AADT | 0,333 | CRACK_CRT | 0,857 |
| CRACKS_TOT | 0,312 | SPEED_LIM | 0,782 |
| CRACK_CRT | 0,303 | ENFORCEMNT | 0,775 |
| SPEED_LIM | 0,235 | RAVEL_RRF | 0,687 |
| CURVATURE | 0,219 | CURVATURE | 0,540 |
| RAVEL_RRF | 0,203 | NM_AADT | 0,439 |
| RF | 0,170 | RAVEL_AREA | 0,344 |
| XMT | 0,157 | XMT | 0,312 |
| RUT_STRUCT | 0,118 | RUT_DEPTH | 0,212 |
| RAVEL_AREA | 0,105 | RF | 0,197 |
| ALTITUDE | 0,080 | RAVEL_INIT | 0,188 |
| DRAINLIFE | 0,064 | RUT_STRUCT | 0,158 |
| RAVEL_INIT | 0,041 | ALTITUDE | 0,155 |
| RUT_DEPTH | 0,040 | DRAINLIFE | 0,128 |
| DIST_ACW | 0,038 | DIST_ACW | 0,116 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ACW_PROG | 0,038 | DRAINAGE | 0,110 |
| DRAINAGE | 0,034 | ACW_PROG | 0,100 |
| REL_COMPCT | 0,033 | REL_COMPCT | 0,093 |
| SUPERELEV | 0,032 | DIST_ACT | 0,071 |
| DIST_ACT | 0,013 | SUPERELEV | 0,064 |
| TEXTD_FCTR | 0,012 | RAVEL_PROG | 0,046 |
| EDGEB_PROG | 0,010 | ACW_INIT | 0,044 |
| RAVEL_PROG | 0,009 | EDGEB_PROG | 0,042 |
| ACW_INIT | 0,009 | TEXTD_FCTR | 0,030 |
| EDGEBREAK | 0,004 | ACT_PROG | 0,014 |
| PREV_ACW | 0,004 | PREV_ACW | 0,012 |
| ACT_PROG | 0,003 | TEXT_DEPTH | 0,010 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | EDGEBREAK | 0,007 |
| PREV_ACA | 0,001 | PREV_ACA | 0,006 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 60-D (com 60 trajetórias e identificado como D)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 17,879 | MT_AADT | 19,106 |
| ROUGH_FCTR | 13,678 | ROUGH_FCTR | 15,864 |
| SNP_RATIO | 6,874 | SNP_RATIO | 10,332 |
| RUT_PLASTC | 5,103 | RUT_PLASTC | 7,332 |
| PHOLE_NUM | 3,121 | SN | 5,016 |
| ENVIR_FCTR | 2,138 | PHOLE_NUM | 4,079 |
| SN | 1,999 | PHOLE_PROG | 3,703 |
| CBR | 1,640 | ENFORCEMNT | 3,536 |
| PHOLE_PROG | 1,486 | ENVIR_FCTR | 2,628 |
| ROUGHNESS | 1,375 | DIST_ACA | 2,618 |
| ENFORCEMNT | 1,175 | ROUGHNESS | 2,096 |
| HSNEW | 0,952 | DEFECTBASE | 2,074 |
| CWAY_WIDTH | 0,868 | CBR | 2,029 |
| EDGE_STEP | 0,825 | EDGE_STEP | 1,840 |
| DEFECTBASE | 0,703 | CWAY_WIDTH | 1,748 |
| XNMT | 0,636 | HSNEW | 1,690 |
| XFRI | 0,596 | XNMT | 1,506 |
| DIST_ACA | 0,582 | XFRI | 1,397 |
| HSOLD | 0,581 | SPEED_LIM | 1,377 |
| SPEED_LIM | 0,463 | CRACKS_TOT | 1,181 |
| NM_AADT | 0,405 | HSOLD | 0,951 |
| CRACKS_TOT | 0,258 | ACA_PROG | 0,766 |
| RF | 0,199 | NM_AADT | 0,628 |
| DEFECTSURF | 0,196 | DEFECTSURF | 0,520 |
| ACA_PROG | 0,195 | RAVEL_AREA | 0,494 |
| CRACK_CRT | 0,179 | K_SNPk | 0,419 |
| XMT | 0,159 | CRACK_CRT | 0,416 |
| RAVEL_AREA | 0,128 | RF | 0,342 |
| K_SNPk | 0,125 | XMT | 0,329 |
| ACA_INIT | 0,121 | DIST_ACW | 0,306 |
| RUT_STRUCT | 0,120 | ACA_INIT | 0,254 |
| DIST_ACW | 0,098 | RUT_STRUCT | 0,212 |
| CURVATURE | 0,088 | CURVATURE | 0,193 |
| ALTITUDE | 0,065 | RUT_DEPTH | 0,146 |
| DRAINLIFE | 0,032 | ACW_PROG | 0,110 |
| RUT_DEPTH | 0,032 | ALTITUDE | 0,109 |
| ACW_PROG | 0,029 | DRAINLIFE | 0,088 |
| RAVEL_RRF | 0,023 | RAVEL_INIT | 0,088 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RAVEL_INIT | 0,022 | RAVEL_RRF | 0,081 |
| SUPERELEV | 0,021 | RAVEL_PROG | 0,081 |
| REL_COMPCT | 0,019 | PREV_ACW | 0,060 |
| DRAINAGE | 0,016 | SUPERELEV | 0,048 |
| RAVEL_PROG | 0,015 | DRAINAGE | 0,032 |
| TEXTD_FCTR | 0,013 | REL_COMPCT | 0,025 |
| PREV_ACW | 0,011 | TEXTD_FCTR | 0,025 |
| EDGEBREAK | 0,007 | EDGEBREAK | 0,023 |
| DIST_ACT | 0,006 | ACW_INIT | 0,017 |
| EDGEB_PROG | 0,004 | DIST_ACT | 0,014 |
| ACW_INIT | 0,003 | ACT_PROG | 0,013 |
| ACT_PROG | 0,003 | EDGEB_PROG | 0,010 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | TEXT_DEPTH | 0,007 |
| PREV_ACA | 0,001 | PREV_ACA | 0,004 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 60-E (com 60 trajetórias e identificado como E)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 19,209 | MT_AADT | 23,017 |
| ROUGH_FCTR | 18,141 | ROUGH_FCTR | 18,463 |
| SNP_RATIO | 8,014 | SNP_RATIO | 10,706 |
| RUT_PLASTC | 6,701 | RUT_PLASTC | 9,098 |
| PHOLE_NUM | 2,964 | PHOLE_NUM | 5,609 |
| ENVIR_FCTR | 2,468 | SN | 5,594 |
| SN | 2,401 | ROUGHNESS | 3,945 |
| CBR | 1,908 | ACA_INIT | 3,109 |
| ROUGHNESS | 1,691 | ENVIR_FCTR | 2,703 |
| CWAY_WIDTH | 1,222 | CBR | 2,438 |
| XFRI | 0,990 | CWAY_WIDTH | 2,176 |
| XNMT | 0,878 | EDGE_STEP | 2,014 |
| EDGE_STEP | 0,862 | PHOLE_PROG | 1,998 |
| PHOLE_PROG | 0,853 | XFRI | 1,875 |
| ACA_INIT | 0,665 | ACA_PROG | 1,681 |
| HSNEW | 0,609 | XNMT | 1,523 |
| HSOLD | 0,558 | DEFECTBASE | 1,368 |
| ENFORCENMT | 0,507 | ENFORCENMT | 1,282 |
| DEFECTBASE | 0,438 | CRACK_CRT | 1,175 |
| ACA_PROG | 0,371 | DIST_ACA | 0,944 |
| NM_AADT | 0,367 | HSNEW | 0,898 |
| DIST_ACA | 0,360 | DEFECTSURF | 0,858 |
| CRACK_CRT | 0,338 | HSOLD | 0,772 |
| DEFECTSURF | 0,300 | SPEED_LIM | 0,633 |
| SPEED_LIM | 0,252 | NM_AADT | 0,572 |
| RF | 0,210 | CRACKS_TOT | 0,522 |
| XMT | 0,184 | K_SNPCK | 0,490 |
| K_SNPCK | 0,172 | RF | 0,411 |
| CRACKS_TOT | 0,149 | RAVEL_RRF | 0,362 |
| CURVATURE | 0,147 | DRAINAGE | 0,318 |
| RUT_STRUCT | 0,120 | XMT | 0,318 |
| RAVEL_RRF | 0,069 | CURVATURE | 0,260 |
| ALTITUDE | 0,067 | RUT_STRUCT | 0,180 |
| DRAINAGE | 0,061 | RUT_DEPTH | 0,147 |
| DRAINLIFE | 0,056 | DRAINLIFE | 0,141 |
| DIST_ACW | 0,046 | RAVEL_INIT | 0,138 |
| REL_COMPCT | 0,038 | RAVEL_PROG | 0,134 |
| SUPERELEV | 0,035 | DIST_ACW | 0,124 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RUT_DEPTH | 0,034 | REL_COMPCT | 0,122 |
| RAVEL_AREA | 0,033 | RAVEL_AREA | 0,104 |
| RAVEL_PROG | 0,032 | ALTITUDE | 0,102 |
| RAVEL_INIT | 0,027 | SUPERELEV | 0,066 |
| ACW_PROG | 0,018 | ACW_PROG | 0,054 |
| ACW_INIT | 0,013 | ACW_INIT | 0,053 |
| TEXTD_FCTR | 0,012 | EDGEBREAK | 0,034 |
| EDGEBREAK | 0,010 | DIST_ACT | 0,034 |
| PREV_ACW | 0,009 | PREV_ACW | 0,033 |
| DIST_ACT | 0,008 | EDGEB_PROG | 0,026 |
| EDGEB_PROG | 0,007 | TEXTD_FCTR | 0,026 |
| ACT_PROG | 0,002 | ACT_PROG | 0,008 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | TEXT_DEPTH | 0,005 |
| PREV_ACA | 0,001 | PREV_ACA | 0,004 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 50-A (com 50 trajetórias e identificado como A)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 19,918 | MT_AADT | 19,109 |
| ROUGH_FCTR | 14,408 | ROUGH_FCTR | 18,863 |
| SNP_RATIO | 7,180 | SNP_RATIO | 13,406 |
| RUT_PLASTC | 4,243 | PHOLE_PROG | 7,897 |
| SN | 3,418 | RUT_PLASTC | 6,748 |
| PHOLE_NUM | 2,985 | SN | 6,613 |
| ENVIR_FCTR | 2,081 | PHOLE_NUM | 4,394 |
| PHOLE_PROG | 1,918 | ROUGHNESS | 3,267 |
| ROUGHNESS | 1,699 | ENFORCEMNT | 2,890 |
| CBR | 1,535 | DIST_ACA | 2,735 |
| XFRI | 1,014 | DEFECTBASE | 2,673 |
| CWAY_WIDTH | 0,910 | XFRI | 2,622 |
| DIST_ACA | 0,846 | ENVIR_FCTR | 2,277 |
| ENFORCEMNT | 0,845 | CBR | 2,150 |
| XNMT | 0,759 | CWAY_WIDTH | 1,769 |
| HSOLD | 0,671 | XNMT | 1,758 |
| DEFECTBASE | 0,659 | EDGE_STEP | 1,632 |
| HSNEW | 0,585 | HSOLD | 1,215 |
| EDGE_STEP | 0,528 | RUT_STRUCT | 1,074 |
| CRACK_CRT | 0,377 | ACA_PROG | 1,044 |
| ACA_PROG | 0,374 | CRACK_CRT | 0,964 |
| DEFECTSURF | 0,353 | K_SNPK | 0,928 |
| NM_AADT | 0,300 | DEFECTSURF | 0,912 |
| RUT_STRUCT | 0,285 | HSNEW | 0,891 |
| K_SNPK | 0,264 | SPEED_LIM | 0,526 |
| SPEED_LIM | 0,257 | CRACKS_TOT | 0,490 |
| RF | 0,189 | RF | 0,322 |
| ACA_INIT | 0,174 | ACA_INIT | 0,306 |
| CRACKS_TOT | 0,174 | NM_AADT | 0,304 |
| CURVATURE | 0,133 | CURVATURE | 0,302 |
| ALTITUDE | 0,130 | ALTITUDE | 0,298 |
| XMT | 0,115 | RAVEL_AREA | 0,208 |
| RAVEL_AREA | 0,065 | RAVEL_RRF | 0,186 |
| DIST_ACW | 0,056 | DIST_ACW | 0,182 |
| ACW_PROG | 0,056 | XMT | 0,166 |
| REL_COMPCT | 0,044 | ACW_PROG | 0,156 |
| RAVEL_RRF | 0,040 | RAVEL_PROG | 0,150 |
| RAVEL_PROG | 0,035 | REL_COMPCT | 0,113 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| SUPERELEV | 0,030 | SUPERELEV | 0,089 |
| DRAINLIFE | 0,023 | RUT_DEPTH | 0,077 |
| DRAINAGE | 0,016 | ACT_PROG | 0,056 |
| RUT_DEPTH | 0,014 | DRAINLIFE | 0,043 |
| ACT_PROG | 0,012 | DIST_ACT | 0,037 |
| TEXTD_FCTR | 0,011 | PREV_ACW | 0,036 |
| PREV_ACW | 0,009 | DRAINAGE | 0,027 |
| DIST_ACT | 0,009 | RAVEL_INIT | 0,018 |
| EDGEB_PROG | 0,005 | TEXTD_FCTR | 0,017 |
| RAVEL_INIT | 0,004 | PREV_ACA | 0,015 |
| PREV_ACA | 0,004 | TEXT_DEPTH | 0,014 |
| EDGEBREAK | 0,004 | ACW_INIT | 0,013 |
| TEXT_DEPTH | 0,003 | EDGEB_PROG | 0,011 |
| ACW_INIT | 0,003 | EDGEBREAK | 0,006 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 50-B (com 50 trajetórias e identificado como B)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 17,066 | MT_AADT | 19,572 |
| ROUGH_FCTR | 15,430 | ROUGH_FCTR | 17,148 |
| SNP_RATIO | 9,703 | SNP_RATIO | 13,848 |
| RUT_PLASTC | 4,425 | RUT_PLASTC | 7,208 |
| PHOLE_NUM | 3,965 | SN | 6,409 |
| SN | 2,939 | PHOLE_NUM | 6,127 |
| CBR | 2,915 | CBR | 3,719 |
| ENVIR_FCTR | 2,323 | ENVIR_FCTR | 2,723 |
| ROUGHNESS | 1,364 | ROUGHNESS | 2,699 |
| XFRI | 1,045 | SPEED_LIM | 1,999 |
| XNMT | 0,920 | XFRI | 1,910 |
| CWAY_WIDTH | 0,833 | EDGE_STEP | 1,873 |
| HSNEW | 0,823 | XNMT | 1,683 |
| EDGE_STEP | 0,800 | CWAY_WIDTH | 1,514 |
| SPEED_LIM | 0,798 | PHOLE_PROG | 1,402 |
| HSOLD | 0,538 | HSNEW | 1,257 |
| PHOLE_PROG | 0,482 | ENFORCEMNT | 0,876 |
| ENFORCEMNT | 0,334 | K_SNPK | 0,753 |
| DIST_ACA | 0,307 | HSOLD | 0,748 |
| NM_AADT | 0,279 | DEFECTBASE | 0,631 |
| CRACK_CRT | 0,232 | DIST_ACA | 0,609 |
| DEFECTBASE | 0,231 | CRACK_CRT | 0,501 |
| RF | 0,208 | CURVATURE | 0,489 |
| DEFECTSURF | 0,201 | DEFECTSURF | 0,452 |
| K_SNPK | 0,191 | RF | 0,443 |
| ACA_PROG | 0,180 | NM_AADT | 0,402 |
| RUT_STRUCT | 0,178 | ACA_PROG | 0,367 |
| CURVATURE | 0,174 | RAVEL_AREA | 0,351 |
| ACA_INIT | 0,145 | RUT_STRUCT | 0,293 |
| XMT | 0,125 | ACA_INIT | 0,286 |
| ALTITUDE | 0,112 | ACW_PROG | 0,283 |
| CRACKS_TOT | 0,084 | CRACKS_TOT | 0,198 |
| RAVEL_AREA | 0,066 | ALTITUDE | 0,191 |
| ACW_PROG | 0,061 | ACT_PROG | 0,183 |
| DRAINLIFE | 0,046 | XMT | 0,144 |
| SUPERELEV | 0,030 | DRAINLIFE | 0,102 |
| ACT_PROG | 0,027 | SUPERELEV | 0,063 |
| DRAINAGE | 0,025 | DRAINAGE | 0,059 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| REL_COMPCT | 0,022 | DIST_ACW | 0,056 |
| DIST_ACW | 0,020 | ACW_INIT | 0,053 |
| ACW_INIT | 0,011 | RAVEL_INIT | 0,048 |
| RAVEL_INIT | 0,010 | RAVEL_RRF | 0,039 |
| TEXTD_FCTR | 0,009 | REL_COMPCT | 0,031 |
| RAVEL_RRF | 0,008 | TEXTD_FCTR | 0,015 |
| EDGEB_PROG | 0,006 | EDGEB_PROG | 0,014 |
| RUT_DEPTH | 0,004 | RUT_DEPTH | 0,014 |
| EDGEBREAK | 0,003 | RAVEL_PROG | 0,009 |
| RAVEL_PROG | 0,003 | PREV_ACW | 0,007 |
| PREV_ACW | 0,002 | PREV_ACA | 0,006 |
| DIST_ACT | 0,002 | TEXT_DEPTH | 0,006 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | DIST_ACT | 0,005 |
| PREV_ACA | 0,001 | EDGEBREAK | 0,002 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 50-C (com 50 trajetórias e identificado como C)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 19,659 | MT_AADT | 19,219 |
| MT_AADT | 17,170 | SNP_RATIO | 18,609 |
| SNP_RATIO | 11,858 | ROUGH_FCTR | 18,420 |
| RUT_PLASTC | 4,846 | RUT_PLASTC | 7,060 |
| PHOLE_NUM | 3,680 | PHOLE_PROG | 6,370 |
| SN | 2,901 | PHOLE_NUM | 5,957 |
| CBR | 2,853 | ROUGHNESS | 5,260 |
| ROUGHNESS | 2,815 | SN | 4,193 |
| ENVIR_FCTR | 2,552 | DEFECTSURF | 3,348 |
| PHOLE_PROG | 1,481 | CBR | 3,211 |
| CWAY_WIDTH | 1,403 | XFRI | 2,757 |
| XFRI | 1,292 | DIST_ACA | 2,504 |
| XNMT | 1,216 | XNMT | 2,482 |
| EDGE_STEP | 0,903 | ENVIR_FCTR | 2,465 |
| HSNEW | 0,885 | CWAY_WIDTH | 2,426 |
| DEFECTSURF | 0,876 | ACA_PROG | 2,299 |
| DIST_ACA | 0,780 | EDGE_STEP | 1,749 |
| HSOLD | 0,715 | HSOLD | 1,417 |
| ACA_PROG | 0,621 | HSNEW | 1,392 |
| DEFECTBASE | 0,531 | DEFECTBASE | 1,364 |
| ACA_INIT | 0,510 | ACA_INIT | 1,172 |
| ENFORCENMT | 0,363 | CRACKS_TOT | 0,962 |
| CRACKS_TOT | 0,359 | CRACK_CRT | 0,937 |
| CRACK_CRT | 0,342 | SPEED_LIM | 0,847 |
| NM_AADT | 0,302 | K_SNPK | 0,812 |
| K_SNPK | 0,276 | ENFORCENMT | 0,760 |
| SPEED_LIM | 0,259 | RAVEL_RRF | 0,752 |
| RAVEL_RRF | 0,238 | CURVATURE | 0,582 |
| CURVATURE | 0,237 | NM_AADT | 0,366 |
| RF | 0,176 | XMT | 0,333 |
| XMT | 0,164 | RUT_DEPTH | 0,232 |
| RUT_STRUCT | 0,111 | RAVEL_INIT | 0,206 |
| ALTITUDE | 0,086 | RF | 0,181 |
| RAVEL_AREA | 0,069 | RAVEL_AREA | 0,175 |
| DRAINLIFE | 0,064 | ALTITUDE | 0,167 |
| RAVEL_INIT | 0,049 | DRAINLIFE | 0,136 |
| RUT_DEPTH | 0,048 | RUT_STRUCT | 0,135 |
| ACW_PROG | 0,043 | DRAINAGE | 0,120 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| REL_COMPCT | 0,036 | ACW_PROG | 0,109 |
| DRAINAGE | 0,035 | REL_COMPCT | 0,101 |
| DIST_ACW | 0,032 | DIST_ACW | 0,099 |
| SUPERELEV | 0,031 | DIST_ACT | 0,078 |
| DIST_ACT | 0,016 | SUPERELEV | 0,064 |
| TEXTD_FCTR | 0,012 | RAVEL_PROG | 0,050 |
| RAVEL_PROG | 0,011 | EDGEB_PROG | 0,045 |
| EDGEB_PROG | 0,011 | TEXTD_FCTR | 0,032 |
| PREV_ACW | 0,004 | ACW_INIT | 0,020 |
| EDGEBREAK | 0,004 | ACT_PROG | 0,016 |
| ACW_INIT | 0,004 | PREV_ACW | 0,012 |
| ACT_PROG | 0,004 | TEXT_DEPTH | 0,011 |
| TEXT_DEPTH | 0,003 | EDGEBREAK | 0,008 |
| PREV_ACA | 0,002 | PREV_ACA | 0,007 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 50-D (com 50 trajetórias e identificado como D)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 17,724 | MT_AADT | 18,349 |
| ROUGH_FCTR | 13,543 | ROUGH_FCTR | 15,509 |
| SNP_RATIO | 7,849 | SNP_RATIO | 10,962 |
| RUT_PLASTC | 5,571 | RUT_PLASTC | 7,856 |
| PHOLE_NUM | 2,850 | SN | 5,377 |
| SN | 2,182 | PHOLE_PROG | 3,712 |
| ENVIR_FCTR | 1,946 | PHOLE_NUM | 3,452 |
| CBR | 1,549 | DIST_ACA | 2,865 |
| PHOLE_PROG | 1,355 | ENFORCEMNT | 2,641 |
| ROUGHNESS | 1,261 | ENVIR_FCTR | 2,407 |
| CWAY_WIDTH | 1,012 | ROUGHNESS | 2,106 |
| ENFORCEMNT | 0,986 | DEFECTBASE | 1,988 |
| HSNEW | 0,962 | CBR | 1,918 |
| EDGE_STEP | 0,805 | CWAY_WIDTH | 1,905 |
| XFRI | 0,686 | EDGE_STEP | 1,868 |
| DIST_ACA | 0,672 | HSNEW | 1,726 |
| XNMT | 0,616 | XNMT | 1,567 |
| HSOLD | 0,602 | XFRI | 1,529 |
| DEFECTBASE | 0,599 | SPEED_LIM | 1,398 |
| SPEED_LIM | 0,424 | CRACKS_TOT | 1,287 |
| NM_AADT | 0,389 | HSOLD | 1,021 |
| CRACKS_TOT | 0,279 | ACA_PROG | 0,836 |
| ACA_PROG | 0,212 | NM_AADT | 0,544 |
| RF | 0,191 | DEFECTSURF | 0,492 |
| CRACK_CRT | 0,187 | K_SNPK | 0,458 |
| DEFECTSURF | 0,186 | CRACK_CRT | 0,444 |
| XMT | 0,163 | RAVEL_AREA | 0,439 |
| K_SNPK | 0,144 | XMT | 0,333 |
| ACA_INIT | 0,133 | RF | 0,322 |
| RUT_STRUCT | 0,131 | DIST_ACW | 0,320 |
| RAVEL_AREA | 0,103 | ACA_INIT | 0,277 |
| DIST_ACW | 0,098 | RUT_STRUCT | 0,230 |
| CURVATURE | 0,085 | CURVATURE | 0,193 |
| ALTITUDE | 0,072 | ACW_PROG | 0,120 |
| ACW_PROG | 0,033 | ALTITUDE | 0,117 |
| DRAINLIFE | 0,032 | RUT_DEPTH | 0,106 |
| RAVEL_RRF | 0,024 | RAVEL_INIT | 0,095 |
| RAVEL_INIT | 0,024 | DRAINLIFE | 0,094 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RUT_DEPTH | 0,021 | RAVEL_RRF | 0,087 |
| SUPERELEV | 0,021 | PREV_ACW | 0,065 |
| REL_COMPCT | 0,021 | SUPERELEV | 0,049 |
| DRAINAGE | 0,015 | DRAINAGE | 0,029 |
| PREV_ACW | 0,012 | REL_COMPCT | 0,027 |
| TEXTD_FCTR | 0,011 | EDGEBREAK | 0,025 |
| EDGEBREAK | 0,008 | TEXTD_FCTR | 0,020 |
| DIST_ACT | 0,006 | ACW_INIT | 0,016 |
| EDGEB_PROG | 0,004 | DIST_ACT | 0,015 |
| ACT_PROG | 0,003 | ACT_PROG | 0,014 |
| RAVEL_PROG | 0,002 | RAVEL_PROG | 0,012 |
| ACW_INIT | 0,002 | EDGEB_PROG | 0,011 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | TEXT_DEPTH | 0,007 |
| PREV_ACA | 0,001 | PREV_ACA | 0,004 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 50-E (com 50 trajetórias e identificado como E)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 19,600 | MT_AADT | 22,628 |
| ROUGH_FCTR | 17,379 | ROUGH_FCTR | 18,684 |
| SNP_RATIO | 8,566 | SNP_RATIO | 11,133 |
| RUT_PLASTC | 7,420 | RUT_PLASTC | 9,686 |
| PHOLE_NUM | 3,097 | PHOLE_NUM | 6,030 |
| ENVIR_FCTR | 2,426 | SN | 5,693 |
| SN | 2,218 | ROUGHNESS | 4,309 |
| CBR | 2,028 | ACA_INIT | 3,401 |
| ROUGHNESS | 1,942 | CBR | 2,544 |
| CWAY_WIDTH | 1,284 | ENVIR_FCTR | 2,539 |
| XFRI | 0,972 | CWAY_WIDTH | 2,235 |
| EDGE_STEP | 0,878 | EDGE_STEP | 2,115 |
| XNMT | 0,810 | XFRI | 1,923 |
| ACA_INIT | 0,771 | PHOLE_PROG | 1,870 |
| PHOLE_PROG | 0,771 | ACA_PROG | 1,842 |
| HSOLD | 0,596 | XNMT | 1,496 |
| HSNEW | 0,587 | DEFECTBASE | 1,488 |
| ENFORCEMNT | 0,558 | ENFORCEMNT | 1,388 |
| DEFECTBASE | 0,497 | CRACK_CRT | 1,279 |
| ACA_PROG | 0,424 | DIST_ACA | 1,021 |
| NM_AADT | 0,410 | DEFECTSURF | 0,931 |
| DIST_ACA | 0,387 | HSOLD | 0,823 |
| CRACK_CRT | 0,373 | HSNEW | 0,766 |
| DEFECTSURF | 0,337 | NM_AADT | 0,613 |
| RF | 0,231 | SPEED_LIM | 0,470 |
| SPEED_LIM | 0,190 | RF | 0,449 |
| CURVATURE | 0,155 | RAVEL_RRF | 0,393 |
| XMT | 0,139 | DRAINAGE | 0,348 |
| RUT_STRUCT | 0,120 | K_SNPK | 0,326 |
| CRACKS_TOT | 0,102 | CRACKS_TOT | 0,315 |
| K_SNPK | 0,094 | CURVATURE | 0,273 |
| RAVEL_RRF | 0,075 | XMT | 0,227 |
| DRAINAGE | 0,070 | RUT_STRUCT | 0,183 |
| DRAINLIFE | 0,057 | RUT_DEPTH | 0,161 |
| ALTITUDE | 0,057 | DRAINLIFE | 0,152 |
| DIST_ACW | 0,045 | RAVEL_INIT | 0,150 |
| REL_COMPCT | 0,040 | RAVEL_PROG | 0,146 |
| RUT_DEPTH | 0,039 | REL_COMPCT | 0,132 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RAVEL_AREA | 0,039 | DIST_ACW | 0,129 |
| RAVEL_PROG | 0,036 | RAVEL_AREA | 0,114 |
| SUPERELEV | 0,034 | ALTITUDE | 0,085 |
| RAVEL_INIT | 0,029 | SUPERELEV | 0,065 |
| ACW_INIT | 0,014 | ACW_INIT | 0,057 |
| ACW_PROG | 0,014 | ACW_PROG | 0,048 |
| TEXTD_FCTR | 0,013 | EDGEBREAK | 0,038 |
| EDGEBREAK | 0,011 | DIST_ACT | 0,036 |
| PREV_ACW | 0,010 | PREV_ACW | 0,036 |
| DIST_ACT | 0,008 | EDGEB_PROG | 0,028 |
| EDGEB_PROG | 0,007 | TEXTD_FCTR | 0,028 |
| ACT_PROG | 0,003 | ACT_PROG | 0,009 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | TEXT_DEPTH | 0,005 |
| PREV_ACA | 0,001 | PREV_ACA | 0,004 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 40-A (com 40 trajetórias e identificado como A)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 21,238 | ROUGH_FCTR | 20,063 |
| ROUGH_FCTR | 14,958 | MT_AADT | 19,965 |
| SNP_RATIO | 8,364 | SNP_RATIO | 14,368 |
| RUT_PLASTC | 5,555 | RUT_PLASTC | 8,843 |
| PHOLE_NUM | 3,194 | PHOLE_PROG | 8,778 |
| SN | 3,087 | SN | 6,289 |
| ROUGHNESS | 2,242 | PHOLE_NUM | 4,599 |
| PHOLE_PROG | 2,197 | ROUGHNESS | 4,439 |
| ENVIR_FCTR | 2,131 | DEFECTBASE | 2,975 |
| CBR | 1,371 | ENVIR_FCTR | 2,498 |
| CWAY_WIDTH | 1,036 | XNMT | 2,013 |
| XFRI | 0,795 | CWAY_WIDTH | 2,002 |
| DEFECTBASE | 0,793 | CBR | 1,659 |
| XNMT | 0,785 | XFRI | 1,640 |
| HSOLD | 0,692 | DEFECTSURF | 1,449 |
| DEFECTSURF | 0,597 | HSOLD | 1,276 |
| HSNEW | 0,590 | ENFORCEMNT | 1,224 |
| ENFORCEMNT | 0,514 | RUT_STRUCT | 1,184 |
| EDGE_STEP | 0,483 | EDGE_STEP | 1,180 |
| DIST_ACA | 0,424 | DIST_ACA | 1,046 |
| CRACK_CRT | 0,308 | HSNEW | 0,895 |
| RUT_STRUCT | 0,299 | ACA_PROG | 0,678 |
| NM_AADT | 0,283 | ACA_INIT | 0,662 |
| SPEED_LIM | 0,245 | CRACK_CRT | 0,622 |
| ACA_PROG | 0,240 | SPEED_LIM | 0,502 |
| ACA_INIT | 0,208 | EDGEB_PROG | 0,457 |
| RF | 0,185 | CRACKS_TOT | 0,405 |
| CRACKS_TOT | 0,134 | RF | 0,310 |
| XMT | 0,119 | NM_AADT | 0,302 |
| K_SNPK | 0,108 | K_SNPK | 0,301 |
| ALTITUDE | 0,100 | ALTITUDE | 0,241 |
| CURVATURE | 0,079 | RAVEL_AREA | 0,220 |
| EDGEB_PROG | 0,077 | XMT | 0,203 |
| RAVEL_AREA | 0,077 | RAVEL_RRF | 0,184 |
| RAVEL_PROG | 0,043 | CURVATURE | 0,177 |
| RAVEL_RRF | 0,040 | RAVEL_PROG | 0,168 |
| ACW_PROG | 0,040 | RUT_DEPTH | 0,121 |
| SUPERELEV | 0,034 | ACW_PROG | 0,117 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DIST_ACW | 0,033 | SUPERELEV | 0,083 |
| DRAINLIFE | 0,030 | ACT_PROG | 0,062 |
| RUT_DEPTH | 0,028 | DIST_ACW | 0,062 |
| REL_COMPCT | 0,026 | DRAINLIFE | 0,056 |
| TEXTD_FCTR | 0,015 | RAVEL_INIT | 0,054 |
| ACT_PROG | 0,014 | EDGEBREAK | 0,054 |
| RAVEL_INIT | 0,013 | DIST_ACT | 0,041 |
| EDGEBREAK | 0,013 | PREV_ACW | 0,040 |
| PREV_ACW | 0,011 | REL_COMPCT | 0,034 |
| DIST_ACT | 0,009 | TEXTD_FCTR | 0,033 |
| DRAINAGE | 0,009 | DRAINAGE | 0,020 |
| TEXT_DEPTH | 0,004 | TEXT_DEPTH | 0,018 |
| ACW_INIT | 0,003 | ACW_INIT | 0,014 |
| PREV_ACA | 0,002 | PREV_ACA | 0,007 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 40-B (com 40 trajetórias e identificado como B)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 19,556 | MT_AADT | 19,604 |
| ROUGH_FCTR | 13,059 | ROUGH_FCTR | 17,170 |
| SNP_RATIO | 8,770 | SNP_RATIO | 13,034 |
| RUT_PLASTC | 3,934 | RUT_PLASTC | 6,131 |
| PHOLE_NUM | 3,452 | PHOLE_NUM | 6,069 |
| SN | 2,809 | SN | 5,941 |
| CBR | 2,800 | ENVIR_FCTR | 3,202 |
| ENVIR_FCTR | 2,586 | CBR | 2,932 |
| ROUGHNESS | 1,416 | ROUGHNESS | 2,501 |
| XNMT | 1,089 | XNMT | 1,855 |
| XFRI | 1,059 | XFRI | 1,838 |
| CWAY_WIDTH | 0,900 | SPEED_LIM | 1,730 |
| SPEED_LIM | 0,674 | CWAY_WIDTH | 1,510 |
| HSOLD | 0,643 | EDGE_STEP | 1,340 |
| HSNEW | 0,618 | HSOLD | 1,115 |
| EDGE_STEP | 0,616 | DIST_ACA | 1,094 |
| ENFORCEMNT | 0,447 | PHOLE_PROG | 1,078 |
| DIST_ACA | 0,437 | ENFORCEMNT | 1,024 |
| PHOLE_PROG | 0,400 | HSNEW | 0,985 |
| CRACK_CRT | 0,312 | ACA_INIT | 0,882 |
| NM_AADT | 0,303 | K_SNPK | 0,879 |
| ACA_INIT | 0,297 | CRACKS_TOT | 0,869 |
| DEFECTBASE | 0,267 | DEFECTBASE | 0,698 |
| K_SNPK | 0,238 | CRACK_CRT | 0,689 |
| CRACKS_TOT | 0,226 | CURVATURE | 0,522 |
| DEFECTSURF | 0,194 | NM_AADT | 0,457 |
| ACA_PROG | 0,183 | ACA_PROG | 0,388 |
| RF | 0,183 | DEFECTSURF | 0,349 |
| RUT_STRUCT | 0,179 | RF | 0,309 |
| CURVATURE | 0,140 | RUT_STRUCT | 0,293 |
| XMT | 0,115 | DIST_ACW | 0,211 |
| ALTITUDE | 0,076 | ACT_PROG | 0,205 |
| DIST_ACW | 0,055 | XMT | 0,141 |
| ACW_PROG | 0,036 | ALTITUDE | 0,131 |
| DRAINLIFE | 0,035 | ACW_PROG | 0,111 |
| ACT_PROG | 0,034 | ACW_INIT | 0,071 |
| SUPERELEV | 0,028 | SUPERELEV | 0,065 |
| DRAINAGE | 0,022 | RAVEL_AREA | 0,062 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| REL_COMPCT | 0,019 | PREV_ACW | 0,061 |
| RAVEL_AREA | 0,019 | RAVEL_INIT | 0,059 |
| ACW_INIT | 0,016 | DRAINLIFE | 0,055 |
| RAVEL_INIT | 0,015 | DRAINAGE | 0,052 |
| PREV_ACW | 0,011 | DIST_ACT | 0,049 |
| RAVEL_PROG | 0,010 | RAVEL_PROG | 0,044 |
| DIST_ACT | 0,009 | REL_COMPCT | 0,025 |
| TEXTD_FCTR | 0,007 | RUT_DEPTH | 0,012 |
| RAVEL_RRF | 0,004 | RAVEL_RRF | 0,011 |
| EDGEB_PROG | 0,004 | TEXTD_FCTR | 0,011 |
| RUT_DEPTH | 0,003 | EDGEB_PROG | 0,010 |
| EDGEBREAK | 0,003 | PREV_ACA | 0,007 |
| PREV_ACA | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,006 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | EDGEBREAK | 0,003 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 40-C (com 40 trajetórias e identificado como C)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 19,993 | SNP_RATIO | 22,018 |
| ROUGH_FCTR | 17,792 | MT_AADT | 21,813 |
| SNP_RATIO | 16,105 | ROUGH_FCTR | 17,230 |
| RUT_PLASTC | 6,459 | RUT_PLASTC | 8,979 |
| PHOLE_NUM | 3,688 | PHOLE_PROG | 7,964 |
| SN | 3,201 | PHOLE_NUM | 6,075 |
| ROUGHNESS | 3,052 | ROUGHNESS | 5,854 |
| CBR | 2,847 | SN | 4,614 |
| PHOLE_PROG | 2,283 | DEFECTSURF | 3,748 |
| ENVIR_FCTR | 2,230 | CBR | 3,194 |
| CWAY_WIDTH | 1,506 | CWAY_WIDTH | 2,657 |
| EDGE_STEP | 1,236 | DIST_ACA | 2,588 |
| HSNEW | 1,135 | EDGE_STEP | 2,345 |
| XFRI | 1,043 | ACA_PROG | 2,325 |
| DEFECTSURF | 1,024 | ENVIR_FCTR | 2,302 |
| XNMT | 0,937 | XFRI | 2,222 |
| DIST_ACA | 0,786 | XNMT | 1,717 |
| HSOLD | 0,772 | HSNEW | 1,681 |
| DEFECTBASE | 0,613 | HSOLD | 1,579 |
| ACA_PROG | 0,607 | DEFECTBASE | 1,372 |
| ACA_INIT | 0,457 | K_SNPK | 1,359 |
| K_SNPK | 0,437 | ACA_INIT | 1,029 |
| NM_AADT | 0,341 | SPEED_LIM | 0,898 |
| ENFORCEMNT | 0,322 | RAVEL_RRF | 0,835 |
| RAVEL_RRF | 0,271 | ENFORCEMNT | 0,753 |
| CURVATURE | 0,253 | CRACKS_TOT | 0,708 |
| CRACK_CRT | 0,242 | CURVATURE | 0,578 |
| SPEED_LIM | 0,238 | CRACK_CRT | 0,572 |
| CRACKS_TOT | 0,205 | NM_AADT | 0,454 |
| RF | 0,129 | RAVEL_AREA | 0,395 |
| XMT | 0,121 | RUT_DEPTH | 0,257 |
| RUT_STRUCT | 0,109 | RAVEL_INIT | 0,225 |
| RAVEL_AREA | 0,106 | XMT | 0,183 |
| ALTITUDE | 0,075 | ALTITUDE | 0,165 |
| DRAINLIFE | 0,064 | RUT_STRUCT | 0,154 |
| RAVEL_INIT | 0,053 | RF | 0,153 |
| RUT_DEPTH | 0,052 | DIST_ACW | 0,135 |
| DIST_ACW | 0,046 | DRAINAGE | 0,134 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DRAINAGE | 0,042 | REL_COMPCT | 0,111 |
| REL_COMPCT | 0,040 | DRAINLIFE | 0,110 |
| SUPERELEV | 0,037 | ACW_PROG | 0,095 |
| ACW_PROG | 0,036 | SUPERELEV | 0,070 |
| TEXTD_FCTR | 0,015 | ACW_INIT | 0,054 |
| ACW_INIT | 0,013 | TEXTD_FCTR | 0,035 |
| DIST_ACT | 0,006 | RAVEL_PROG | 0,019 |
| EDGEB_PROG | 0,005 | DIST_ACT | 0,015 |
| RAVEL_PROG | 0,005 | TEXT_DEPTH | 0,013 |
| EDGEBREAK | 0,005 | PREV_ACW | 0,012 |
| PREV_ACW | 0,004 | ACT_PROG | 0,010 |
| TEXT_DEPTH | 0,003 | EDGEB_PROG | 0,010 |
| ACT_PROG | 0,002 | EDGEBREAK | 0,008 |
| PREV_ACA | 0,002 | PREV_ACA | 0,008 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 40-D (com 40 trajetórias e identificado como D)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 18,730 | MT_AADT | 20,474 |
| ROUGH_FCTR | 13,001 | ROUGH_FCTR | 15,401 |
| SNP_RATIO | 5,151 | SNP_RATIO | 8,882 |
| RUT_PLASTC | 4,907 | RUT_PLASTC | 7,699 |
| PHOLE_NUM | 3,313 | SN | 5,928 |
| SN | 2,292 | PHOLE_NUM | 4,452 |
| ENVIR_FCTR | 2,157 | ENFORCEMNT | 4,147 |
| ENFORCEMNT | 1,522 | ENVIR_FCTR | 2,794 |
| CBR | 1,519 | PHOLE_PROG | 2,455 |
| ROUGHNESS | 1,148 | EDGE_STEP | 1,996 |
| PHOLE_PROG | 1,082 | CBR | 1,952 |
| HSNEW | 0,965 | XNMT | 1,643 |
| EDGE_STEP | 0,902 | ROUGHNESS | 1,643 |
| XNMT | 0,691 | HSNEW | 1,633 |
| CWAY_WIDTH | 0,658 | CRACKS_TOT | 1,440 |
| DEFECTBASE | 0,523 | CWAY_WIDTH | 1,363 |
| HSOLD | 0,470 | DEFECTBASE | 1,340 |
| XFRI | 0,462 | XFRI | 1,154 |
| NM_AADT | 0,447 | HSOLD | 0,778 |
| CRACKS_TOT | 0,355 | DIST_ACA | 0,772 |
| SPEED_LIM | 0,287 | NM_AADT | 0,690 |
| DIST_ACA | 0,259 | SPEED_LIM | 0,662 |
| CRACK_CRT | 0,197 | CRACK_CRT | 0,478 |
| RF | 0,181 | K_SNPK | 0,473 |
| XMT | 0,171 | DEFECTSURF | 0,470 |
| DEFECTSURF | 0,160 | RAVEL_AREA | 0,378 |
| K_SNPK | 0,144 | XMT | 0,373 |
| DIST_ACW | 0,141 | DIST_ACW | 0,373 |
| ACA_INIT | 0,111 | RF | 0,303 |
| ACA_PROG | 0,096 | ACA_INIT | 0,275 |
| CURVATURE | 0,094 | CURVATURE | 0,191 |
| RAVEL_AREA | 0,094 | ACA_PROG | 0,178 |
| RUT_STRUCT | 0,089 | RUT_DEPTH | 0,136 |
| ALTITUDE | 0,045 | ACW_PROG | 0,133 |
| ACW_PROG | 0,036 | RUT_STRUCT | 0,116 |
| DRAINLIFE | 0,035 | DRAINLIFE | 0,101 |
| RAVEL_RRF | 0,029 | RAVEL_PROG | 0,099 |
| RUT_DEPTH | 0,023 | RAVEL_RRF | 0,097 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RAVEL_PROG | 0,021 | ALTITUDE | 0,078 |
| SUPERELEV | 0,019 | PREV_ACW | 0,073 |
| REL_COMPCT | 0,015 | SUPERELEV | 0,049 |
| PREV_ACW | 0,015 | RAVEL_INIT | 0,032 |
| DRAINAGE | 0,011 | EDGEBREAK | 0,027 |
| TEXTD_FCTR | 0,010 | DRAINAGE | 0,027 |
| RAVEL_INIT | 0,009 | TEXTD_FCTR | 0,023 |
| EDGEBREAK | 0,008 | REL_COMPCT | 0,020 |
| DIST_ACT | 0,005 | ACT_PROG | 0,016 |
| EDGEB_PROG | 0,005 | EDGEB_PROG | 0,012 |
| ACT_PROG | 0,004 | DIST_ACT | 0,012 |
| ACW_INIT | 0,002 | ACW_INIT | 0,011 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,006 |
| PREV_ACA | 0,001 | PREV_ACA | 0,004 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 40-E (com 40 trajetórias e identificado como E)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 18,762 | ROUGH_FCTR | 19,161 |
| MT_AADT | 17,172 | MT_AADT | 19,098 |
| SNP_RATIO | 6,498 | RUT_PLASTC | 8,776 |
| RUT_PLASTC | 6,465 | SNP_RATIO | 8,243 |
| PHOLE_NUM | 3,189 | PHOLE_NUM | 5,371 |
| SN | 2,312 | SN | 4,858 |
| ENVIR_FCTR | 2,306 | ACA_INIT | 3,766 |
| CBR | 2,052 | ROUGHNESS | 3,725 |
| ROUGHNESS | 1,746 | ENVIR_FCTR | 2,738 |
| XFRI | 1,036 | CBR | 2,548 |
| XNMT | 1,007 | ACA_PROG | 2,058 |
| CWAY_WIDTH | 0,905 | XFRI | 1,951 |
| EDGE_STEP | 0,893 | EDGE_STEP | 1,787 |
| ACA_INIT | 0,827 | CWAY_WIDTH | 1,716 |
| PHOLE_PROG | 0,667 | XNMT | 1,697 |
| HSNEW | 0,636 | PHOLE_PROG | 1,562 |
| ACA_PROG | 0,523 | DEFECTBASE | 1,550 |
| HSOLD | 0,523 | CRACK_CRT | 1,431 |
| CRACK_CRT | 0,453 | DEFECTSURF | 1,033 |
| DEFECTBASE | 0,420 | HSNEW | 1,007 |
| DIST_ACA | 0,379 | DIST_ACA | 0,992 |
| DEFECTSURF | 0,374 | SPEED_LIM | 0,758 |
| NM_AADT | 0,340 | HSOLD | 0,691 |
| SPEED_LIM | 0,311 | CRACKS_TOT | 0,623 |
| ENFORCEMNT | 0,310 | ENFORCEMNT | 0,586 |
| XMT | 0,226 | NM_AADT | 0,557 |
| K_SNPK | 0,217 | K_SNPK | 0,552 |
| RF | 0,213 | DRAINAGE | 0,389 |
| CRACKS_TOT | 0,194 | RF | 0,387 |
| RUT_STRUCT | 0,122 | XMT | 0,363 |
| CURVATURE | 0,117 | CURVATURE | 0,194 |
| DRAINAGE | 0,087 | DRAINLIFE | 0,172 |
| DRAINLIFE | 0,069 | RAVEL_INIT | 0,167 |
| DIST_ACW | 0,063 | RUT_STRUCT | 0,157 |
| ALTITUDE | 0,063 | DIST_ACW | 0,150 |
| REL_COMPCT | 0,049 | REL_COMPCT | 0,148 |
| RAVEL_AREA | 0,041 | RAVEL_AREA | 0,125 |
| RAVEL_INIT | 0,035 | RUT_DEPTH | 0,106 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| SUPERELEV | 0,031 | ALTITUDE | 0,100 |
| RAVEL_RRF | 0,029 | RAVEL_RRF | 0,095 |
| RUT_DEPTH | 0,027 | RAVEL_PROG | 0,092 |
| RAVEL_PROG | 0,025 | ACW_PROG | 0,066 |
| ACW_PROG | 0,024 | ACW_INIT | 0,063 |
| ACW_INIT | 0,015 | SUPERELEV | 0,060 |
| TEXTD_FCTR | 0,014 | DIST_ACT | 0,041 |
| PREV_ACW | 0,012 | PREV_ACW | 0,039 |
| DIST_ACT | 0,011 | EDGEB_PROG | 0,032 |
| EDGEB_PROG | 0,009 | TEXTD_FCTR | 0,029 |
| EDGEBREAK | 0,006 | EDGEBREAK | 0,018 |
| ACT_PROG | 0,002 | ACT_PROG | 0,009 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | PREV_ACA | 0,005 |
| PREV_ACA | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,003 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 30-A (com 30 trajetórias e identificado como A)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 20,228 | MT_AADT | 21,123 |
| ROUGH_FCTR | 13,229 | ROUGH_FCTR | 19,196 |
| SNP_RATIO | 7,314 | SNP_RATIO | 14,043 |
| RUT_PLASTC | 3,758 | PHOLE_PROG | 9,987 |
| PHOLE_NUM | 3,101 | SN | 6,036 |
| SN | 3,066 | RUT_PLASTC | 5,894 |
| PHOLE_PROG | 2,529 | PHOLE_NUM | 4,426 |
| ENVIR_FCTR | 1,996 | ENFORCEMNT | 3,643 |
| CBR | 1,587 | DEFECTBASE | 3,402 |
| XFRI | 1,261 | DIST_ACA | 3,382 |
| ROUGHNESS | 1,210 | XFRI | 3,064 |
| DIST_ACA | 1,095 | ENVIR_FCTR | 2,496 |
| ENFORCEMNT | 1,079 | CBR | 2,360 |
| DEFECTBASE | 0,790 | ROUGHNESS | 2,303 |
| CWAY_WIDTH | 0,741 | XNMT | 1,712 |
| XNMT | 0,694 | EDGE_STEP | 1,695 |
| HSOLD | 0,586 | CWAY_WIDTH | 1,478 |
| HSNEW | 0,526 | RUT_STRUCT | 1,390 |
| EDGE_STEP | 0,467 | K_SNPK | 1,173 |
| DEFECTSURF | 0,458 | ACA_PROG | 1,121 |
| RUT_STRUCT | 0,410 | DEFECTSURF | 1,112 |
| CRACK_CRT | 0,367 | CRACK_CRT | 1,055 |
| K_SNPK | 0,365 | HSOLD | 1,009 |
| NM_AADT | 0,361 | HSNEW | 0,833 |
| ACA_PROG | 0,344 | SPEED_LIM | 0,618 |
| SPEED_LIM | 0,279 | CRACKS_TOT | 0,545 |
| RF | 0,213 | RF | 0,382 |
| CRACKS_TOT | 0,207 | NM_AADT | 0,355 |
| ACA_INIT | 0,192 | CURVATURE | 0,346 |
| CURVATURE | 0,148 | ACA_INIT | 0,324 |
| XMT | 0,132 | ALTITUDE | 0,281 |
| ALTITUDE | 0,129 | RAVEL_AREA | 0,247 |
| RAVEL_AREA | 0,081 | RAVEL_RRF | 0,239 |
| ACW_PROG | 0,070 | DIST_ACW | 0,230 |
| DIST_ACW | 0,063 | XMT | 0,194 |
| RAVEL_RRF | 0,060 | ACW_PROG | 0,173 |
| REL_COMPCT | 0,056 | RAVEL_PROG | 0,166 |
| RAVEL_PROG | 0,031 | REL_COMPCT | 0,144 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DRAINLIFE | 0,027 | RUT_DEPTH | 0,099 |
| SUPERELEV | 0,024 | SUPERELEV | 0,085 |
| RUT_DEPTH | 0,021 | DRAINLIFE | 0,045 |
| DRAINAGE | 0,020 | DRAINAGE | 0,029 |
| TEXTD_FCTR | 0,009 | RAVEL_INIT | 0,020 |
| PREV_ACA | 0,005 | PREV_ACA | 0,018 |
| RAVEL_INIT | 0,005 | ACW_INIT | 0,016 |
| ACT_PROG | 0,005 | TEXTD_FCTR | 0,016 |
| EDGEB_PROG | 0,004 | ACT_PROG | 0,013 |
| DIST_ACT | 0,004 | EDGEB_PROG | 0,009 |
| ACW_INIT | 0,003 | DIST_ACT | 0,009 |
| EDGEBREAK | 0,003 | TEXT_DEPTH | 0,007 |
| PREV_ACW | 0,002 | PREV_ACW | 0,005 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | EDGEBREAK | 0,003 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 30-B (com 30 trajetórias e identificado como B)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 15,034 | MT_AADT | 17,473 |
| ROUGH_FCTR | 14,217 | SNP_RATIO | 15,630 |
| SNP_RATIO | 11,679 | ROUGH_FCTR | 14,679 |
| RUT_PLASTC | 5,254 | RUT_PLASTC | 8,553 |
| PHOLE_NUM | 4,379 | SN | 6,513 |
| SN | 3,159 | PHOLE_NUM | 5,647 |
| CBR | 2,825 | CBR | 3,999 |
| ENVIR_FCTR | 1,979 | ROUGHNESS | 2,686 |
| ROUGHNESS | 1,400 | SPEED_LIM | 2,276 |
| XFRI | 1,107 | EDGE_STEP | 2,200 |
| EDGE_STEP | 1,000 | ENVIR_FCTR | 2,138 |
| SPEED_LIM | 0,963 | XFRI | 1,957 |
| CWAY_WIDTH | 0,936 | CWAY_WIDTH | 1,722 |
| XNMT | 0,924 | XNMT | 1,697 |
| HSNEW | 0,827 | PHOLE_PROG | 1,376 |
| HSOLD | 0,504 | HSNEW | 1,291 |
| PHOLE_PROG | 0,390 | ENFORCEMNT | 0,997 |
| DIST_ACA | 0,377 | HSOLD | 0,748 |
| ENFORCEMNT | 0,370 | DIST_ACA | 0,693 |
| RF | 0,245 | RF | 0,533 |
| NM_AADT | 0,245 | DEFECTSURF | 0,519 |
| DEFECTSURF | 0,212 | RAVEL_AREA | 0,450 |
| RUT_STRUCT | 0,186 | ACW_PROG | 0,358 |
| CRACK_CRT | 0,156 | K_SNPK | 0,307 |
| CURVATURE | 0,153 | RUT_STRUCT | 0,305 |
| ALTITUDE | 0,141 | NM_AADT | 0,297 |
| ACA_PROG | 0,130 | CURVATURE | 0,238 |
| XMT | 0,123 | ACA_PROG | 0,232 |
| ACA_INIT | 0,112 | ALTITUDE | 0,225 |
| K_SNPK | 0,099 | CRACKS_TOT | 0,218 |
| CRACKS_TOT | 0,096 | ACA_INIT | 0,212 |
| ACW_PROG | 0,087 | CRACK_CRT | 0,192 |
| RAVEL_AREA | 0,086 | DEFECTBASE | 0,155 |
| DEFECTBASE | 0,070 | XMT | 0,149 |
| DRAINLIFE | 0,047 | DRAINLIFE | 0,118 |
| SUPERELEV | 0,041 | SUPERELEV | 0,078 |
| REL_COMPCT | 0,026 | DRAINAGE | 0,052 |
| DIST_ACW | 0,023 | DIST_ACW | 0,051 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DRAINAGE | 0,019 | RAVEL_RRF | 0,049 |
| TEXTD_FCTR | 0,011 | REL_COMPCT | 0,034 |
| RAVEL_RRF | 0,010 | ACW_INIT | 0,020 |
| EDGEB_PROG | 0,007 | TEXTD_FCTR | 0,018 |
| ACW_INIT | 0,005 | EDGEB_PROG | 0,016 |
| EDGEBREAK | 0,004 | RUT_DEPTH | 0,013 |
| PREV_ACW | 0,003 | PREV_ACW | 0,009 |
| RUT_DEPTH | 0,003 | RAVEL_INIT | 0,006 |
| DIST_ACT | 0,002 | DIST_ACT | 0,005 |
| RAVEL_INIT | 0,001 | RAVEL_PROG | 0,004 |
| ACT_PROG | 0,001 | ACT_PROG | 0,003 |
| RAVEL_PROG | 0,001 | EDGEBREAK | 0,002 |
| TEXT_DEPTH | 0,000 | TEXT_DEPTH | 0,002 |
| PREV_ACA | 0,000 | PREV_ACA | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 30-C (com 30 trajetórias e identificado como C)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 19,122 | MT_AADT | 18,424 |
| MT_AADT | 17,311 | ROUGH_FCTR | 17,728 |
| SNP_RATIO | 9,226 | SNP_RATIO | 17,212 |
| RUT_PLASTC | 4,111 | RUT_PLASTC | 6,667 |
| PHOLE_NUM | 3,079 | PHOLE_NUM | 5,185 |
| CBR | 2,891 | SN | 3,427 |
| ENVIR_FCTR | 2,468 | CBR | 3,245 |
| SN | 2,340 | XNMT | 2,865 |
| CWAY_WIDTH | 1,459 | XFRI | 2,753 |
| ROUGHNESS | 1,456 | ENVIR_FCTR | 2,421 |
| XNMT | 1,358 | CWAY_WIDTH | 2,249 |
| XFRI | 1,354 | ROUGHNESS | 2,128 |
| EDGE_STEP | 1,012 | PHOLE_PROG | 1,915 |
| PHOLE_PROG | 0,889 | EDGE_STEP | 1,806 |
| HSNEW | 0,731 | DEFECTSURF | 1,468 |
| DIST_ACA | 0,507 | DIST_ACA | 1,381 |
| DEFECTBASE | 0,496 | ACA_PROG | 1,361 |
| ACA_INIT | 0,495 | ACA_INIT | 1,228 |
| HSOLD | 0,487 | DEFECTBASE | 1,200 |
| ACA_PROG | 0,387 | HSNEW | 1,112 |
| CRACKS_TOT | 0,376 | CRACK_CRT | 1,024 |
| ENFORCEMNT | 0,373 | CRACKS_TOT | 0,945 |
| DEFECTSURF | 0,369 | RAVEL_RRF | 0,835 |
| NM_AADT | 0,331 | K_SNPK | 0,807 |
| CRACK_CRT | 0,318 | ENFORCEMNT | 0,692 |
| K_SNPK | 0,305 | HSOLD | 0,654 |
| RAVEL_RRF | 0,261 | CURVATURE | 0,628 |
| CURVATURE | 0,244 | XMT | 0,412 |
| XMT | 0,214 | NM_AADT | 0,395 |
| RF | 0,213 | SPEED_LIM | 0,387 |
| SPEED_LIM | 0,160 | RF | 0,203 |
| RUT_STRUCT | 0,114 | RAVEL_AREA | 0,183 |
| RAVEL_AREA | 0,077 | RAVEL_INIT | 0,163 |
| ALTITUDE | 0,076 | RUT_STRUCT | 0,145 |
| DRAINLIFE | 0,063 | DRAINLIFE | 0,139 |
| RAVEL_INIT | 0,042 | REL_COMPCT | 0,124 |
| REL_COMPCT | 0,041 | ALTITUDE | 0,117 |
| ACW_PROG | 0,029 | DIST_ACT | 0,100 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| SUPERELEV | 0,020 | ACW_PROG | 0,091 |
| DIST_ACT | 0,019 | RAVEL_PROG | 0,061 |
| DRAINAGE | 0,018 | EDGEB_PROG | 0,058 |
| TEXTD_FCTR | 0,016 | DIST_ACW | 0,048 |
| EDGEB_PROG | 0,016 | SUPERELEV | 0,043 |
| DIST_ACW | 0,015 | RUT_DEPTH | 0,041 |
| RAVEL_PROG | 0,013 | TEXTD_FCTR | 0,039 |
| RUT_DEPTH | 0,011 | DRAINAGE | 0,027 |
| PREV_ACW | 0,006 | ACT_PROG | 0,016 |
| ACT_PROG | 0,004 | PREV_ACW | 0,016 |
| EDGEBREAK | 0,003 | EDGEBREAK | 0,002 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | PREV_ACA | 0,002 |
| PREV_ACA | 0,000 | TEXT_DEPTH | 0,002 |
| ACW_INIT | 0,000 | ACW_INIT | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 30-D (com 30 trajetórias e identificado como D)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 17,598 | MT_AADT | 18,512 |
| ROUGH_FCTR | 12,976 | ROUGH_FCTR | 14,734 |
| SNP_RATIO | 8,808 | SNP_RATIO | 12,624 |
| RUT_PLASTC | 6,142 | RUT_PLASTC | 7,549 |
| PHOLE_NUM | 2,573 | PHOLE_PROG | 4,500 |
| ENVIR_FCTR | 1,937 | DIST_ACA | 3,686 |
| CBR | 1,835 | SN | 3,244 |
| SN | 1,753 | PHOLE_NUM | 2,975 |
| PHOLE_PROG | 1,579 | DEFECTBASE | 2,484 |
| ROUGHNESS | 1,442 | ROUGHNESS | 2,391 |
| HSNEW | 1,121 | EDGE_STEP | 2,207 |
| CWAY_WIDTH | 1,114 | ENVIR_FCTR | 2,196 |
| EDGE_STEP | 1,076 | CWAY_WIDTH | 2,138 |
| DIST_ACA | 1,046 | CBR | 1,987 |
| XFRI | 0,808 | HSNEW | 1,986 |
| DEFECTBASE | 0,787 | XNMT | 1,830 |
| XNMT | 0,701 | SPEED_LIM | 1,778 |
| SPEED_LIM | 0,617 | XFRI | 1,648 |
| HSOLD | 0,601 | CRACKS_TOT | 1,625 |
| ENFORCEMNT | 0,386 | ENFORCEMNT | 1,089 |
| NM_AADT | 0,365 | ACA_PROG | 1,069 |
| CRACKS_TOT | 0,347 | HSOLD | 1,027 |
| ACA_PROG | 0,292 | DEFECTSURF | 0,629 |
| DEFECTSURF | 0,249 | RAVEL_AREA | 0,568 |
| RF | 0,216 | K_SNPK | 0,563 |
| K_SNPK | 0,185 | NM_AADT | 0,485 |
| XMT | 0,172 | RF | 0,373 |
| RAVEL_AREA | 0,162 | XMT | 0,359 |
| RUT_STRUCT | 0,152 | RUT_STRUCT | 0,276 |
| CRACK_CRT | 0,145 | CRACK_CRT | 0,240 |
| ACA_INIT | 0,117 | CURVATURE | 0,205 |
| ALTITUDE | 0,092 | DIST_ACW | 0,190 |
| CURVATURE | 0,087 | ACA_INIT | 0,175 |
| DIST_ACW | 0,051 | RUT_DEPTH | 0,137 |
| RUT_DEPTH | 0,034 | ALTITUDE | 0,134 |
| RAVEL_INIT | 0,032 | RAVEL_INIT | 0,118 |
| SUPERELEV | 0,024 | SUPERELEV | 0,056 |
| REL_COMPCT | 0,024 | DRAINLIFE | 0,045 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DRAINAGE | 0,022 | DRAINAGE | 0,037 |
| DRAINLIFE | 0,021 | ACW_PROG | 0,032 |
| TEXTD_FCTR | 0,014 | REL_COMPCT | 0,031 |
| ACW_PROG | 0,011 | RAVEL_RRF | 0,028 |
| RAVEL_RRF | 0,009 | TEXTD_FCTR | 0,024 |
| DIST_ACT | 0,006 | ACW_INIT | 0,020 |
| EDGEBREAK | 0,005 | ACT_PROG | 0,018 |
| ACT_PROG | 0,004 | DIST_ACT | 0,016 |
| ACW_INIT | 0,004 | PREV_ACW | 0,009 |
| PREV_ACW | 0,004 | TEXT_DEPTH | 0,009 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | EDGEBREAK | 0,006 |
| EDGEB_PROG | 0,002 | EDGEB_PROG | 0,006 |
| PREV_ACA | 0,002 | RAVEL_PROG | 0,006 |
| RAVEL_PROG | 0,001 | PREV_ACA | 0,005 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 30-E (com 30 trajetórias e identificado como E)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 23,016 | MT_AADT | 25,461 |
| ROUGH_FCTR | 18,503 | ROUGH_FCTR | 18,928 |
| SNP_RATIO | 10,364 | SNP_RATIO | 12,966 |
| RUT_PLASTC | 7,656 | RUT_PLASTC | 9,579 |
| SN | 2,896 | SN | 6,751 |
| PHOLE_NUM | 2,867 | PHOLE_NUM | 5,613 |
| ENVIR_FCTR | 2,662 | ROUGHNESS | 4,200 |
| CBR | 1,934 | ENVIR_FCTR | 2,774 |
| ROUGHNESS | 1,879 | CBR | 2,604 |
| CWAY_WIDTH | 1,442 | CWAY_WIDTH | 2,437 |
| XFRI | 1,087 | EDGE_STEP | 2,345 |
| PHOLE_PROG | 0,985 | PHOLE_PROG | 2,263 |
| XNMT | 0,950 | XFRI | 2,088 |
| EDGE_STEP | 0,932 | DEFECTBASE | 1,797 |
| ENFORCEMNT | 0,718 | ENFORCEMNT | 1,729 |
| DEFECTBASE | 0,631 | XNMT | 1,653 |
| HSOLD | 0,610 | DIST_ACA | 1,217 |
| HSNEW | 0,590 | ACA_INIT | 1,055 |
| NM_AADT | 0,480 | HSOLD | 0,860 |
| DIST_ACA | 0,438 | HSNEW | 0,711 |
| ACA_INIT | 0,416 | NM_AADT | 0,666 |
| RF | 0,229 | ACA_PROG | 0,597 |
| ACA_PROG | 0,212 | RAVEL_RRF | 0,496 |
| CRACK_CRT | 0,209 | CRACK_CRT | 0,449 |
| CURVATURE | 0,205 | RF | 0,437 |
| DEFECTSURF | 0,203 | K_SNPK | 0,404 |
| XMT | 0,141 | CRACKS_TOT | 0,390 |
| CRACKS_TOT | 0,134 | DEFECTSURF | 0,363 |
| K_SNPK | 0,122 | CURVATURE | 0,336 |
| RUT_STRUCT | 0,115 | XMT | 0,257 |
| RAVEL_RRF | 0,101 | RUT_DEPTH | 0,208 |
| SPEED_LIM | 0,092 | SPEED_LIM | 0,198 |
| ALTITUDE | 0,068 | RUT_STRUCT | 0,193 |
| RUT_DEPTH | 0,062 | RAVEL_PROG | 0,167 |
| DRAINLIFE | 0,045 | DIST_ACW | 0,128 |
| RAVEL_PROG | 0,042 | ALTITUDE | 0,100 |
| SUPERELEV | 0,041 | RAVEL_AREA | 0,093 |
| DIST_ACW | 0,036 | SUPERELEV | 0,071 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RAVEL_AREA | 0,028 | DRAINLIFE | 0,059 |
| REL_COMPCT | 0,020 | ACW_PROG | 0,053 |
| DRAINAGE | 0,018 | DIST_ACT | 0,047 |
| ACW_PROG | 0,013 | EDGEBREAK | 0,044 |
| DIST_ACT | 0,012 | EDGEB_PROG | 0,036 |
| EDGEBREAK | 0,012 | DRAINAGE | 0,031 |
| TEXTD_FCTR | 0,011 | REL_COMPCT | 0,030 |
| EDGEB_PROG | 0,010 | RAVEL_INIT | 0,029 |
| RAVEL_INIT | 0,010 | ACW_INIT | 0,026 |
| ACW_INIT | 0,009 | PREV_ACW | 0,021 |
| PREV_ACW | 0,005 | TEXTD_FCTR | 0,019 |
| TEXT_DEPTH | 0,003 | ACT_PROG | 0,009 |
| ACT_PROG | 0,003 | TEXT_DEPTH | 0,007 |
| PREV_ACA | 0,000 | PREV_ACA | 0,002 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 20-A (com 20 trajetórias e identificado como A)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 26,544 | MT_AADT | 23,973 |
| ROUGH_FCTR | 16,400 | ROUGH_FCTR | 22,010 |
| SNP_RATIO | 9,591 | SNP_RATIO | 16,494 |
| RUT_PLASTC | 7,413 | RUT_PLASTC | 10,970 |
| PHOLE_NUM | 4,031 | ROUGHNESS | 5,981 |
| ROUGHNESS | 3,343 | PHOLE_NUM | 5,287 |
| SN | 2,298 | SN | 4,939 |
| ENVIR_FCTR | 2,096 | ENVIR_FCTR | 2,377 |
| CBR | 1,216 | XNMT | 2,279 |
| CWAY_WIDTH | 1,130 | CWAY_WIDTH | 2,158 |
| XNMT | 0,895 | DEFECTSURF | 1,649 |
| EDGE_STEP | 0,727 | CBR | 1,514 |
| DEFECTSURF | 0,676 | EDGE_STEP | 1,447 |
| HSOLD | 0,607 | DIST_ACA | 1,249 |
| HSNEW | 0,527 | ENFORCEMNT | 1,166 |
| XFRI | 0,507 | XFRI | 1,102 |
| ENFORCEMNT | 0,469 | ACA_PROG | 0,937 |
| DIST_ACA | 0,446 | ACA_INIT | 0,891 |
| CRACK_CRT | 0,438 | HSNEW | 0,828 |
| ACA_PROG | 0,321 | CRACK_CRT | 0,792 |
| NM_AADT | 0,275 | HSOLD | 0,776 |
| ACA_INIT | 0,263 | EDGEB_PROG | 0,646 |
| SPEED_LIM | 0,247 | SPEED_LIM | 0,489 |
| K_SNPK | 0,156 | K_SNPK | 0,401 |
| ALTITUDE | 0,153 | NM_AADT | 0,367 |
| EDGEB_PROG | 0,148 | ALTITUDE | 0,334 |
| RF | 0,146 | DEFECTBASE | 0,282 |
| DEFECTBASE | 0,133 | XMT | 0,242 |
| XMT | 0,121 | RF | 0,196 |
| RUT_STRUCT | 0,110 | PHOLE_PROG | 0,159 |
| CURVATURE | 0,076 | CURVATURE | 0,154 |
| PHOLE_PROG | 0,063 | RUT_STRUCT | 0,134 |
| DIST_ACW | 0,045 | RAVEL_PROG | 0,121 |
| DRAINLIFE | 0,040 | RUT_DEPTH | 0,121 |
| RAVEL_PROG | 0,038 | ACT_PROG | 0,088 |
| CRACKS_TOT | 0,037 | CRACKS_TOT | 0,086 |
| SUPERELEV | 0,036 | EDGEBREAK | 0,077 |
| RUT_DEPTH | 0,029 | DIST_ACW | 0,076 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RAVEL_AREA | 0,028 | DRAINLIFE | 0,073 |
| ACT_PROG | 0,026 | SUPERELEV | 0,072 |
| REL_COMPCT | 0,022 | RAVEL_INIT | 0,072 |
| RAVEL_RRF | 0,022 | ACW_PROG | 0,070 |
| ACW_PROG | 0,021 | RAVEL_AREA | 0,060 |
| EDGEBREAK | 0,021 | RAVEL_RRF | 0,058 |
| RAVEL_INIT | 0,019 | DIST_ACT | 0,057 |
| TEXTD_FCTR | 0,019 | PREV_ACW | 0,046 |
| DIST_ACT | 0,017 | TEXTD_FCTR | 0,044 |
| PREV_ACW | 0,012 | REL_COMPCT | 0,034 |
| TEXT_DEPTH | 0,008 | TEXT_DEPTH | 0,025 |
| DRAINAGE | 0,007 | DRAINAGE | 0,014 |
| PREV_ACA | 0,002 | PREV_ACA | 0,007 |
| ACW_INIT | 0,001 | ACW_INIT | 0,004 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 20-B (com 20 trajetórias e identificado como B)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 23,467 | MT_AADT | 20,562 |
| ROUGH_FCTR | 13,948 | ROUGH_FCTR | 20,086 |
| SNP_RATIO | 8,933 | SNP_RATIO | 13,610 |
| SN | 4,454 | SN | 7,774 |
| RUT_PLASTC | 3,258 | PHOLE_NUM | 5,256 |
| PHOLE_NUM | 3,213 | RUT_PLASTC | 4,227 |
| CBR | 3,013 | ENVIR_FCTR | 3,455 |
| ENVIR_FCTR | 2,849 | CBR | 3,020 |
| ROUGHNESS | 1,197 | XFRI | 1,823 |
| CWAY_WIDTH | 1,113 | ROUGHNESS | 1,821 |
| XFRI | 1,080 | CWAY_WIDTH | 1,792 |
| HSOLD | 0,969 | HSOLD | 1,465 |
| XNMT | 0,768 | PHOLE_PROG | 1,431 |
| HSNEW | 0,753 | EDGE_STEP | 1,419 |
| PHOLE_PROG | 0,577 | XNMT | 1,341 |
| DIST_ACA | 0,559 | DIST_ACA | 1,333 |
| EDGE_STEP | 0,551 | HSNEW | 1,219 |
| ACA_INIT | 0,469 | CRACKS_TOT | 1,217 |
| DEFECTBASE | 0,438 | ACA_INIT | 1,211 |
| NM_AADT | 0,409 | SPEED_LIM | 1,104 |
| SPEED_LIM | 0,388 | DEFECTBASE | 0,957 |
| ENFORCEMNT | 0,387 | ENFORCEMNT | 0,812 |
| CRACKS_TOT | 0,378 | CURVATURE | 0,726 |
| CRACK_CRT | 0,283 | CRACK_CRT | 0,643 |
| ACA_PROG | 0,223 | NM_AADT | 0,567 |
| CURVATURE | 0,218 | K_SNPCK | 0,553 |
| RF | 0,211 | ACA_PROG | 0,502 |
| DEFECTSURF | 0,190 | RF | 0,392 |
| RUT_STRUCT | 0,189 | DEFECTSURF | 0,304 |
| K_SNPCK | 0,174 | RUT_STRUCT | 0,295 |
| XMT | 0,143 | DIST_ACW | 0,295 |
| DIST_ACW | 0,099 | XMT | 0,174 |
| ALTITUDE | 0,067 | ALTITUDE | 0,129 |
| DRAINLIFE | 0,032 | ACW_INIT | 0,101 |
| RAVEL_AREA | 0,032 | PREV_ACW | 0,087 |
| ACW_INIT | 0,031 | RAVEL_AREA | 0,084 |
| DRAINAGE | 0,026 | DIST_ACT | 0,069 |
| SUPERELEV | 0,025 | DRAINAGE | 0,066 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ACW_PROG | 0,022 | SUPERELEV | 0,061 |
| PREV_ACW | 0,022 | RAVEL_PROG | 0,061 |
| REL_COMPCT | 0,021 | ACW_PROG | 0,055 |
| DIST_ACT | 0,016 | DRAINLIFE | 0,045 |
| RAVEL_PROG | 0,014 | RAVEL_INIT | 0,035 |
| RAVEL_INIT | 0,010 | REL_COMPCT | 0,029 |
| TEXTD_FCTR | 0,008 | TEXTD_FCTR | 0,013 |
| RAVEL_RRF | 0,003 | PREV_ACA | 0,010 |
| EDGEBREAK | 0,003 | RAVEL_RRF | 0,007 |
| PREV_ACA | 0,002 | ACT_PROG | 0,006 |
| ACT_PROG | 0,002 | RUT_DEPTH | 0,005 |
| EDGEB_PROG | 0,002 | EDGEB_PROG | 0,005 |
| RUT_DEPTH | 0,002 | EDGEBREAK | 0,003 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 20-C (com 20 trajetórias e identificado como C)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 24,304 | SNP_RATIO | 24,305 |
| SNP_RATIO | 19,574 | MT_AADT | 24,182 |
| ROUGH_FCTR | 15,727 | ROUGH_FCTR | 13,183 |
| RUT_PLASTC | 8,332 | RUT_PLASTC | 11,445 |
| PHOLE_NUM | 4,656 | PHOLE_PROG | 11,205 |
| PHOLE_PROG | 3,902 | PHOLE_NUM | 7,494 |
| ROUGHNESS | 3,333 | ROUGHNESS | 6,480 |
| SN | 3,047 | SN | 4,523 |
| CBR | 2,515 | DIST_ACA | 3,579 |
| ENVIR_FCTR | 2,422 | ACA_PROG | 3,296 |
| HSNEW | 1,727 | CBR | 2,881 |
| EDGE_STEP | 1,556 | ENVIR_FCTR | 2,571 |
| DIST_ACA | 1,368 | EDGE_STEP | 2,552 |
| ACA_PROG | 1,118 | HSNEW | 2,223 |
| CWAY_WIDTH | 1,078 | HSOLD | 2,092 |
| HSOLD | 0,945 | CWAY_WIDTH | 1,961 |
| XNMT | 0,936 | K_SNPK | 1,840 |
| XFRI | 0,871 | DEFECTBASE | 1,699 |
| DEFECTBASE | 0,806 | XFRI | 1,567 |
| K_SNPK | 0,598 | XNMT | 1,449 |
| ENFORCENMT | 0,515 | SPEED_LIM | 1,261 |
| SPEED_LIM | 0,449 | ENFORCENMT | 1,049 |
| NM_AADT | 0,397 | ACA_INIT | 0,996 |
| ACA_INIT | 0,370 | CRACKS_TOT | 0,980 |
| CRACKS_TOT | 0,315 | CRACK_CRT | 0,635 |
| CRACK_CRT | 0,282 | NM_AADT | 0,567 |
| RAVEL_AREA | 0,188 | RAVEL_AREA | 0,557 |
| RAVEL_RRF | 0,187 | RAVEL_RRF | 0,545 |
| CURVATURE | 0,184 | CURVATURE | 0,432 |
| RUT_STRUCT | 0,134 | RAVEL_INIT | 0,260 |
| RF | 0,131 | RUT_STRUCT | 0,197 |
| XMT | 0,071 | RF | 0,194 |
| DEFECTSURF | 0,066 | DIST_ACW | 0,155 |
| ALTITUDE | 0,061 | XMT | 0,125 |
| RAVEL_INIT | 0,058 | ACW_PROG | 0,121 |
| DIST_ACW | 0,057 | DEFECTSURF | 0,105 |
| ACW_PROG | 0,055 | SUPERELEV | 0,086 |
| DRAINLIFE | 0,054 | ALTITUDE | 0,082 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| SUPERELEV | 0,050 | DRAINLIFE | 0,077 |
| DRAINAGE | 0,025 | ACW_INIT | 0,069 |
| REL_COMPCT | 0,022 | DRAINAGE | 0,039 |
| ACW_INIT | 0,016 | REL_COMPCT | 0,035 |
| TEXTD_FCTR | 0,009 | RAVEL_PROG | 0,017 |
| EDGEB_PROG | 0,007 | DIST_ACT | 0,016 |
| DIST_ACT | 0,005 | TEXTD_FCTR | 0,015 |
| RAVEL_PROG | 0,004 | ACT_PROG | 0,014 |
| EDGEBREAK | 0,004 | EDGEB_PROG | 0,012 |
| ACT_PROG | 0,003 | RUT_DEPTH | 0,006 |
| RUT_DEPTH | 0,001 | PREV_ACW | 0,004 |
| PREV_ACW | 0,001 | EDGEBREAK | 0,001 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,001 |
| PREV_ACA | 0,000 | PREV_ACA | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| TEXT_DEPTH | 0,000 | TEXT_DEPTH | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 20-D (com 20 trajetórias e identificado como D)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 16,816 | MT_AADT | 20,162 |
| ROUGH_FCTR | 15,047 | ROUGH_FCTR | 17,655 |
| SNP_RATIO | 4,481 | SNP_RATIO | 7,243 |
| PHOLE_NUM | 4,088 | RUT_PLASTC | 7,120 |
| RUT_PLASTC | 3,643 | PHOLE_NUM | 5,394 |
| ENVIR_FCTR | 2,523 | ENFORCEMNT | 5,250 |
| ENFORCEMNT | 2,193 | SN | 4,106 |
| SN | 1,501 | ENVIR_FCTR | 3,003 |
| CBR | 1,493 | PHOLE_PROG | 2,935 |
| PHOLE_PROG | 1,470 | CBR | 2,202 |
| ROUGHNESS | 1,342 | ROUGHNESS | 1,803 |
| HSNEW | 0,817 | DEFECTBASE | 1,721 |
| EDGE_STEP | 0,790 | EDGE_STEP | 1,600 |
| XNMT | 0,766 | HSNEW | 1,377 |
| DEFECTBASE | 0,669 | XNMT | 1,357 |
| XFRI | 0,474 | XFRI | 1,316 |
| HSOLD | 0,392 | CWAY_WIDTH | 0,848 |
| SPEED_LIM | 0,374 | SPEED_LIM | 0,799 |
| NM_AADT | 0,365 | NM_AADT | 0,709 |
| CWAY_WIDTH | 0,331 | CRACKS_TOT | 0,505 |
| CRACKS_TOT | 0,245 | RAVEL_AREA | 0,496 |
| RF | 0,193 | DEFECTSURF | 0,467 |
| DEFECTSURF | 0,181 | HSOLD | 0,451 |
| DIST_ACW | 0,167 | DIST_ACW | 0,438 |
| XMT | 0,161 | XMT | 0,356 |
| RAVEL_AREA | 0,137 | RF | 0,330 |
| CURVATURE | 0,115 | CURVATURE | 0,214 |
| CRACK_CRT | 0,114 | CRACK_CRT | 0,194 |
| RUT_STRUCT | 0,108 | RUT_DEPTH | 0,192 |
| ACA_PROG | 0,098 | DIST_ACA | 0,156 |
| DIST_ACA | 0,095 | ACA_PROG | 0,154 |
| ACA_INIT | 0,077 | RUT_STRUCT | 0,142 |
| DRAINLIFE | 0,054 | RAVEL_PROG | 0,139 |
| RAVEL_RRF | 0,049 | DRAINLIFE | 0,137 |
| RUT_DEPTH | 0,043 | RAVEL_RRF | 0,136 |
| RAVEL_PROG | 0,038 | ACA_INIT | 0,091 |
| ALTITUDE | 0,034 | ACW_PROG | 0,065 |
| K_SNPK | 0,030 | K_SNPK | 0,056 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ACW_PROG | 0,027 | ALTITUDE | 0,056 |
| SUPERELEV | 0,020 | EDGEBREAK | 0,039 |
| DRAINAGE | 0,015 | SUPERELEV | 0,037 |
| TEXTD_FCTR | 0,014 | DRAINAGE | 0,033 |
| REL_COMPCT | 0,014 | TEXTD_FCTR | 0,032 |
| EDGEBREAK | 0,012 | RAVEL_INIT | 0,023 |
| RAVEL_INIT | 0,008 | REL_COMPCT | 0,017 |
| EDGEB_PROG | 0,005 | ACW_INIT | 0,015 |
| PREV_ACW | 0,005 | EDGEB_PROG | 0,015 |
| ACW_INIT | 0,004 | PREV_ACW | 0,012 |
| DIST_ACT | 0,004 | DIST_ACT | 0,007 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,005 |
| ACT_PROG | 0,001 | ACT_PROG | 0,003 |
| PREV_ACA | 0,000 | PREV_ACA | 0,000 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 20-E (com 20 trajetórias e identificado como E)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 20,633 | MT_AADT | 21,957 |
| MT_AADT | 16,090 | ROUGH_FCTR | 19,575 |
| SNP_RATIO | 5,182 | RUT_PLASTC | 8,666 |
| RUT_PLASTC | 5,100 | SNP_RATIO | 6,249 |
| SN | 2,697 | ACA_INIT | 5,242 |
| ENVIR_FCTR | 2,695 | SN | 4,886 |
| PHOLE_NUM | 2,393 | ENVIR_FCTR | 3,092 |
| CBR | 2,029 | ACA_PROG | 2,812 |
| ACA_INIT | 1,308 | PHOLE_NUM | 2,675 |
| EDGE_STEP | 1,071 | CBR | 2,374 |
| XFRI | 0,927 | EDGE_STEP | 2,012 |
| XNMT | 0,916 | PHOLE_PROG | 1,926 |
| CWAY_WIDTH | 0,892 | XFRI | 1,729 |
| PHOLE_PROG | 0,777 | CWAY_WIDTH | 1,594 |
| ACA_PROG | 0,721 | XNMT | 1,376 |
| HSNEW | 0,683 | ROUGHNESS | 1,278 |
| ROUGHNESS | 0,558 | HSNEW | 1,203 |
| HSOLD | 0,536 | DEFECTBASE | 0,843 |
| DEFECTBASE | 0,351 | SPEED_LIM | 0,829 |
| SPEED_LIM | 0,336 | CRACKS_TOT | 0,766 |
| DIST_ACA | 0,304 | HSOLD | 0,758 |
| K_SNPK | 0,300 | K_SNPK | 0,673 |
| XMT | 0,274 | DEFECTSURF | 0,631 |
| RF | 0,234 | DIST_ACA | 0,605 |
| NM_AADT | 0,228 | RF | 0,463 |
| ENFORCENMT | 0,210 | XMT | 0,433 |
| CRACKS_TOT | 0,205 | ENFORCENMT | 0,417 |
| DEFECTSURF | 0,203 | NM_AADT | 0,344 |
| CRACK_CRT | 0,188 | CRACK_CRT | 0,294 |
| RUT_STRUCT | 0,136 | RAVEL_INIT | 0,237 |
| CURVATURE | 0,104 | REL_COMPCT | 0,205 |
| ALTITUDE | 0,084 | CURVATURE | 0,184 |
| DIST_ACW | 0,072 | RUT_STRUCT | 0,163 |
| REL_COMPCT | 0,069 | DIST_ACW | 0,139 |
| RAVEL_INIT | 0,066 | ALTITUDE | 0,127 |
| RAVEL_AREA | 0,042 | RAVEL_AREA | 0,123 |
| RAVEL_RRF | 0,041 | RAVEL_RRF | 0,118 |
| SUPERELEV | 0,031 | RAVEL_PROG | 0,103 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DRAINLIFE | 0,031 | ACW_INIT | 0,086 |
| RAVEL_PROG | 0,027 | SUPERELEV | 0,067 |
| ACW_PROG | 0,024 | ACW_PROG | 0,056 |
| ACW_INIT | 0,023 | DRAINLIFE | 0,055 |
| DRAINAGE | 0,022 | DRAINAGE | 0,032 |
| TEXTD_FCTR | 0,010 | RUT_DEPTH | 0,022 |
| RUT_DEPTH | 0,005 | TEXTD_FCTR | 0,019 |
| EDGEBREAK | 0,004 | DIST_ACT | 0,010 |
| EDGEB_PROG | 0,004 | EDGEB_PROG | 0,009 |
| DIST_ACT | 0,003 | ACT_PROG | 0,007 |
| ACT_PROG | 0,002 | TEXT_DEPTH | 0,004 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | EDGEBREAK | 0,003 |
| PREV_ACW | 0,000 | PREV_ACW | 0,001 |
| PREV_ACA | 0,000 | PREV_ACA | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 10-A (com 10 trajetórias e identificado como A)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 19,602 | ROUGH_FCTR | 19,334 |
| MT_AADT | 16,170 | SNP_RATIO | 15,605 |
| SNP_RATIO | 12,146 | MT_AADT | 13,413 |
| SN | 6,327 | SN | 9,552 |
| RUT_PLASTC | 3,243 | PHOLE_NUM | 3,806 |
| PHOLE_NUM | 2,530 | RUT_PLASTC | 3,707 |
| ENVIR_FCTR | 2,220 | PHOLE_PROG | 3,654 |
| PHOLE_PROG | 1,889 | XFRI | 2,383 |
| CBR | 1,817 | XNMT | 2,364 |
| ROUGHNESS | 1,327 | CBR | 2,015 |
| CWAY_WIDTH | 1,145 | ROUGHNESS | 1,834 |
| XFRI | 1,133 | HSOLD | 1,832 |
| XNMT | 1,101 | CWAY_WIDTH | 1,749 |
| HSOLD | 1,031 | ENVIR_FCTR | 1,567 |
| HSNEW | 0,867 | ENFORCEMNT | 1,430 |
| DEFECTBASE | 0,719 | HSNEW | 1,146 |
| ENFORCEMNT | 0,672 | DEFECTBASE | 1,095 |
| EDGE_STEP | 0,465 | EDGE_STEP | 1,067 |
| NM_AADT | 0,294 | CRACKS_TOT | 0,559 |
| DIST_ACA | 0,266 | DIST_ACA | 0,481 |
| ACA_PROG | 0,236 | ACA_INIT | 0,369 |
| CRACKS_TOT | 0,229 | CRACK_CRT | 0,325 |
| RF | 0,222 | ACA_PROG | 0,293 |
| ACA_INIT | 0,207 | CURVATURE | 0,267 |
| SPEED_LIM | 0,162 | RF | 0,247 |
| CRACK_CRT | 0,160 | DEFECTSURF | 0,222 |
| CURVATURE | 0,151 | SPEED_LIM | 0,213 |
| XMT | 0,139 | K_SNPK | 0,199 |
| DEFECTSURF | 0,127 | NM_AADT | 0,187 |
| K_SNPK | 0,108 | ACW_PROG | 0,178 |
| RUT_STRUCT | 0,098 | RAVEL_AREA | 0,172 |
| RAVEL_AREA | 0,068 | XMT | 0,144 |
| ACW_PROG | 0,062 | SUPERELEV | 0,130 |
| SUPERELEV | 0,058 | RUT_STRUCT | 0,082 |
| ALTITUDE | 0,054 | ALTITUDE | 0,082 |
| DIST_ACW | 0,029 | PREV_ACW | 0,044 |
| REL_COMPCT | 0,027 | DIST_ACW | 0,040 |
| PREV_ACW | 0,016 | DRAINLIFE | 0,028 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DRAINLIFE | 0,016 | REL_COMPCT | 0,027 |
| TEXTD_FCTR | 0,014 | DRAINAGE | 0,024 |
| DRAINAGE | 0,013 | EDGEB_PROG | 0,019 |
| EDGEB_PROG | 0,009 | RAVEL_PROG | 0,019 |
| RAVEL_PROG | 0,006 | TEXTD_FCTR | 0,018 |
| EDGEBREAK | 0,005 | DIST_ACT | 0,012 |
| DIST_ACT | 0,004 | PREV_ACA | 0,008 |
| RUT_DEPTH | 0,003 | RUT_DEPTH | 0,007 |
| RAVEL_INIT | 0,003 | RAVEL_INIT | 0,006 |
| PREV_ACA | 0,003 | ACT_PROG | 0,005 |
| ACT_PROG | 0,002 | EDGEBREAK | 0,005 |
| ACW_INIT | 0,002 | ACW_INIT | 0,004 |
| RAVEL_RRF | 0,001 | RAVEL_RRF | 0,004 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| TEXT_DEPTH | 0,000 | TEXT_DEPTH | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 10-B (com 10 trajetórias e identificado como B)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 11,783 | MT_AADT | 18,049 |
| ROUGH_FCTR | 10,110 | ROUGH_FCTR | 14,494 |
| SNP_RATIO | 8,571 | SNP_RATIO | 11,394 |
| PHOLE_NUM | 4,102 | PHOLE_NUM | 9,066 |
| CBR | 3,081 | RUT_PLASTC | 4,701 |
| RUT_PLASTC | 2,979 | CBR | 3,710 |
| ENVIR_FCTR | 2,409 | ROUGHNESS | 3,683 |
| ROUGHNESS | 1,712 | ENVIR_FCTR | 3,362 |
| XNMT | 1,313 | XNMT | 2,214 |
| SPEED_LIM | 0,823 | SPEED_LIM | 2,120 |
| XFRI | 0,724 | XFRI | 1,682 |
| EDGE_STEP | 0,590 | K_SNPK | 1,586 |
| K_SNPK | 0,567 | CRACK_CRT | 1,059 |
| HSNEW | 0,566 | EDGE_STEP | 0,982 |
| CRACK_CRT | 0,497 | SN | 0,820 |
| SN | 0,450 | HSNEW | 0,714 |
| CWAY_WIDTH | 0,392 | CWAY_WIDTH | 0,625 |
| HSOLD | 0,338 | DIST_ACA | 0,502 |
| DIST_ACA | 0,197 | HSOLD | 0,438 |
| PHOLE_PROG | 0,197 | ACT_PROG | 0,410 |
| NM_AADT | 0,167 | PHOLE_PROG | 0,373 |
| ENFORCEMNT | 0,143 | ENFORCEMNT | 0,274 |
| DEFECTBASE | 0,136 | DEFECTBASE | 0,240 |
| RF | 0,135 | NM_AADT | 0,237 |
| ACT_PROG | 0,130 | RF | 0,187 |
| XMT | 0,099 | DEFECTSURF | 0,136 |
| ACA_PROG | 0,095 | ACA_PROG | 0,128 |
| DEFECTSURF | 0,090 | ACA_INIT | 0,127 |
| RUT_STRUCT | 0,080 | ACW_PROG | 0,121 |
| ACA_INIT | 0,079 | RAVEL_INIT | 0,104 |
| ALTITUDE | 0,066 | CRACKS_TOT | 0,103 |
| CRACKS_TOT | 0,053 | XMT | 0,100 |
| DRAINLIFE | 0,052 | ALTITUDE | 0,098 |
| CURVATURE | 0,044 | DRAINLIFE | 0,085 |
| RAVEL_INIT | 0,042 | RUT_STRUCT | 0,082 |
| ACW_PROG | 0,041 | CURVATURE | 0,069 |
| DRAINAGE | 0,019 | DRAINAGE | 0,036 |
| SUPERELEV | 0,014 | SUPERELEV | 0,030 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RAVEL_AREA | 0,012 | RAVEL_AREA | 0,022 |
| REL_COMPCT | 0,011 | RUT_DEPTH | 0,022 |
| RAVEL_PROG | 0,010 | REL_COMPCT | 0,017 |
| RUT_DEPTH | 0,008 | EDGEB_PROG | 0,017 |
| EDGEB_PROG | 0,008 | RAVEL_PROG | 0,017 |
| TEXTD_FCTR | 0,006 | RAVEL_RRF | 0,015 |
| RAVEL_RRF | 0,005 | DIST_ACW | 0,014 |
| DIST_ACW | 0,005 | TEXT_DEPTH | 0,013 |
| TEXT_DEPTH | 0,004 | TEXTD_FCTR | 0,009 |
| EDGEBREAK | 0,003 | DIST_ACT | 0,006 |
| DIST_ACT | 0,003 | PREV_ACA | 0,005 |
| PREV_ACW | 0,002 | PREV_ACW | 0,004 |
| PREV_ACA | 0,001 | ACW_INIT | 0,002 |
| ACW_INIT | 0,001 | EDGEBREAK | 0,002 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 10-C (com 10 trajetórias e identificado como C)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 25,152 | ROUGH_FCTR | 26,824 |
| MT_AADT | 10,008 | MT_AADT | 13,821 |
| SNP_RATIO | 9,934 | SNP_RATIO | 9,703 |
| RUT_PLASTC | 4,764 | ROUGHNESS | 7,319 |
| ROUGHNESS | 4,449 | DEFECTSURF | 7,293 |
| SN | 4,207 | RUT_PLASTC | 6,186 |
| PHOLE_NUM | 3,268 | SN | 6,031 |
| DEFECTSURF | 3,158 | PHOLE_NUM | 5,198 |
| CBR | 3,138 | CBR | 3,898 |
| ENVIR_FCTR | 2,501 | CWAY_WIDTH | 3,744 |
| CWAY_WIDTH | 2,074 | XFRI | 3,674 |
| XFRI | 1,563 | ENVIR_FCTR | 2,381 |
| XNMT | 0,930 | XNMT | 2,263 |
| HSOLD | 0,878 | HSOLD | 1,110 |
| HSNEW | 0,617 | EDGE_STEP | 0,889 |
| ACA_INIT | 0,410 | HSNEW | 0,714 |
| EDGE_STEP | 0,312 | CRACK_CRT | 0,699 |
| CRACK_CRT | 0,298 | ACA_INIT | 0,621 |
| PHOLE_PROG | 0,233 | RUT_DEPTH | 0,512 |
| CURVATURE | 0,213 | CURVATURE | 0,492 |
| NM_AADT | 0,206 | PHOLE_PROG | 0,323 |
| RUT_DEPTH | 0,206 | ALTITUDE | 0,301 |
| DEFECTBASE | 0,169 | DEFECTBASE | 0,283 |
| XMT | 0,157 | DRAINAGE | 0,261 |
| ALTITUDE | 0,131 | CRACKS_TOT | 0,255 |
| ACA_PROG | 0,125 | DIST_ACA | 0,242 |
| ENFORCENMT | 0,124 | ENFORCENMT | 0,224 |
| RF | 0,121 | NM_AADT | 0,198 |
| CRACKS_TOT | 0,111 | DRAINLIFE | 0,179 |
| DIST_ACA | 0,100 | XMT | 0,171 |
| DRAINAGE | 0,100 | RAVEL_RRF | 0,167 |
| RUT_STRUCT | 0,098 | DIST_ACW | 0,160 |
| DRAINLIFE | 0,087 | ACA_PROG | 0,139 |
| DIST_ACW | 0,068 | K_SNPK | 0,139 |
| K_SNPK | 0,063 | RUT_STRUCT | 0,120 |
| RAVEL_RRF | 0,058 | RF | 0,083 |
| SUPERELEV | 0,032 | ACW_PROG | 0,081 |
| REL_COMPCT | 0,030 | SUPERELEV | 0,067 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| SPEED_LIM | 0,030 | SPEED_LIM | 0,051 |
| ACW_PROG | 0,029 | ACW_INIT | 0,045 |
| RAVEL_AREA | 0,020 | REL_COMPCT | 0,043 |
| ACW_INIT | 0,019 | RAVEL_AREA | 0,036 |
| DIST_ACT | 0,012 | RAVEL_PROG | 0,030 |
| TEXT_DEPTH | 0,011 | TEXT_DEPTH | 0,024 |
| RAVEL_PROG | 0,011 | DIST_ACT | 0,019 |
| EDGEBREAK | 0,008 | TEXTD_FCTR | 0,017 |
| TEXTD_FCTR | 0,007 | EDGEBREAK | 0,016 |
| PREV_ACA | 0,006 | PREV_ACA | 0,015 |
| PREV_ACW | 0,002 | PREV_ACW | 0,005 |
| ACT_PROG | 0,001 | ACT_PROG | 0,002 |
| RAVEL_INIT | 0,001 | RAVEL_INIT | 0,002 |
| EDGEB_PROG | 0,000 | EDGEB_PROG | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 10-D (com 10 trajetórias e identificado como D)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 20,844 | MT_AADT | 19,988 |
| ROUGH_FCTR | 13,044 | ROUGH_FCTR | 16,992 |
| SNP_RATIO | 5,861 | SN | 8,813 |
| RUT_PLASTC | 4,904 | RUT_PLASTC | 7,366 |
| SN | 3,734 | SNP_RATIO | 7,082 |
| PHOLE_NUM | 2,830 | PHOLE_NUM | 4,009 |
| ENVIR_FCTR | 1,974 | ENFORCEMNT | 3,685 |
| ENFORCEMNT | 1,504 | ENVIR_FCTR | 3,060 |
| CBR | 1,346 | PHOLE_PROG | 2,529 |
| PHOLE_PROG | 1,240 | CWAY_WIDTH | 1,910 |
| ROUGHNESS | 1,239 | ROUGHNESS | 1,864 |
| CWAY_WIDTH | 1,208 | CBR | 1,593 |
| HSOLD | 0,898 | HSNEW | 1,397 |
| HSNEW | 0,712 | HSOLD | 1,360 |
| NM_AADT | 0,604 | DEFECTBASE | 1,044 |
| DEFECTBASE | 0,519 | CRACK_CRT | 0,855 |
| CRACK_CRT | 0,412 | NM_AADT | 0,854 |
| ACA_INIT | 0,221 | ACA_INIT | 0,531 |
| XFRI | 0,206 | XFRI | 0,390 |
| XNMT | 0,184 | EDGE_STEP | 0,373 |
| SPEED_LIM | 0,182 | XNMT | 0,335 |
| DIST_ACA | 0,162 | K_SNPK | 0,327 |
| RF | 0,159 | SPEED_LIM | 0,300 |
| EDGE_STEP | 0,140 | RF | 0,286 |
| K_SNPK | 0,136 | ACW_PROG | 0,243 |
| XMT | 0,113 | ACA_PROG | 0,232 |
| DIST_ACW | 0,105 | DIST_ACW | 0,218 |
| ACA_PROG | 0,098 | DIST_ACA | 0,192 |
| ACW_PROG | 0,088 | XMT | 0,152 |
| DEFECTSURF | 0,067 | PREV_ACW | 0,145 |
| RUT_STRUCT | 0,052 | DEFECTSURF | 0,136 |
| ALTITUDE | 0,050 | ALTITUDE | 0,083 |
| PREV_ACW | 0,046 | CURVATURE | 0,078 |
| CURVATURE | 0,039 | RUT_STRUCT | 0,062 |
| DRAINLIFE | 0,024 | DRAINLIFE | 0,058 |
| RAVEL_INIT | 0,021 | RAVEL_INIT | 0,054 |
| CRACKS_TOT | 0,019 | CRACKS_TOT | 0,040 |
| RAVEL_RRF | 0,014 | RAVEL_RRF | 0,040 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| REL_COMPCT | 0,014 | SUPERELEV | 0,033 |
| SUPERELEV | 0,012 | RAVEL_PROG | 0,025 |
| RAVEL_AREA | 0,009 | REL_COMPCT | 0,022 |
| DIST_ACT | 0,009 | DIST_ACT | 0,018 |
| RAVEL_PROG | 0,008 | RUT_DEPTH | 0,015 |
| RUT_DEPTH | 0,005 | RAVEL_AREA | 0,014 |
| EDGEB_PROG | 0,005 | TEXTD_FCTR | 0,008 |
| TEXTD_FCTR | 0,005 | EDGEB_PROG | 0,008 |
| EDGEBREAK | 0,003 | DRAINAGE | 0,005 |
| DRAINAGE | 0,003 | EDGEBREAK | 0,002 |
| ACT_PROG | 0,000 | ACT_PROG | 0,001 |
| ACW_INIT | 0,000 | ACW_INIT | 0,000 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| TEXT_DEPTH | 0,000 | TEXT_DEPTH | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_ACA | 0,000 | PREV_ACA | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do grupo 10-E (com 10 trajetórias e identificado como E)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 14,025 | MT_AADT | 15,497 |
| ROUGH_FCTR | 12,072 | ROUGH_FCTR | 14,733 |
| RUT_PLASTC | 7,042 | SNP_RATIO | 9,110 |
| SNP_RATIO | 6,629 | PHOLE_NUM | 9,069 |
| PHOLE_NUM | 4,399 | RUT_PLASTC | 8,931 |
| ROUGHNESS | 3,392 | ROUGHNESS | 5,742 |
| CBR | 1,590 | CRACK_CRT | 2,711 |
| ENVIR_FCTR | 1,430 | CWAY_WIDTH | 2,254 |
| CWAY_WIDTH | 1,221 | CBR | 2,054 |
| CRACK_CRT | 1,024 | DEFECTSURF | 1,731 |
| XFRI | 0,827 | XFRI | 1,543 |
| DEFECTSURF | 0,781 | ENVIR_FCTR | 1,314 |
| PHOLE_PROG | 0,610 | PHOLE_PROG | 1,288 |
| XNMT | 0,583 | XNMT | 0,997 |
| SPEED_LIM | 0,563 | SPEED_LIM | 0,880 |
| HSNEW | 0,516 | ENFORCEMNT | 0,806 |
| ENFORCEMNT | 0,468 | DRAINAGE | 0,776 |
| HSOLD | 0,450 | HSNEW | 0,773 |
| SN | 0,323 | NM_AADT | 0,595 |
| NM_AADT | 0,306 | SN | 0,587 |
| DRAINAGE | 0,268 | EDGE_STEP | 0,549 |
| DIST_ACA | 0,236 | HSOLD | 0,450 |
| EDGE_STEP | 0,234 | DIST_ACA | 0,439 |
| ACA_PROG | 0,149 | DRAINLIFE | 0,328 |
| DRAINLIFE | 0,139 | ACA_INIT | 0,233 |
| XMT | 0,133 | ACA_PROG | 0,233 |
| ACA_INIT | 0,129 | CRACKS_TOT | 0,214 |
| RF | 0,106 | K_SNPK | 0,181 |
| RUT_STRUCT | 0,101 | XMT | 0,154 |
| CRACKS_TOT | 0,085 | RUT_STRUCT | 0,134 |
| K_SNPK | 0,065 | RAVEL_RRF | 0,092 |
| CURVATURE | 0,062 | RAVEL_AREA | 0,088 |
| PREV_ACW | 0,035 | CURVATURE | 0,087 |
| DEFECTBASE | 0,034 | PREV_ACW | 0,072 |
| REL_COMPCT | 0,033 | RF | 0,064 |
| RAVEL_AREA | 0,031 | DIST_ACW | 0,064 |
| RAVEL_RRF | 0,030 | REL_COMPCT | 0,056 |
| ALTITUDE | 0,030 | ALTITUDE | 0,047 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DIST_ACW | 0,024 | TEXTD_FCTR | 0,046 |
| SUPERELEV | 0,023 | SUPERELEV | 0,044 |
| TEXTD_FCTR | 0,021 | ACW_PROG | 0,044 |
| ACW_PROG | 0,019 | DEFECTBASE | 0,044 |
| EDGEBREAK | 0,014 | EDGEBREAK | 0,036 |
| RUT_DEPTH | 0,012 | RUT_DEPTH | 0,035 |
| RAVEL_PROG | 0,010 | RAVEL_PROG | 0,033 |
| DIST_ACT | 0,006 | ACW_INIT | 0,015 |
| ACW_INIT | 0,005 | DIST_ACT | 0,012 |
| EDGEB_PROG | 0,003 | PREV_ACA | 0,009 |
| PREV_ACA | 0,003 | EDGEB_PROG | 0,007 |
| RAVEL_INIT | 0,002 | ACT_PROG | 0,005 |
| ACT_PROG | 0,002 | RAVEL_INIT | 0,005 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

APÊNDICES

APÊNDICE B

Este apêndice apresenta os resultados das análises de sensibilidade realizadas em cada dos cenários usados para o estudo do impacto das modificações nas considerações de projeto no Programa HDM-4.

Análise do Cenário de Referência (Ver Tabela 20)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 14,850 | MT_AADT | 20,824 |
| ROUGH_FCTR | 13,904 | SNP_RATIO | 18,067 |
| SNP_RATIO | 11,248 | ROUGH_FCTR | 17,908 |
| RUT_PLASTC | 4,305 | ROUGHNESS | 9,917 |
| PHOLE_NUM | 3,948 | RUT_PLASTC | 6,690 |
| ROUGHNESS | 3,374 | PHOLE_NUM | 5,081 |
| CBR | 2,816 | SN | 3,822 |
| SN | 1,818 | CBR | 3,292 |
| ENVIR_FCTR | 1,543 | DEFECTBASE | 2,144 |
| XFRI | 0,826 | PHOLE_PROG | 2,015 |
| DEFECTBASE | 0,817 | ENFORCEMNT | 1,732 |
| XNMT | 0,743 | XFRI | 1,670 |
| PHOLE_PROG | 0,729 | ENVIR_FCTR | 1,621 |
| CWAY_WIDTH | 0,720 | XNMT | 1,548 |
| HSOLD | 0,658 | CWAY_WIDTH | 1,506 |
| HSNEW | 0,604 | HSNEW | 1,013 |
| ENFORCEMNT | 0,532 | HSOLD | 0,909 |
| EDGE_STEP | 0,390 | EDGE_STEP | 0,891 |
| CRACKS_TOT | 0,289 | SPEED_LIM | 0,788 |
| SPEED_LIM | 0,248 | K_SNPK | 0,745 |
| RUT_STRUCT | 0,216 | CRACKS_TOT | 0,739 |
| K_SNPK | 0,211 | RUT_STRUCT | 0,708 |
| ACA_INIT | 0,210 | DEFECTSURF | 0,441 |
| NM_AADT | 0,197 | ACA_INIT | 0,330 |
| DEFECTSURF | 0,174 | DIST_ACA | 0,273 |
| CRACK_CRT | 0,160 | NM_AADT | 0,238 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DIST_ACA | 0,145 | ACA_PROG | 0,228 |
| ACA_PROG | 0,136 | RAVEL_AREA | 0,227 |
| XMT | 0,127 | CURVATURE | 0,223 |
| RF | 0,121 | CRACK_CRT | 0,218 |
| CURVATURE | 0,111 | DIST_ACW | 0,206 |
| RAVEL_AREA | 0,078 | XMT | 0,182 |
| DIST_ACW | 0,059 | RF | 0,153 |
| ACW_PROG | 0,058 | ACW_PROG | 0,139 |
| ALTITUDE | 0,057 | RAVEL_INIT | 0,137 |
| DRAINLIFE | 0,026 | ACW_INIT | 0,103 |
| RAVEL_INIT | 0,026 | EDGEB_PROG | 0,102 |
| ACW_INIT | 0,025 | RUT_DEPTH | 0,101 |
| RUT_DEPTH | 0,025 | ALTITUDE | 0,092 |
| REL_COMPCT | 0,024 | REL_COMPCT | 0,049 |
| EDGEB_PROG | 0,022 | TEXTD_FCTR | 0,041 |
| SUPERELEV | 0,016 | DRAINLIFE | 0,039 |
| TEXTD_FCTR | 0,014 | SUPERELEV | 0,034 |
| DRAINAGE | 0,013 | RAVEL_RRF | 0,030 |
| RAVEL_RRF | 0,009 | DRAINAGE | 0,026 |
| PREV_ACW | 0,006 | RAVEL_PROG | 0,020 |
| RAVEL_PROG | 0,005 | PREV_ACW | 0,016 |
| EDGEBREAK | 0,004 | DIST_ACT | 0,005 |
| DIST_ACT | 0,001 | ACT_PROG | 0,003 |
| ACT_PROG | 0,001 | EDGEBREAK | 0,003 |
| PREV_ACA | 0,001 | PREV_ACA | 0,002 |
| TEXT_DEPTH | 0,000 | TEXT_DEPTH | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do Cenário 1 (Ver Tabela 20)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 26,590 | MT_AADT | 31,113 |
| MT_AADT | 25,758 | ROUGH_FCTR | 27,989 |
| SNP_RATIO | 10,878 | SNP_RATIO | 15,996 |
| RUT_PLASTC | 7,365 | RUT_PLASTC | 10,303 |
| PHOLE_NUM | 3,649 | PHOLE_NUM | 7,659 |
| SN | 3,623 | SN | 6,623 |
| CBR | 2,954 | EDGE_STEP | 5,683 |
| ENVIR_FCTR | 2,942 | CWAY_WIDTH | 5,360 |
| CWAY_WIDTH | 2,713 | ROUGHNESS | 4,502 |
| EDGE_STEP | 2,473 | XFRI | 3,782 |
| XFRI | 1,950 | CBR | 3,585 |
| ROUGHNESS | 1,626 | ENVIR_FCTR | 3,349 |
| HSNEW | 1,408 | ENFORCEMNT | 3,007 |
| ENFORCEMNT | 1,367 | PHOLE_PROG | 2,358 |
| XNMT | 1,090 | HSNEW | 2,211 |
| HSOLD | 1,076 | XNMT | 2,154 |
| PHOLE_PROG | 1,006 | DIST_ACA | 1,502 |
| DIST_ACA | 0,804 | SPEED_LIM | 1,493 |
| CRACKS_TOT | 0,680 | DEFECTBASE | 1,471 |
| SPEED_LIM | 0,670 | CRACKS_TOT | 1,458 |
| CRACK_CRT | 0,557 | CRACK_CRT | 1,458 |
| NM_AADT | 0,493 | HSOLD | 1,205 |
| ACA_PROG | 0,457 | CURVATURE | 1,191 |
| ACA_INIT | 0,432 | ACA_PROG | 1,128 |
| CURVATURE | 0,372 | DEFECTSURF | 0,947 |
| DEFECTBASE | 0,341 | K_SNPK | 0,788 |
| K_SNPK | 0,306 | ACA_INIT | 0,764 |
| DEFECTSURF | 0,300 | NM_AADT | 0,736 |
| XMT | 0,291 | ACW_PROG | 0,562 |
| RF | 0,259 | XMT | 0,530 |
| RUT_STRUCT | 0,249 | RF | 0,432 |
| ALTITUDE | 0,195 | ALTITUDE | 0,392 |
| RAVEL_AREA | 0,123 | RAVEL_AREA | 0,316 |
| ACW_PROG | 0,117 | RUT_STRUCT | 0,298 |
| DIST_ACW | 0,115 | DIST_ACW | 0,279 |
| REL_COMPCT | 0,074 | DRAINAGE | 0,205 |
| DRAINAGE | 0,065 | REL_COMPCT | 0,165 |
| DRAINLIFE | 0,048 | ACW_INIT | 0,125 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ACW_INIT | 0,041 | DRAINLIFE | 0,099 |
| SUPERELEV | 0,040 | RAVEL_RRF | 0,097 |
| TEXTD_FCTR | 0,029 | TEXTD_FCTR | 0,079 |
| RAVEL_RRF | 0,025 | SUPERELEV | 0,075 |
| PREV_ACW | 0,016 | PREV_ACW | 0,045 |
| RAVEL_INIT | 0,012 | RUT_DEPTH | 0,038 |
| RUT_DEPTH | 0,010 | RAVEL_INIT | 0,036 |
| DIST_ACT | 0,010 | PREV_ACA | 0,032 |
| PREV_ACA | 0,006 | DIST_ACT | 0,027 |
| EDGEB_PROG | 0,005 | EDGEB_PROG | 0,012 |
| EDGEBREAK | 0,004 | RAVEL_PROG | 0,010 |
| ACT_PROG | 0,003 | ACT_PROG | 0,009 |
| RAVEL_PROG | 0,003 | EDGEBREAK | 0,006 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,004 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do Cenário 2 (Ver Tabela 20)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 16,022 | MT_AADT | 13,466 |
| ROUGH_FCTR | 10,852 | ROUGH_FCTR | 12,336 |
| SNP_RATIO | 7,024 | SNP_RATIO | 10,118 |
| RUT_PLASTC | 2,610 | RUT_PLASTC | 4,112 |
| SN | 2,103 | SN | 3,844 |
| PHOLE_NUM | 2,098 | PHOLE_NUM | 3,198 |
| CBR | 1,320 | PHOLE_PROG | 1,875 |
| ENVIR_FCTR | 1,095 | XFRI | 1,741 |
| XFRI | 0,994 | ENVIR_FCTR | 1,462 |
| PHOLE_PROG | 0,707 | CBR | 1,455 |
| XNMT | 0,695 | XNMT | 1,354 |
| HSNEW | 0,566 | HSNEW | 1,264 |
| ROUGHNESS | 0,550 | DEFECTBASE | 1,176 |
| CWAY_WIDTH | 0,499 | ROUGHNESS | 1,109 |
| EDGE_STEP | 0,401 | DIST_ACA | 1,082 |
| DIST_ACA | 0,390 | EDGE_STEP | 1,032 |
| HSOLD | 0,367 | CWAY_WIDTH | 1,022 |
| NM_AADT | 0,307 | CRACKS_TOT | 0,773 |
| ENFORCENMT | 0,291 | DEFECTSURF | 0,596 |
| CRACKS_TOT | 0,281 | ENFORCENMT | 0,541 |
| DEFECTBASE | 0,250 | CURVATURE | 0,488 |
| DEFECTSURF | 0,202 | ACA_PROG | 0,486 |
| XMT | 0,168 | K_SNPK | 0,456 |
| CURVATURE | 0,153 | HSOLD | 0,436 |
| K_SNPK | 0,143 | CRACK_CRT | 0,388 |
| ACA_PROG | 0,137 | NM_AADT | 0,379 |
| RF | 0,132 | XMT | 0,291 |
| CRACK_CRT | 0,118 | DRAINAGE | 0,252 |
| ACA_INIT | 0,118 | RF | 0,222 |
| ALTITUDE | 0,103 | SPEED_LIM | 0,217 |
| SPEED_LIM | 0,096 | ALTITUDE | 0,212 |
| RUT_STRUCT | 0,082 | ACA_INIT | 0,196 |
| RAVEL_AREA | 0,073 | RAVEL_AREA | 0,192 |
| DRAINAGE | 0,059 | DIST_ACW | 0,141 |
| DIST_ACW | 0,044 | RUT_STRUCT | 0,101 |
| ACW_PROG | 0,023 | ACW_PROG | 0,099 |
| REL_COMPCT | 0,023 | DRAINLIFE | 0,049 |
| DRAINLIFE | 0,022 | TEXTD_FCTR | 0,048 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| SUPERELEV | 0,020 | REL_COMPCT | 0,044 |
| TEXTD_FCTR | 0,015 | SUPERELEV | 0,038 |
| DIST_ACT | 0,006 | RUT_DEPTH | 0,017 |
| RAVEL_RRF | 0,004 | RAVEL_RRF | 0,016 |
| RUT_DEPTH | 0,004 | ACW_INIT | 0,015 |
| ACW_INIT | 0,004 | DIST_ACT | 0,012 |
| EDGEBREAK | 0,004 | EDGEB_PROG | 0,005 |
| EDGEB_PROG | 0,002 | PREV_ACW | 0,004 |
| PREV_ACW | 0,002 | ACT_PROG | 0,004 |
| ACT_PROG | 0,002 | EDGEBREAK | 0,004 |
| RAVEL_INIT | 0,001 | RAVEL_PROG | 0,004 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | RAVEL_INIT | 0,004 |
| RAVEL_PROG | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,004 |
| PREV_ACA | 0,000 | PREV_ACA | 0,002 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do Cenário 3 (Ver Tabela 20)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 14,714 | MT_AADT | 18,019 |
| ROUGH_FCTR | 11,149 | SNP_RATIO | 17,584 |
| SNP_RATIO | 10,668 | ROUGH_FCTR | 15,491 |
| PHOLE_NUM | 3,723 | ROUGHNESS | 8,611 |
| ROUGHNESS | 3,179 | RUT_PLASTC | 5,165 |
| RUT_PLASTC | 3,133 | PHOLE_NUM | 4,716 |
| CBR | 2,475 | SN | 3,785 |
| SN | 1,870 | CBR | 2,773 |
| ENVIR_FCTR | 1,471 | DEFECTBASE | 2,254 |
| DEFECTBASE | 0,847 | PHOLE_PROG | 1,884 |
| XFRI | 0,712 | XFRI | 1,436 |
| XNMT | 0,685 | ENVIR_FCTR | 1,358 |
| PHOLE_PROG | 0,669 | XNMT | 1,349 |
| HSNEW | 0,508 | ENFORCEMNT | 0,926 |
| HSOLD | 0,485 | EDGE_STEP | 0,895 |
| ENFORCEMNT | 0,363 | HSNEW | 0,865 |
| EDGE_STEP | 0,349 | HSOLD | 0,853 |
| CWAY_WIDTH | 0,320 | RUT_STRUCT | 0,835 |
| RUT_STRUCT | 0,235 | K_SNPK | 0,721 |
| ACA_INIT | 0,233 | CWAY_WIDTH | 0,718 |
| CURVATURE | 0,213 | CURVATURE | 0,697 |
| NM_AADT | 0,208 | SPEED_LIM | 0,585 |
| CRACKS_TOT | 0,206 | CRACKS_TOT | 0,485 |
| SPEED_LIM | 0,181 | DEFECTSURF | 0,433 |
| K_SNPK | 0,180 | ACA_INIT | 0,386 |
| DEFECTSURF | 0,174 | DIST_ACA | 0,281 |
| CRACK_CRT | 0,156 | RAVEL_AREA | 0,232 |
| DIST_ACA | 0,138 | CRACK_CRT | 0,230 |
| XMT | 0,136 | NM_AADT | 0,214 |
| RF | 0,117 | RAVEL_INIT | 0,208 |
| ACA_PROG | 0,111 | DIST_ACW | 0,196 |
| RAVEL_AREA | 0,076 | ACA_PROG | 0,177 |
| ALTITUDE | 0,060 | XMT | 0,175 |
| DIST_ACW | 0,057 | RF | 0,131 |
| RAVEL_INIT | 0,041 | ACW_PROG | 0,108 |
| ACW_PROG | 0,036 | ALTITUDE | 0,090 |
| DRAINLIFE | 0,023 | EDGEB_PROG | 0,082 |
| REL_COMPCT | 0,021 | RUT_DEPTH | 0,073 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RUT_DEPTH | 0,019 | REL_COMPCT | 0,045 |
| EDGEB_PROG | 0,018 | TEXTD_FCTR | 0,040 |
| SUPERELEV | 0,017 | SUPERELEV | 0,037 |
| TEXTD_FCTR | 0,013 | DRAINLIFE | 0,036 |
| DRAINAGE | 0,010 | ACW_INIT | 0,027 |
| ACW_INIT | 0,007 | DRAINAGE | 0,023 |
| EDGEBREAK | 0,004 | PREV_ACA | 0,009 |
| PREV_ACA | 0,002 | DIST_ACT | 0,005 |
| DIST_ACT | 0,001 | PREV_ACW | 0,003 |
| PREV_ACW | 0,001 | ACT_PROG | 0,003 |
| ACT_PROG | 0,001 | EDGEBREAK | 0,003 |
| TEXT_DEPTH | 0,000 | TEXT_DEPTH | 0,001 |
| RAVEL_RRF | 0,000 | RAVEL_RRF | 0,000 |
| RAVEL_PROG | 0,000 | RAVEL_PROG | 0,000 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do Cenário 4 (Ver Tabela 20)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 15,696 | MT_AADT | 22,224 |
| MT_AADT | 15,623 | ROUGH_FCTR | 19,741 |
| SNP_RATIO | 11,416 | SNP_RATIO | 18,201 |
| RUT_PLASTC | 4,765 | ROUGHNESS | 10,177 |
| PHOLE_NUM | 4,007 | RUT_PLASTC | 6,928 |
| ROUGHNESS | 3,504 | PHOLE_NUM | 5,242 |
| CBR | 3,089 | SN | 3,850 |
| SN | 1,803 | CBR | 3,755 |
| ENVIR_FCTR | 1,602 | DEFECTBASE | 2,152 |
| CWAY_WIDTH | 0,893 | PHOLE_PROG | 2,036 |
| XFRI | 0,849 | CWAY_WIDTH | 1,988 |
| DEFECTBASE | 0,820 | ENVIR_FCTR | 1,727 |
| PHOLE_PROG | 0,735 | XFRI | 1,669 |
| XNMT | 0,718 | ENFORCEMNT | 1,622 |
| HSOLD | 0,651 | XNMT | 1,479 |
| HSNEW | 0,619 | HSNEW | 1,039 |
| ENFORCEMNT | 0,534 | EDGE_STEP | 0,995 |
| EDGE_STEP | 0,481 | HSOLD | 0,930 |
| CRACKS_TOT | 0,294 | SPEED_LIM | 0,799 |
| SPEED_LIM | 0,247 | K_SNPK | 0,747 |
| RUT_STRUCT | 0,221 | CRACKS_TOT | 0,735 |
| K_SNPK | 0,218 | RUT_STRUCT | 0,708 |
| NM_AADT | 0,207 | CURVATURE | 0,463 |
| CRACK_CRT | 0,174 | DEFECTSURF | 0,436 |
| CURVATURE | 0,174 | DIST_ACA | 0,330 |
| DEFECTSURF | 0,174 | ACA_INIT | 0,274 |
| ACA_INIT | 0,172 | NM_AADT | 0,258 |
| DIST_ACA | 0,169 | CRACK_CRT | 0,229 |
| XMT | 0,128 | RAVEL_AREA | 0,226 |
| RF | 0,128 | DIST_ACW | 0,208 |
| ACA_PROG | 0,107 | ACA_PROG | 0,196 |
| RAVEL_AREA | 0,076 | XMT | 0,193 |
| ACW_PROG | 0,063 | RAVEL_INIT | 0,181 |
| DIST_ACW | 0,059 | ACW_PROG | 0,156 |
| ALTITUDE | 0,056 | RF | 0,155 |
| RAVEL_INIT | 0,052 | ACW_INIT | 0,122 |
| ACW_INIT | 0,037 | RUT_DEPTH | 0,117 |
| RAVEL_RRF | 0,036 | EDGEB_PROG | 0,104 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DRAINLIFE | 0,027 | ALTITUDE | 0,093 |
| RUT_DEPTH | 0,027 | RAVEL_RRF | 0,092 |
| RAVEL_PROG | 0,026 | RAVEL_PROG | 0,074 |
| REL_COMPCT | 0,026 | REL_COMPCT | 0,050 |
| EDGEB_PROG | 0,022 | DRAINLIFE | 0,042 |
| SUPERELEV | 0,017 | TEXTD_FCTR | 0,041 |
| TEXTD_FCTR | 0,014 | SUPERELEV | 0,034 |
| DRAINAGE | 0,014 | DRAINAGE | 0,027 |
| PREV_ACW | 0,006 | PREV_ACW | 0,012 |
| EDGEBREAK | 0,004 | DIST_ACT | 0,005 |
| DIST_ACT | 0,002 | PREV_ACA | 0,004 |
| PREV_ACA | 0,002 | ACT_PROG | 0,004 |
| ACT_PROG | 0,001 | EDGEBREAK | 0,003 |
| TEXT_DEPTH | 0,000 | TEXT_DEPTH | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

APÊNDICES

APÊNDICE C

Este apêndice apresenta os resultados das análises de sensibilidade realizadas em cada dos cenários usados para o estudo do impacto das modificações nas considerações de tráfego no programa HDM-4.

Análise do Cenário de Referência (Ver Tabela 22)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 14,850 | MT_AADT | 20,824 |
| ROUGH_FCTR | 13,904 | SNP_RATIO | 18,067 |
| SNP_RATIO | 11,248 | ROUGH_FCTR | 17,908 |
| RUT_PLASTC | 4,305 | ROUGHNESS | 9,917 |
| PHOLE_NUM | 3,948 | RUT_PLASTC | 6,690 |
| ROUGHNESS | 3,374 | PHOLE_NUM | 5,081 |
| CBR | 2,816 | SN | 3,822 |
| SN | 1,818 | CBR | 3,292 |
| ENVIR_FCTR | 1,543 | DEFECTBASE | 2,144 |
| XFRI | 0,826 | PHOLE_PROG | 2,015 |
| DEFECTBASE | 0,817 | ENFORCEMNT | 1,732 |
| XNMT | 0,743 | XFRI | 1,670 |
| PHOLE_PROG | 0,729 | ENVIR_FCTR | 1,621 |
| CWAY_WIDTH | 0,720 | XNMT | 1,548 |
| HSOLD | 0,658 | CWAY_WIDTH | 1,506 |
| HSNEW | 0,604 | HSNEW | 1,013 |
| ENFORCEMNT | 0,532 | HSOLD | 0,909 |
| EDGE_STEP | 0,390 | EDGE_STEP | 0,891 |
| CRACKS_TOT | 0,289 | SPEED_LIM | 0,788 |
| SPEED_LIM | 0,248 | K_SNP_K | 0,745 |
| RUT_STRUCT | 0,216 | CRACKS_TOT | 0,739 |
| K_SNP_K | 0,211 | RUT_STRUCT | 0,708 |
| ACA_INIT | 0,210 | DEFECTSURF | 0,441 |
| NM_AADT | 0,197 | ACA_INIT | 0,330 |
| DEFECTSURF | 0,174 | DIST_ACA | 0,273 |
| CRACK_CRT | 0,160 | NM_AADT | 0,238 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DIST_ACA | 0,145 | ACA_PROG | 0,228 |
| ACA_PROG | 0,136 | RAVEL_AREA | 0,227 |
| XMT | 0,127 | CURVATURE | 0,223 |
| RF | 0,121 | CRACK_CRT | 0,218 |
| CURVATURE | 0,111 | DIST_ACW | 0,206 |
| RAVEL_AREA | 0,078 | XMT | 0,182 |
| DIST_ACW | 0,059 | RF | 0,153 |
| ACW_PROG | 0,058 | ACW_PROG | 0,139 |
| ALTITUDE | 0,057 | RAVEL_INIT | 0,137 |
| DRAINLIFE | 0,026 | ACW_INIT | 0,103 |
| RAVEL_INIT | 0,026 | EDGEB_PROG | 0,102 |
| ACW_INIT | 0,025 | RUT_DEPTH | 0,101 |
| RUT_DEPTH | 0,025 | ALTITUDE | 0,092 |
| REL_COMPCT | 0,024 | REL_COMPCT | 0,049 |
| EDGEB_PROG | 0,022 | TEXTD_FCTR | 0,041 |
| SUPERELEV | 0,016 | DRAINLIFE | 0,039 |
| TEXTD_FCTR | 0,014 | SUPERELEV | 0,034 |
| DRAINAGE | 0,013 | RAVEL_RRF | 0,030 |
| RAVEL_RRF | 0,009 | DRAINAGE | 0,026 |
| PREV_ACW | 0,006 | RAVEL_PROG | 0,020 |
| RAVEL_PROG | 0,005 | PREV_ACW | 0,016 |
| EDGEBREAK | 0,004 | DIST_ACT | 0,005 |
| DIST_ACT | 0,001 | ACT_PROG | 0,003 |
| ACT_PROG | 0,001 | EDGEBREAK | 0,003 |
| PREV_ACA | 0,001 | PREV_ACA | 0,002 |
| TEXT_DEPTH | 0,000 | TEXT_DEPTH | 0,001 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do Cenário 1 (Ver Tabela 22)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 5,713 | ROUGH_FCTR | 5,800 |
| MT_AADT | 4,605 | MT_AADT | 5,357 |
| PHOLE_NUM | 2,983 | PHOLE_NUM | 3,773 |
| SNP_RATIO | 2,178 | SNP_RATIO | 3,698 |
| RUT_PLASTC | 1,705 | RUT_PLASTC | 2,357 |
| CBR | 1,186 | SN | 2,218 |
| SN | 1,046 | ROUGHNESS | 1,842 |
| ROUGHNESS | 0,855 | CBR | 1,733 |
| EDGE_STEP | 0,679 | ACA_INIT | 1,547 |
| ENVIR_FCTR | 0,649 | EDGE_STEP | 1,354 |
| ACA_INIT | 0,599 | CWAY_WIDTH | 1,087 |
| CWAY_WIDTH | 0,590 | ENFORCEMNT | 1,010 |
| ENFORCEMNT | 0,475 | PHOLE_PROG | 0,975 |
| HSNEW | 0,392 | CRACK_CRT | 0,898 |
| PHOLE_PROG | 0,364 | DEFECTSURF | 0,805 |
| XFRI | 0,333 | CRACKS_TOT | 0,679 |
| CRACK_CRT | 0,266 | ENVIR_FCTR | 0,674 |
| CRACKS_TOT | 0,241 | SPEED_LIM | 0,667 |
| NM_AADT | 0,233 | HSNEW | 0,638 |
| HSOLD | 0,225 | XFRI | 0,574 |
| XNMT | 0,220 | DIST_ACA | 0,542 |
| DEFECTSURF | 0,209 | XNMT | 0,395 |
| DIST_ACA | 0,203 | RAVEL_PROG | 0,370 |
| SPEED_LIM | 0,191 | RUT_STRUCT | 0,332 |
| RUT_STRUCT | 0,181 | HSOLD | 0,308 |
| RF | 0,157 | DEFECTBASE | 0,298 |
| CURVATURE | 0,127 | NM_AADT | 0,289 |
| ACA_PROG | 0,125 | RF | 0,241 |
| XMT | 0,124 | ACA_PROG | 0,235 |
| RAVEL_PROG | 0,105 | CURVATURE | 0,229 |
| DEFECTBASE | 0,096 | ALTITUDE | 0,170 |
| ALTITUDE | 0,095 | XMT | 0,159 |
| K_SNPK | 0,049 | RUT_DEPTH | 0,154 |
| SUPERELEV | 0,042 | ACW_PROG | 0,118 |
| ACW_PROG | 0,040 | RAVEL_AREA | 0,114 |
| ACW_INIT | 0,031 | K_SNPK | 0,092 |
| RUT_DEPTH | 0,028 | ACW_INIT | 0,091 |
| REL_COMPCT | 0,028 | SUPERELEV | 0,089 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RAVEL_AREA | 0,026 | ACT_PROG | 0,087 |
| DIST_ACW | 0,019 | TEXTD_FCTR | 0,071 |
| DRAINLIFE | 0,018 | DIST_ACW | 0,060 |
| ACT_PROG | 0,016 | RAVEL_RRF | 0,042 |
| TEXTD_FCTR | 0,016 | REL_COMPCT | 0,041 |
| RAVEL_RRF | 0,015 | DRAINLIFE | 0,037 |
| DRAINAGE | 0,008 | DRAINAGE | 0,016 |
| EDGEB_PROG | 0,004 | PREV_ACW | 0,012 |
| PREV_ACW | 0,003 | EDGEB_PROG | 0,009 |
| EDGEBREAK | 0,003 | DIST_ACT | 0,005 |
| DIST_ACT | 0,002 | RAVEL_INIT | 0,005 |
| RAVEL_INIT | 0,001 | EDGEBREAK | 0,003 |
| TEXT_DEPTH | 0,001 | PREV_ACA | 0,003 |
| PREV_ACA | 0,001 | TEXT_DEPTH | 0,002 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do Cenário 2 (Ver Tabela 22)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RUT_DEPTH | 9,217 | ACW_INIT | 32,403 |
| ACW_INIT | 7,664 | RUT_DEPTH | 28,778 |
| XNMT | 6,596 | XNMT | 24,702 |
| SUPERELEV | 6,487 | ACW_PROG | 22,844 |
| RF | 6,269 | RF | 21,812 |
| ACW_PROG | 6,197 | SUPERELEV | 21,225 |
| ENVIR_FCTR | 5,437 | RAVEL_RRF | 20,273 |
| SKIDR_FCTR | 4,544 | ENVIR_FCTR | 19,367 |
| HSOLD | 4,232 | RAVEL_PROG | 18,964 |
| RAVEL_RRF | 4,167 | SKIDR_FCTR | 16,969 |
| RAVEL_PROG | 3,917 | HSOLD | 12,940 |
| RUT_STRUCT | 3,507 | RUT_STRUCT | 12,743 |
| ACT_INIT | 3,173 | CBR | 11,706 |
| CBR | 3,094 | K_SNPK | 11,437 |
| RUT_PLASTC | 3,054 | ACT_INIT | 11,283 |
| PREV_ACA | 2,932 | RUT_PLASTC | 11,235 |
| CWAY_WIDTH | 2,860 | PREV_ACA | 10,252 |
| K_SNPK | 2,697 | DIST_ACA | 9,483 |
| PREV_NCT | 2,636 | DRAINAGE | 9,450 |
| CURVATURE | 2,597 | EDGE_STEP | 8,745 |
| EDGE_STEP | 2,551 | ENFORCEMNT | 8,428 |
| DRAINAGE | 2,504 | CWAY_WIDTH | 8,182 |
| DIST_ACA | 2,377 | CURVATURE | 8,133 |
| SKIDR_SPED | 2,105 | SKIDR_SPED | 7,461 |
| DEFECTSURF | 2,032 | EDGEBREAK | 7,077 |
| ENFORCEMNT | 1,980 | DEFECTSURF | 6,560 |
| EDGEB_PROG | 1,790 | PREV_NCT | 6,399 |
| HSNEW | 1,684 | EDGEB_PROG | 5,411 |
| ACA_INIT | 1,651 | NUM_RFS | 5,166 |
| EDGEBREAK | 1,609 | ACA_INIT | 5,143 |
| ACT_PROG | 1,458 | ACA_PROG | 5,057 |
| ROUGH_FCTR | 1,395 | RAVEL_AREA | 4,941 |
| NUM_RFS | 1,352 | ROUGH_FCTR | 4,908 |
| ACA_PROG | 1,256 | ACT_PROG | 4,793 |
| RAVEL_AREA | 1,166 | HSNEW | 4,673 |
| XFRI | 1,162 | REL_COMPCT | 4,112 |
| DIST_ACW | 0,982 | XFRI | 3,603 |
| REL_COMPCT | 0,909 | PHOLE_INIT | 3,448 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| SKIDRESIST | 0,899 | DIST_ACW | 3,240 |
| CRACK_CRT | 0,883 | NM_AADT | 3,213 |
| DRAINLIFE | 0,879 | DIST_ACT | 2,956 |
| PHOLE_INIT | 0,869 | CRACK_CRT | 2,737 |
| DIST_ACT | 0,815 | SHLD_WIDTH | 2,634 |
| NM_AADT | 0,803 | ROUGHNESS | 2,539 |
| SHLD_WIDTH | 0,755 | SKIDRESIST | 2,488 |
| CRACKS_TOT | 0,742 | RAVEL_INIT | 2,487 |
| TEXTD_FCTR | 0,724 | CRACKS_TOT | 2,417 |
| ROUGHNESS | 0,629 | DRAINLIFE | 2,277 |
| RAVEL_INIT | 0,619 | TEXTD_FCTR | 2,232 |
| MT_AADT | 0,565 | MT_AADT | 1,764 |
| PHOLE_NUM | 0,494 | PHOLE_NUM | 1,604 |
| TEXT_DEPTH | 0,468 | XMT | 1,299 |
| XMT | 0,383 | TEXT_DEPTH | 1,267 |
| SPEED_LIM | 0,338 | SPEED_LIM | 1,182 |
| SN | 0,334 | DEFECTBASE | 1,154 |
| PREV_ACW | 0,327 | PREV_ACW | 0,956 |
| DEFECTBASE | 0,325 | SN | 0,918 |
| PHOLE_PROG | 0,312 | PHOLE_PROG | 0,867 |
| SNP_RATIO | 0,238 | SNP_RATIO | 0,537 |
| RUT_INITDN | 0,189 | RUT_INITDN | 0,403 |
| ALTITUDE | 0,135 | ALTITUDE | 0,364 |

Análise do Cenário 3 (Ver Tabela 22)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| MT_AADT | 12,926 | MT_AADT | 14,053 |
| ROUGH_FCTR | 10,344 | ROUGH_FCTR | 12,562 |
| SNP_RATIO | 7,294 | SNP_RATIO | 10,256 |
| ROUGHNESS | 2,440 | ROUGHNESS | 5,646 |
| RUT_PLASTC | 2,391 | SN | 4,521 |
| SN | 2,369 | RUT_PLASTC | 4,013 |
| ENVIR_FCTR | 1,884 | XFRI | 3,064 |
| PHOLE_NUM | 1,785 | PHOLE_NUM | 2,788 |
| CBR | 1,434 | ENVIR_FCTR | 2,498 |
| XFRI | 0,925 | CBR | 1,945 |
| HSNEW | 0,679 | PHOLE_PROG | 1,767 |
| XNMT | 0,615 | XNMT | 1,502 |
| EDGE_STEP | 0,588 | EDGE_STEP | 1,244 |
| PHOLE_PROG | 0,543 | HSNEW | 1,237 |
| DEFECTBASE | 0,418 | DEFECTBASE | 1,185 |
| CWAY_WIDTH | 0,400 | ACA_INIT | 1,144 |
| HSOLD | 0,399 | ENFORCEMNT | 1,129 |
| ENFORCEMNT | 0,364 | DRAINAGE | 1,026 |
| NM_AADT | 0,345 | DIST_ACA | 0,830 |
| ACA_INIT | 0,332 | SPEED_LIM | 0,795 |
| SPEED_LIM | 0,307 | CWAY_WIDTH | 0,764 |
| DIST_ACA | 0,242 | HSOLD | 0,634 |
| DRAINAGE | 0,202 | NM_AADT | 0,577 |
| K_SNPK | 0,169 | K_SNPK | 0,482 |
| DEFECTSURF | 0,162 | DEFECTSURF | 0,456 |
| CRACK_CRT | 0,157 | CRACK_CRT | 0,337 |
| RF | 0,154 | XMT | 0,309 |
| XMT | 0,128 | RF | 0,245 |
| ACA_PROG | 0,121 | RAVEL_PROG | 0,242 |
| RUT_STRUCT | 0,108 | DIST_ACW | 0,216 |
| DIST_ACW | 0,079 | ACA_PROG | 0,199 |
| ALTITUDE | 0,075 | RUT_STRUCT | 0,182 |
| CRACKS_TOT | 0,050 | ALTITUDE | 0,135 |
| RAVEL_PROG | 0,044 | CRACKS_TOT | 0,118 |
| CURVATURE | 0,033 | ACT_PROG | 0,099 |
| ACW_PROG | 0,030 | ACW_PROG | 0,084 |
| DRAINLIFE | 0,024 | RAVEL_AREA | 0,077 |
| REL_COMPCT | 0,022 | DRAINLIFE | 0,076 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| RAVEL_AREA | 0,022 | CURVATURE | 0,059 |
| ACT_PROG | 0,019 | RAVEL_RRF | 0,058 |
| SUPERELEV | 0,016 | PREV_ACW | 0,036 |
| RAVEL_RRF | 0,014 | REL_COMPCT | 0,035 |
| PREV_ACW | 0,009 | SUPERELEV | 0,034 |
| ACW_INIT | 0,008 | RAVEL_INIT | 0,032 |
| DIST_ACT | 0,007 | DIST_ACT | 0,020 |
| RAVEL_INIT | 0,007 | ACW_INIT | 0,019 |
| EDGEB_PROG | 0,006 | EDGEB_PROG | 0,014 |
| TEXTD_FCTR | 0,005 | TEXTD_FCTR | 0,010 |
| EDGEBREAK | 0,003 | PREV_ACA | 0,006 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | TEXT_DEPTH | 0,005 |
| PREV_ACA | 0,001 | EDGEBREAK | 0,003 |
| RUT_DEPTH | 0,000 | RUT_DEPTH | 0,002 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |

Análise do Cenário 4 (Ver Tabela 22)

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| ROUGH_FCTR | 23,084 | MT_AADT | 25,930 |
| MT_AADT | 19,097 | ROUGH_FCTR | 25,261 |
| SNP_RATIO | 11,896 | SNP_RATIO | 16,786 |
| ENVIR_FCTR | 4,182 | ROUGHNESS | 9,058 |
| SN | 4,000 | SN | 6,993 |
| ROUGHNESS | 3,869 | ENVIR_FCTR | 6,160 |
| CBR | 3,718 | RUT_PLASTC | 5,069 |
| RUT_PLASTC | 3,705 | CBR | 4,503 |
| PHOLE_NUM | 2,204 | XNMT | 4,123 |
| XNMT | 1,901 | EDGE_STEP | 3,972 |
| EDGE_STEP | 1,494 | ACA_INIT | 3,449 |
| ACA_INIT | 1,109 | PHOLE_NUM | 3,220 |
| SPEED_LIM | 0,844 | RAVEL_INIT | 2,922 |
| RAVEL_INIT | 0,764 | SPEED_LIM | 2,263 |
| HSNEW | 0,745 | CRACK_CRT | 1,877 |
| XFRI | 0,711 | ENFORCEMNT | 1,814 |
| CWAY_WIDTH | 0,686 | RAVEL_PROG | 1,780 |
| PHOLE_PROG | 0,646 | PHOLE_PROG | 1,779 |
| ENFORCEMNT | 0,620 | DEFECTSURF | 1,662 |
| RAVEL_PROG | 0,591 | XFRI | 1,647 |
| DEFECTBASE | 0,560 | DEFECTBASE | 1,545 |
| HSOLD | 0,552 | CWAY_WIDTH | 1,475 |
| CRACK_CRT | 0,539 | K_SNPK | 1,171 |
| DEFECTSURF | 0,499 | DIST_ACA | 1,114 |
| K_SNPK | 0,460 | HSNEW | 1,035 |
| DIST_ACA | 0,454 | HSOLD | 0,795 |
| NM_AADT | 0,377 | NM_AADT | 0,689 |
| RF | 0,260 | RF | 0,473 |
| ACA_PROG | 0,241 | ACA_PROG | 0,411 |
| RUT_STRUCT | 0,175 | RUT_STRUCT | 0,403 |
| XMT | 0,153 | XMT | 0,380 |
| RAVEL_RRF | 0,116 | RAVEL_RRF | 0,324 |
| CRACKS_TOT | 0,096 | CRACKS_TOT | 0,294 |
| REL_COMPCT | 0,076 | RAVEL_AREA | 0,173 |
| CURVATURE | 0,066 | DIST_ACW | 0,165 |
| RAVEL_AREA | 0,062 | REL_COMPCT | 0,156 |
| ALTITUDE | 0,061 | RUT_DEPTH | 0,147 |
| DIST_ACW | 0,056 | DRAINAGE | 0,133 |

| CLASSIFICAÇÃO | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| IMPORTÂNCIA | | INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE | |
| Variável | Média μ^* | Variável | Desvio Padrão σ |
| DRAINAGE | 0,050 | CURVATURE | 0,114 |
| ACW_PROG | 0,050 | ACW_PROG | 0,101 |
| SUPERELEV | 0,038 | SUPERELEV | 0,089 |
| RUT_DEPTH | 0,035 | ALTITUDE | 0,087 |
| DRAINLIFE | 0,027 | DRAINLIFE | 0,058 |
| TEXTD_FCTR | 0,014 | ACT_PROG | 0,041 |
| DIST_ACT | 0,011 | DIST_ACT | 0,035 |
| ACT_PROG | 0,010 | TEXTD_FCTR | 0,026 |
| ACW_INIT | 0,005 | PREV_ACW | 0,014 |
| PREV_ACW | 0,004 | ACW_INIT | 0,012 |
| EDGEB_PROG | 0,004 | PREV_ACA | 0,010 |
| EDGEBREAK | 0,003 | EDGEB_PROG | 0,008 |
| PREV_ACA | 0,002 | TEXT_DEPTH | 0,004 |
| TEXT_DEPTH | 0,002 | EDGEBREAK | 0,003 |
| SHLD_WIDTH | 0,000 | SHLD_WIDTH | 0,000 |
| NUM_RFS | 0,000 | NUM_RFS | 0,000 |
| SKIDRESIST | 0,000 | SKIDRESIST | 0,000 |
| PREV_NCT | 0,000 | PREV_NCT | 0,000 |
| ACT_INIT | 0,000 | ACT_INIT | 0,000 |
| PHOLE_INIT | 0,000 | PHOLE_INIT | 0,000 |
| SKIDR_FCTR | 0,000 | SKIDR_FCTR | 0,000 |
| SKIDR_SPED | 0,000 | SKIDR_SPED | 0,000 |
| RUT_INITDN | 0,000 | RUT_INITDN | 0,000 |