

ARTIGO

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS ASSOCIADOS À QUALIDADE DOS PAVIMENTOS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE PREFERÊNCIA DECLARADA

Roberlaine Ribeiro Jorge

Departamento de Ciências Agrárias
Universidade Luterana do Brasil

Helena Beatriz Bettella Cybis

Luiz Afonso dos Santos Senna

Escola de Engenharia
Prog. de Pós-Graduação em Eng. de Produção
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

O objetivo deste artigo é identificar e quantificar o custo associado à qualidade da pavimentação no meio interurbano. O pressuposto é que a qualidade do pavimento exerce influência na definição dos padrões de viagem e, por conseguinte, deve ser integrada aos demais atributos da função de custo nos modelos de alocação de tráfego. Este trabalho apresenta uma metodologia com vistas a introduzir a influência deste parâmetro na modelagem da alocação de tráfego. Entre as principais conclusões extraídas dos experimentos realizados, destacam-se a comprovação da importância da qualidade da pavimentação no processo de escolha de rotas.

ABSTRACT

The aim of this paper is to identify the costs associated to the quality of road pavements in interurban areas. The main assumption in this work is that pavement quality may be an important issue in the definition of travel patterns and therefore should be in costs

functions of traffic assignment models. This work presents the methodology devised to include the effect of the pavement quality on traffic assignment models. The analysis of exploratory tests suggest that the quality of road pavements can play an important role in the route choice process.

1. INTRODUÇÃO

A malha rodoviária brasileira comparada com países de economia mais próspera, apresenta enormes diferenças em relação à homogeneidade e qualidade da pavimentação das suas vias. No Brasil, a rede rodoviária pavimentada representa apenas 9% do total das rodovias, sendo muito inferior a de países com dimensões similares. No Canadá por exemplo, este percentual é superior a 30% enquanto nos Estados Unidos da América está próximo dos 60%. As rodovias federais e estaduais respondem por aproximadamente 80% do total da malha rodoviária brasileira pavimentada, sendo que as rodovias federais recebem 65% de todo o fluxo de veículos no país, o que indica um alto índice de utilização destas rodovias (Equipe de Planejamento Estratégico da Shell Brasil, 1997).

A qualidade da pavimentação exerce papel de fundamental importância na economia, principalmente nos países em desenvolvimento. A precariedade da malha rodoviária brasileira implica no aumento do custo operacional das transportadoras, no nível dos acidentes e do consumo de combustíveis dos veículos.

Os modelos de alocação de tráfego, quando aplicados no contexto de países desenvolvidos, normalmente não consideram a qualidade do pavimento entre seus atributos, até porque a malha viária desses países é usualmente homogênea, diferentemente do Brasil e dos demais países em desenvolvimento. Entretanto, em redes viárias onde a qualidade do pavimento é heterogênea, esse atributo pode exercer papel importante na estimativa de padrões de viagem. Índícios da influência da qualidade da pavimentação na escolha de rotas dos usuários em áreas urbanas, já foram levantados em estudos anteriores (Cybis e Senna, 1996).

Segundo Achúteguay (1996) a regularidade da superfície é a característica mais apreciada pelo usuário, influenciando na comodidade, segurança e durabilidade do veículo. Estudo sobre os pedágios nas rodovias do Rio Grande do Sul, realizado pelo LASTRAN - Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN, 1998) indicou que tanto usuários de automóveis de passeio como de caminhões atribuem uma maior valorização à qualidade do pavimento do que outros atributos como qualidade da sinalização e serviços de socorro disponibilizados pelos operadores das rodovias.

A relação entre conforto e escolha das rotas pode ser comprovada em pesquisa realizada por Cybis e Senna (1996) onde foi possível concluir que os motoristas preferem vias asfaltadas devido as qualidades inerentes a este tipo de pavimento (conforto, menor desgaste do veículo) e não as características relativas a hierarquia da via, como por exemplo, vias com prioridade de circulação e mais largas em relação as demais. Esse estudo foi feito em área urbana onde as vias asfaltadas freqüentemente correspondem a vias de maior hierarquia e melhor sinalização.

2. METODOLOGIA PROPOSTA

Este artigo apresenta uma metodologia para identificar e quantificar o custo associado à qualidade do pavimento no meio interurbano para os usuários de automóveis. Para atingir os objetivos propostos, o estudo foi dividido em quatro etapas, conforme descrito a seguir:

- classificação dos pavimentos de acordo com a qualidade;
- avaliação do comportamento dos usuários em relação à qualidade do pavimento;
- definição do custo para cada categoria de pavimento; e
- avaliação da influência da qualidade dos pavimentos no processo de alocação.

2.1. Classificação dos Pavimentos de Acordo com a Qualidade

A classificação adotada neste estudo foi definida através de pesquisa com usuários e da análise de critérios técnicos utilizados na avaliação de pavimentos. Apesar da maioria das classificações técnicas adotarem cinco níveis de estratificação (tabela 1), optou-se pela

estratificação da qualidade do pavimento em três níveis. Um maior número de classes dificulta a classificação dos pavimentos por parte dos usuários. Essa terminologia pareceu ser adequada, haja vista, a observação de uma boa uniformidade da classificação do pavimento pelos diferentes usuários de uma mesma rodovia.

Tabela 1: Classificação das rodovias pavimentadas em função da qualidade do pavimento.

| Método CNT (CNT, 1998) | Método VIZIR | | Classificação Adotada |
|---------------------------|---|--|--------------------------|
| | Índice Global de Degradação (Autret e Brousse, 1992) | QI - Quociente de Irregularidade (Domingues, 1993) | |
| Ótimo | Bom | Ótimo | Bom |
| Bom | Médio | Bom | Regular |
| Deficiente | Péssimo | Deficiente | Ruim |
| Ruim | - | Ruim | - |
| Péssimo | - | Péssimo | - |

2.2 Avaliação do Comportamento dos Usuários em Relação à Qualidade do Pavimento

O comportamento dos usuários foi modelado de forma a representar os "trade-offs" entre qualidade do pavimento com a distância percorrida e o tempo de viagem, utilizando-se para este fim, técnicas de Preferência Declarada. O modelo adotado no estudo foi o Logit Multinomial.

A avaliação da qualidade do pavimento feita pelos usuários foi subjetiva, não sendo dada nenhuma orientação aos entrevistados. Foi observada uma grande correspondência entre as classificações de pavimento definidas pelos critérios técnicos e pelos usuários. Entretanto, estudos mais aprofundados sobre a correlação destas avaliações ainda são necessários.

Os dados necessários para construir o modelo que se deseja estimar foram obtidos em pesquisas realizadas nas cidades de Gramado-RS (Pesquisa Piloto) e Pelotas-RS (Pesquisa Principal) com questionários estruturados a partir de Técnicas de Preferência Declarada.

A pesquisa piloto é de fundamental importância na estruturação da pesquisa principal. A pesquisa definitiva é normalmente precedida por uma pesquisa piloto que possibilita a realização de alguns ajustes nos valores das variáveis utilizadas. Com a intenção de avaliar a percepção dos usuários à qualidade da superfície de rolamento, o experimento piloto foi definido conforme ilustra a tabela 2.

No experimento completo foram adotados cinco níveis para a variável distância (100, 110, 130, 150 e 200 km), quatro níveis para a variável tempo (15, 30, 45 e 60 minutos) e três níveis de qualidade do pavimento (bom, regular e ruim).

Tabela 2: Descrição dos níveis dos atributos pesquisados no teste piloto.

| Níveis dos Atributos | Variáveis Pesquisadas | | |
|----------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | Qualidade do Pavimento | Distância Percorrida (km) | Variação do Tempo de Viagem (minutos) |
| 1 | Bom | 100 | 15 |
| 2 | Regular | 110 | 30 |
| 3 | Ruim | 130 | 45 |
| 4 | - | 150 | 60 |
| 5 | - | 200 | - |

Os resultados da pesquisa piloto, trazem como principais conclusões e subsídios para a pesquisa principal os seguintes aspectos:

- O modelo oriundo da variável distância apresentou melhor performance que o da variável tempo, recomendando que a pesquisa principal seja modelada de modo a captar a disponibilidade dos usuários de trocar qualidade do pavimento por distância percorrida, e não por tempo de

viagem, simplificando desta forma o questionário da pesquisa principal;

➤ O fato do modelo estimado com a variável distância ter provado ser mais adequado para expressar o efeito do pavimento pode ser considerado como uma vantagem. A variável tempo geralmente está associada a outros fatores, independentes da infra-estrutura viária, como por exemplo, o nível de congestionamento.

➤ A estrutura apresentada pelo questionário da pesquisa piloto, não parece ser a mais adequada para determinar o custo de cada um dos três níveis de qualidade do pavimento (bom, regular e ruim). A formulação da pesquisa piloto, induz os entrevistados a interpretá-la como pedágio, enquanto a lógica proposta é a inversa, ou seja, quanto melhor a qualidade do pavimento, menor deveria ser o custo percebido pelo usuário para trafegar pela rodovia.

Normalmente as pessoas têm a tendência de associar custo de utilizar uma rodovia com a melhor qualidade do pavimento, ou seja, elas se dispõem a pagar para utilizar uma rodovia que apresenta melhor qualidade da superfície de rolamento. Esta linha de raciocínio segue a lógica do pedágio, diferentemente da proposta do estudo em questão. No caso da pesquisa proposta, pretende-se avaliar o quanto os usuários de rodovias do modal automóvel, estariam dispostos a pagar para diminuir a distância percorrida em três diferentes condições de qualidade do pavimento (bom, regular e ruim).

Isto implica em que os usuários levem em consideração no seu raciocínio alguns fatores como: desgaste do veículo, consumo de combustível, conforto e segurança. Por isso, o fato de percorrer uma distância menor num trecho com pavimento ruim em relação aos trechos regulares e bons passa a ser mais valorizado pelo usuário. A maior disponibilidade de pagar para reduzir a distância percorrida num trecho com pavimento ruim em relação aos regulares e bons, está principalmente na economia que o usuário obterá na comparação com os custos referentes ao desgaste do veículo e consumo de combustível.

Alguns cuidados tiveram que ser adotados na elaboração da pesquisa principal, a fim de evitar que os usuários interpretassem o custo como disponibilidade em pagar pedágio, já que a proposta da pesquisa era oposta a lógica do pedágio. Portanto, a pesquisa principal foi montada de maneira que fosse avaliado, o quanto as pessoas estariam dispostas a pagar para reduzir a distância percorrida sob uma determinada condição de pavimentação, no caso bom, regular e ruim.

A pesquisa principal foi definida conforme ilustra a tabela 3.

Tabela 3: Níveis dos atributos pesquisados na pesquisa principal.

| Níveis dos Atributos | Variáveis Pesquisadas | | |
|----------------------|------------------------|---------------------------|-------------|
| | Qualidade do Pavimento | Redução da Distância (km) | Preço (R\$) |
| 1 | Bom | 0 | 0,00 |
| 2 | Regular | 20 | 1,00 |
| 3 | Ruim | 50 | 3,00 |
| 4 | - | - | 5,00 |

No experimento completo foram adotados três níveis para a variável redução da distância (0, 20 e 50 km), quatro níveis de preço (R\$0,00/ R\$1,00 / R\$3,00 / R\$5,00) e três níveis de qualidade do pavimento (bom, regular e ruim) totalizando 18 respostas por cada um dos sessenta (60) entrevistados. Esta estruturação da pesquisa, visa captar o quanto os usuários estariam dispostos a pagar, para reduzir a distância percorrida em cada um dos três níveis de qualidade de pavimentos considerados.

O questionário apresentado na pesquisa principal, foi formulado de modo que os entrevistados respondessem três perguntas de controle e uma quantitativa, conforme ilustra a figura 1.

Pesquisa SP (Preferência Declarada) - Local : Pelotas-RS

Entrevistado nº _____

1) Qual o local de origem da sua viagem :

2) Como você classifica o pavimento da(s) estrada(s) utilizada(s) no seu deslocamento à Pelotas?

| | | | | |
|---|----------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> São Lourenço – Pelotas | BR – 116 | <input type="checkbox"/> BOM | <input type="checkbox"/> REGULAR | <input type="checkbox"/> RUIM |
| <input type="checkbox"/> Canguçu – Pelotas | BR – 392 (471) | <input type="checkbox"/> BOM | <input type="checkbox"/> REGULAR | <input type="checkbox"/> RUIM |
| <input type="checkbox"/> Rio Grande – Pelotas | BR – 392 (471) | <input type="checkbox"/> BOM | <input type="checkbox"/> REGULAR | <input type="checkbox"/> RUIM |
| <input type="checkbox"/> Pedro Osório – BR-116 | RS – 706 | <input type="checkbox"/> BOM | <input type="checkbox"/> REGULAR | <input type="checkbox"/> RUIM |
| <input type="checkbox"/> Alto Alegre – Capão do Leão | BR – 293 | <input type="checkbox"/> BOM | <input type="checkbox"/> REGULAR | <input type="checkbox"/> RUIM |
| <input type="checkbox"/> Camaquã – Cristal | BR – 116 a | <input type="checkbox"/> BOM | <input type="checkbox"/> REGULAR | <input type="checkbox"/> RUIM |
| <input type="checkbox"/> Crista – São Lourenço do Sul | BR – 116 b | <input type="checkbox"/> BOM | <input type="checkbox"/> REGULAR | <input type="checkbox"/> RUIM |

3) Respostas

| Cartão | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Sim | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Não | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4) Você teve alguma dificuldade para responder o questionário ? SIM NÃO

Figura 1: Questionário aplicado na pesquisa principal.

A pesquisa foi conduzida, de forma que os entrevistados respondessem a seguinte questão: *A partir da qualidade do pavimento, você estaria disposto a pagar para reduzir a distância percorrida?* Três modelos de cartões utilizados na pesquisa principal, são mostrados nas figuras 2, 3 e 4.

| | | | |
|---|---------|------------------------|-----|
| Você aceita pagar para reduzir a distância percorrida? | | Qualidade do Pavimento | |
| | | BOM | |
| Trecho = 100 km Redução da Distância | Preço | SIM | NÃO |
| 20 km | R\$1,00 | | |

Figura 2: Cartão apresentado aos entrevistados com a resposta 1.

| | | | |
|---|---------|------------------------|-----|
| Você aceita pagar para reduzir a distância percorrida? | | Qualidade do Pavimento | |
| | | REGULAR | |
| Trecho = 100 km Redução da Distância | Preço | SIM | NÃO |
| 20 km | R\$1,00 | | |

Figura 3: Cartão apresentado aos entrevistados com a resposta 2.

| | | | |
|---|---------|------------------------|-----|
| Você aceita pagar para reduzir a distância percorrida? | | Qualidade do Pavimento | |
| | | RUIM | |
| Trecho = 100 km Redução da Distância | Preço | SIM | NÃO |
| 20 km | R\$1,00 | | |

Figura 4: Cartão apresentado aos entrevistados com a resposta 3.

As respostas dos entrevistados, refletem as hipóteses de escolha apresentadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Hipóteses de escolha base.

| Variáveis | Situações Base | | |
|---------------------------|----------------|---------|------|
| | Bom | Regular | Ruim |
| Qualidade do Pavimento | | | |
| Redução da Distância (km) | 0 | 0 | 0 |
| Preço (R\$) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Distância Percorrida (km) | 100 | 100 | 100 |

Tabela 5: Hipóteses de escolha alternativa.

| Variáveis | Situações Base | | | | | |
|---------------------------|----------------|----|---------|----|----|------|
| | Bom | | Regular | | | Ruim |
| Qualidade do Pavimento | | | | | | |
| Redução da Distância (km) | 20 | 50 | 20 | 50 | 20 | 50 |
| Preço (R\$) | 1 | 3 | 5 | 1 | 3 | 5 |
| Distância Percorrida (km) | 80 | 50 | 80 | 50 | 80 | 50 |

As hipóteses de escolha para o entrevistado, referente a resposta 1 (figura 2), por exemplo, são as seguintes:

Hipótese Base :

- Pavimento: Bom
- Redução da Distância: 0 km
- Preço: R\$0,00
- Distância Percorrida: 100 km

Hipótese Alternativa :

- Pavimento: Bom
- Redução da Distância : 20 km
- Preço :R\$1,00
- Distância Percorrida: 80 km

2.3 Definição do Custo Atribuído para cada Categoria de Pavimento

Os dados levantados nas entrevistas foram utilizados na estimação de modelos comportamentais para as três categorias de pavimento. A partir destes modelos foram definidos os custos por quilômetro percebidos pelos usuários para cada tipo de pavimento.

2.3.1 . Estimação dos Modelos

A estimação dos modelos comportamentais resultantes da pesquisa de campo principal foi realizada utilizando-se o pacote computacional ALOGIT (Hague Consulting Group, 1991). As tabelas 6, 7 e 8 apresentam os resultados dos modelos estimados para os pavimentos de qualidade boa, regular e ruim.

Tabela 6: Resultados do modelo estimado para pavimento bom.

| Variáveis | Parâmetros | Estatística <i>t</i> |
|-------------------------|------------|----------------------|
| Redução da distância | 0,04581 | 4,8 |
| Preço | - 0,6265 | - 6,7 |
| Constante | 0,8570 | 2,1 |
| Verossimilhança | - 200,7307 | - |
| ρ^2 | 0,1898 | - |
| Número de observações | 330 | - |
| Número de entrevistados | 60 | - |

Tabela 7: Resultados do modelo estimado para pavimento regular.

| Variáveis | Parâmetros | Estatística <i>t</i> |
|-------------------------|------------|----------------------|
| Redução da distância | 0,04499 | 4,8 |
| Preço | - 0,7934 | - 8,5 |
| Constante | - 0,6993 | - 1,8 |
| Verossimilhança | - 228,5204 | - |
| ρ^2 | 0,2541 | - |
| Número de observações | 330 | - |
| Número de entrevistados | 60 | - |

Tabela 8: Resultados do modelo estimado para pavimento ruim.

| Variáveis | Parâmetros | estatística <i>t</i> |
|-------------------------|------------|----------------------|
| Redução da distância | 0,04320 | 4,4 |
| preço | - 0,8714 | - 8,3 |
| constante | -2,167 | - 4,8 |
| verossimilhança | - 209,3497 | - |
| ρ^2 | 0,2708 | - |
| Número de observações | 330 | - |
| Número de entrevistados | 60 | - |

Nos três modelos, o coeficiente da variável *redução da distância* apresentou valor positivo, como esperado, pois quanto maior a redução da distância maior será a Utilidade desta alternativa, e o coeficiente da variável *preço* apresentou valor negativo, também esperado, já que, quanto maior o preço menor será a Utilidade da alternativa, o que indica um desprazer para o usuário associado ao aumento do custo da viagem. A estatística *t* obtida para todos os parâmetros indica serem os mesmos significativos com 95% de confiança, a exceção do caso do pavimento regular, que apresenta um nível de confiança de 90%.

O ρ^2 , que indica o “goodness of fit” do modelo, apresentou valores iguais a 0,1898, 0,2541 e 0,2708, para os modelos estimados para pavimento bom, regular e ruim respectivamente. Os valores de ρ^2 obtidos nos três modelos, podem ser considerados aceitáveis para pesquisas baseadas em Técnicas de Preferência Declarada (Ortuzar e Willumsen, 1994; Ortuzar, 1982).

2.3.2 A Taxa Marginal de Substituição

Baseado na teoria da demanda do consumidor, a taxa marginal de substituição de X por Y (TMS_{XY}) refere-se à quantidade de Y que o consumidor está disposto a reduzir para ganhar uma unidade adicional de X e, ainda permanecer sobre a mesma curva de indiferença. A taxa marginal de substituição da distância, associado à qualidade do pavimento, representa o parâmetro, que caracteriza a

ponderação atribuída pelos usuários a qualidade do pavimento frente à distância.

A estimativa da taxa marginal de substituição da distância para os três níveis de qualidade do pavimento (bom, regular e ruim), foi obtida por analogia da obtenção do valor do tempo.

Segundo Senna (1991, 1994a e 1994b) na teoria de transportes, com base nos conceitos clássicos de custo marginal, o conceito do valor do tempo marginal, que nada mais é, senão, a disponibilidade do consumidor de pagar para economizar uma unidade de tempo durante a jornada de uma viagem. Em outras palavras, a um acréscimo unitário no custo, qual é o acréscimo no tempo. A partir deste conceito, pode-se obter a função do valor do tempo, definida na equação 1.

$$VT = \frac{\frac{\partial U}{\partial t}}{\frac{\partial U}{\partial C}} \quad (1)$$

em que VT: valor estimado do atributo tempo; $\partial U/\partial t$: derivada parcial da utilidade em relação ao atributo tempo; e $\partial U/\partial C$: derivada parcial da utilidade em relação ao custo.

Por analogia, pode-se obter a taxa marginal de substituição da distância, que é :

$$Vd = \frac{\frac{\partial U}{\partial d}}{\frac{\partial U}{\partial p}} \quad (2)$$

em que Vd: valor estimado do atributo distância; $\partial U/\partial d$: derivada parcial da utilidade em relação ao atributo distância; e $\partial U/\partial p$: derivada parcial da utilidade em relação ao preço.

Para definir o custo por quilômetro, tomou-se por base uma rodovia com pavimento bom e determinou-se o custo para os demais níveis de qualidade do pavimento (regular e ruim), conforme mostra a tabela 12.

As tabelas 9, 10 e 11, mostram as utilidades marginais das variáveis preço e redução de distância, assim como as taxas marginais de substituição de cada uma das variáveis, para cada um dos três níveis de qualidade de pavimentos considerados no estudo.

Tabela 9: Utilidades Marginais e Taxas Marginais de Substituição – Pavimento Bom.

| Variáveis | Parâmetros |
|--|------------|
| Utilidade Marginal da Redução da Distância (UM_{RD}) | 0,04581 |
| Utilidade Marginal do Preço (UM_P) | - 0,6265 |
| Taxa Marginal de Substituição (TMS_{D-P}) = UM_P / UM_{RD} | -13,6761 |
| Taxa Marginal de Substituição (TMS_{P-D}) = UM_{RD} / UM_P | -0,073120 |

Tabela 10: Utilidades Marginais e Taxas Marginais de Substituição – Pavimento Regular.

| Variáveis | Parâmetros |
|--|------------|
| Utilidade Marginal da Redução da Distância (UM_{RD}) | 0,04499 |
| Utilidade Marginal do Preço (UM_P) | - 0,7934 |
| Taxa Marginal de Substituição (TMS_{D-P}) = UM_P / UM_{RD} | -17,6350 |
| Taxa Marginal de Substituição (TMS_{P-D}) = UM_{RD} / UM_P | -0,056705 |

Tabela 11: Utilidades Marginais e Taxas Marginais de Substituição – Pavimento Ruim.

| Variáveis | Parâmetros |
|--|------------|
| Utilidade Marginal da Redução da Distância (UM_{RD}) | 0,04320 |
| Utilidade Marginal do Preço (UM_P) | - 0,8714 |
| Taxa Marginal de Substituição (TMS_{D-P}) = UM_P / UM_{RD} | -20,1713 |
| Taxa Marginal de Substituição (TMS_{P-D}) = UM_{RD} / UM_P | -0,049575 |

A Utilidade Marginal representa a contribuição unitária da variável na Utilidade Total da alternativa. No caso do pavimento bom, os valores encontrados foram 0,04581 e - 0,6265, para a variável redução de distância e preço, respectivamente. Como vimos anteriormente, o sinal negativo encontrado, representa que a variável preço contribui negativamente (não desejada pelo usuário), enquanto a redução de

distância contribui positivamente na Utilidade da alternativa (desejável pelo usuário).

No que se refere a Taxa Marginal de Substituição, a interpretação dos valores é a seguinte: estes valores significam que os usuários estariam dispostos a pagar R\$1,00 a mais para reduzir a distância de 13,7 km (bom), 17,6 km (regular) e 20,2 km (ruim) no trajeto de 100 km considerado na pesquisa de Preferência Declarada. Por outro lado, podemos dizer que os usuários estariam dispostos a pagar R\$0,073 (bom), R\$0,057 (regular) e R\$0,050 (ruim) para reduzir 1 km do seu trajeto.

Tabela 12: Custo por quilômetro (CPK) relativo, utilizado na função de custo generalizado.

| Variáveis | Qualidade do Pavimento | | |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Bom | Regular | Ruim |
| TMS _{D,P} | 13,6761 km/R\$ | 17,6350 km/R\$ | 20,1713 km/R\$ |
| Distância | (100-13,6761) | (100-17,6350) | (100-20,1713) |
| Final | 86,3239 km | 82,3650 km | 79,8287 km |
| Custo por Quilômetro | (R\$1,00÷86,3239 km) R\$0,0116 /km | (R\$1,00÷82,3650 km) R\$0,0121 /km | (R\$1,00÷79,8287 km) R\$0,0125 /km |
| Relativização dos Custos | (0,0116÷0,0116) 1,00 | (0,0121÷0,0116) 1,05 | (0,0125÷0,0116) 1,08 |

O raciocínio feito para chegar aos custos relativos de 1,00, 1,05 e 1,08 para os pavimentos de qualidade boa, regular e ruim, respectivamente, foi o seguinte:

- Se os usuários estão dispostos a pagar R\$1,00 para reduzir 13,7 km de um trajeto que originalmente tinha 100 km de extensão com o pavimento em estado bom, podemos dizer que eles estariam dispostos a pagar R\$1,00 para percorrer 86,3 km ao invés de 100 km;
- Se os usuários estão dispostos a percorrerem 86,3 km por R\$1,00, pode-se dizer que o custo do quilômetro do pavimento bom

atribuídos pelos usuários é de R\$0,0120 por quilômetro percorrido;

- A mesma lógica foi seguida para a obtenção dos custos de R\$0,0121 e R\$0,0125 por quilômetro, quando o pavimento encontra-se em estado regular e ruim, respectivamente; e
- O valor de 1,00 (\$/km) para o pavimento bom, significa que o usuário não terá nenhum custo adicional de utilizar um segmento com esse pavimento, além da distância. O custo adicional de 5 e 8%, obtidos para os segmentos com pavimento regular e ruim, respectivamente, é devido à relativização em relação ao custo com pavimento bom.

3. INTRODUÇÃO DO COEFICIENTE DO CUSTO POR QUILÔMETRO (CPK) NO MODELO SATURN

A malha viária brasileira assim como de outros países em desenvolvimento é constituída por uma rede com qualidade de pavimentação bastante heterogênea, apresentando trechos diferenciados ao longo de uma mesma rota. A qualidade do pavimento é, portanto, uma característica inerente a cada arco da rede. Como consequência, os parâmetros de custo por quilômetro identificados na seção anterior, não podem ser incluídos de forma indiscriminada em funções de custo generalizado, os valores de CPK precisam ser associados a arcos específicos.

Tradicionalmente, modelos de alocação de tráfego incluem na função de custo generalizado, o tempo de viagem e a distância percorrida. Este trabalho propõe uma estrutura na qual seja possível introduzir parâmetros relativos à qualidade da pavimentação no processo de alocação de rotas através da utilização do modelo SATURN.

O modelo SATURN (Simulation & Assignment of Traffic in Urban Road Networks) foi desenvolvido na Universidade de Leeds, Inglaterra (Van Vliet, 1982). O SATURN incorpora duas fases: uma de simulação detalhando os atrasos nas interseções acoplada a uma outra fase, de alocação, que determina as rotas selecionadas pelas viagens da matriz origem-destino.

Os processos de alocação de tráfego de modelos estratégicos multimodais, como TRIPS (Thompson, 1993), freqüentemente permitem a associação de um valor monetário ao custo do arco para contabilizar elementos como o custo da tarifa de transporte público, por exemplo. Modelos de alocação de tráfego voltados estritamente a modelagem de um modo, como o caso do modelo SATURN, normalmente só possibilitam discriminação dos arcos através de características operacionais como velocidade e capacidade.

Em condições usuais, a função de custo generalizado utilizada no modelo SATURN pode ser representada pela equação 3, onde os parâmetros PPM e PPK são definidos a partir da calibração do modelo.

$$C = \text{PPM} \cdot T + \text{PPK} \cdot D \quad (3)$$

Sendo: C: custo da viagem;
PPM: parcela do custo da viagem associada ao tempo, expresso em unidades monetárias por minuto;
T: tempo de viagem;
PPK: parcela do custo da viagem associada à distância, expresso em unidades monetárias por quilômetro; e
D: distância da viagem.

A inclusão dos coeficientes relativos às três categorias de pavimentos, requer a utilização de uma função de custo generalizado diferenciada, que contabilize distâncias percorridas em arcos de diferentes categorias. A equação 4, apresenta a forma através da qual é possível modelar no SATURN redes com diferentes qualidades de pavimento, utilizando os coeficientes de custo por quilômetro apresentados anteriormente.

$$C = \text{CPM} \cdot T + \text{CPK}_1 \cdot D_1 + \text{CPK}_2 \cdot D_2 + \text{CPK}_3 \cdot D_3 \quad (4)$$

Sendo: C: custo total da viagem;
CPM: custo (\$/minuto);
T: tempo total de viagem;
CPK₁ : custo (\$/km) em rodovias com pavimento bom;

- D_1 : extensão total percorrida (km), em pavimento bom;
 CPK_2 : custo (\$/km), em rodovias com pavimento regular;
 D_2 : extensão total percorrida (km), em pavimento regular;
 CPK_3 : custo (\$/km) em rodovia com pavimento ruim; e
 D_3 : extensão total percorrida (km), em pavimento ruim.

A estrutura convencional de custo generalizado descrita na equação 3, não exige grande preocupação no sentido de garantir que os valores monetários absolutos associados a PPM e PPK estejam corretos. Bons resultados são assegurados pela correta proporção entre os dois coeficientes. Entretanto, a introdução de outros elementos na função de custos, requer um maior cuidado na determinação dos coeficientes (Milne e Van Vliet, 1993). Considerando as dificuldades na determinação de valores precisos para os coeficientes associados ao custo do tempo e distância, esta metodologia propõe a relativização dos parâmetros de custo dos pavimentos das diversas categorias. Desta forma, custos de tempo e distância podem ser calibrados de forma a atender as especificidades dos estudos e adequar o modelo à realidade.

Testes preliminares com o modelo SATURN usando alocação por equilíbrio sugerem que a consideração da qualidade do pavimento pode ter um impacto significativo no processo de escolha de rotas, principalmente nos casos onde o tráfego alocado é inferior a capacidade dos arcos. Entretanto, estudos adicionais, particularmente em condições mais realistas, ainda são necessários.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma metodologia para avaliar e quantificar a influência da qualidade do pavimento no processo de escolha de rotas em viagens interurbanas para usuários de automóveis.

Através de pesquisa realizada com usuários de rodovias no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, foram estimados coeficientes associados ao custo por quilômetro rodado para diferentes qualidades de pavimento.

Este artigo também sugere uma estrutura que incorpora estes coeficientes no modelo de alocação de tráfego SATURN, através de modificações na função usual de custo generalizado.

Deve-se, entretanto, ressaltar que os coeficientes de custo por quilômetro aqui apresentados foram estimados através de técnicas de Preferência Declarada. Nas entrevistas, os usuários foram perguntados sobre o valor que estariam dispostos a pagar para reduzir a distância de viagem, sob determinada condição de pavimentação. Os custos estimados incorporam os fatores negativos associados à baixa qualidade dos pavimentos. Estes fatores provavelmente incluem o aumento no tempo de viagem decorrente da redução de velocidade. Neste tipo de abordagem é necessário, portanto, cuidado na definição das características operacionais dos arcos para não haver uma super avaliação da influência da redução de velocidade. Uma melhor avaliação destes coeficientes requer uma ampla aplicação prática.

As pesquisas de Preferência Declarada mostraram que o custo de utilizar uma rodovia com pavimento regular é 5% maior que o custo de uma rodovia com pavimento bom e nas rodovias com pavimento ruim o custo é 8% superior.

Os resultados obtidos mostraram-se bastante elucidativos quanto ao impacto influência da qualidade do pavimento no processo de alocação. Contudo, não seria prudente extrapolar os coeficientes do custo por quilômetro percorrido (CPK) referentes ao tipo de pavimento para outras localidades, já que cada região possui as suas particularidades quanto à população e as características da rede rodoviária.

Uma investigação mais ampla do comportamento dos usuários e das características da rede rodoviária, decerto permitirá uma melhor avaliação dos coeficientes de custo por quilômetro (CPK) ora determinados.

Por fim, cabe salientar, que apesar de existirem algumas fontes de incertezas na estimativa dos coeficientes da qualidade do pavimento, referentes ao custo por quilômetro (CPK) percorrido nos arcos, os

mesmos parecem estar de acordo com as expectativas criadas face aos dados atualmente disponíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achúteguay, F. (1996) II Jornadas sobre Características Superficiales de los Pavimentos. Revista de la Asociacion Tecnica de Carreteras, n. 57, Noviembre-Diciembre, p. 42-43.
- Autret, P. e J.L. Brousse VIZIR – Método Con Ayuda de Computador para la Estimación de Necesidades en el Mantenimiento de una Red Carretera. Versión española de la edición de octubre, 1992.
- Ben-Akiva, M. e S.R. Lerman (1993) Discrete Choice Analisis, 4ª ed. London: MIT press 390p.
- Confederação Nacional de Transportes - CNT . Pesquisa Rodoviária da Confederação Nacional de Transportes, 1997. Disponível por WWW em <http://www.cnt.org.br> (10 de julho de 1998).
- Cybis, H.B.B. e L.A.S. Senna (1996) A influência das Condições de Pavimento na Escolha de Rotas no Meio Urbano. Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Brasília, v. 1, p. 127-135.
- Domingues, F.A.A. Mirr- Equipamento Rebocado, para Medição da Irregularidade dos Pavimentos de Estradas e Aeroportos. SED - Indústria e Comércio de Equipamentos Mecânicos Ltda. 1993.
- Equipe de Planejamento Estratégico da Shell Brasil. (1997) Cenários para o Setor de Transportes no Brasil. Transportes, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p. 09-36, novembro de 1997.
- LASTRAN – Laboratório de Sistemas de Transportes (1998). Avaliação do Impacto da Implantação de Concessões nas Rodovias do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.
- Milne, D.S. e D. Van Vliet (1993) Implementing Road User Charging in SATURN. ITS – Institute of Transport Studies. The University of Leeds, December 1993 – Working Paper 410.
- Ortuzar, J.D. (1982) Fundamentals of Discrete Multimodal Choice Modelling. Transport Reviews, n .1, p. 47-78
- Ortuzar, J.D. e L.G. Willumsen (1994) Modelling Transport. 2ª. ed., England : Chichester, 375p.

- Senna, L.A.S. (1991) Risk of Delays, Uncertainty and Traveller's Valuation of Travel Time Variability. European Transport, Highways & Planning. PTRC 19 th Summer 9-13 september 1991. Annual University of Sussex, England Meeting, p. 265-275.
- Senna, L.A.S. (1994a). The Influence of travel time variability on the value of time. Transportation, n. 21, p. 203-228.
- Senna, L.A.S. (1994b) User's response to travel time variability. Leeds : Institute for Transport Studies, Department of Civil Engineering. The University of Leeds, 1994 a. 222p. PhD. Thesis.
- Thompson, R. (1993) The TRIPS package: recent developments - User Group Meetings reported by, MVA Systematica. Traffic Engineering and Control. December 1993, p. 612-615.
- Van Vliet, D. SATURN - A Modern Assignment Model. Traffic Engineering and Control, 1982. n. 23, p. 578-581.

Endereço dos autores:

Escola de Engenharia - UFRGS

LASTRAN - Laboratório de Sistemas de Transportes

Praça Argentina, 9. Sala 408.

CEP 90040-020 Porto Alegre – RS

e-mail: helenabc@vortex.ufrgs.br

lsenna@vortex.ufrgs.br

roberlaine@myway.com.br