

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS CAUSADOS AOS USUÁRIOS E AO PAVIMENTO DE RODOVIAS SECUNDÁRIAS DEVIDO AO DESVIO DE TRÁFEGO CAUSADO POR RUPTURA DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

S. P. Soncim, D. R. P. Grubba, J. S. Ildefonso e S. B. Lopes e J. L. Fernandes Jr.

RESUMO

No Brasil, um número significativo de OAE está em avançado estado de deterioração e más condições de uso. Isso é resultado de manutenção inadequada por falta de investimentos e crescimento das solicitações do tráfego. Este trabalho tem como objetivo analisar as conseqüências para a sociedade decorrentes de uma ruptura de OAE. Foram simulados cenários, com auxílio de uma ferramenta computacional, de forma que pudesse ser avaliada a influência do desvio do tráfego de uma rodovia principal, onde se localiza a ponte em ruptura, para uma rodovia secundária, sobre os custos dos usuários e os danos causados ao pavimento. Os resultados da simulação mostraram que houve um acréscimo da ordem de 23% nos custos totais aos usuários que se utilizaram do desvio. A simulação também mostrou que ocorreu uma evolução acelerada das irregularidades e da área total de trincas no pavimento da rodovia utilizada como desvio, para o período de análise.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção das estruturas viárias, particularmente das Obras de Arte Especiais (OAE), é importante para o prolongamento de sua vida em serviço, pois o colapso de uma ponte ou de um viaduto tem graves conseqüências sociais e econômicas. Além disso, são estruturas que representam uma porção significativa do investimento total em infraestrutura de uma nação, o que, por si só, já justificaria a importância e a necessidade de sua gestão.

No Brasil, somente nos 87.592 km de rodovias avaliadas na Pesquisa Rodoviária 2007 (CNT, 2007), foram constatadas 8.149 pontes e viadutos. Deste levantamento dá para se ter uma idéia da grandeza do patrimônio e da importância dessas obras no sistema viário brasileiro, considerando-se que a rede viária nacional tenha algo em torno de 1.500.000 km de rodovias (pavimentadas e não pavimentadas).

Um estudo realizado por Vitório (2008), envolvendo 40 pontes localizadas em rodovias federais da região Nordeste, constatou que 47,50% das obras estão com risco classificado entre alto e crítico, cujas condições indicam a possibilidade da ocorrência de colapso, caso não sejam adotadas providências urgentes. Outro dado relevante diz respeito às idades das 40 obras: 32,50% delas têm mais de 50 anos; 22,50% mais de 45 anos; 40% mais de 40 anos e 5% mais de 35 anos, ou seja, a grande maioria dessas pontes já está atingindo o limite de vida útil. A ausência de manutenção, seja preventiva ou corretiva, ao longo do tempo, foi outra constatação.

É importante destacar que boa parte das pontes e viadutos está submetida a carregamentos superiores àqueles para os quais foram projetadas, como é o caso das obras da década de 50 cujas cargas móveis eram um trem-tipo de 240 kN e as que foram projetadas até 1981, quando o trem-tipo máximo adotado era de 360 kN. A partir de então, a NBR 7188 passou

a adotar o trem-tipo de 450 kN, ainda em vigor, de modo que uma parcela das pontes das rodovias brasileiras está com as cargas móveis subdimensionadas.

A idade avançada e o acréscimo das cargas do tráfego associados à falta de políticas e estratégias voltadas para a manutenção e conservação dessas obras estão se transformando em um grande problema pelo abrangente espectro de suas repercussões, que vão desde a interferência no funcionamento da cadeia produtiva até o risco de perdas de vidas humanas.

2 OBJETIVO

De forma a contribuir para que a gerência de pontes e viadutos tenha o devido destaque e, conseqüentemente, para que o estado de obsolescência funcional e a inadequação estrutural de muitas OAE sejam, de fato, entendidos como inadmissíveis, este trabalho analisa as conseqüências para a sociedade decorrentes de uma ruptura de OAE (interrupção do tráfego e perdas econômicas). Complementarmente, este trabalho apresenta uma análise comparativa do que tem sido feito em gerência de OAE no Brasil e no exterior, mostrando e discutindo critérios de inspeção, índices de desempenho, desenvolvimento de modelos de previsão e de suporte à decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação (M&R) dessas estruturas.

3 SISTEMAS DE GERÊNCIA DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS (SGOAE)

O principal objetivo de um SGOAE é realizar uma abordagem de forma a planejar as atividades de M&R, a fim de satisfazer as necessidades de uma rede de pontes, utilizando-se os recursos disponíveis da forma mais eficaz e eficiente. De acordo com Mohamed (1995), a definição dessas necessidades para um conjunto de pontes pertencentes a um sistema viário é uma tarefa muito importante e pode ser definida tanto em nível de rede como em nível de projeto. Em nível de rede são decididas as medidas que minimizam os custos, maximizando os benefícios da rede gerenciada. Já em nível de projeto é considerado o processo decisório sobre o tempo de retorno, custos e benefícios de futuras intervenções realizadas numa ponte específica.

É importante destacar que a semelhança dos conceitos, técnicas e ferramentas que compõem um SGOAE, quando comparados aos sistemas de gerência de pavimentos, não é mera coincidência. Pode-se considerar como uma aproximação das aplicações e conceitos utilizados em gerência de pavimentos rodoviários, conceitos que foram primeiramente desenvolvidos por Haas & Hudson (1978).

De acordo com Elbehairy (2007), o coração de um SGOAE é seu banco de dados originado de inspeções regulares. A integridade de um SGOAE está, também, diretamente relacionada à qualidade e acurácia do inventário de dados das condições físicas, obtidos através de inspeções de campo. Informações como o código de identificação da ponte, a localização e informações sobre a construção são consideradas como fundamentais no início de desenvolvimento dos sistemas. O banco de dados e os inventários permitem que os gerenciadores das redes de pontes sejam informados sobre as atuais condições, de forma que possam subsidiar futuras decisões sobre atividades de M&R.

Além do banco de dados e inventário, também deveriam fazer parte de um SGOAE índices de desempenho, modelos de desempenho, custos e modelos de decisão sobre estratégias de M&R, conforme apresentado na Figura 1, que ilustra o fluxograma de atividades sugerido no Guidelines for Bridge Management Systems (AASHTO, 2001).

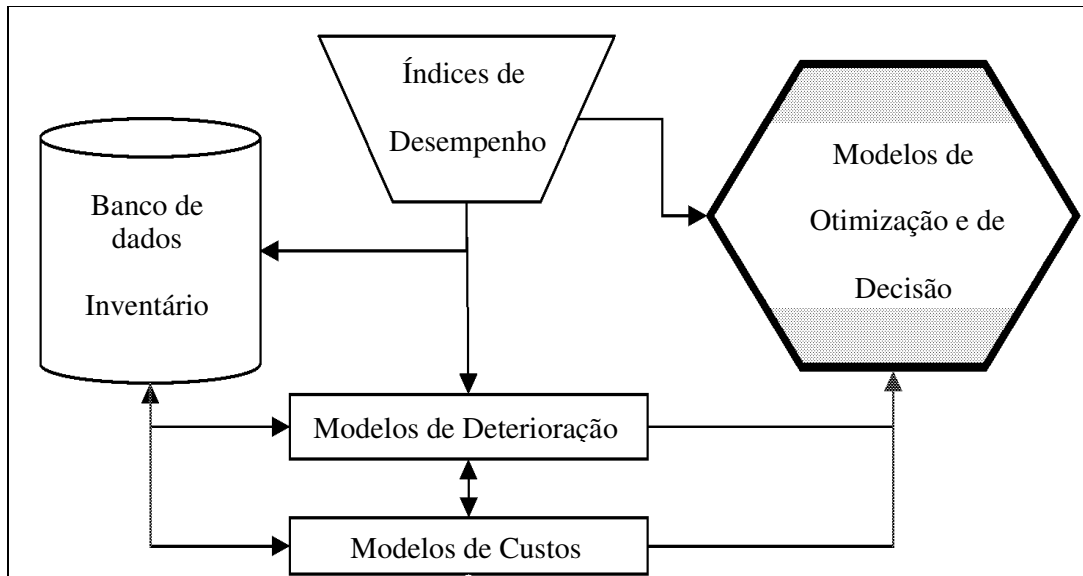


Figura 1. Componentes básicos de um SGOAE (AASHTO, 2001).

3.1 Índices de Desempenho

De acordo com Aktan et al. (1996), o processo de determinação do índice de desempenho de uma ponte pode ser resumido como a medida da extensão de seus defeitos e de sua deterioração, determinando-se o efeito desses danos, agrupando-os em escala que descrevam sua condição como um todo. Em seguida, os índices de defeitos e/ou de deterioração são comparados com registros das condições dos elementos levantados anteriormente para que seja verificado seu desempenho.

No Brasil, o “Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias” (DNIT, 2004) e a norma “Inspeções em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido” (DNIT 010/2004 – PRO) apresentam diretrizes, procedimentos e práticas para se determinar as condições de estabilidade e as necessidades de manutenção. Ambos estabelecem um critério de pontuação para determinação do índice de condição (ou desempenho), o qual são atribuídas notas de avaliação de 1 a 5 (1-precária, 2-sofrível, 3-boa aparentemente, 4-boa e 5-boa) indicando maior ou menor gravidade dos problemas existentes nas diversas partes que compõem a ponte como laje, vigamento principal, mesoestrutura, infraestrutura, condições do pavimento etc. Entretanto, tal classificação não mostram clareza quanto aos critérios de classificação do estado de condição da estrutura e não se observa um critério para a definição de pesos que indiquem uma maior ou menor priorização.

Vitório (2008) desenvolveu uma metodologia para a determinação do “grau de risco estrutural” de uma ponte. Os critérios para a determinação deste grau de risco são baseados nas variedades, intensidades e gravidades dos danos observados nos diversos componentes estruturais, levando em conta a importância de tais componentes na estabilidade global de cada obra. Como parte da metodologia foi desenvolvido um “fator agravante”, que se trata de um coeficiente de majoração da nota técnica final que determina o grau de risco de cada ponte. Os critérios para determinação desse parâmetro basearam-se na literatura técnica e na experiência profissional do autor, sobre os fatores que influenciam, de forma mais determinante, na ocorrência de acidentes estruturais em pontes rodoviárias de concreto.

Na esfera internacional, é importante citar o National Bridge Inspection Program (NBIP), criado nos Estados Unidos em 1970, pelo FHWA. Como parte deste programa, as agências estaduais deveriam inspecionar suas pontes a cada dois anos e enviar os resultados ao FHWA, criando-se assim um banco de dados nacional das condições das pontes, chamado National Bridge Inventory (NBI). Em seguida, em cooperação com a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), foi estabelecido o National Bridge Inspection Standards (NBIS). O NBIS estabelece requisitos para procedimentos de inspeção e sua frequência, qualificação de corpo técnico, relatórios de inspeção e alimentação de banco de dados. Seus índices de desempenho são baseados em avaliações subjetivas, variando de 0 (fora de serviço) a 9 (excelente condição) dos materiais e da condição física de partes da ponte como o tabuleiro, a superestrutura e a infraestrutura (FHWA, 2006).

3.2 Modelos de deterioração

Uma das funções de um SGOAE é prever a taxa de deterioração dos elementos de uma ponte, o que exige o desenvolvimento de modelos de deterioração. De acordo com Deshmukh (2006), vários fatores como a idade, o tipo de estrutura da ponte, a frequência de atividades de manutenção e reabilitação, o VMD, a condição estrutural e ação do meio ambiente influem na taxa de deterioração das pontes.

Os modelos desenvolvidos para SGOAE diferem dos desenvolvidos para SGP por causa da diferença nos materiais de construção, função estrutural e sistema de carregamento. Além disso, a segurança é mais importante em pontes do que em pavimentos. Apesar dessas diferenças, as técnicas utilizadas para o desenvolvimento de modelos de deterioração de pavimento também têm sido utilizadas para o desenvolvimento de modelos de deterioração de pontes.

De forma geral, os modelos de deterioração de pontes podem ser classificados em (Elbehairy, 2007):

- Mecanísticos: são modelos detalhados que descrevem mecanismos de deterioração de específicos componentes das pontes. São baseados em parâmetros de respostas estruturais, como tensão, deformação e deflexão e normalmente são utilizados na gerência em nível de projeto;
- Determinísticos: determinam o relacionamento entre o valor médio de uma variável aleatória e o correspondente valor de uma ou mais variáveis independentes. No caso de pontes, a variável aleatória é o índice de condição da ponte num determinado tempo, enquanto as variáveis independentes são os fatores que afetam a condição da ponte. Podem ser obtidos por meio de técnicas de regressão, por exemplo;
- Probabilísticos: baseado em matrizes de transição probabilística que estimam a probabilidade dos componentes da ponte mudar de uma condição para outra. Estes modelos são desenvolvidos com base em teorias como distribuição de Weibull ou cadeias de Markov;
- Inteligência artificial (IA): redes neurais artificiais e modelagens baseadas na razão e no conhecimento humano são exemplos de técnicas de IA que têm sido reconhecidas como ferramentas poderosas no auxílio ao desenvolvimento dos modelos.

3.3 Modelos de custos

Modelos de custos são utilizados para estimar custos das agências e custos aos usuários, que são usados para comparar alternativas e favorecer o processo decisório tanto em nível de projeto quanto em nível de rede. Os custos das agências incluem custos de construção, manutenção, reabilitação ou reconstrução de pontes. Os custos de manutenção, reparos e reabilitação em sistemas de gerência de pontes podem ser expressos como custos unitários ou em porcentagem do custo inicial de construção ou de reconstrução de uma ponte. Um exemplo de custos de atividades de M&R é apresentado por Saito et al (1990) relativamente a reparos no tabuleiro de pontes (Tabela 1).

Tabela 1. Custo unitário de atividades de M&R (Saito et al, 1990).

Atividade de M&R	Custo unitário (\$/m ²)
1 Recobrimento do tabuleiro	290,58
2 Alargamento do tabuleiro	625,45
3 Substituição e alargamento do tabuleiro	744,45
4 Substituição do tabuleiro	271,76
5 Substituição da superestrutura	317,13

Os custos aos usuários estão relacionados a melhoramentos na segurança e serventia, custos adicionais de operação de veículos e de acidentes.

3.4 Modelos de otimização e de decisão

Uma vez estabelecidos os índices de desempenho, os modelos de deterioração, os custos e as atividades de M&R, o SGOAE pode realizar uma análise de custos ao longo da vida em serviço, estabelecendo, assim, ações prioritárias.

É comum no meio técnico que as decisões sejam tomadas em função, apenas, da condição da ponte, ou seja, escolhendo projetos com pior condição. Porém, esta função não maximiza o benefício ou reduz o custo ao longo do ciclo de vida de uma rede. Mohamed (1995) descreve algumas alternativas de processos de priorização utilizados em nível de gerência de rede de pontes:

- Importância e condição da ponte: leva em consideração não só a atual condição da ponte, mas também sua importância relativa na rede. A ponte mais importante aparece no topo da lista de prioritárias. O termo importante reflete o tipo, a localização e a condição de cada ponte. Ações de manutenção são atribuídas às pontes baseadas em recursos disponíveis. Este método não fornece uma ótima alocação dos recursos;
- Nível de Serviço (NS): estabelece que a priorização em uma rede de pontes deve ser realizada de forma inversamente proporcional à sua capacidade de desempenhar sua função. Para se avaliar o nível de serviço, duas características principais são utilizadas: capacidade de carga e largura adequada ao tráfego. Este método também não fornece uma ótima alocação dos recursos;
- Relação Benefício/Custo (RBC): O indicador RBC é muito utilizado e de interpretação relativamente fácil em comparação a outros indicadores. Entretanto, apresenta limitações, como por exemplo, a premissa de que os benefícios gerados por uma ação de intervenção são constantes;

- Modelos matemáticos de otimização: técnicas de modelagem matemática permitem a manipulação de alternativas de forma a maximizar os benefícios esperados, frente às restrições de recursos disponíveis. Desta forma é possível chegar a uma solução ótima para a rede de pontes gerenciada, de acordo com os objetivos do sistema de gerência.

4 SIMULAÇÃO DOS CUSTOS GERADOS DECORRENTES DE DESVIOS DE TRÁFEGO

Infelizmente, os casos de rupturas de pontes no Brasil não são tão raros. O desabamento de um trecho de ponte sobre a represa de Capivari, na rodovia Régis Bittencourt (BR-116-PR) ocorrido em 25 de janeiro de 2005, inclusive com perda de vida humana; e o da Ponte dos Remédios sobre o rio Tietê em São Paulo, construída em 1968, que em 1997 entrou em processo de colapso, causaram muitas discussões na época de sua ocorrência. Entretanto, as discussões, geradas principalmente pela importância das obras, associadas à ocorrência de perdas de vidas humanas, acabam caindo no esquecimento até que ocorra um novo evento de tamanho impacto à sociedade.

De fato, casos menos expressivos, talvez pela não ocorrência da perda de vidas humanas, são comuns nos noticiários e *sites* de agências rodoviárias federais, estaduais e municipais. Entretanto, mesmo quando não há perdas de vidas humanas, ocasiona prejuízos que se estendem além da reconstrução de uma nova estrutura para transposição. A utilização de desvios durante o período de reconstrução da ponte, que pode variar de 4 meses a 1 ano, pode representar uma elevação dos custos aos usuários da rodovia. Além disso, é comum que o desvio canalize o tráfego para rodovias secundárias ou vicinais, normalmente de menor capacidade estrutural, gerando também danos à estrutura do pavimento e por consequência, aumento de custos para as agências.

Algumas ocorrências, como a queda de uma ponte na BR-101/SC sobre o rio Urussanga, em 1999, ilustram perfeitamente os problemas e custos gerados. Neste caso, em parte do desvio realizado pela SC-445, um trecho que normalmente recebia 5 mil veículos por dia, conforme informações da Polícia Rodoviária Estadual, teve seu tráfego aumentado para 24 mil veículos por dia, durante um prazo estimado de 4 meses para reconstrução da ponte. Em 2003, a queda de uma ponte na RS-287, na região central do Rio Grande do Sul, provocou um desvio que aumentou em cerca de 250 km o percurso dos viajantes.

Para demonstrar o impacto dos custos aos usuários e prejuízos causados ao pavimento, gerados pela necessidade de desvios do tráfego, quando da ocorrência de uma ruptura de ponte, este trabalho realiza uma simulação de cenários com o auxílio da ferramenta computacional HDM-4. Este programa de gerência de pavimentos, desenvolvido pelo Banco Mundial, é utilizado como ferramenta de auxílio na análise de investimentos rodoviários.

Os cenários simulados foram definidos de forma que pudesse ser avaliada a influência do desvio do tráfego de uma rodovia principal, onde se localiza a ponte em ruptura, para uma rodovia secundária, de menor capacidade estrutural e de características geométricas inferiores, sobre os custos dos usuários e os danos causados ao pavimento. Os cenários são descritos a seguir:

Cenário 1 - rodovia principal de ligação entre duas cidades com extensão de 100 km, sem ruptura da ponte localizada na metade do percurso e sem interrupção do tráfego:

- Tipo de rodovia: pista simples;
- Modelo de fluxo de tráfego: velocidade de fluxo livre;
- Superfície e tipo do pavimento: a superfície do pavimento é de concreto asfáltico com 50 mm de espessura, sobre base granular, sendo definido um valor para o número estrutural igual a 5, que é valor-padrão do HDM-4 para boa condição estrutural e um valor de CBR (Índice de Suporte Califórnia) igual a 20% para o subleito;
- Larguras: do leito da via igual a 7,60 metros e dos acostamentos igual a 2,8 m;
- Volume diário médio: 20.000 veículos e fluxo nos dois sentidos.

A condição do pavimento é dada por valores considerados pelo HDM-4 para pavimento novo, em boas condições e sem defeitos. Para a composição da frota de veículos, foram escolhidos quatro tipos de veículos, que representam a hipotética composição de tráfego para os trechos (Tabela 2).

Tabela 2. Composição do tráfego.

Composição do Tráfego	
Veículo de passeio	60%
Caminhão Leve	23%
Caminhão Pesado	12%
Ônibus	5%

Em caso de ruptura da ponte existe uma rodovia secundária que aumenta o percurso em 150 km que pode ser acessada próximo ao ponto mediano do trecho. As características dessa rodovia secundária são as seguintes:

- Tipo de rodovia: pista simples;
- Modelo de fluxo de tráfego: velocidade de fluxo livre;
- Superfície e tipo do pavimento: a superfície do pavimento é de tratamento superficial com 30 mm de espessura, sobre base estabilizada, sendo definido um valor para o número estrutural igual a 2,5 e um valor de CBR igual a 8% para o subleito.
- Larguras: do leito da via igual a 7 metros e sem acostamento.
- Volume diário médio: 5.000 veículos e fluxo nos dois sentidos.

A condição do pavimento para a rodovia secundária é dada por valores considerados pelo HDM-4 para pavimento antigo, em condições médias e com um grau de deterioração avançado.

Cenário 2 - tráfego interrompido na rodovia principal e desviado para rodovia secundária na metade do trecho de 100 km devido a ruptura da ponte, necessitando-se percorrer mais 150 km para concluir a viagem entre as duas cidades:

- Tipo de rodovia: pista simples;
- Modelo de fluxo de tráfego: velocidade de fluxo livre;
- Superfície e tipo do pavimento: a superfície do pavimento é de tratamento superficial com 30 mm de espessura, sobre base estabilizada, sendo definido um valor para o número estrutural igual a 2,5 e um valor de CBR igual a 8% para o subleito;

- Larguras: do leito da via igual a 7 metros e sem acostamento;
- Volume diário médio: alterado para 25.000 veículos e fluxo nos dois sentidos. A composição da frota de veículos adotada foi a mesma considerada para o primeiro cenário, já que o principal objetivo da simulação é verificar os efeitos nos custos aos usuários e na deterioração do pavimento devido a esse desvio de tráfego.

Os parâmetros de entrada dos custos unitários adotados para cada tipo de veículo como, por exemplo, custos de veículos novos, pneus, custos de combustível e óleo lubrificante, despesas gerais, custos de horas de manutenção etc. foram adotados de uma aplicação hipotética do HDM-4. Apesar de serem valores hipotéticos, servem para uma análise relativa, pois afetam igualmente os cenários comparados.

As características de tráfego e condições da rodovia são consideradas ao final do ano de 2007, com o ano de início da avaliação em 2008, pelo período de análise de um ano, que é o mínimo considerado pelo HDM. Também, neste caso, foi o tempo considerado para reconstrução da ponte e restabelecimento do tráfego na rodovia principal.

4.1 Resultados

Os resultados das simulações dos cenários no programa HDM-4 estão apresentados nas Figuras 2 a 4. Pela análise da Figura 2, pode-se perceber que houve um aumento de US\$ 691,00 no custo médio anual por 1000 veículos – km, ou seja, um acréscimo de 23,06%, devido ao desvio do tráfego para a rodovia secundária causado pela ruptura da ponte. Percebe-se, também, que quando considerado apenas o tráfego normal que passa pela rodovia secundária (cenário 1), o custo médio anual por 1000 veículos – km se mantém abaixo do que quando realizado o desvio. Isto pode estar relacionado, também, à menor evolução dos defeitos e irregularidades longitudinais, o que se reflete no consumo de combustível dos veículos e por consequência, nos custos de operação dos veículos.

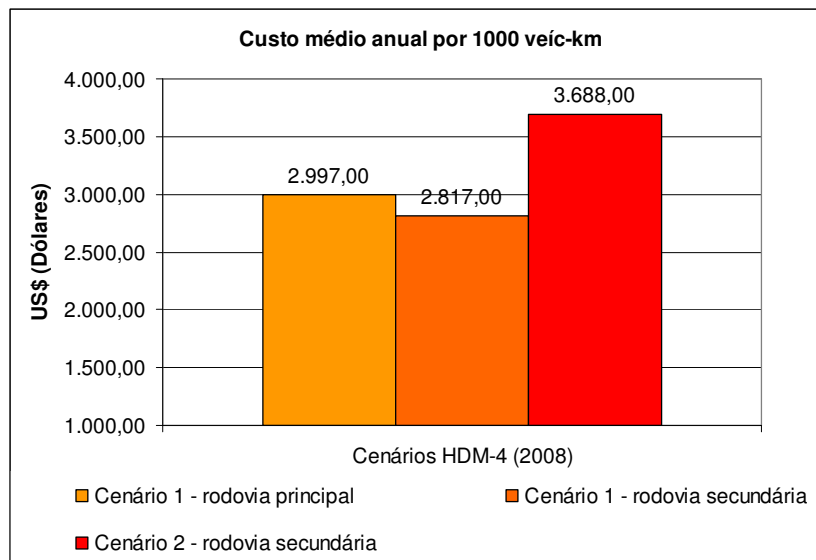


Figura 2. Custo médio anual por 1000 veic-km.

As Figuras 3 e 4 mostram o efeito da simulação do desvio do tráfego da rodovia principal para a rodovia secundária, na estrutura do pavimento, devido à ruptura da ponte. Os índices de desempenho escolhidos para esta análise foram a irregularidade longitudinal e área total

de trincas, respectivamente. Pela análise da Figura 3, pode-se perceber que houve um acréscimo na irregularidade longitudinal para o período de um ano de análise, da ordem de 10%, quando da mudança do cenário 1 para o cenário 2.

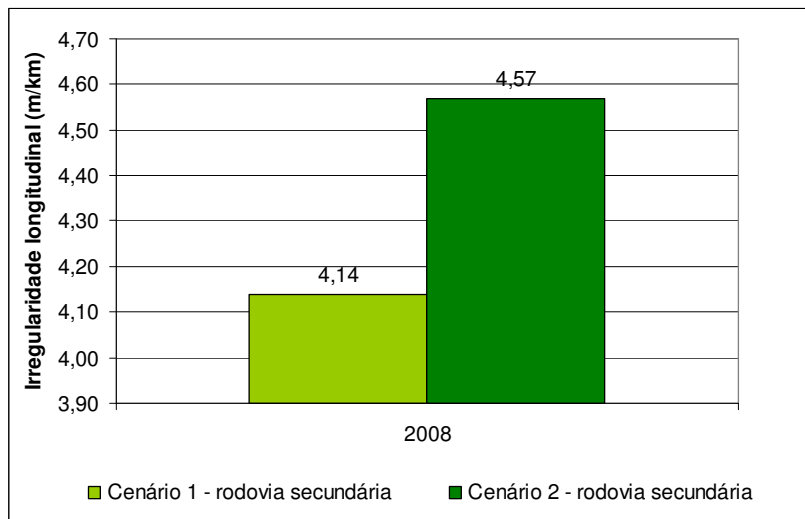


Figura 3. Efeito da simulação de cenários na irregularidade longitudinal do pavimento da rodovia secundária.

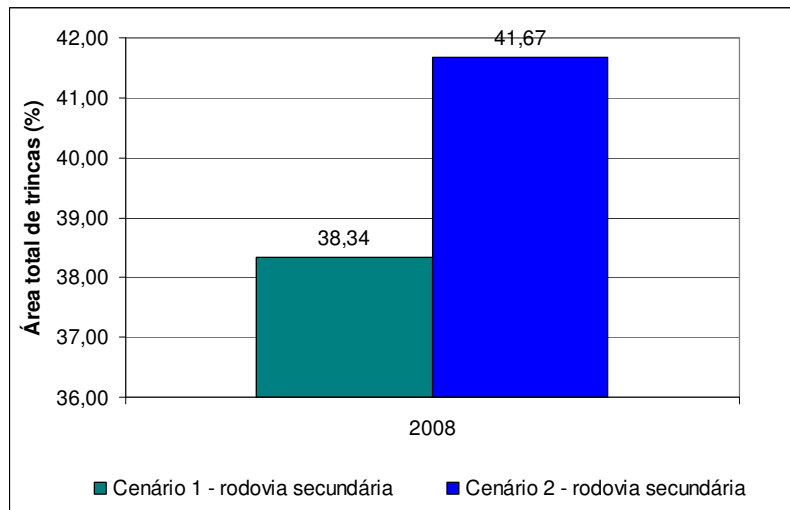


Figura 4. Efeito da simulação de cenários na área total de trincas do pavimento da rodovia secundária.

Pela análise da Figura 4, da mesma forma pode-se perceber que houve um acréscimo da área total de trincas da ordem de 9%, quando da mudança do cenário 1 para o cenário 2. O aumento do tráfego, associado ao tipo de estrutura e condições do pavimento da rodovia secundária, quando do início do desvio do tráfego, podem ter contribuído para a evolução acelerada tanto da irregularidade longitudinal quanto da área total de trincas no pavimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho discutiu a importância das OAE num sistema de vias e a necessidade de sua manutenção por meio de um conjunto de técnicas e procedimentos denominado Sistema de Gerência. Este trabalho realizou uma simulação cujo objetivo foi determinar o efeito nos custos dos usuários e os danos causados ao pavimento em uma rodovia que não foi construída para receber um acréscimo de tráfego emergencial desviado, devido a interrupção do tráfego em uma rodovia de maior capacidade ocasionado pela ruptura de uma ponte. A ferramenta computacional utilizada foi o HDM-4 e os resultados mostraram que houve um acréscimo considerável nos custos totais aos usuários que se utilizaram do desvio. A simulação também mostrou que ocorreu uma evolução acelerada das irregularidades e da área total de trincas no pavimento da rodovia utilizada como desvio para o período de análise.

6 REFERÊNCIAS

AASHTO (2001), Guidelines for bridge management systems, **American Association of State Highway and Transportation Officials**, AASHTO, Washington, D.C.

Aktan, A., Farhey, D., Brown, D., Dala, V., Helmicki, A., Hunt, V., and Shelley, S. (1996). Condition Assessment for Bridge Management, **Journal of Infrastructure Systems**, ASCE, 4 (3), pg. 108-117.

CNT (2007). **Pesquisa rodoviária 2007: relatório gerencial**. 160 p. – Brasília: Confederação Nacional do Transporte.

Deshmukh, P. (2006). **Data uncertainty in bridge management**. 44 p. Thesis (Master of Science) –University of Missouri-Columbia, Missouri, EUA.

DNIT (2004). Manual de inspeção de pontes rodoviárias, 2ª Ed. **Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes**, DNIT, Rio de Janeiro.

Elbehairy, H. (2007). **Bridge management system with integrated life cycle cost optimization**. 247 p. Thesis (Doctor of Philosophy in Civil Engineering) –University of Waterloo, Ontário, Canada.

FHWA (2006). Bridge inspector's reference manual, Volume 2. Report No. **FHWA NHI 03-002**. Washington, D.C.: United States Department of Transportation.

Haas, R.; Hudson, W. R. (1978). **Pavement management systems**. United States of America: McGraw-Hill Book Company, 457 p.

Mohamend, H. A. H. (1995). **Development of optimal strategies for bridge management systems**. 247 p. Thesis (Doctor of Philosophy in Engineering) – Faculty of Engineering, Carleton University, Ottawa, Canada.

Saito, M., Sinha, K. (1990). Data collection and analysis of bridge rehabilitation and maintenance costs, **Transportation Research Record**, 1276, pg. 72-75.

Vitório, J. A. P. (2008). Avaliação do grau de risco estrutural de pontes rodoviárias de concreto. **Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto** – CBC-, Salvador.