

**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<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. **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 lastrearam 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

---

<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE SIGLAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 JUSTIFICATIVA .....	3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	3
<b>2 O PROGRAMA HDM-4.....</b>	<b>5</b>
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
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....</b>	<b>37</b>
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
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PROGRAMA HDM-4.....</b>	<b>51</b>
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
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>75</b>
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

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



# LISTA DE FIGURAS

---

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

<b>Figura 21</b>	Forma de apresentação do resumo das análises econômicas realizadas pelo HDM-4.	68
<b>Figura 22</b>	Distribuição dos grupos utilizados nas análises.	70
<b>Figura 23</b>	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
<b>Figura 24</b>	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
<b>Figura 25</b>	Média dos desvios padrão dos fatores na classificação de importância, em função do número de trajetórias.	79
<b>Figura 26</b>	Média dos desvios padrão das variáveis no ranking que indica interações ou não linearidade, em função do número de trajetórias.	80
<b>Figura 27</b>	Análise em conjunto da relação do número de trajetórias com o desempenho das respostas obtidas	81

# LISTA DE TABELAS

---

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

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

# LISTA DE SIGLAS

---

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

<b>TMA</b>	Taxa Mínima de Atratividade
<b>TRRL</b>	Transport and Road Research Laboratory
<b>VPL</b>	Valor Presente Líquido
<b>WE</b>	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).

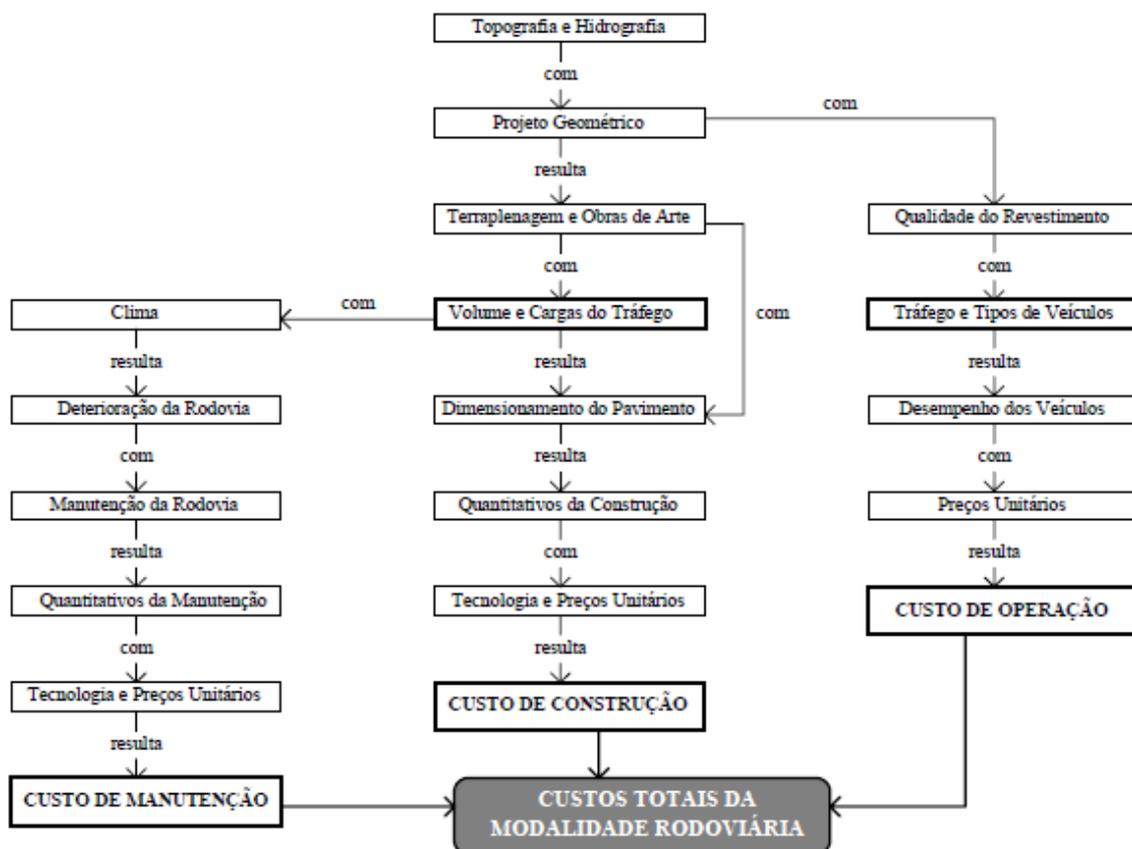


Figura 1 - Modelo de Custos Rodoviários desenvolvido pelo MIT em 1971 (GEIPOT, 1976).

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.

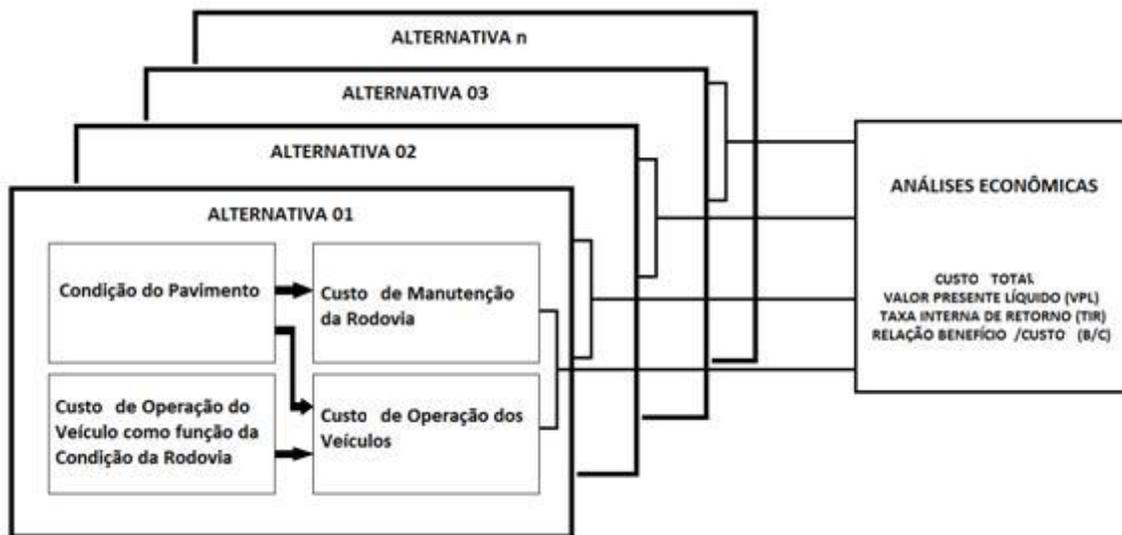


Figura 2 - Esquema das Análises Econômicas realizadas pelo HDM-4 (Adaptada de Kerali, 2000).

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, panelas 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.

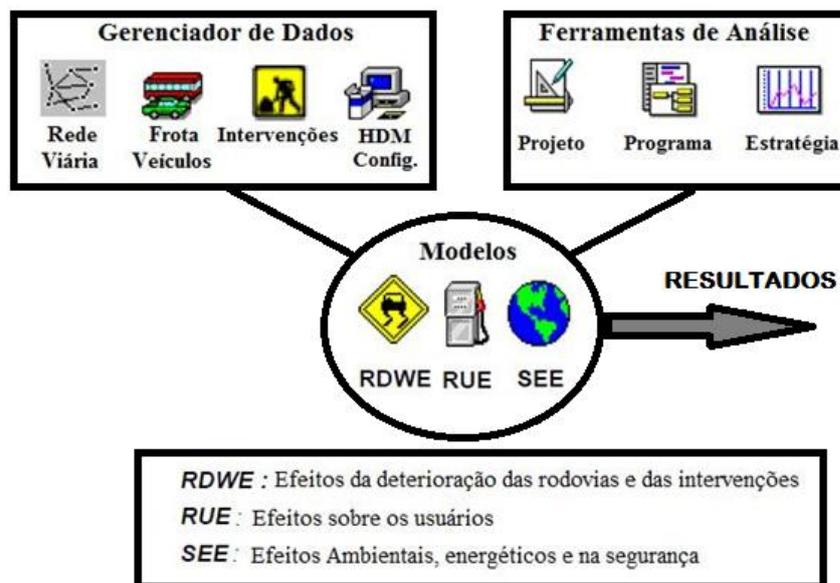


Figura 3 - Estrutura Analítica do HDM-4 (adaptada de Kerali, 2000).

## 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.

---

The image shows a software dialog box titled "Section: Limite de Velocidade - 100 km/h". It has four tabs: "Definition", "Geometry", "Pavement", and "Condition", with "Definition" selected. The dialog contains several input fields and dropdown menus for configuring road section attributes. The "Traffic" section is highlighted with a grey background.

Field	Value	Unit
Section Name	Limite de Velocidade - 100 km/h	
Section ID	024_SPEED_LIM_1	
Link Name		
Link ID		
Length	10	km
Cariageway width	7	m
Shoulder width	1,5	m
Number of Lanes	2	
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	
Motorised	4500	AADT
NMT	450	AADT
Year	2010	
Flow direction	Two-way	

Buttons: Details..., OK, Cancelar

Label: 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 <sup>2</sup> /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.

---

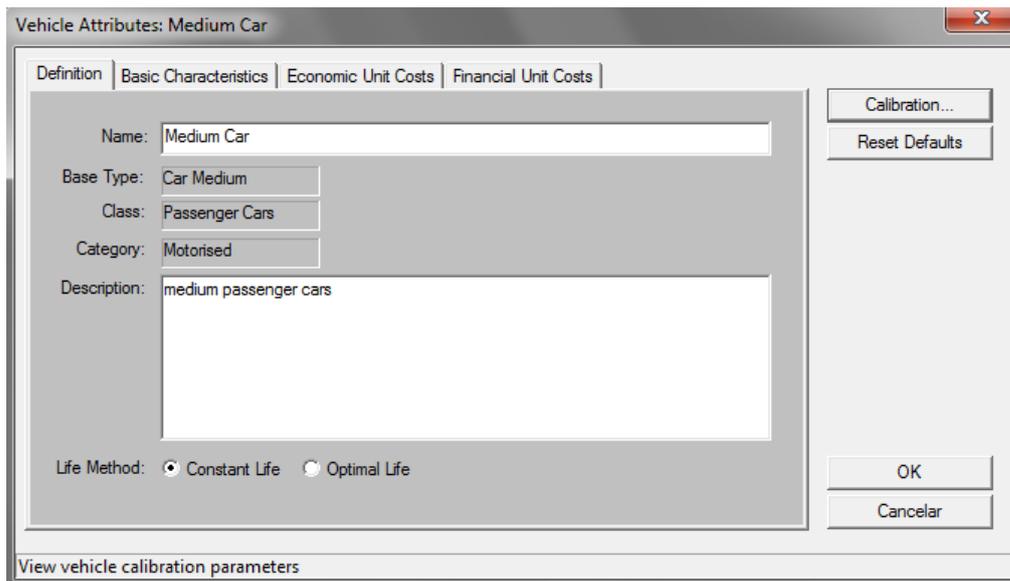


Figura 7 - Caixa de diálogo que possibilita a edição dos atributos de determinado veículo tipo.

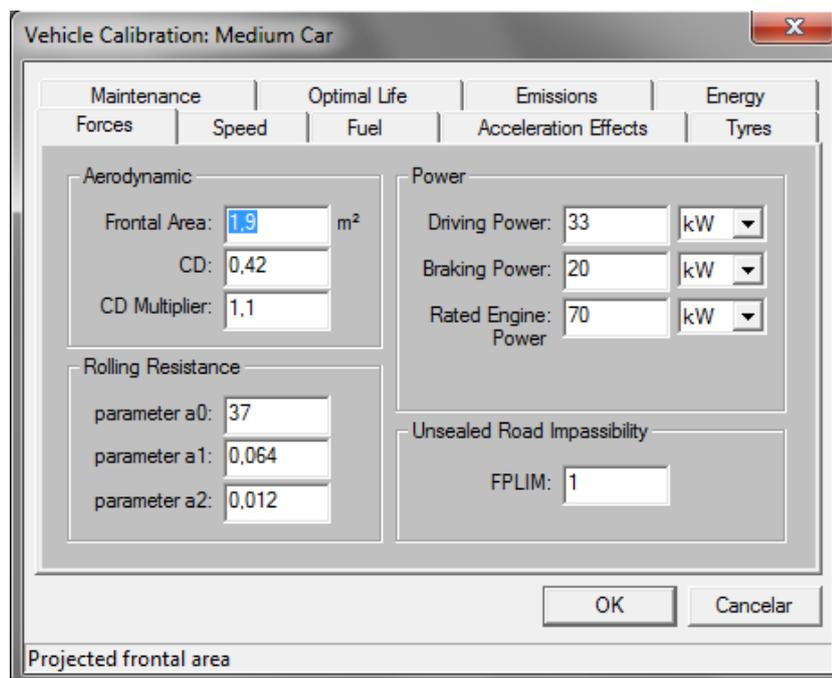


Figura 8 - Caixa de diálogo que possibilita a modificação de detalhes do veículo.

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

Categories	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

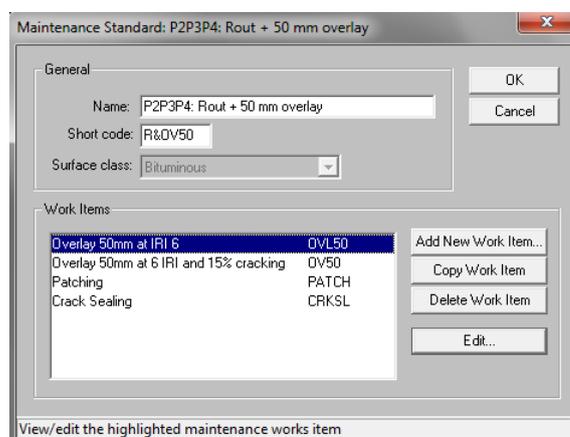


Figura 9 - Caixa de diálogo que permite ao usuário editar padrões de intervenções

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.

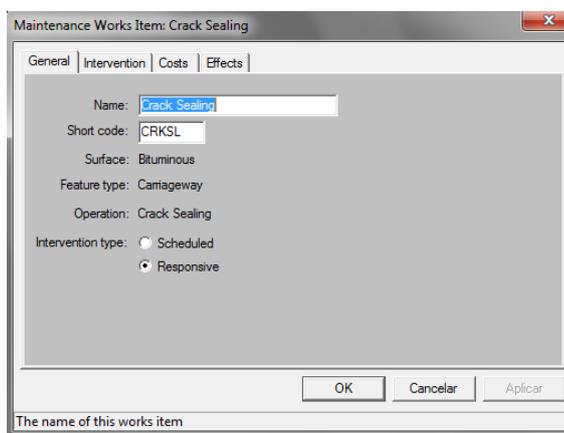


Figura 10 - Caixa de diálogo que possibilita a edição de uma atividade específica de uma intervenção padrão.

### *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 <sup>3</sup> )	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.

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.

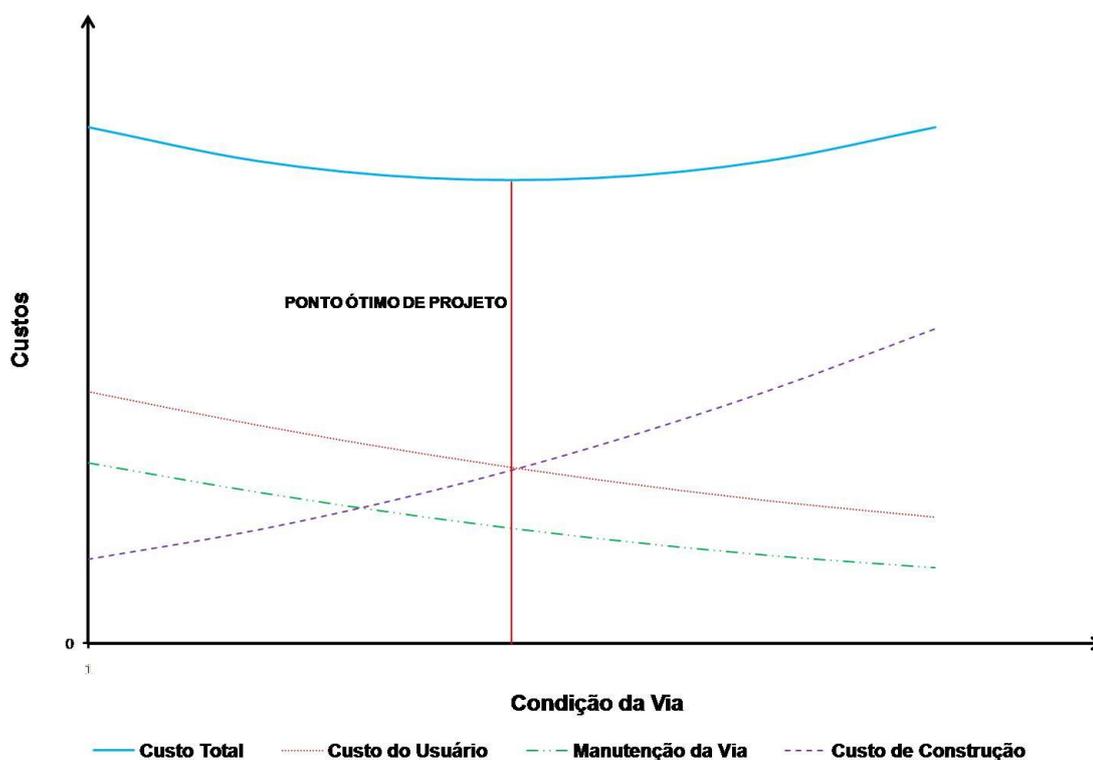


Figura 14 - Parcelas que compõem o custo total de uma via – alterado de PATERSON (1991).

## 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 ( $z_1, z_2, \dots, z_q$ ).

---

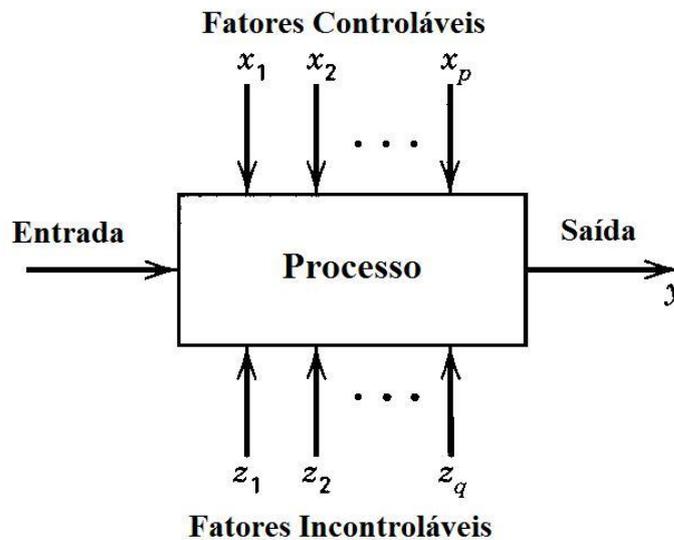


Figura 15 - Modelo esquemático para representar processos, segundo Montgomery (2001).

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.

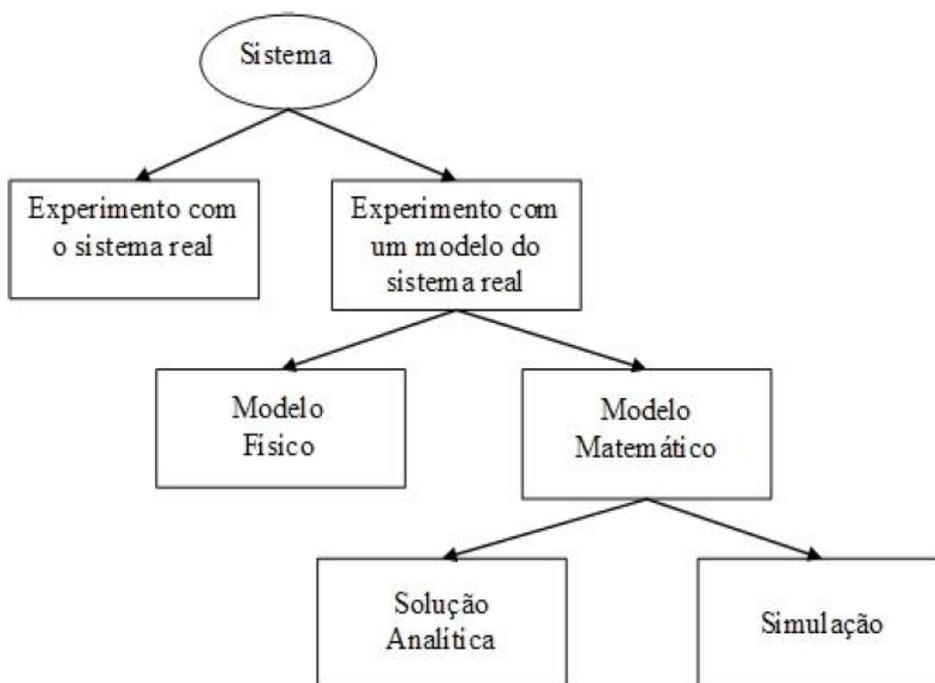


Figura 16 - Formas de estudar um sistema (Adaptado de Law e Kelton, 2000).

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 incontrolláveis 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  $\mu$ : estimativa do efeito total do fator sobre a saída analisada;
- ✓ Medida  $\sigma$ : 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,  $\mu^*$ , 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,  $\sigma$ , 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,  $\mu$  e  $\mu^*$ , 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,  $\Omega$ , 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  $\Delta$  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  $\Omega$ , assim como o vetor  $(x + e_i \Delta)$ , onde  $e_i$  é um vetor de zeros, mas com valor igual a  $\Delta$  no *i*-ésimo componente. O vetor  $(x + e_i \Delta)$  pertence ao espaço  $\Omega$ , 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  $\Omega$ , 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  $\Delta$ . 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  $5 \times 4$  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,  $\mu$ , e o desvio padrão,  $\sigma$ , 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  $\mu$  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  $\mu$ , 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  $\mu^*$ , que é a média dos valores de  $G_i$ . A análise de  $\mu^*$  é também uma análise da importância dos fatores sobre o modelo, porém é mais abrangente que  $\mu$ , 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,  $\mu$ ,  $\sigma$ , e  $\mu^*$  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

<b>CATEGORIAS DE FATORES</b>			
<i>Fatores Quantitativos</i>		Fatores Qualitativos	
<b>CLASSE DE DADOS REQUERIDOS PELO HDM-4</b>			
<i>Seção da Via</i>	Frota de Veículos	Intervenções	Demais Configurações
<b>RESPOSTA EM ANÁLISE</b>			
<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

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

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

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

MÉTODO 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.

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
104_ACA_PROG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
080_EDGEBREAK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
108_ACT_PROG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
124_DIST_ACA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
031_HSOLD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
091_DEFECTSURF	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
092_DEFECTBASE	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
130_ROUGH_FCTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
122_DRAINLIFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
105_ACW_INIT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
076_ROUGHNESS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
112_PHOLE_PROG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
109_RAVEL_INIT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
082_TEXT_DEPTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
128_SNP_RATIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
123_K_SNPK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
081_RUT_DEPTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
083_SKIDRESIST	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
026_XNMT	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
034_REL_COMPCT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
150_EDGE_STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
118_RUT_STRUCT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
107_ACT_INIT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
103_ACA_INIT	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	SUPERELEV	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.

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	NUM_LANES
1				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
2				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
3				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
4				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
5				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
6				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
7				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
8				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
9				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
10				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
11				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
12				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
13				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
14				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
15				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
16				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
17				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
18				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
19				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
20				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
21				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
22				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
23				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
24				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
25				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
26				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
27				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
28				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	2,00
29				Two Lane Standard	Free-Flow	Primary or Trunk	Sub-humid/Tropical	0	0	10,00	0	0	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

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

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

<sup>(1)</sup> Equivalent Standard Axles Load Factor = fator de equivalência de cargas.

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

Tabela 16 - Características dos transportes não motorizados utilizados na análise

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

Tabela 17 - Composição de tráfego utilizada na análise

<b>TIPO DE TRANSPORTE</b>	<b>CLASSE</b>	<b>PORCENTAGEM DO VDM</b>
<b>Motorizado</b>	Automóvel Médio	70
	Caminhão Pesado	30
<b>Não Motorizado</b>	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

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

### 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

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

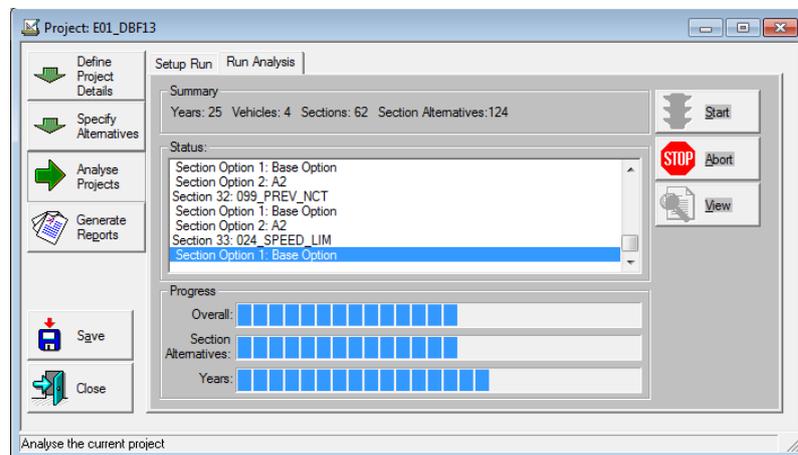


Figura 20 - Simulação sendo executada no HDM-4.

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,  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_{61}\}$ ;

$\Delta$  = 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  $\mu$ ,  $\sigma$  e  $\mu^*$  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  $\mu^*$  e  $\sigma$ , 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.

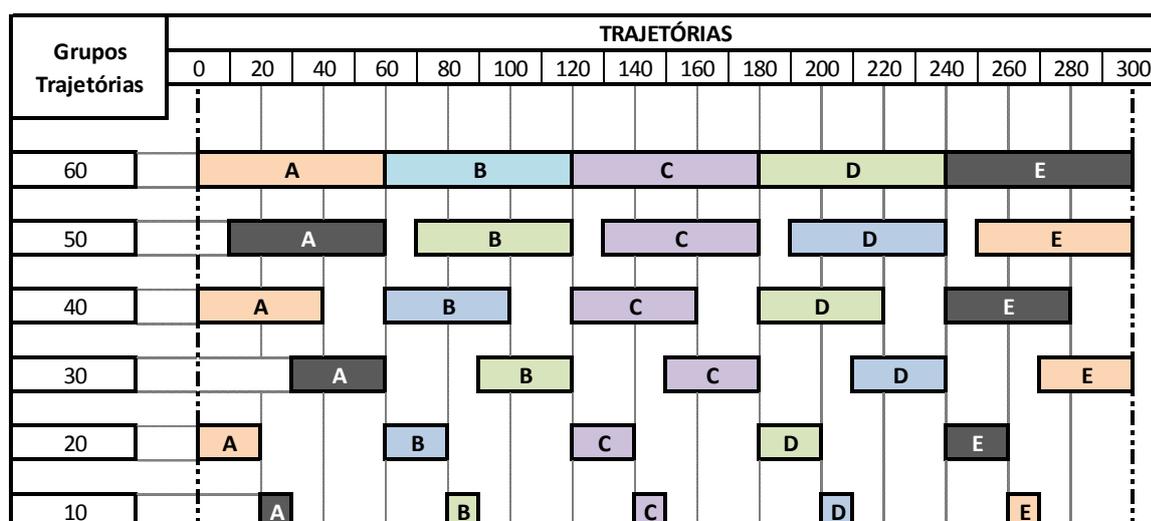


Figura 22 - Distribuição dos grupos utilizados nas análises.

Com base nos resultados obtidos, foram feitas duas análises distintas. A primeira delas considerou os 12 fatores que apresentaram os maiores valores do índice  $\mu^*$  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  $\sigma$ , 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  $\mu^*$  e  $\sigma$ , 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  $\mu^*$  e  $\sigma$ . 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
<b>Taxa de Desconto</b>	(% / ano)	12	<b>6</b>	<b>18</b>	12	12
<b>Período de Análise</b>	(anos)	25	25	25	<b>15</b>	<b>35</b>

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  $\mu^*$  (impacto na análise de importância) bem como os fatores com maior valor do índice  $\sigma$  (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  $\mu^*$  e  $\sigma$ , 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

<b>Conjunto</b>	<b>Variável avaliada</b>	<b>Cenários envolvidos na análise de variabilidade</b>
<b>A</b>	Taxa de Desconto	Referência + 1 + 2
<b>B</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
<b>A</b>	Porcentagem de Veículos Comerciais	Referência + 1 + 2
<b>B</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  $\mu^*$ , 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

Nº 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.

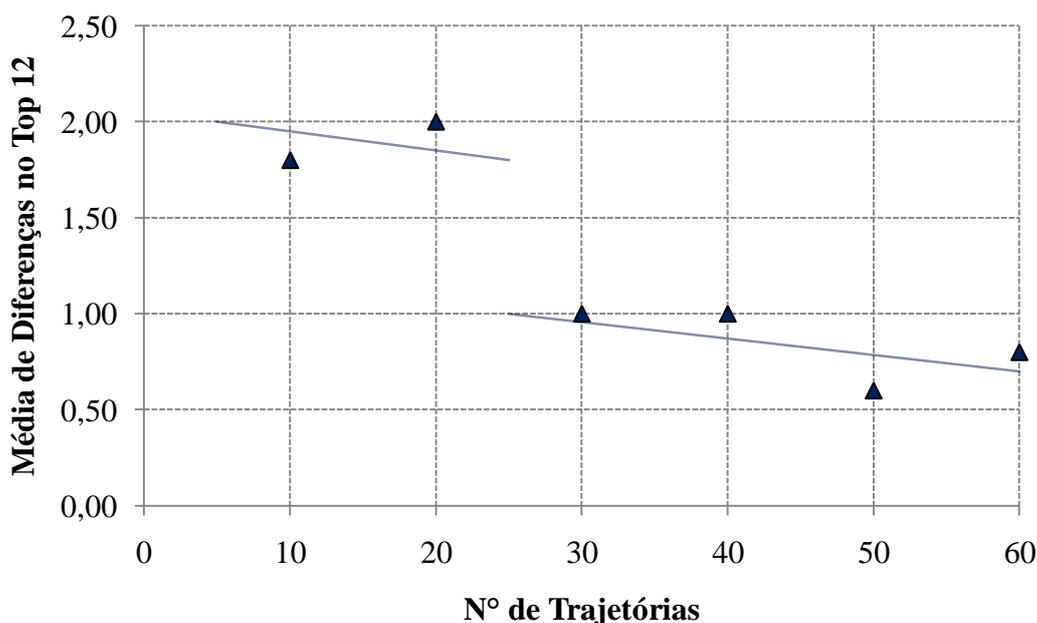


Figura 23 – Média de fatores indicados na análise do grupo de referência como mais importantes e que não foram identificados entre os 12 fatores mais importantes dos grupos, em função do número de trajetórias.

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  $\sigma$ , 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.

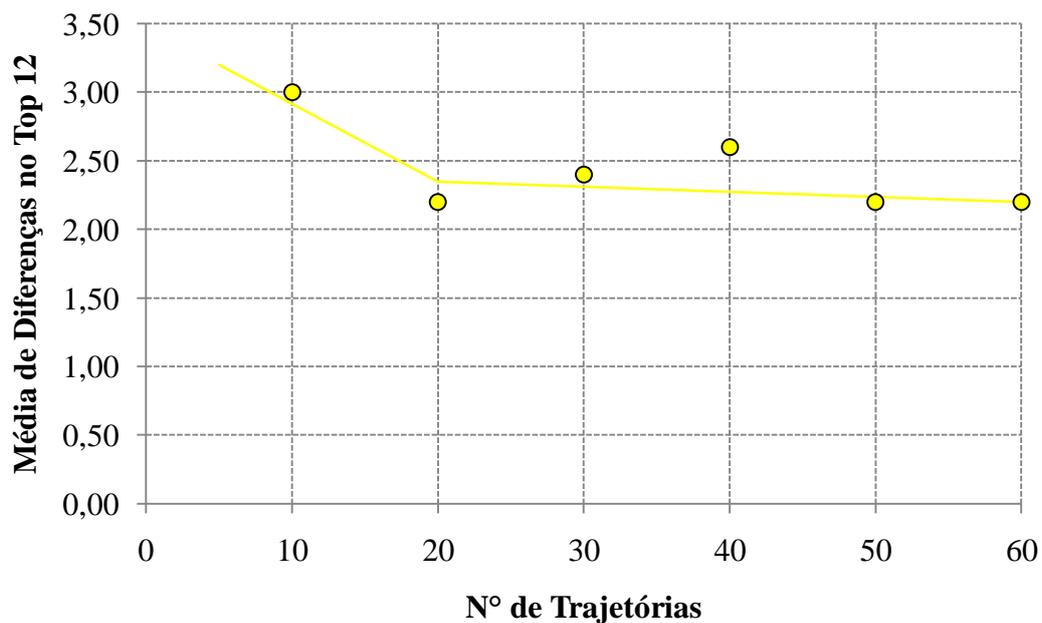


Figura 24 - Média de fatores indicados na análise do grupo de referência como apresentando interações ou não linearidade e que não foram identificados entre os 12 fatores dos grupos, em função do número de trajetórias.

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  $\mu^*$  e  $\sigma$ , 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  $\mu^*$ . A Figura 25 apresenta a média dos desvios padrão das variáveis, classificados pelo valor de  $\mu^*$ , 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

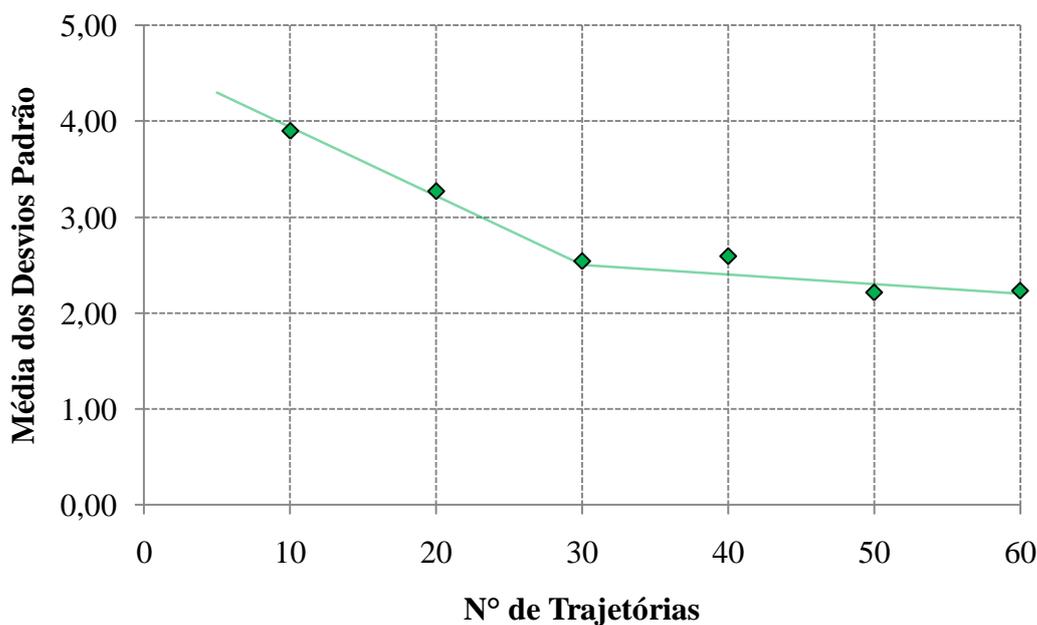


Figura 25 - Média dos desvios padrão dos fatores na classificação de importância, em função do número de trajetórias.

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  $\sigma$ . A Figura 26 apresenta a média dos desvios padrão das variáveis, ranqueados pelo valor de  $\sigma$ , 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

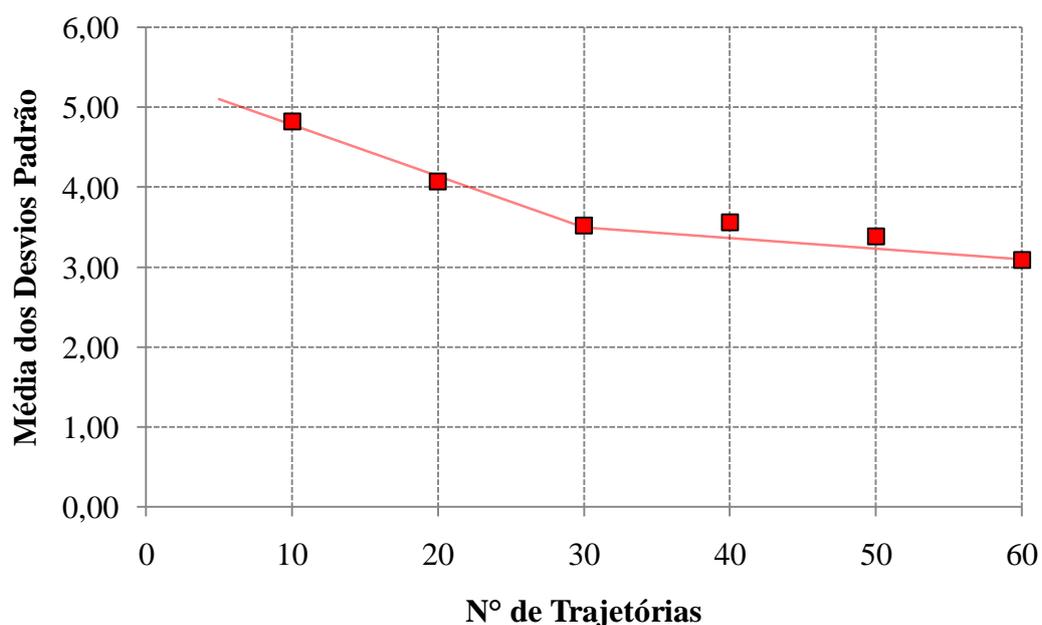


Figura 26 - Média dos desvios padrão das variáveis no ranking que indica interações ou não linearidade, em função do número de trajetórias.

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.

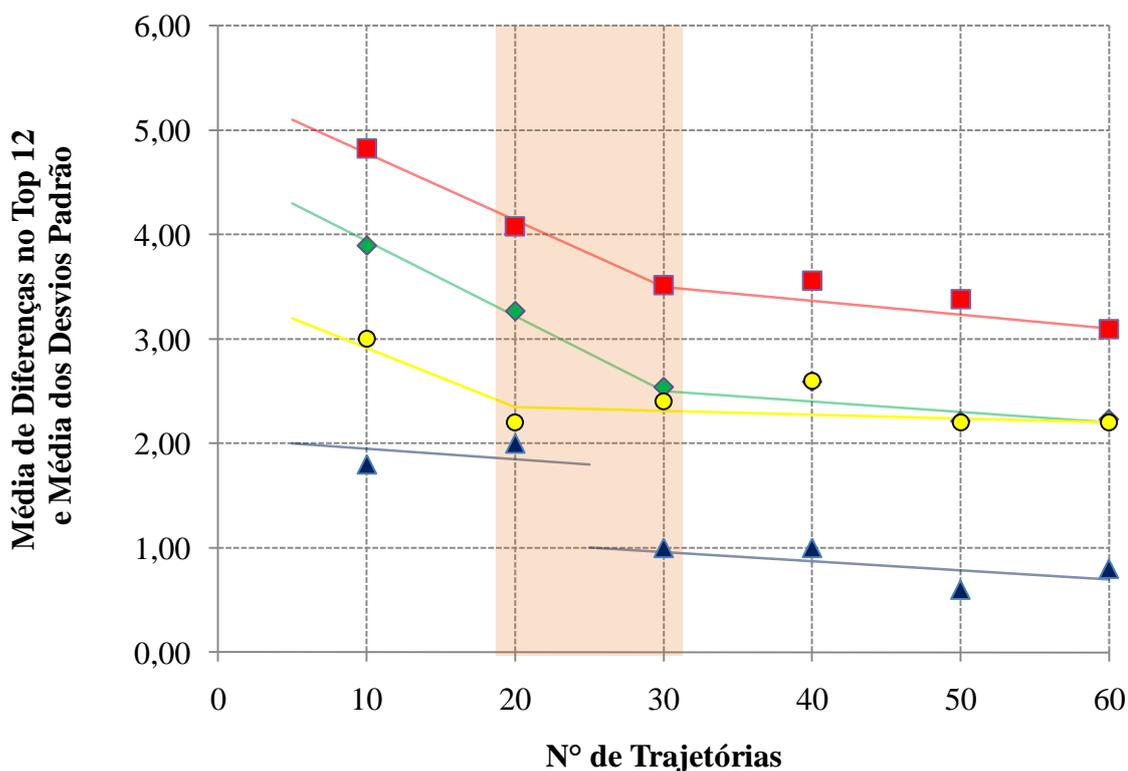


Figura 27 - Análise em conjunto da relação do número de trajetórias com o desempenho das respostas obtidas.

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  $\mu^*$  e  $\sigma$ .

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 ( $\mu^*$ )	Análise de Comportamento ( $\sigma$ )
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

<b>Conjunto</b>	<b>Variável Avaliada</b>	<b>Análise de Importância (<math>\mu^*</math>)</b>	<b>Análise de Comportamento (<math>\sigma</math>)</b>
<b>A</b>	Taxa de Desconto	2,13	2,57
<b>B</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  $\mu^*$  e  $\sigma$ . 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

<b>Cenários</b>	<b>Análise de Importância (<math>\mu^*</math>)</b>	<b>Análise de Comportamento (<math>\sigma</math>)</b>
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

<b>Conjunto</b>	<b>Variável Avaliada</b>	<b>Análise de Importância (<math>\mu^*</math>)</b>	<b>Análise de Comportamento (<math>\sigma</math>)</b>
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  $\mu^*$ , 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  $\mu$  e  $\mu^*$ , pois um fator que apresente alto valor de  $\mu^*$ , ou seja, alta média dos valores absolutos dos efeitos elementares, e, ao mesmo tempo, baixo valor de  $\mu$ , 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,  $\beta$ , que nada mais é do que a relação entre o módulo do índice  $\mu$  e o índice  $\mu^*$ . 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  $\beta$  do  $i$ -ésimo fator de entrada do modelo, enquanto a Tabela 33 apresenta os fatores classificados em ordem decrescente de  $\mu^*$  e  $\sigma$  e em ordem crescente de  $\beta$ .

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

Como já foi explicado, quanto maior o valor de  $\mu^*$ , 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

<b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE</b>							
<b>ÍNDICES DE SENSIBILIDADE</b>							
Variável	Médias		Desvio Padrão $\sigma$	Variável	Médias		Desvio Padrão $\sigma$
	$\mu$	$\mu^*$			$\mu$	$\mu^*$	
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

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

Como já foi explicado, quanto maior o valor de  $\mu^*$ , 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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$	Variável	Índice $\beta$
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$	Variável	Índice $\beta$
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  $\sigma$ , foram também os dez fatores apontados como mais importantes, ou seja, com maior valor de  $\mu^*$ . 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  $\beta$ , 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  $\beta$ . 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  $\beta$ , 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.

<b>Sigla</b>	<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Comentários</b>
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)

<b>Sigla</b>	<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Comentários</b>
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 <sup>2</sup>
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 <sub>0</sub>	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

<b>Sigla</b>	<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Comentários</b>
		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

<b>Sigla</b>	<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Comentários</b>
		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 <sup>2</sup> 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 <sub>50</sub> )
DRAIN_COND	B	Condições da drenagem (Ver notas a seguir)
FAULTING	C	NE
SPALL_JNTS	C	NE
CRACKSLABS	C	NE

<b>Sigla</b>	<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Comentários</b>
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)

<b>Sigla</b>	<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Comentários</b>
PHOLE_INIT	B	Fator de calibração para o início das painelas (Kpi)
PHOLE_PROG	B	Fator de calibração para a progressão das painelas (Kpp)
EDGEB_PROG	B	Fator de calibração para a progressão das trincas nos bordos (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_STRUCT	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 painela 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)

<b>Sigla</b>	<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Comentários</b>
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

<b>Sigla</b>	<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Comentários</b>
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)

<b>Sigla</b>	<b>Categoria</b>	<b>Comentários</b>
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 <sup>2</sup> )
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)

<b>Sigla</b>	<b>Categoria</b>	<b>Comentários</b>
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) <sup>2</sup> )
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 <sup>2</sup> )
FRIAMAX		Desaceleração máxima devido ao atrito lateral (m/s <sup>2</sup> )
NMTAMAX		Desaceleração máxima devido aos veículos não motorizados (m/s <sup>2</sup> )
RIAMAX		Desaceleração máxima devido a irregularidade (m/s <sup>2</sup> )
AMAXRI		Irregularidade na qual a desaceleração máxima ocorre (m/km)
WHEEL_DIAM	 	Diâmetro do pneu (m)
TYRE_C0TC		Parâmetro relativo as propriedades do material do pneu (dm <sup>3</sup> )
TYRE_CTCTE		Coefficiente de desgaste do pneu (dm <sup>3</sup> /J-m)
TYRE_CTCON		Fator de aumento no desgaste do pneu relacionado com o congestionamento
TYRE_VOL		Volume útil de borracha por pneu (dm <sup>3</sup> )
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_FUELTYF		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

<b>Sigla</b>	<b>Categoria</b>	<b>Comentários</b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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
ENFORCEMNT	0,507	ENFORCEMNT	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_SNPK	0,490
K_SNPK	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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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
ENFORCEMNT	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	ENFORCEMNT	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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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)

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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_SNP	0,108	K_SNP	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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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
ENFORCENMT	0,447	PHOLE_PROG	1,078
DIST_ACA	0,437	ENFORCENMT	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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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
ENFORCENMT	0,387	ENFORCENMT	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_SNPK	0,553
RF	0,211	ACA_PROG	0,502
DEFECTSURF	0,190	RF	0,392
RUT_STRUCT	0,189	DEFECTSURF	0,304
K_SNPK	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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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_SNP	0,030	K_SNP	0,056

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

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

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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
ENFORCEMNT	0,291	DEFECTSURF	0,596
CRACKS_TOT	0,281	ENFORCEMNT	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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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

## Análise do Cenário 2 (Ver Tabela 22)

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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_SNPCK	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_SNPCK	2,697	DIST_ACA	9,483
PREV_NCT	2,636	DRAINAGE	9,450
CURVATURE	2,597	EDGE_STEP	8,745
EDGE_STEP	2,551	ENFORCENMT	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
ENFORCENMT	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

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>IMPORTÂNCIA</b>		<b>INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE</b>	
<b>Variável</b>	<b>Média <math>\mu^*</math></b>	<b>Variável</b>	<b>Desvio Padrão <math>\sigma</math></b>
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 $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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	ENFORCENMT	1,129
ENFORCENMT	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

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

## Análise do Cenário 4 (Ver Tabela 22)

CLASSIFICAÇÃO			
IMPORTÂNCIA		INTERAÇÕES / NÃO LINEARIDADE	
Variável	Média $\mu^*$	Variável	Desvio Padrão $\sigma$
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

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