

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DE INTERVENÇÕES EM RODOVIAS CONCEDIDAS PARA OS USUÁRIOS DIRETOS

Vicente Correia Lima Neto

Daniel Rodrigues Aldigueri

Carlos Henrique Rocha

Yaeko Yamashita

Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes – CEFTRU

Universidade de Brasília - UnB

Eiji Kawamoto

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

O presente artigo apresenta a proposta de um método para quantificar o benefício ao usuário devido as intervenções realizadas nas rodovias concedidas. O método poderá servir aos corpos técnicos de agências estaduais e federais responsáveis pela concessão de rodovias como instrumento de tomada de decisão de investimentos destinados às rodovias concedidas. O índice Benefício do Usuário é composto por cinco critérios: Tempo de Viagem, Risco de Acidente, Custo Veicular, Conforto e Emissão de Poluentes. Realizou-se uma pesquisa piloto com a finalidade de ajustar o questionário e de obter a ponderação preliminar dos critérios. Concluiu-se que os pesos, estimados usando Método de Análise Hierárquica, apresentam valores consistentes com os esperados.

ABSTRACT

This paper presents a methodology for estimating the user benefit generated by improvements carried out on the roads concessions. This methodology can be useful to the technical staffs of state and federal agencies, which deal with road concession, for the prioritization of projects proposed to the roads. The User Benefit index is composed by five criteria: (1) Travel Time, (2) Accident Risk, (3) Vehicular Cost, (4) Comfort and (5) Pollutant Emission Rates. A pilot data collection was carried out in order to adjust the questionnaire and obtain the preliminary weights for the criteria. It was concluded that the weights, estimated by using Analytical Hierarch Process, present values consistent with the expected.

1. INTRODUÇÃO

Intervenções em infra-estrutura rodoviária sempre causam impactos na sociedade, tais como variação no tempo de viagem, no custo operacional de veículos, no conforto e na segurança; para os usuários, variação no nível de atividades econômicas, na coesão comunitária e na poluição ambiental para os não usuários, variação no nível de arrecadação de impostos para o governo, entre outros. Dentre as principais intervenções citam-se a construção e ampliação de rodovias (prolongamento, construção de terceira faixa de tráfego nos trechos em aclave, duplicação da pista, etc.), manutenção e conservação do pavimento e do sistema de drenagem, construção e reforma de pontes e viadutos, implantação e manutenção de barreiras e sinalizações, etc. Todas elas têm como finalidade o melhoramento da qualidade do serviço prestado ao usuário.

Diante de várias intervenções alternativas e das diferentes naturezas dos benefícios e dos custos associados a cada uma delas, técnicos de órgãos gestores da infra-estrutura rodoviária geralmente colocam as seguintes questões: 1) Quais intervenções devem ser realizadas em uma dada situação? 2) Quais intervenções devem ser priorizadas em caso de restrição orçamentária? 3) Qual será o benefício da intervenção? 4) Em que medida o benefício irá aumentar com a intervenção? Aqui não se está tratando de casos emergenciais como a queda de barreiras, alagamento de um trecho de rodovia, etc., em que a prioridade é restabelecer as condições operacionais na rodovia.

Para responder a essas questões, é necessário, em primeiro lugar, adotar um pressuposto de que os impactos gerados por intervenções atingem de diferentes maneiras os grupos da sociedade, e, por conseguinte, a percepção dos impactos e sua intensidade dependem do partido na análise. Desta forma, a compreensão da relação entre as intervenções em infraestrutura rodoviária e seus impactos sobre os diferentes componentes da sociedade, contribui para tornar o processo de decisão bastante objetiva, simples e transparente.

O partido deve ser adotado levando-se em conta o primeiro dos dois princípios básicos para a análise de projetos, sugeridos por Whol e Hendrickson (1984), que “os itens relevantes de *custo* ou *benefício* são aqueles fatores ou elementos específicos que são afetados por um projeto e valorados pelos que pagam a implantação do projeto”. Neste trabalho será adotado o ponto de vista do usuário de infraestrutura rodoviária porque ele condiz, ao menos em essência, com os modelos de concessão largamente adotados. Neste modelo, quer instituído pelo governo federal ou pelos governos estaduais, as intervenções em infraestrutura rodoviária são realizadas, em última análise, com recursos oriundos de pedágios, pagos pelos usuários diretos da rodovia. Quanto ao segundo princípio para a análise de projeto, os autores afirmam que “os itens de *custo* e *benefício* devem ser valorados em relação à importância e ao valor relativo que os indivíduos afetados atribuem a eles” (Whol e Hendrickson, 1984).

Considerando que o foco deste trabalho é a descrição da metodologia e a ponderação preliminar dos critérios, observa-se que o benefício total (objeto do método) deve ser calculado a partir de uma série de aspectos positivos ponderados, decorrentes de uma intervenção rodoviária e percebido por seus usuários diretos. Assim, pretende-se que o método constitua um instrumento de tomada de decisão de investimento pelas agências estaduais e federais responsáveis pela concessão de rodovias, identificando aquele que mais contribui para aumentar o benefício do usuário.

Este artigo é dividido em cinco seções, incluindo esta introdução. Na segunda seção foram revisados alguns trabalhos que tratam de impactos decorrentes da implantação de infraestrutura de transporte, com o objetivo de obter uma lista com impactos relevantes sob a ótica do usuário, além de visualizar a forma como os impactos são considerados na avaliação de projetos de transportes e os métodos utilizados para isso. A terceira seção apresenta a estrutura do método proposto, a forma de uniformizar as medidas dos impactos, o método empregado na avaliação dos impactos e o dimensionamento da pesquisa de campo para determinação dos pesos. Na quarta seção são apresentados os pesos preliminares dos impactos (importâncias relativas para os usuários), os quais foram obtidos através de pesquisa piloto realizada entre usuários de rodovia, além da análise dos resultados. Na última seção são realizadas as considerações finais e recomendações para a continuação da pesquisa.

2. IMPACTOS DE PROJETOS DE TRANSPORTE SOB A ÓTICA DO USUÁRIO

Nesta seção será feita uma breve revisão acerca dos impactos da implantação de um projeto de transporte, e como estes impactos são considerados no processo de avaliação. As finalidades da revisão são três: a) elaborar uma lista contendo os impactos relevantes sob a ótica dos usuários, entendendo como usuário o passageiro ou transportador de cargas que utiliza a infraestrutura de transporte em análise, conforme definido por Manhein (1977); b) levantar a forma como o conjunto de impactos intangíveis, decorrentes da implantação de

infra-estrutura de transporte, é considerado no processo de avaliação de projetos; e c) levantar o método empregado para avaliação dos impactos considerados na avaliação da intervenção.

No setor de transportes, os impactos de qualquer melhoramento introduzido em um sistema são medidos em relação à situação sem o melhoramento. Assim, quando se duplica uma pista, a redução no tempo de viagem, por exemplo, é mensurada em relação à rodovia de pista simples. Essa redução tende a se acentuar cada vez mais com o aumento do fluxo de veículos ao longo da vida útil da rodovia, pois se a rodovia continuasse com pista simples os veículos ficariam sujeitos a congestionamentos cada vez mais freqüentes. O mesmo raciocínio é aplicável ao custo operacional dos veículos que trafegam pela via. Haverá também variação no risco de acidente e no nível de poluição atmosférica. Além disso, o incremento na acessibilidade pode propiciar o desenvolvimento econômico da região.

Na coluna, Impactos Medidos, da Tabela 1, constam os principais impactos considerados em alguns países na avaliação de projetos de transportes. Os impactos assinalados em negrito são os que afetam diretamente os usuários da infra-estrutura de transportes, sendo observados para a construção da nossa metodologia. Nota-se ainda que alguns impactos no meio ambiente, decorrentes das intervenções na infra-estrutura rodoviária, geralmente são tratados como se afetassem apenas os não usuários. Contudo, estes podem ser atribuídos também aos usuários diretos, dependendo do nível de consciência ambiental destes.

Tabela 1 – Principais impactos de intervenções em infra-estrutura rodoviária

PAÍS	IMPACTOS MEDIDOS	MÉTODOS EMPREGADOS
Reino Unido (Bristow e Nellthorp, 2000)	Principais benefícios são a economia de tempo e a redução de acidentes . Fatores como os impactos econômicos regionais e ambientais são analisados em separados, contudo, sem um peso específico.	Utiliza o método de análise do tipo Benefício-Custo , com a aplicação do software COBA. Ainda, utiliza-se de técnicas de Análise Multi-Critério para estabelecer a estrutura da relação entre os objetivos da análise.
França (Quinet, 2000).	Lucro financeiro e coletivo, equidade, valor do tempo, segurança , meio ambiente (ruído, emissão de poluentes) e desenvolvimento econômico regional.	Aplicação de técnicas de Análise Multi-Critério (agregação dos resultados após a análise de cada parâmetro) para estabelecer o processo decisório a partir de Análise Benefício-Custo .
Alemanha (Hayagashi e Morisugi, 2000)	Redução dos custos de transportes , de manutenção da infra-estrutura, incremento da segurança e acessibilidade , efeitos espaciais (impacto no número de empregos ao longo da construção e operação da infra-estrutura) e impactos no meio ambiente.	Método utilizado baseado em Análise Benefício-Custo . Ao fim da análise, aplica-se um critério de eficiência , pelo qual se estabelece a priorização ou não do projeto no planejamento orçamentário.
União Européia (Brisow e Nellthorp, 2000)	Economia do tempo de viagem, redução de acidentes , impactos no meio ambiente e impactos sócio-econômicos.	Os métodos usualmente utilizados baseiam-se em técnicas de análise Benefício-Custo , complementadas, em alguns países, por técnicas de Análise Multi-Critério (fases preliminares da análise).
Japão (Hayagashi e Morisugi, 2000)	Principais benefícios são a economia de tempo, de custos e a redução dos acidentes . Inclui-se ainda a mensuração de impactos regionais e ambientais.	Análise Multi-Critério suplementada por uma Análise Benefício-Custo .
Estados Unidos (Hayagashi e Morisugi, 2000)	Principais impactos são o tempo de viagem e economia dos custos do transporte (usuário e agência), segurança , demanda induzida, poluição ambiental e ruído.	Recomenda-se a utilização de Análise Benefício-Custo . Possibilita a inserção de métodos de Análise Multi-Critério e Medidas de Efetividade .
Países em desenvolvimento (Talvitie, 2000)	Impactos: tempo de viagem, segurança, custos de operação e impactos ambientais.	Método empregado Análise Benefício-Custo , utilizando o HDM-4 (<i>software</i> desenvolvido pelo Banco Mundial).

O estudo de Hayagashi e Morisugi (2000) conclui que as agências de transporte de boa parte da Europa, do Japão e dos Estados Unidos possuem um senso comum quanto aos principais impactos e métodos empregados na análise de projetos de transporte. Quanto aos métodos de avaliação de projetos, a coluna Métodos Empregados da Tabela 1 mostra que a maioria dos países citados dá preferência à Análise Benefício-Custo (ABC) e usa os métodos de Análise Multi-Critério (AMC) para complementá-la.

Sayers *et al* (2003) também seguem essa mesma linha, aprimorando o estudo de Bristow e Nellthorp (2000) com a inclusão de NATA (*New Approach to Appraisal*). O NATA é um método AMC utilizado no Reino Unido para avaliar alternativas de projeto. Os principais impactos avaliados são o tempo de viagem, qualidade do ar, segurança e custo.

A partir da literatura especializada pode-se observar a recorrência de certos impactos presentes na análise, conforme destacado na Tabela 1. Tempo de viagem, segurança, emissão de poluentes, ruído e os custos decorrentes de tais projetos são impactos que constam nas avaliações de projetos nos mais diversos países. Com base nisto, os benefícios aos usuários da infra-estrutura rodoviária a serem considerados neste trabalho são: 1) economia no tempo de viagem; 2) redução no risco de acidente; 3) redução no custo operacional de veículos; 4) redução do desconforto do usuário; e 5) redução dos impactos no meio-ambiente. Estes serão discutidos detalhadamente na próxima seção.

3. ESTRUTURAÇÃO DO MÉTODO

A idéia básica do método proposto é estimar o benefício total sob a ótica dos usuários da rodovia, decorrente de intervenções em infra-estrutura rodoviária concedida. Considerando-se que o benefício total é função da magnitude dos cinco impactos parciais enumerados na seção anterior. No método é adotado o modelo aditivo com cinco termos, cada um correspondendo ao produto entre o valor de um benefício parcial e o seu peso relativo, o qual reflete a importância relativa do benefício parcial na percepção da satisfação total. Assim, o benefício total ao usuário será estimado através expressão matemática abaixo:

$$BU = \beta_1 ETV + \beta_2 RRA + \beta_3 RCV + \beta_4 ACF + \beta_5 REP \quad (1)$$

Onde: *BU* – Benefício total do usuário devido à intervenção.

ETV – Economia no tempo de viagem

RRA – Redução no risco de acidente.

RCV – Redução no custo operacional veicular

ACF – Aumento no conforto

REP – Redução na emissão de poluentes atmosféricos

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e β_5 – Pesos ou importância relativa dos benefícios parciais

O método é baseado em dois elementos fundamentais: a) conjunto de benefícios parciais; e b) conjunto de pesos relativos. A primeira etapa é a normalização do valor dos impactos, onde o valor 0 corresponde ao impacto nulo ou praticamente nulo, e valor 1 para o impacto “crítico”, considerando assim este intervalo. A situação “crítica” significa que qualquer valor acima deste é considerado insuportável pelos usuários. Portanto, a normalização será feita dividindo-se o valor do impacto pelo valor do impacto crítico.

Desta forma, pode-se dizer que o impacto de magnitude 1 é grave, qualquer que seja a modalidade de impacto e todos eles tornam comparáveis entre si. Assim, um impacto com

valor 0,9 é bastante elevado, independentemente de se tratar de tempo de viagem, custo operacional ou risco de acidente. Mas a redução de 0,9 para 0,8 no valor de impacto provoca diferente nível de benefício ao usuário, dependendo de qual seja o impacto considerado. O elemento que define o benefício proporcionado por uma dada redução é o peso ou a importância relativa que usuários atribuem a cada um dos impactos.

Ao fim, pode-se atribuir um valor monetário para a saída do benefício, tomando como referências as relações existentes entre as importâncias dos critérios, constatados no processo de ponderação. Esta relação permite a extrapolação do valor crítico normalizado do critério Custo Operacional Veicular para os demais, através da seguinte formulação:

$$V_{base} = (\beta_{base} / \beta_{COV}) \times (V_{nbase}) \times (V_{COV}) \quad (2)$$

Onde: V_{base} – Valor desnormalizado para o critério base

β_{base} – Peso calculado para o critério base em análise

β_{COV} – Peso calculado para o critério Custo Operacional Veicular

V_{nbase} – Valor normalizado para o critério base

V_{COV} – Valor desnormalizado para o critério Custo Operacional Veicular

Vale destacar que o procedimento refere-se a uma simples conversão dos índices dos critérios a um valor monetário, não caracterizando uma análise de benefício-custo tradicional. Este valor permitirá uma base de comparação entre as diversas situações de projetos, mas nunca uma saída definitiva ou realística do custo do benefício decorrente da intervenção.

3.1 Benefícios parciais

A seguir será discutida, para cada um dos impactos, a forma proposta para se estimar o valor do impacto, bem como o impacto crítico.

Tempo de Viagem

Tempo de Viagem consiste no tempo médio de viagem em minutos para o trecho rodoviário em análise. Deve-se calcular o tempo considerando o cenário atual e futuro, com a intervenção proposta implantada. O tempo médio de viagem atual será estimado através de pesquisa em campo, com veículos tipos em horário de pico, trafegando em trechos específicos. Para o cenário futuro, o tempo médio de viagem será obtido simulando a situação de tráfego futuro no trecho rodoviário em análise com intervenção. A simulação poderá ser feita usando o software *Integration* (Hakhs, 2004). Como o valor crítico será adotado o tempo de viagem com o trecho rodoviário operando em nível de serviço F, verificado através de simulação no *software*.

Risco de Segurança

Risco de Segurança refere-se a um índice no qual se podem enquadrar as situações de projeto ou reais das rodovias em uma escala de valor que reflete o risco atribuído pelos usuários para as mais diversas situações. Desta forma, tem-se um processo simples de estimar a segurança e a alteração desta pela intervenção em infra-estrutura rodoviária. Para o cálculo do risco propõe-se um método baseado no Método de Análise Hierárquica, na realização de uma pesquisa com os usuários diretos das rodovias concedidas e na Análise de Regressão – Métodos dos Mínimos Quadrados.

Nesta pesquisa, um questionário foi aplicado onde os usuários indicam o quão mais seguro é

uma rodovia em relação a uma outra, através de comparação de pares de fotografias que ilustram diferentes configurações da via (qualidade do pavimento, número de pistas, existência de 3ª faixa no trecho em active, qualidade do acostamento, qualidade da sinalização horizontal e vertical, elementos de proteção e relevo). O nível de risco é definido a partir do modelo gerado pela Análise de Regressão, no qual a variável explicativa consiste na nota dos usuários e as independentes nas configurações da via, descritas anteriormente. O processo resulta em um valor que quanto mais próximo de zero, menor o risco da situação.

Custo Operacional Veicular

Custo Operacional Veicular é definido como sendo o valor monetário gasto pelo usuário para trafegar pelo trecho de uma rodovia com seu veículo. Este custo abrange desde os derivados da operação como da manutenção da frota. Para o seu cálculo será empregado o *software Highway Design Management – Road User Effects* (HDM-RUE). Este programa calcula os efeitos para os usuários de trechos de rodovias segundo parâmetros como composição do tráfego, utilização do veículo, depreciação dos seus componentes entre outros fatores (Mallela, 2004). A análise é realizada por trechos homogêneos da rodovia, nos quais deverá ser alocado o tráfego para cada seção. Para a utilização desta técnica deve-se preceder a realização de uma pesquisa de tráfego volumétrica e classificada, durante 24 horas, para obter o comportamento do fluxo de veículos do caso analisado. O valor crítico será obtido para o mesmo trecho operando em nível de serviço F, através de simulação no HDM-RUE.

Conforto

O desconforto do usuário resume-se como sendo uma função do conforto ao rolamento na rodovia em análise. Para este fim, será utilizado o conceito de Índice de Serventia Atual que relaciona medidas objetivas (rugosidade do pavimento) à média das respostas subjetivas dos usuários em relação à condição de rolamento com conforto. Este método consiste na composição de equipes de avaliadores, que podem ser os próprios usuários da rodovia, que irão trafegar no trecho em análise para atribuir sua avaliação segundo sua percepção do percurso. Todo o procedimento e metodologia constam da norma 009/2003 - PRO (DNIT, 2003) e na 063/2004 – PRO (DNIT, 2004), que tratam da avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos e de pavimentos rígidos, respectivamente, as quais deverão ser seguidas na realização desta etapa.

Emissão de Poluentes Atmosféricos

O quinto e último critério refere-se a emissão de poluentes atmosféricos. A quantificação da emissão dos gases provenientes dos veículos automotores será empregado o *software* HDM-RUE aplicado aos dados de tráfego e características geométricas do trecho da rodovia em análise para se obter os índices de emissão de Hidrocarbonos (HC), Monóxido de carbono (CO), Óxido de Nitrogênio (NOx), Óxidos Sulfúricos (SOx), Chumbo (Pb) e PM calculados no modelo. Os valores da situação crítica serão adotados os índices calculados para a rodovia operando a um nível de serviço F, obtidos através da simulação no *software* HDM-RUE.

3.2 Determinação de pesos

A fim de compatibilizar os termos utilizados com as convenções estabelecidas na área de Análise Multi-Critério (AMC), os benefícios parciais serão doravante denominados critérios (Saaty, 1991). Conforme foi comentado anteriormente, considerando que os critérios influem de diferentes maneiras na percepção do benefício total, eles devem ser ponderados de tal maneira que reflitam essa influência o mais fielmente possível. A determinação desses pesos

será realizada através de AMC, que é uma série de técnicas desenvolvidas para ponderar vários critérios, inclusive os subjetivos, e contornar as dificuldades inerentes à tomada de decisão envolvendo um grande número de informações complexas (Dogdson *et al.*, 2000).

As técnicas de AMC, segundo Giorgi e Tandom (2000), podem ser agrupadas em estruturadas, análise de valor e recomendações para decisão. A primeira técnica estabelece metas para o problema, seleciona o critério para avaliação e prediz a *performance* das políticas de atratividade. A segunda estuda a atratividade dos impactos individuais e a importância relativa dos critérios para os atores envolvidos. Já a terceira técnica, dependendo da estrutura do problema, requer a realização de agregação e do ranqueamento das alternativas ou o isolamento, uma a uma, das soluções encontradas. Como exemplo de técnicas de análise de valor têm-se o Modelo Linear Aditivo (Furtado e Kawamoto, 1997) e o Método de Análise Hierárquica (MAH), este último desenvolvido por Saaty (1991).

Um passo importante para a aplicação de AMC é o processo de determinação dos pesos dos critérios. Por vezes AMC é contestada, pois em muitas de suas aplicações a atribuição dos pesos é de responsabilidade exclusiva dos técnicos envolvidos no processo, não refletindo à realidade da situação do problema (Sayers *et al.*, 2003). Mas essa prática pode ser facilmente corrigida dirigindo a aplicação da técnica àqueles cuja opinião interessa ao estudo.

Um exemplo de aplicação de metodologia que emprega o MAH, considerando tanto os técnicos quanto os usuários, foi o estudo desenvolvido pelo LASTRANS (2005), que desenvolve um modelo para avaliação do nível de desempenho das rodovias federais concedidas. A aplicação do MAH destinou-se ao cálculo da importância de determinados critérios, como pavimento, projeto, sinalização etc., utilizando as opiniões dos envolvidos.

Para o processo de ponderação dos atributos neste estudo foi aplicado o MAH para estabelecer a relação entre critérios, objetivos ou metas, segundo escala pré-definida, de modo que a responsabilidade de ponderação seja dos usuários da rodovia. Esta técnica pode ser utilizada para estabelecer medidas tanto para critérios tangíveis ou intangíveis (quantitativos e qualitativos), através da hierarquização do problema (Rabanni e Rabanni, 1996). Este instrumento permitirá, através de pesquisa com os usuários diretos das rodovias, o conhecimento da importância atribuída por estes aos critérios considerados relevantes à análise de forma hierárquica.

O processo inicial da aplicação deste método é o de se estabelecer a hierarquização do problema, que compreende três níveis: meta, critérios e alternativas (Saaty, 1991), para em seguida realizar comparações entre os pares. As comparações são realizadas de acordo com escala fundamental desenvolvida por Saaty (Tabela 2), na qual se pode representar qualquer conceito qualitativo – importância, risco, preferência etc – relacionando-o com uma escala numérica pré-determinada (intensidade de importância).

Há controvérsia quanto a essa escala. Pöyhönen *et al* (1997) concluíram que, fixando-se o valor 1 para a Mesma Importância e 9 para Importância Absoluta, a Importância Fraca de um sobre o outro, Importância Forte ou Essencial e Importância Muito Forte assumem o valor 1,30, 2,02 e 3,65, respectivamente, em vez de 3, 5 e 7 propostos por Saaty. Seja como for, por ser um método que permite tratar critérios e subcritérios estruturados hierarquicamente, o que muitas vezes é imprescindível para tornar a análise mais clara e mais detalhada.

As comparações entre dois critérios (A e B) resulta em um conceito C , que será convertido em valor, de acordo com a escala representada na Tabela 2, para construção da matriz M de comparação entre pares, a partir da qual serão calculados os pesos dos critérios. Um outro conceito que se faz necessário comentar refere-se à comparação inversa. Se a comparação de A em relação a B foi julgada como C , a recíproca é verdadeira, ou seja, B em relação a A é igual a $1/C$. Deste modo, será necessário um conjunto de $n(n-1)/2$ comparações para a construção da matriz, reduzindo a coleta de informações e conseqüentemente o tempo de aplicação da pesquisa de campo.

Tabela 2 – Escala Fundamental do Método de Análise Hierárquica

Intensidade de Importância	Definição	Explicações
1	Mesma importância.	Dois critérios contribuem em igual valor para um objetivo.
3	Importância fraca de um sobre o outro	Um critério é pouco mais importante que outro.
5	Importância forte ou essencial	Um critério é mais importante que o outro.
7	Importância muito forte	Um critério é mais importante que outro. Esta importância pode ser comprovada em termos práticos.
9	Importância absoluta	Um critério é visivelmente mais importante que outro. Esta importância é comprovada com certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	

Os pesos dos critérios são dados pelo autovetor da matriz de comparação, sendo que o autovetor é definido como um vetor que satisfaz a igualdade $MW = \lambda W$, onde M é a matriz de comparação, W é o autovetor e λ o autovalor da matriz M . Desde que se tenha a matriz de comparação M , os elementos de W bem como o valor de λ podem ser facilmente obtidos através de processo iterativo simples.

3.3 Definição da amostra

Esta pesquisa será aplicada aos usuários de rodovias concedidas, discriminados em duas classes de veículos: leves (VL) e pesados (VP). A pesquisa abrange os usuários diretos destas rodovias, pois o objetivo desta pesquisa é retratar a percepção do seu conjunto de usuários. Os usuários serão abordados em pontos de parada ao longo da rodovia, como postos fiscais e de combustíveis, para a realização da pesquisa.

Os sujeitos desta pesquisa são os usuários diretos de cinco rodovias concedidas denominadas, neste artigo de A, B, C, D e E. Em função dos custos envolvidos na pesquisa, foi adotado um esquema de amostragem aleatória estratificada, onde as concessionárias constituem os estratos e os usuários as unidades amostrais. Esta estratificação por concessionária teve como fim a percepção das peculiaridades regionais de cada uma, balanceando as variáveis de acordo com as diferenças existentes dos seus usuários.

Para a definição da amostra foi adotado um erro máximo tolerado de 0,075 e nível de confiança de 95%, sendo o tamanho da população o total de veículos que trafegam anualmente nas vias geridas por cada concessionária. A variável em análise pode ser considerada binária, com distribuição binomial e variância máxima igual a 0,5, pois o que se pretende estabelecer com o benefício é se o projeto é necessário ou não, de acordo com o resultado. Desta forma, o tamanho da amostra é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Determinação do tamanho da amostra

Nível de confiança de 95% e Erro Máximo de 0,075
--

Concessionárias	Tráfego Anual ¹	Variância	Tamanho da amostra	Proporção
A	8.146.743	0,5	171	20%
B	52.212.018	0,5	171	20%
C	12.023.310	0,5	171	20%
D	14.212.721	0,5	171	20%
E	6.286.221	0,5	171	20%
Total	92.881.013		855	100%

¹ ANTT, 2005

Destaca-se que se pretende obter uma amostra representativa dos usuários de cada concessionária, sendo desta forma os valores iguais para cada concessão. A amostra calculada foi de 171 eventos para cada uma, sendo acrescida de 29, já prevendo falhas de aplicações e possíveis substituições de questionários na pesquisa de campo. Há uma distribuição dos questionários aplicados, sendo 50% - motoristas de veículos leves (VL) e 50% - motoristas de veículos pesados (VP), a pesquisar em cada ponto de pesquisa. Ao fim, os critérios foram ponderados por pesos que refletem a realidade deste conjunto de concessões.

4. APLICAÇÃO DA PESQUISA PARA DETERMINAÇÃO DE PESOS

A aplicação piloto abordará apenas os pesos e não os valores dos impactos. O principal objetivo da aplicação foi o de conhecer as falhas que eventualmente possam existir no questionário, além de verificar o coeficiente de variação das respostas para confirmar ou não a suficiência do tamanho de amostra a ser coletada na pesquisa definitiva. Embora não tenha sido tratado neste artigo, a aplicação piloto realizou também a comparação entre pares de fotografia com a finalidade de estimar o risco de acidente atribuído por usuários a cada uma das configurações de trecho rodoviário.

O ponto escolhido para a realização da pesquisa piloto foi na rodovia BR-040, Saída Sul do Distrito Federal. Foram aplicados nesta pesquisa 40 questionários, distribuídos em 50% para veículos leves e 50% para veículos pesados. Foram escolhidos dois pontos ao longo desta rodovia, o posto fiscal na divisa entre os estado de Goiás e do Distrito Federal e um posto de combustível na BR-040.

Para fins de elaboração do questionário deste estudo e do processo de aplicação, tem-se a estrutura hierárquica descrita na Figura 1, destacando como meta o Benefício Total do usuário e os critérios estabelecidos conforme o método. O esquema desenvolvido é simples, não resultando em um grande número de comparações e sendo desnecessária a comparações entre as alternativas de projeto. A aplicação do método MAH, conforme objetivo traçado, é de encontrar a importância relativa de cada critério para o Benefício Total do usuário, transformando em pesos que serão multiplicados pelo valor dos benefícios parciais.

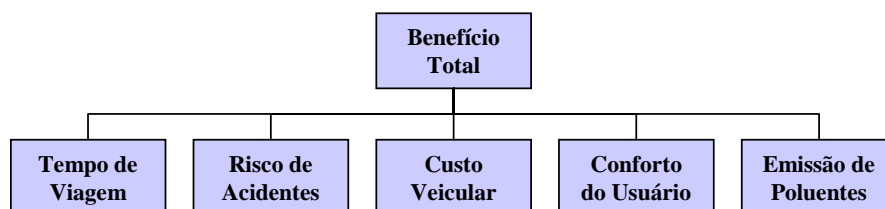


Figura 1 – Estrutura do método para avaliação dos benefícios dos usuários.

O questionário foi elaborado ciente das diversidades sócio-econômicas dos usuários das rodovias, procurando abordar diretamente os conceitos envolvidos nos critérios de

ponderação e na representação gráfica da escala desenvolvida por Saaty (1991). Em conjunto com a aplicação do MAH foram incluídas também informações sobre as características do usuário pesquisado, como renda, nível cultural, periodicidade de viagens etc, para montagem de banco de dados, posterior extrapolação dos valores para a amostra e realização de inferências futuras.

Cálculo Preliminar dos pesos

A partir da pesquisa piloto foi possível a aplicação do MAH para os dados obtidos. Mesmo que preliminarmente, os resultados são interessantes, tanto no que se refere à diferença entre os valores obtidos para usuários de veículos leves (VL) e de veículos pesados (VP), como na ordem de importância atribuída aos critérios por ambos os tipos de usuários.

A Tabela 4 apresenta o peso dos critérios calculado conforme tipo de usuário. Para os usuários de veículos leves a ordem de importância é a seguinte: 1) Risco de acidente; 2) Emissão de poluentes; 3) Conforto; 4) Custo veicular; e 5) Tempo de viagem, enquanto que para os usuários de veículos pesados, a ordem de importância dos critérios é como segue: 1) Risco de acidente; 2) Custo veicular; 3) Tempo de viagem; 4) Emissão de poluentes; e 5) Conforto.

Tabela 4 – Resultado preliminar da ponderação entre os critérios.

Critério	Importância VL	Importância VP	Importância Média Geral	Desvio Padrão VL	Desvio Padrão VP
Tempo de Viagem	0,0743	0,1690	0,1334	0,0806	0,1373
Risco de Acidente	0,4721	0,3875	0,4192	0,1372	0,1442
Custo Veicular	0,1354	0,1841	0,1658	0,0968	0,0669
Conforto	0,1437	0,1262	0,1328	0,1492	0,0766
Emissão de Poluentes	0,1746	0,1332	0,1487	0,1072	0,1057
Total	1,0000	1,0000	1,0000		

Embora a diferença não seja suficientemente grande para se afirmar cabalmente, a importância atribuída à emissão de poluentes deve depender do nível de consciência ambiental do motorista, e possivelmente ela seja função do volume de informação a que uma pessoa tem acesso. Os pesos relativos de 0,1746 e 0,1332 atribuídos, respectivamente, por motoristas de veículos leves e pesados, podem ser indicativos disso, mas somente uma pesquisa mais ampla poderá confirmar ou refutar essa hipótese.

Graficamente, quando os dados obtidos da aplicação da pesquisa piloto são plotados, houve uma maior variação dos valores para o critério Tempo de Viagem e Risco de Acidente (Figura 2). Quanto ao tempo de viagem parece que a variação na resposta se deve à dificuldade de o usuário compreender como ocorre a conversão da economia de tempo resultante de uma intervenção para o seu benefício. Já o Risco, a priori, varia conforme a avaliação da situação de perigo de cada um ao utilizar uma rodovia, modificando a opinião segundo as características do veículo do usuário e do seu modo de dirigir. Mas no geral, o resultado reflete as opiniões dos usuários entrevistados.

Enfim, como resultado da pesquisa preliminar, os valores obtidos mostraram-se condizentes com a revisão bibliográfica realizada. Com a concretização da pesquisa de campo nas cinco concessões rodoviárias indicadas, espera-se que os comportamentos dos usuários assemelhem-se com os da pesquisa piloto. Este fato resultaria numa economia de gasto e tempo para uma possível re-calibração do modelo, realizando ajustes em função do tempo de

aplicação ou do número de concessionárias em operação.

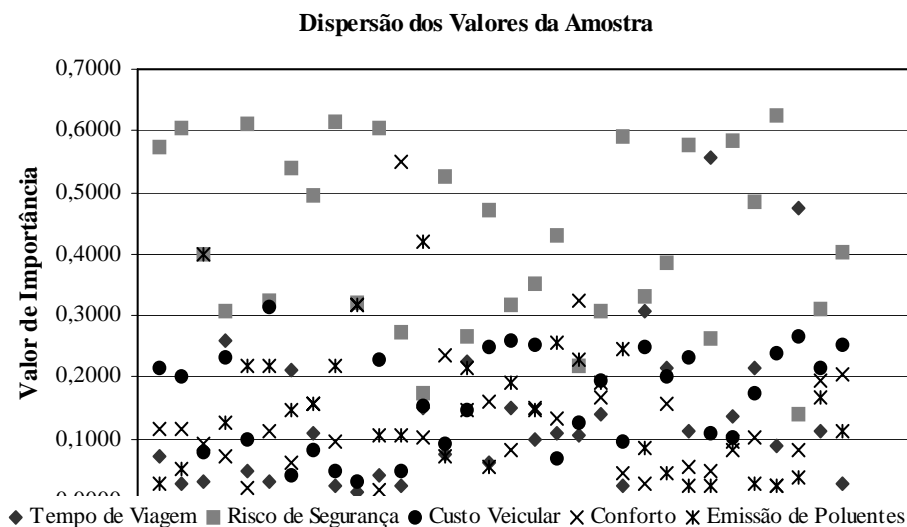


Figura 2 – Gráfico de dispersão do resultado da amostra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo busca detalhar etapa do cálculo preliminar dos pesos da metodologia desenvolvida para avaliar o benefício de intervenções rodoviárias, do ponto de vista dos usuários diretos de rodovias concedidas. Para isso foi realizada uma breve revisão acerca dos procedimentos de avaliação em outros países, que auxilia no estabelecimento dos critérios considerados relevantes para a análise (Tempo de Viagem, Risco de Acidentes, Custo Veicular, Conforto e Emissão de Poluentes) e dos métodos empregados para este fim (Análise Multi-Critério).

Apresenta-se o procedimento para estimar o Benefício do Usuário, com a descrição do desenvolvimento de cada elemento que o compõe. O foco dado neste artigo, além do desenvolvimento da metodologia, foi a ponderação dos critérios que compõe o benefício, através da aplicação do Método de Análise Hierárquica. Com a realização da pesquisa piloto, na qual foram aplicados 40 questionários, obteve-se o resultado preliminar dos fatores de ajustes do índice final bastante condizente com o esperado.

Para os usuários de veículos leves, a importância dos critérios assume a seguinte ordem: 1) Risco de acidente; 2) Emissão de poluentes; 3) Conforto; 4) Custo veicular; e 5) Tempo de viagem. E para os usuários de veículos pesados, a ordem de importância é: 1) Risco de acidente; 2) Custo veicular; 3) Tempo de viagem; 4) Emissão de poluentes; e 5) Conforto. Embora o tamanho reduzido da amostra não permita concluir com confiabilidade elevada, o resultado é interessante na medida em que mostra que o custo veicular não está entre as principais preocupações dos motoristas de veículo leve, enquanto fica patente que motoristas profissionais dão grande importância ao custo operacional veicular e à duração da viagem.

Ressalta-se, ainda, que a pesquisa encontra-se em desenvolvimento, com perspectiva de término em setembro de 2005. Resta ser realizada a pesquisa de campo para ponderação dos atributos e o consequente estudo de caso para validação da metodologia desenvolvida. A julgar pelos resultados da pesquisa piloto, o método deve constituir-se em um bom instrumento auxiliar para que o corpo técnico das agências estaduais e federais responsáveis

pelas concessões rodoviárias possam desempenhar satisfatoriamente a sua função, avaliando e comparando os diferentes projetos de intervenções previstos e, por conseguinte, identificando e determinando a priorização daquele que mais contribui para aumentar a satisfação do usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres (2005). *Anuário Estatístico 2004*.
- Bristow, A.L., Nellthorp, J. (2000). *Transport project appraisal in the European Union*. Transport Policy 7.
- DNIT (2003) Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *DNIT 009/2003 – PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos*. Rio de Janeiro.
- ____ (2004) Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *DNIT 063/2004 – PRO: Pavimento Rígido - Avaliação subjetiva - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ____ (2004) Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes.
<http://www.dnit.gov.br/rodovias/contagem/volumetrica/pesquisa.asp>>
- Dodgson, J. Spackman, M. *et al.* (2000). *Multi-Criteria Analysis Manual*. United Kingdom: Office of the Deputy Prime Minister.
- Furtado, N. Kawamoto, E. (1997) *Avaliação de Projetos de Transporte*. 1º Edição São Carlos: Ed. USP.
- Giorgi, L., Tandon, A. (2000). *The Theory and Practice of Evaluation*. Vienna: TRANSTALK Workshop.
- Hayashi, Y., Morisugi, H. (2000). *International comparison of background concept and methodology of transportation project appraisal*. Transport Policy 7.
- LASTRANS (2005) *Relatório Final – Desenvolvimento de modelo de avaliação do nível de desempenho das rodovias federais concedidas*. UFRGS, ANTT
- Mallela, R. (2004). *HDM-RUE Users Manual*. Nova Zelândia, HIMS
- Manheim, M.L. (1979) *Fundamentals of transportation systems analysis*. Cambridge: The MIT Press.
- Pöyhönen, M.E., Hämäläinen, R.P e Salo, A.A. An experiment on the numerical modeling of verbal ratio statements. *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, Vol 6, p.1-10.
- Quinet, E. (2000). *Evaluation methodologies of transportation projects in France*. Transport Policy 7.
- Rabbani, S.J., Rabbani, S.H. *Decisions in Transportation with the Analytic Hierarchy Process*. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- Rakha, H. (2004) INTEGRATION Release 2.30 for Windows: User's Guide, Volumes 1 e 2, Michel Van Aerde & Associates Ltd., Blacksbur, VA.
- Saaty, T.L. (1991). *Método de Análise Hierárquica*. MacGraw-Hill, São Paulo.
- Sayers, T.M., Jessop, A.T., Hilss, P.J. (2003). *Multi-criteria evaluation of transport options – flexible, transparent and user-friendly?* Transport Policy, 10, p.95-105.
- Talvitie, A. (2000). *Evaluation of road projects and programs in developing countries*. Transport Policy 7.
- Whol, M., Hendrickson, C. (1984). *Transportation investment and pricing principles: an introduction for engineers, planners and economists*. John Wiley & Sons. New York.

Vicente Correia Lima Neto (vicente@ceftru.unb.br)

Daniel Rodrigues Aldigueri (dra@ceftru.unb.br)

Carlos Henrique Rocha (chrocha.expertise@terra.com.br)

Yaeko Yamashita (yaeko@unb.br)

Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes – Universidade de Brasília (CEFTRU / UnB)

Campus Universitário Darcy Ribeiro. CEP: 70919-970. Brasília – DF / BR Fone: 61-33072058 Ramal 212

CAIXA POSTAL 04516

Eiji Kawamoto (eiji@usp.br)

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Paulo

Avenida Trabalhador São Carlense, 400, Centro.

CEP:13566-590. São Carlos – São Paulo / BR