

AValiação DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO DOS VEÍCULOS E DO TEMPO DE VIAGEM EM FUNÇÃO DA GEOMETRIA DAS RODOVIAS

Frederico de Carvalho Klein

Alexandre Benetti Parreira

José Leomar Fernandes Jr.

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar os custos de operação dos veículos e o tempo de viagem em função de características geométricas de trechos de rodovias, com a utilização do programa computacional HDM-4 (*Highway Development & Management*). Para esta análise, foi realizado um estudo de caso para o qual foram criados sete trechos representativos das classes de geometria consideradas pelo HDM-4 e dezenove trechos com características geométricas que permitissem uma análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às curvaturas vertical e horizontal das vias. A simulação foi realizada fixando-se um cenário de fatores que compõem o modelo HDM-4: tipo de fluxo de tráfego, classe da rodovia, composição e volume de tráfego, tipo e condição do pavimento, dentre outros. O estudo de caso permitiu a quantificação dos efeitos da geometria sobre todas as parcelas que compõem os custos dos usuários. Os resultados obtidos mostraram que a geometria pode ter grande influência nos custos totais dos usuários e, portanto, seus efeitos devem ser considerados em projetos de construção e de manutenção de rodovias, possibilitando maiores benefícios à sociedade.

ABSTRACT

The main goal of this work is to evaluate vehicle operational costs and travel time due to geometric characteristics of road sections, using the software HDM-4 (*Highway Development & Management*). The study was initiated with the creation of seven sections representing the HDM-4 highway geometric classes, and nineteen sections with geometric characteristics defined to allow a sensitivity analysis of parameters associated to vertical and horizontal alignments. The computer simulations were performed considering a scenario that includes: traffic flow pattern, road class, average daily traffic and traffic composition, pavement type and condition, among others. The study evaluates the effects of highway geometry on each component of users' costs. The results showed that highway geometry may have a great influence on users' costs and, therefore, its effects must be considered in highway construction and maintenance projects assuring more benefits to the society.

1. INTRODUÇÃO

A infra-estrutura rodoviária brasileira encontra-se em condições desfavoráveis aos usuários em termos de desempenho, segurança e economia, quando são avaliados os seguintes aspectos fundamentais das vias: o pavimento, a sinalização e a geometria. Para que este quadro seja revertido, será necessário um planejamento bem estruturado de investimentos (CNT, 2004). As atividades de construção, manutenção e reabilitação da malha viária necessitam de recursos, que estão cada vez mais limitados. Assim, torna-se importante a análise de propostas de investimentos que tragam os maiores benefícios à sociedade. Para que se possam avaliar as implicações econômicas, é importante considerar tanto os custos quanto os benefícios de qualquer projeto rodoviário, sendo componentes importantes das análises econômicas a determinação dos custos de operação dos veículos e do tempo de viagem.

Na década de 80, foi realizada pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT, 1982) a Pesquisa sobre o Inter-relacionamento de Custos de Rodovias (PICR) para determinar o inter-relacionamento dos três principais componentes do custo dos transportes: custos de construção, custos de conservação das vias e os custos de operação dos veículos que por elas trafegam.

Pressupôs-se que variáveis que caracterizam uma estrada, como a qualidade da superfície de rolamento e a geometria vertical e horizontal, influenciariam significativamente os custos de operação dos veículos. Diante disso, com a elaboração de funções matemáticas que descrevessem o impacto de cada variável sobre o custo de operação, seria possível avaliar o efeito de diferentes padrões de construção e conservação sobre o custo total. Além disso, poderiam ser calculados os benefícios de uma melhoria no traçado de uma rodovia e determinada a velocidade de menor consumo de combustível para diferentes tipos de veículos.

A PICR, porém, já afirmava que “a questão da geometria e seus efeitos sobre os custos de operação dos veículos não está completamente resolvida... Isso deveria ser um assunto prioritário para os programas futuros de trabalho” (GEIPOT, 1982). O estudo da PICR considerava a dificuldade de se obter os efeitos da geometria por causa da pequena amplitude das características geométricas das rotas pesquisadas e da debilidade da forma hipotética da relação entre a geometria e o consumo de combustível ou de pneus.

A necessidade do estudo dos efeitos da geometria da rodovia no desempenho dos veículos cresceu devido ao aumento dos preços dos combustíveis na metade da década de 70. Anteriormente, as vias eram projetadas principalmente com a preocupação na segurança, na durabilidade e nos custos de construção. Posteriormente, os projetistas começaram a estimar o impacto das características dos projetos das vias no consumo de combustível dos veículos, comparando os custos de diversas alternativas de projeto com os benefícios em termos de redução dos custos de operação dos veículos.

Este trabalho tem como objetivo avaliar os custos totais dos usuários, em termos dos custos de operação dos veículos e do tempo de viagem em função de características geométricas de trechos de rodovias, com a utilização do programa computacional HDM-4 (Highway Development & Management).

2. MÉTODO

A pesquisa está baseada na análise das alterações ocorridas nos custos totais, particularmente em função dos custos de operação dos veículos e do tempo de viagem, quando são feitas variações nos parâmetros relacionados a aspectos geométricos considerados no modelo do HDM-4, que são a média de subidas e descidas (RF) no trecho estudado e a média da curvatura horizontal (ADC). Para esta análise, foi realizado um estudo de caso para o qual foram criados sete trechos representativos das classes de geometria consideradas pelo HDM-4 e dezenove trechos com características geométricas que permitissem uma análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às curvaturas vertical e horizontal das vias.

Sobre o Programa HDM-4, utilizado neste trabalho, cabem algumas considerações. Segundo Kerali (2000), o primeiro passo para a produção de um modelo de avaliação de projetos rodoviários foi dado pelo Banco Mundial em 1968, por meio de estudos em conjunto com o TRRL (*Transport and Road Research Laboratory*) e o LCPC (*Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées*). Em seguida, o MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) elaborou o modelo *Highway Cost Model* (Moavenzadeh *et al.*, 1975), que foi um avanço na análise das interações entre custos de construção, de manutenção e de operação dos veículos. Porém, faltava uma base empírica, além da necessidade de adequação a diversas regiões, estendendo a sua utilização a países em desenvolvimento.

Para fornecer uma base empírica, o TRRL e o Banco Mundial realizaram estudos no Quênia, no Caribe, na Índia (CRRI, 1982) e no Brasil, por meio de um convênio entre o governo brasileiro, através do GEIPOT, e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o que resultou na elaboração do HDM-III (Watanatada *et al.*, 1987).

Com o passar dos anos, as relações técnicas presentes nos modelos ficaram ultrapassadas e era necessário que os modelos até então utilizados fossem reformulados para a incorporação de uma maior variedade de tipos e estruturas de pavimentos e condições de utilização, além de considerar efeitos de congestionamentos, climas frios, aspectos relacionados a acidentes e efeitos ambientais. Diante disso, o ISOHDM (*International Study of Highway Development and Management*), projeto internacional coordenado pelo PIARC (*World Road Association*), foi conduzido para estender o alcance do modelo HDM-III, obtendo-se o programa de análise técnico-econômica HDM-4 – *Highway Development & Management* (Kerali *et al.*, 2000).

O HDM-4 compara estimativas de custos e faz avaliações de alternativas de construção, de manutenção e de estratégias de intervenções, fornecendo um sistema para a gerência de rodovias, para a programação de serviços de pavimentação e alocação de recursos e para a previsão de desempenho da rede viária. Ele permite a análise de sensibilidade dos resultados de mudanças em seus parâmetros mais importantes (custos unitários, composição do tráfego, características da rede viária, taxa de desconto, dentre outros).

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso fornece os dados para a avaliação da influência das características geométricas de rodovias no custo total dos usuários, em termos do custo de operação dos veículos e do tempo de viagem, através de simulação com o HDM-4, e permite a quantificação dos efeitos das características geométricas sobre as parcelas que compõem os custos dos usuários. Para que pudesse ser analisada a influência da geometria nos custos totais, foram criados ou selecionados trechos de rodovias, agrupados de acordo com suas características de projeto de curvas verticais e horizontais.

Foram criados trechos (chamados, neste trabalho, de trechos “fictícios”) para a análise da sensibilidade dos parâmetros geométricos, mantendo-se o valor de um componente igual a zero e variando-se o outro. Nos trechos *a* a *h* da Tabela 1 há variação do parâmetro média de subidas e descidas (RF), enquanto nos trechos *i* a *r* ocorre variação do parâmetro média da curvatura horizontal (ADC).

Foi considerado, ainda, um trecho que possui os dois componentes iguais a zero (Trecho Base), representando um trecho totalmente reto (ADC=0) e plano (RF=0). Deve-se destacar que os intervalos de variação dos parâmetros RF e ADC englobam os valores considerados pelo HDM-4 para classificação dos trechos quanto à geometria, que constituem os outros sete trechos (trechos *A* a *G*, Tabela 2) e levam em conta a combinação dos efeitos da curvatura vertical e horizontal.

Definiu-se o cenário específico dos trechos estudados, composto pelas características da rede viária, pelas características do pavimento e condições de sua superfície, pela composição da frota de veículos (Tabela 3) e pelos dados da geometria dos trechos (exceto RF e ADC, que são variáveis para cada trecho):

- Classe da rodovia: Especial;

- Tipo e modelo de fluxo de tráfego: duas faixas padrão / velocidade livre;
- Superfície e tipo do pavimento: asfáltica / mistura asfáltica sobre base granular;
- Largura do leito da via igual a 7 metros e largura dos acostamentos igual a 2,8 m;
- Volume diário médio: 9500 veículos e fluxo nos dois sentidos.

Tabela 1: Trechos “fictícios” para a análise de sensibilidade

Trechos	RF (m/km)	ADC (graus/km)	Trechos	RF (m/km)	ADC (graus/km)
Base	0	0	i	0	50
a	5	0	j	0	100
b	10	0	k	0	150
c	15	0	l	0	200
d	20	0	m	0	250
e	25	0	n	0	300
f	30	0	o	0	350
g	35	0	p	0	400
h	40	0	q	0	450
			r	0	500

Tabela 2: Trechos representativos das classes de geometria do HDM-4

	Classes da Geometria	RF (m/km)	ADC (graus/km)
A	Reta e Plana	1	3
B	Praticamente Reta e Pouco Ondulada	10	15
C	Pouco Sinuosa e Praticamente Plana	3	50
D	Pouco Sinuosa e Pouco Ondulada	15	75
E	Pouco Sinuosa e Muito Ondulada	25	150
F	Sinuosa e Pouco Ondulada	20	300
G	Sinuosa e Muito Ondulada	40	500

Tabela 3: Composição do tráfego e volume diário médio anual dos trechos

Composição do tráfego		Volume Diário Médio Anual	
Automóvel Médio	64,2 %	Automóvel Médio	2128
Caminhão Leve	22,4 %	Caminhão Leve	855
Caminhão Pesado	9,0 %	Caminhão Pesado	6089
Ônibus Pesado	4,5 %	Ônibus Pesado	428

A superfície do pavimento é de concreto asfáltico, com 50 mm de espessura, sendo definido um valor para o número estrutural, SNP, igual a 5,0, que é um valor padrão do HDM-4 para uma boa condição estrutural, e um valor de CBR (Índice de Suporte Califórnia) igual a 20% para o subleito. A condição do pavimento é dada por valores considerados pelo HDM-4 para um pavimento recém-construído, em ótimas condições e sem defeitos, com irregularidade inicial, IRI, igual a 2m/km. Porém o HDM-4 realiza sua simulação com um valor de IRI igual a 4,69, pois o programa considera que ocorre uma deterioração no pavimento entre o ano cuja condição do pavimento foi fornecida (2004) e o ano em que se inicia a simulação (2005). Os efeitos da drenagem não foram considerados na simulação. Para a composição da frota de veículos, foram escolhidos quatro tipos de veículos (dentre as dezesseis opções fornecidas pelo HDM-4), que representam uma hipotética composição de tráfego para os trechos (Tabela 4), embora tal simplificação tenha por base dados de trechos reais da rodovia SP-310.

Tabela 4: Características dos veículos (modificada de Odoki e Kerali, 2000)

	Automóvel médio (CM)	Caminhão Leve (CL)	Caminhão Pesado (CP)	Ônibus Pesado (OP)
Tipo padrão do HDM	<i>Medium car</i>	<i>Truck – light</i>	<i>Truck - heavy</i>	<i>Bus - heavy</i>
Classe	Carro passageiro	Caminhões	Caminhões	Ônibus
Número de eixos	2	2	3	3
Número de rodas	4	4	10	10
Tipo de pneu	radial	diagonal	diagonal	diagonal
Peso de operação (t)	1,2	2	13	10
ESALF ⁽¹⁾	0	0,1	2,28	0,8
PCSE ⁽²⁾	1	1,3	1,6	1,6

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

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

Para as simulações, foram considerados tipos de veículos e valores de seus respectivos custos unitários (custos de veículos novos, trocas de pneus, custos de combustível e óleo lubrificante, gastos gerais e custos de horas de manutenção, de viagem de passageiros e de cargas) de um dos exemplos apresentados pelo HDM-4. Tais valores, mostrados nas Tabelas 4 e 5, são utilizados neste trabalho apenas com a finalidade de estudar situações hipotéticas com as quais podem ser feitas comparações entre diferentes tipos de veículos, para determinadas condições de rodovias. Ou seja, servem para uma análise relativa, pois afetam igualmente todos os cenários considerados, mas não têm sentido em termos absolutos.

Tabela 5: Custos unitários dos veículos

	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Automóvel	Ônibus Pesado
Veículo novo	US\$ 30000	US\$ 75000	US\$ 9000	US\$ 70000
Troca de pneu	US\$ 300	US\$ 300	US\$ 60	US\$ 350
Combustível	US\$ 0,50 p/ litro	US\$ 0,50 p/ litro	US\$ 0,50 p/ litro	US\$ 0,50 p/ litro
Óleo lubrificante	US\$ 2,00 p/ litro	US\$ 2,00 p/ litro	US\$ 2,00 p/ litro	US\$ 2,00 p/ litro
Passageiro em serviço	US\$ 0 p/ hora	US\$ 0 p/ hora	US\$ 0,40 p/ hora	US\$ 0,25 p/ hora
Passageiro	US\$ 0 p/ hora	US\$ 0 p/ hora	US\$ 0,10 p/ hora	US\$ 0,10 p/ hora
Manutenção	US\$ 5,60 p/ hora	US\$ 5,60 p/ hora	US\$ 4,20 p/ hora	US\$ 5,60 p/ hora
Tripulação	US\$ 8,90 p/ hora	US\$ 8,90 p/ hora	US\$ 0 p/ hora	US\$ 8,90 p/ hora
Gastos gerais	US\$ 800 p/ ano	US\$ 800 p/ ano	US\$ 400 p/ ano	US\$ 800 p/ ano
Carga	US\$ 0,40 p/ hora	US\$ 0,10 p/ hora	US\$ 0 p/ hora	US\$ 0,10 p/ hora

Alguns parâmetros são definidos para que o programa possa realizar as simulações, dentre eles o ano de início, o período de projeto, a unidade monetária e as alternativas de intervenções do projeto. Diante disso, tem-se o ano de 2005 para início da simulação, um período de projeto de um ano e o dólar como unidade monetária padrão. Ainda durante a configuração, foram desativados os modelos de acidentes e de emissão de poluentes, uma vez que os seus respectivos custos não foram considerados na composição do custo total dos usuários porque haveria a necessidade da obtenção e da calibração dos dados referentes ao número e à gravidade dos acidentes e aos tipos e quantidades de poluentes emitidos pelos veículos, bem como seus respectivos custos. Ressalta-se que, quando houver disponibilidade desses dados, tais fatores poderão ser incluídos em análises análogas à deste trabalho, pois podem sofrer influência da geometria.

4. RESULTADOS

4.1 Influência da curvatura vertical (RF)

A geometria vertical, representada pelo parâmetro RF (média de subidas e descidas) é analisada isoladamente em nove segmentos com RF variando de 0 a 40 m/km (Trecho Base e trechos *a* a *h*), em intervalos de 5 em 5 m/km, mantidas constantes todas as outras variáveis, particularmente o parâmetro representativo da geometria horizontal (ADC – média da curvatura horizontal).

A Figura 1 mostra que a geometria vertical tem influência nas velocidades de operação de todos os veículos analisados, que decrescem com o aumento do RF. Essa redução das velocidades faz com que a soma dos consumos de combustível dos veículos tenha um leve decréscimo até o valor de RF igual a 30 m/km e, após este valor, o consumo de combustível aumenta acentuadamente (Figura 2), devido, principalmente, ao aumento no consumo dos veículos pesados. O mesmo ocorre, de forma menos acentuada, para o consumo de óleo lubrificante, pois ele é calculado em função do consumo de combustível (Figura 3).

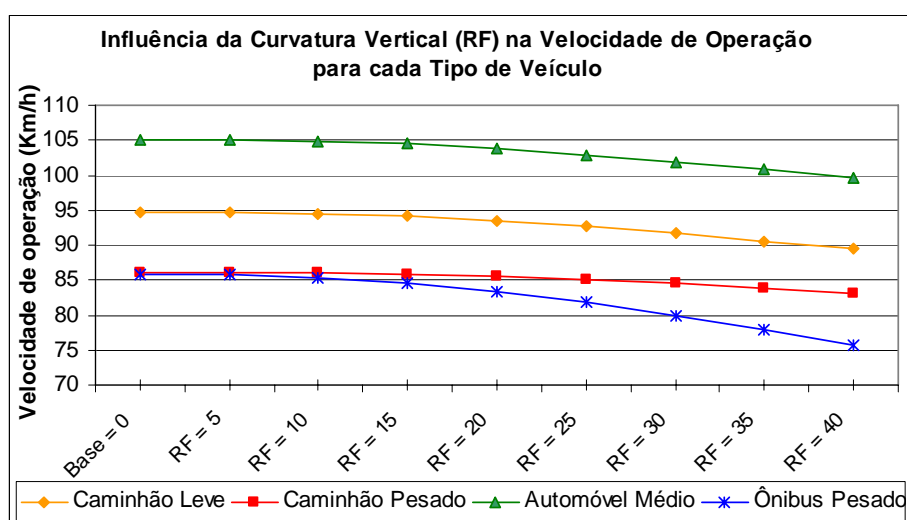


Figura 1: Influência da curvatura vertical (RF) na velocidade de operação dos veículos

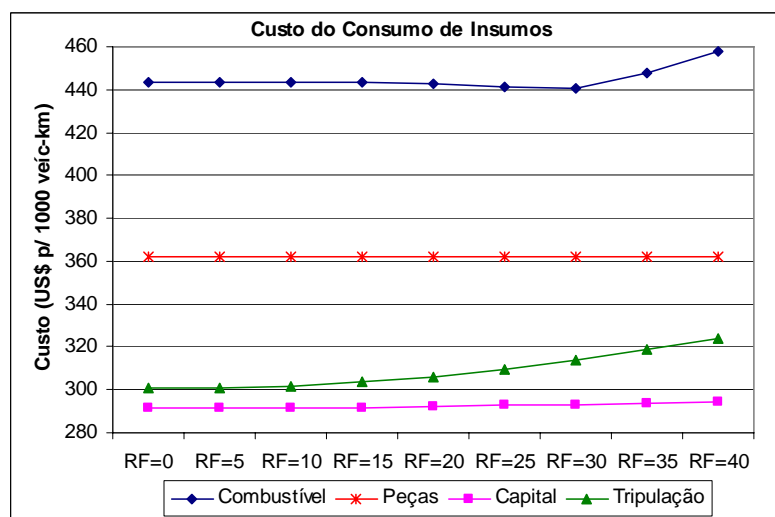


Figura 2: Custos de insumos dos veículos em função da curvatura vertical (RF) - I

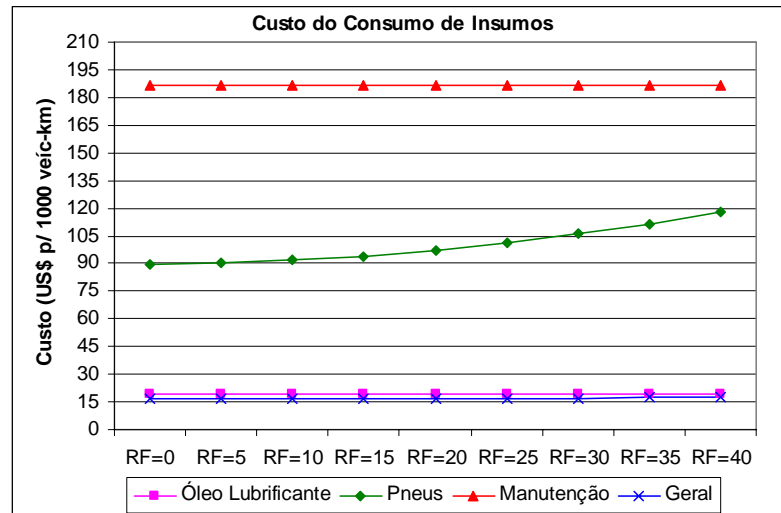


Figura 3: Custos de insumos dos veículos em função da curvatura vertical (RF) - II

Os custos de consumo de pneu (que é em função da utilização dos veículos) aumentam com o aumento de RF (Figura 3), assim como ocorre com os custos do capital, da tripulação, dos custos gerais e do tempo de viagem (que são funções da velocidade de operação dos veículos). Os custos do consumo de peças (dado em função, principalmente, da idade dos veículos e da irregularidade da via, que são constantes nesse estudo) e de manutenção dos veículos (em função do consumo de peças) permanecem constantes com o aumento da curvatura vertical.

As Figuras 2 e 3 mostram, ainda, que o consumo de combustível é o componente com a maior porcentagem na composição do custo de operação dos veículos, seguido pelo consumo de peças e pelos custos com a tripulação.

O gráfico da Figura 4 mostra que o custo de operação dos veículos e do tempo de viagem e, conseqüentemente, os custos totais dos usuários diminuem com a diminuição da curvatura vertical das vias.

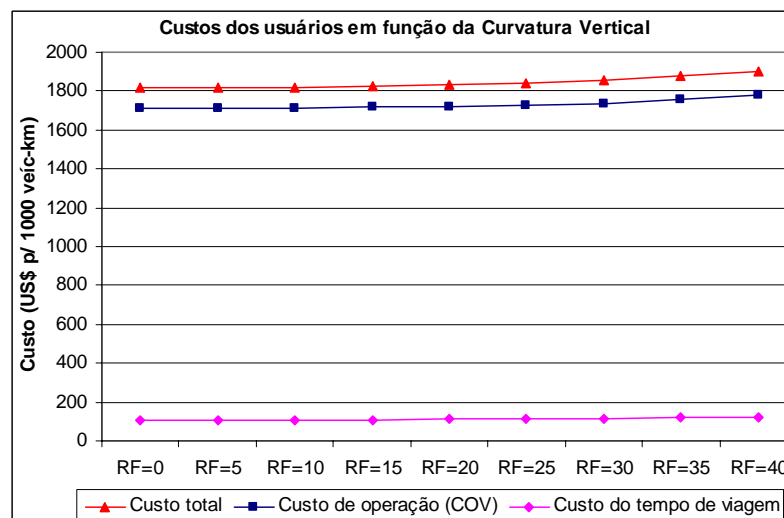


Figura 4: Custos dos usuários em função da curvatura vertical (RF)

4.2 Influência da curvatura horizontal (ADC)

A geometria horizontal, representada pelo parâmetro ADC (média da curvatura horizontal) é analisada isoladamente em onze segmentos com ADC variando de 0 a 500 graus/km (Trecho Base e trechos *i* a *r*), em intervalos de 50 em 50 graus/km, mantidas constantes todas as outras variáveis, particularmente o parâmetro representativo da geometria vertical (RF). Ela influencia a velocidade de operação de todos os veículos analisados, que decresce com o aumento do ADC (Figura 5).

Essa redução das velocidades faz com que as curvas da soma dos consumos de combustível dos veículos (Figura 6) apresentem pontos de mínimo consumo para valores de ADC entre 250 e 300 graus/km, resultado da influência dos valores de consumo para os veículos pesados. O mesmo ocorre, porém mais sutilmente, com o consumo de óleo lubrificante, que é calculado em função do consumo de combustível (Figura 7).

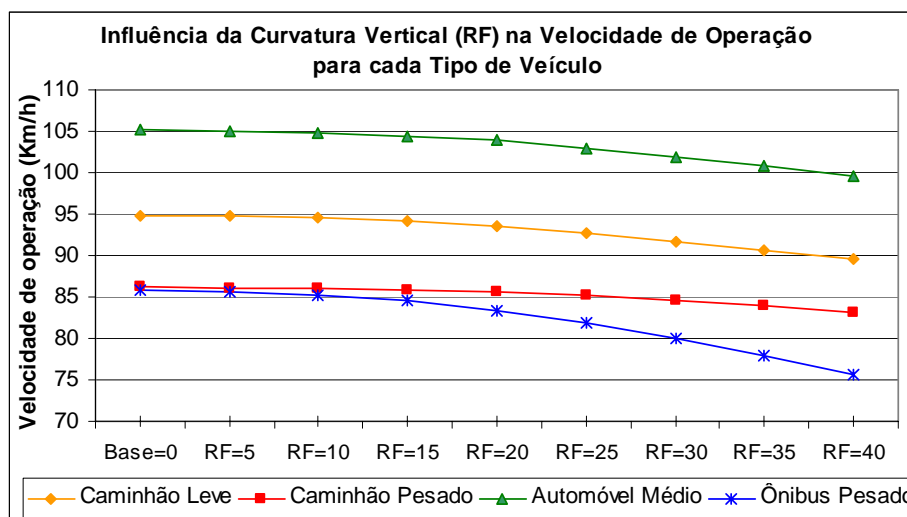


Figura 5: Influência da curvatura horizontal (ADC) na velocidade de operação dos veículos

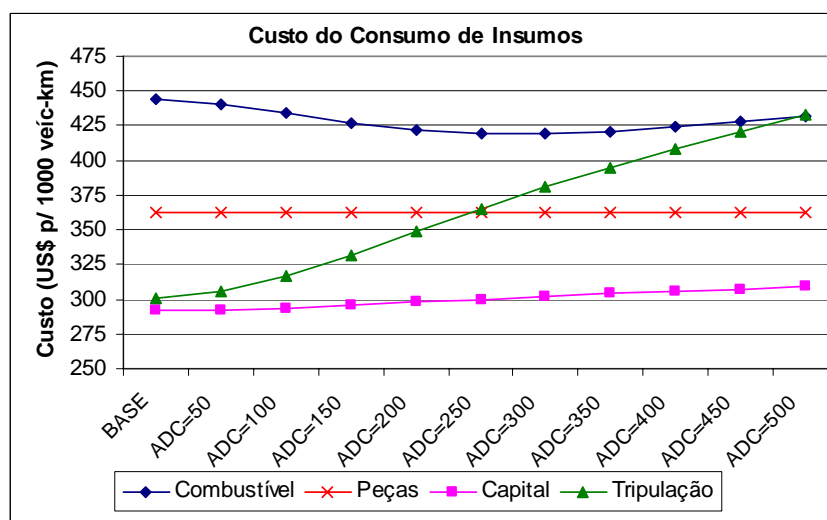


Figura 6: Custos de insumos dos veículos em função da curvatura horizontal (ADC) - I

A Figura 7 mostra que os custos de consumo de pneu, diferentemente do que era esperado, uma vez que é função da utilização dos veículos, diminui com o aumento de ADC, indicando uma possível limitação no modelo utilizado pelo HDM-4. Os custos do capital, da tripulação e os custos gerais aumentam com o aumento de ADC, assim como os custos do tempo de viagem. Os custos do consumo de peças e de manutenção dos veículos permanecem constantes com o aumento da curvatura horizontal.

As Figuras 6 e 7 mostram, ainda, que o consumo de combustível é o componente com a maior porcentagem na composição do custo de operação dos veículos, exceto para um ADC de 500 graus/km, no qual os percentuais dos custos com a tripulação são maiores.

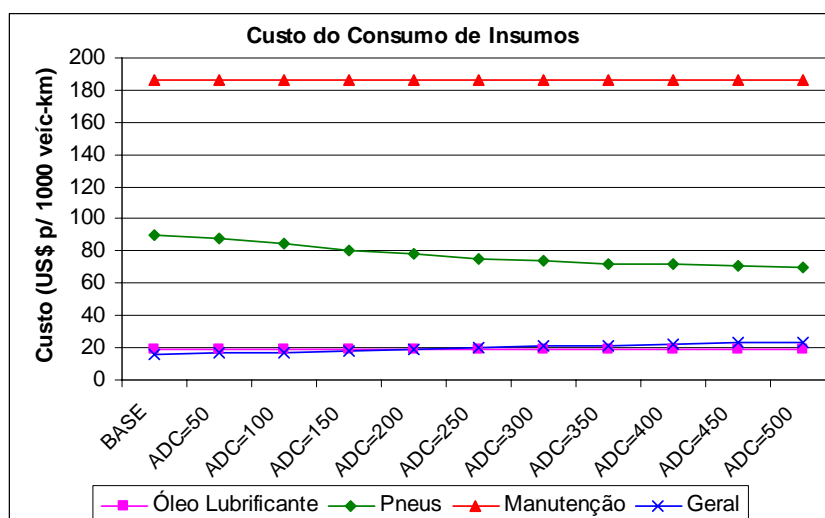


Figura 7: Custos de insumos dos veículos em função da curvatura horizontal (ADC) - II

No gráfico da Figura 8, tem-se que o custo de operação dos veículos e do tempo de viagem e, conseqüentemente, os custos totais dos usuários ficam menores com a diminuição da curvatura horizontal das vias.

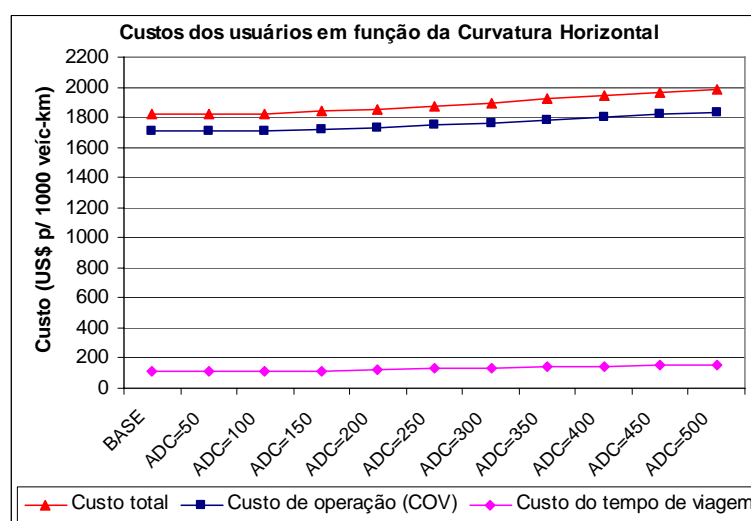


Figura 8: Custos dos usuários em função da curvatura horizontal (ADC)

4.3 Trechos do HDM-4

Os trechos representativos das classes de geometria padronizadas pelo HDM-4 foram criados para permitir que fossem feitas análises da influência conjunta das geometrias vertical (RF) e horizontal (ADC) nos custos dos usuários. Porém, confirmando o que havia sido apresentado pelos estudos da PICR na década de 80, os efeitos combinados da geometria não são facilmente observados. Os gráficos das Figuras 9 e 10 apresentam os custos da soma de cada componente do custo de operação dos veículos para os trechos do HDM-4.

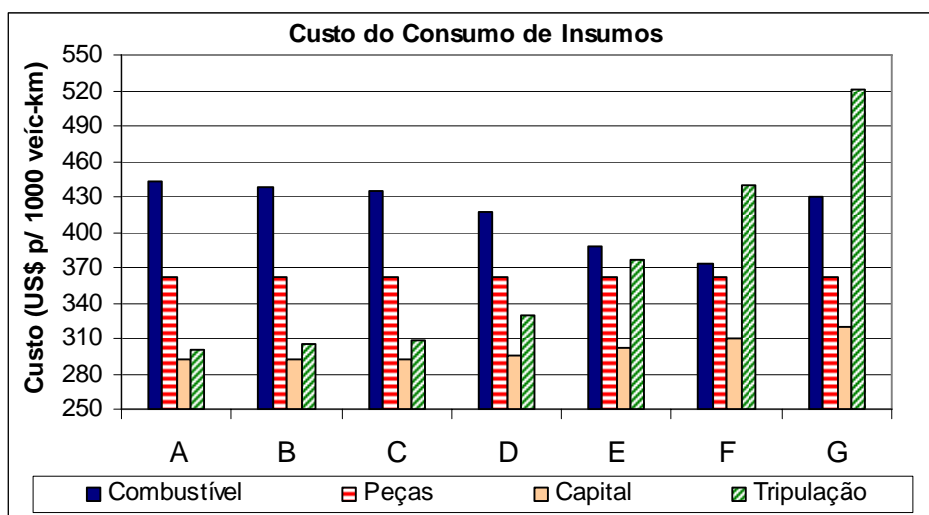


Figura 9: Custos de insumos dos veículos para os trechos do HDM-4 - I

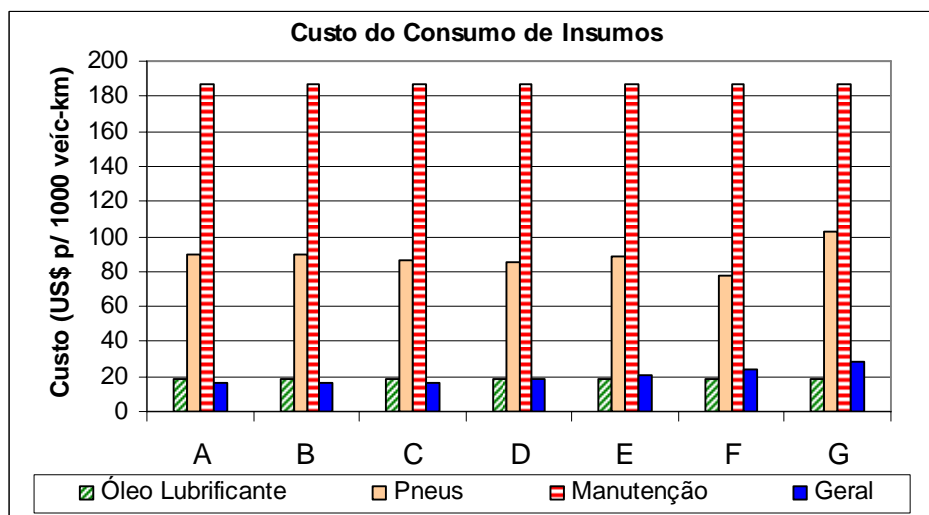


Figura 10: Custos de insumos dos veículos para os trechos do HDM-4 - II

O consumo de combustível diminui nos trechos com maiores valores de RF e ADC, com exceção do trecho G, no qual ocorreu um aumento do consumo, influenciado pelo aumento dos consumos de combustível dos veículos pesados (Figura 9). O mesmo ocorre com os consumos de óleo lubrificante e de pneus (Figura 10). Os custos de consumo de peças e de manutenção são iguais para todos os trechos do HDM-4 pois, conforme já foi explicado anteriormente, eles não dependem das variáveis geométricas que caracterizam e diferenciam os trechos.

As Figuras 9 e 10 mostram, ainda, que o consumo de combustível é o componente com maior porcentagem no custo de operação dos veículos nos trechos com menores valores de RF (Trechos A e C), enquanto que, para trechos com maiores valores de RF (Trechos E, F e G), o componente que corresponde à maior parcela é o custo com a tripulação, pois nestes a velocidade de operação é menor, o que aumenta o tempo de viagem e, conseqüentemente, as horas de trabalho da tripulação.

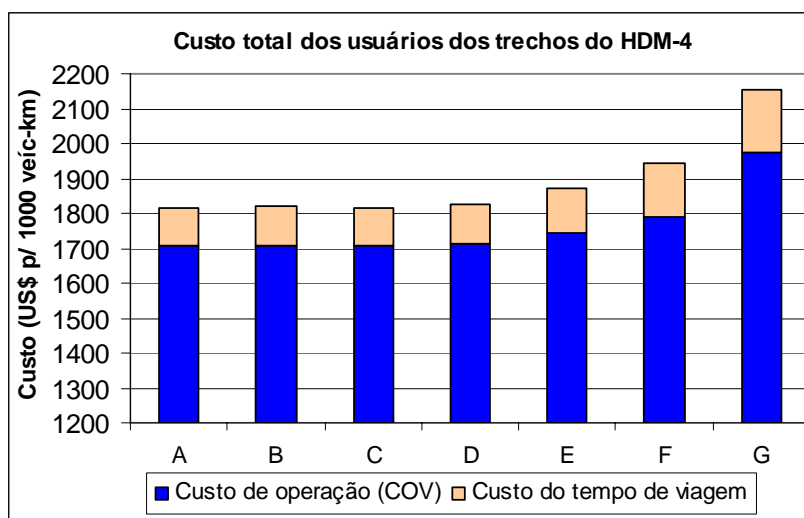


Figura 11: Custo total dos usuários dos trechos do HDM-4

Tabela 6: Velocidade de operação dos veículos – Trechos do HDM-4

Veículos	Velocidade de operação (Km/h) em cada trecho						
	A	B	C	D	E	F	G
Caminhão Leve	94,77	90,94	89,03	78,13	69,00	59,53	50,31
Caminhão Pesado	86,15	85,99	85,52	83,18	72,20	61,43	51,75
Automóvel Médio	105,13	99,36	98,62	83,01	72,69	62,03	51,86
Ônibus Pesado	85,85	85,27	85,20	81,79	71,20	61,30	51,55

A Tabela 6 mostra que a velocidade de operação dos veículos analisados é menor nos trechos que possuem maiores valores de RF e ADC. Por isso, os custos relacionados à velocidade de operação (custos do tempo de viagem, do capital, da tripulação e gerais) seguem a tendência já observada nos trechos estudados anteriormente e aumentam com o aumento dos valores de RF e ADC. Embora haja a diminuição dos custos dos consumos de combustível, de óleo lubrificante e de pneus com o aumento de RF e ADC, os custos totais aumentam (Figura 11).

4.4 Limitações do HDM-4

Apesar de ser uma evolução de modelos anteriores, no qual se procurou ampliar a capacidade de abrangência e utilização, deve-se ressaltar que o programa HDM-4 ainda apresenta limitações em seus modelos, conforme observado através dos resultados de determinadas situações ou fenômenos explicitados neste trabalho. Dentre as limitações observadas, pode-se destacar o cálculo de parâmetros relacionados aos custos do consumo de alguns insumos como, por exemplo, os do consumo de pneus, especialmente quando há a variação da geometria horizontal (ADC), em que ocorre a diminuição do consumo com o aumento da curvatura, diferentemente do que seria esperado.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi utilizado o programa HDM-4 para quantificar a influência dos parâmetros geométricos de curvatura vertical (RF) e curvatura horizontal (ADC) sobre as várias parcelas que compõem os custos totais dos usuários de rodovias. Os resultados mostram, dentro das limitações de representatividade do programa, que os parâmetros geométricos têm influência significativa tanto sobre os custos de operação dos veículos como sobre os custos relacionados ao tempo de viagem.

Com base nos resultados obtidos, enfatiza-se a importância de que o projeto de uma rodovia leve em conta, além dos custos das agências e/ou concessionárias (custos de construção e de manutenção e reabilitação), os custos de operação dos veículos e os custos relacionados ao tempo de viagem, que compõem os custos totais dos usuários, de forma que os investimentos na construção de uma rodovia proporcionem os maiores benefícios à sociedade.

Diante de limitações apresentadas pelos modelos do programa HDM-4 na determinação de alguns parâmetros relacionados aos custos dos usuários em termos do consumo de determinados insumos, sugere-se que sejam realizados estudos específicos e detalhados sobre essas limitações. Sugere-se, também, a análise de sensibilidade das equações do HDM-4 para o cálculo dos componentes dos custos totais dos usuários, atentando-se não somente para os parâmetros relacionados à geometria, mas também àqueles relacionados à condição do pavimento e à condição do tráfego. Complementarmente aos estudos realizados neste trabalho, sugere-se a avaliação dos efeitos da geometria de rodovias sobre o consumo de energia, sobre a emissão de poluentes e sobre os acidentes, que também compõem os custos dos usuários, através das ferramentas disponíveis no HDM-4 e de outros modelos.

Agradecimento

À CAPES e ao CNPq, pelo apoio financeiro à pesquisa na forma de bolsas de mestrado e de doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CNT – Confederação Nacional do Transporte (2004). *Pesquisa Rodoviária 2004 – Relatório Gerencial*. CNT. Brasília, DF.
- CRRI (1982) *Road user cost study in India*. Final Report. Central Road Research Institute. New Delhi, India.
- GEIPOT (1982). *Pesquisa sobre o Inter-relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias*. Relatório Final - 1981. Volumes 1, 5 e 9. Ministério dos Transportes. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Brasília, DF.
- Kerali, H.G.R. (2000). *The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 1: Overview of HDM-4*. World Bank. Washington, D.C.
- Kerali, H.G.R.; D. McMullen e J.B. Odoki (2000) *The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 2: Applications Guide*. World Bank. Washington, D.C.
- Moavenzadeh, F.; Berger, F.; Brademeyer, B. e Wyatt, R. (1975) *The Highway Cost Model: General Framework*. MIT Department of Civil Engineering Research Report No. 75-4. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts.
- Odoki, J.B. e Kerali, H.G.R. (2000) *The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 4: Analytical Framework and Model Description*. World Bank. Washington, D.C.
- Watanatada, T.; Harral, C.G.; Paterson, W.D.O.; Dhreshwar, A.M.; Bhandari, A.; Tsunokawa, K. (1987). *The Highway Design and Maintenance Standards Model. Volume 1: Description of the HDM – III Model*. World Bank. The John Hopkins University Press. Baltimore, MD.

Frederico de Carvalho Klein (fred@sc.usp.br); Alexandre Benetti Parreira (parreira@usp.br); José Leomar Fernandes Jr. (leomar@sc.usp.br)

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
Av. Trabalhador Saocarlene, 400 – CEP: 13566-590 – São Carlos, SP, Brasil.