

QUANTIFICAÇÃO DO EFEITO DAS CONDIÇÕES DE CIRCULAÇÃO NO PROCESSO DE ESCOLHA DE PERCURSOS, EM ECONOMIAS EMERGENTES

André Duarte¹, Miguel Silva¹

¹VTM – Consultores, Linda-a-Velha, Portugal, andre.duarte@vtm.pt; miguel.silva@vtm.pt

Sumário (Estilo: Sumário – 10, Bold)

O planeamento de sistemas de transportes em geral assenta sempre em cenários de procura que devem antecipar a realidade da sua operação futura. Tendo em vista uma caracterização fundamentada da procura futura expetável numa rede rodoviária é essencial incluir e estimar os principais parâmetros que influenciam o comportamento dos condutores no processo de escolha de percursos.

Este artigo apresenta a aplicação de modelos de escolha discreta para estimar os coeficientes integrantes da função utilidade (custo generalizado) relevantes para parametrizar os modelos de previsão de tráfego, nomeadamente a variabilidade do Valor do Tempo, isto é, da pré disposição do condutor para pagar pela diminuição do tempo de viagem. Releva-se a importância deste tipo de análises no processo de apoio a decisões de investimento ou de gestão de sistemas rodoviários, debruçando-se sobre dois casos de estudo: Área Metropolitana de Maputo, Moçambique e rede viária no interior do Estado de São Paulo, Brasil.

Palavras-chave: impactes económicos; análise custo-benefício; viabilidade; transportes; investimentos

1 INTRODUÇÃO

Um dos elementos chave do desenvolvimento de modelos de previsões de tráfego rodoviário consiste no processo de afetação da procura pelas diversas vias disponíveis para realizar a viagem. Assume-se que o condutor maximiza a utilidade de um determinado caminho minimizando o seu custo em termos de tempo de viagem, custos operacionais e portagens pagas e maximizando as perceções positivas, como qualidade / conforto do pavimento, existência de via dupla e assistência em viagem. No entanto, a valoração dos atributos de viagem, bem como a perceção às diferentes condições de viagem, não é homogénea entre os condutores de uma mesma rede. É comum, e significativa, haver heterogeneidade entre diferentes classes de veículos, distâncias de viagem, bem como segundo características sócio demográficas e geográficas dos condutores ou utilizadores.

Em geral, os condutores tendem a escolher percursos, que maximizam a utilidade e / ou minimizam a perceção individual do custo, sendo este normalmente uma função do tempo de viagem, dos custos de operação dos veículos e das portagens (quando existem). Cada infraestrutura de transporte tem características próprias que condicionam o comportamento dos seus utilizadores, pelo que será lícito assumir que algumas das suas características podem ter um impacto significativo sobre a escolha do percurso e a disponibilidade para aceitar um custo adicional (portagem) pela sua utilização.

Este artigo, apresenta a metodologia base utilizada para estimar os coeficientes integrantes da função utilidade (custo generalizado) relevantes para incluir nos modelos de previsão de tráfego e a variabilidade do Valor do Tempo, isto é, da pré disposição do condutor para pagar pela diminuição do tempo de viagem, debruçando-se sobre os resultados de dois casos de estudo: Área Metropolitana de Maputo, Moçambique e rede viária no interior do Estado de São Paulo, Brasil. Para além de apresentar as componentes clássicas - tais como tempo e custos monetários diretos – estes modelos incluem uma variável “representante” das condições de condução, que se revela muito importante no processo de modelação da escolha de percursos.

Em ambos os exercícios são apresentadas segmentações da procura, já que ambos os modelos tiveram uma heterogeneidade significativa no que se refere à preferência entre diferentes classes de veículos, relativamente à distância e de motivos de viagem.

Por fim, consolida-se a importância deste tipo de análise para um processo de decisão de investimento ou gestão de sistemas rodoviários de transporte.

2 METODOLOGIA DE ANALISE

Os **modelos de escolha** têm como principal finalidade explicar a interação entre os diferentes atributos de um serviço/produto no seu processo de escolha, permitindo a valorização de cada atributo face ao respetivo custo. No caso dos sistemas de transporte, esta metodologia é amplamente utilizada para caracterizar diversos processos de escolha, seja do modo de transporte a utilizar ou do caminho a realizar.

Os modelos de escolha discreta assentam no conceito que cada produto/serviço tem uma utilidade latente para cada utilizador, sendo que este terá uma preferência pelo produto/serviço com utilidade maior. Ao indicar uma escolha, o utilizador indica qual dos produtos/serviços possui maior utilidade para ele. Um exercício de calibração da utilidade como função dos atributos característicos do produto/serviço permite avaliar o peso/valoração de cada atributo no processo de escolha, caracterizando assim o processo de escolha.

Este exercício de modelação comportamental é executado sobre uma base de dados de escolhas, incluindo os valores de cada atributo definido como característico do produto/serviço para cada alternativa disponível, como a escolha do utilizador face a esses mesmos atributos. As escolhas integrantes da informação de base podem ser:

- **Preferência Declarada** – São apresentadas alternativas simuladas e o utilizador exprime a sua preferência face aos valores apresentados.
- **Preferência Revelada** - São registadas as escolhas reais dos utilizadores face aos produtos/serviços disponíveis no mercado.

Para efeitos de modelação do processo de escolha do caminho no uso de transporte rodoviário é recomendada a realização de pesquisas de preferências declaradas, permitindo uma melhor caracterização do processo, devido a natural falta de variabilidade das escolhas reais.

Os modelos de utilidade variável (*Random Utility Models*), ou modelos de escolha discreta, têm como base a estimativa da utilidade associada a cada alternativa (equação 2.1), como função de variáveis explicativas (atributos e variáveis socio-demográficas), através das escolhas dos utilizadores.

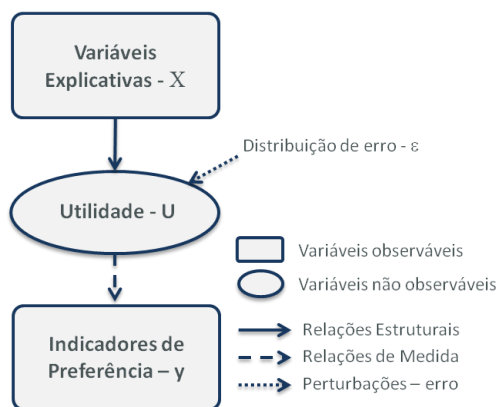


Fig.1. Conceptualização dos modelos de escolha

Relação estrutural:

$$U_{in} = V(X_{in}; \beta) + \varepsilon_{in} \quad 2.1$$

U_{in} utilidade da alternativa i [$i=1, \dots, J_n$] para o indivíduo n [$n = 1, \dots, N$]

X_m vector de variáveis explicativas/ atributo da alternativa i e indivíduo n .

β vector de parâmetros/coeficientes de preferência a calibrar.

V parcela determinística da utilidade, sendo uma função das variáveis explicativas e dos parâmetros de preferência

ε_{in} erro aleatório associado a i e a n , seguindo uma distribuição específica $\varepsilon_n \sim D(\theta_\varepsilon)$

Definida a função utilidade a testar, a calibração do modelo consiste num processo de máxima verosimilhança que estima os coeficientes de cada atributo que maximizam a probabilidade das escolhas presentes na base de dados / amostra se realizarem, assumindo a probabilidade de escolha como:

$$P(i | X_n; \beta, \mu) = \frac{e^{\mu V(X_n; \beta)}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu V(X_n; \beta)}} \quad 2.2$$

Esta formulação de probabilidade é utilizada na calibração de um modelo do tipo Logit.

Após a calibração da função utilidade e dos respetivos coeficientes é possível analisar os possíveis *trade-offs* entre atributos. Ou seja, levar a cabo a **valorização dos atributos**, i.é. qual o valor do atributo A que um utilizador está disposto a abdicar para obter mais do atributo B, de modo a manter a sua percepção de utilidade do produto/serviço. No caso dos sistemas de transportes, o valor do tempo de viagem poupado é talvez o exemplo mais importante deste género de *trade-offs*: Quanto está um utilizador disposto a pagar para poupar uma unidade de tempo de viagem. Estas relações quando analisadas face a coeficientes de custo, representam a valoração económica de um atributo no processo de escolha.

$$ValorAtributo = \frac{\beta_{Atributo}}{\sum \beta_{Custos}} = \frac{Utilidade/Atributo}{Utilidade/\epsilon} = \epsilon/Atributo \quad 2.3$$

Informação detalhada sobre a aplicação de métodos de preferência declarada pode ser encontrada em (Ben-Akiva and Lerman 1985, Carson, Louviere et al. 1994, Ben-Akiva, McFadden et al. 1999, Hensher, Rose et al. 2005) Avanços recentes em teoria da escolha discreta permitem a estimativa da distribuição de um ou mais coeficientes, o que fornece informações úteis sobre a variabilidade de comportamentos, atributos e percepções (McFadden and Train 2000, Hensher and Greene 2003) .

3 CASO ESTUDO – MAPUTO, MOÇAMBIQUE

O presente caso de estudo foi parte integrante do estudo de projeções de tráfego e de receitas para o projeto rodoviário da Estrada Circular de Maputo, considerando a cobrança de portagens aos utilizadores. Este projeto de investimento contempla um conjunto de vias, num total de 6 Troços, localizados na Região Metropolitana de Maputo¹.

Com o objetivo de caracterizar a oferta e a procura do sistema rodoviário da região e de estimar um valor ótimo da tarifa de portagem foi realizada uma campanha exaustiva de trabalhos de campo. Estes trabalhos – englobando contagens classificadas, inquéritos de preferência revelada e de preferência declarada, realizados à beira da estrada e nas praças de portagem – decorreram durante duas semanas.

Para o desenvolvimento do inquérito de preferências declaradas foram preparados diversos cartões.

| Escolha 1 | | |
|---|--|--|
| Imagine que tem dois caminhos para fazer 20 km . Uma viagem semelhante a Estádio Zimpeto -Maputo Centro ou Matola - Maputo Centro . Qual é que escolhia? | | |
| | Caminho A | Caminho B |
| Tempo de Viagem (h:mm) | 0:25 | 0:25 |
| Custo com Combustível | 75 Mt | 75 Mt |
| Custo com Portagens | 40 Mt | 10 Mt |
| Estado da Estrada | 20km - Nova, pavimento bom 0km - Antiga, pavimento ruim | 0km - Nova, pavimento bom 20km - Antiga, pavimento ruim |

Figura 2 – Exemplo de Cartão de Preferências Declaradas

Cada cartão continha duas combinações de atributos para a realização de uma viagem: tempo de viagem, custo com combustível, valor da portagem e indicação da presença de estrada não pavimentada para uma certa classe de distância da viagem. No exemplo apresentado, pedia-se que fosse considerada uma viagem de 20 km.

¹ [Estrada Circular de Maputo](#) na wikipédia (visitado a 11-03-2015).

A inclusão do atributo “Estado da Estrada” na alternativa apresentada permitiu incorporar e diferenciar o efeito da presença de uma estrada não pavimentada no processo de escolha de um caminho. Antecipou-se que este efeito teria particular importância numa rede viária em desenvolvimento, com uma significativa presença e utilização de estradas não pavimentadas, ou com o pavimento degradado, como a rede viária da região em que se inserem as vias em estudo. Esta formulação permitiu estimar uma penalização média por km, que represente o custo percebido pelos condutores da circulação em estradas com mau pavimento, à parte dos acréscimos de tempo de viagem / redução de velocidade inerentes.

Foram gerados 40 cartões diferentes, para cada classe de veículo, Ligeiros e Pesados, e para cada uma das 3 classes de distância: 20, 40, 200 quilómetros. Cada condutor respondia a um cartão por classe de distância (3 escolhas), para a classe de veículo correspondente ao veículo utilizado. (Hensher, Rose et al. 2005)

A aplicação do desenho ortogonal garantiu uma representatividade dos estímulos (variações de cada atributo) na amostra recolhida, testando assim a reação média a cada atributo apresentado, aumentando a eficácia do exercício de modelação posterior. (Shinghal 2002, Fowkes 2007)

O inquérito de preferências declaradas foi integrado nos inquéritos de levantamento de procura, de modo a permitir o cruzamento da informação de motivo e restantes características do condutor e da sua viagem. Para tal, cada inquérito Origem/Destino e de caracterização da viagem tinha impresso um número de perfil, gerado aleatoriamente, que indicava qual o perfil de 3 escolhas a apresentar ao condutor. Este processo garantiu uma distribuição uniforme de todos os cartões de escolha gerados na amostra recolhida. A fotografia seguinte exemplifica o portfólio com todos os perfis de escolha, utilizados nos trabalhos de campo.

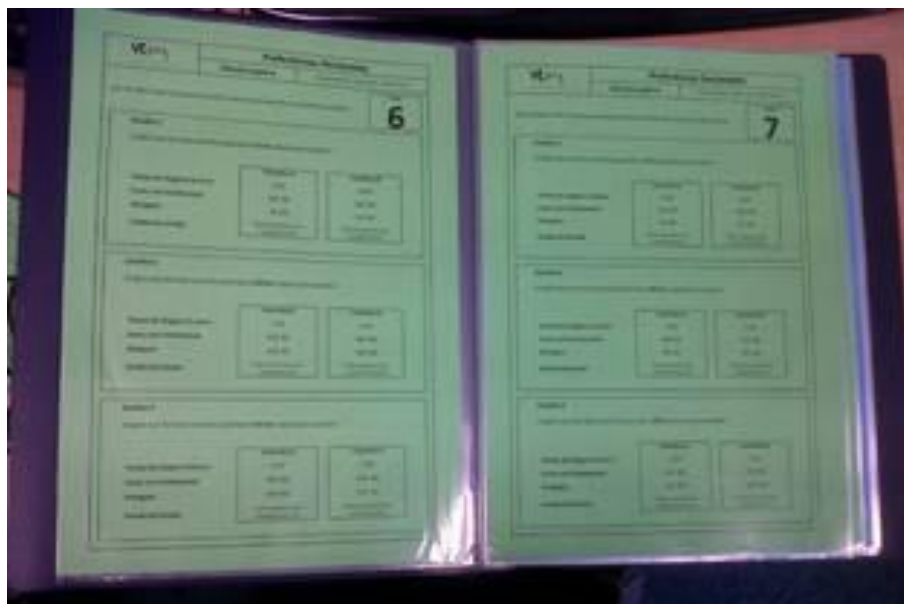


Figura 3 – Valores Base dos Atributos das Preferências Declarada

Os resultados dos trabalhos de campo permitiram construir uma base de dados de escolhas, ou seja, fazer corresponder os valores dos atributos de cada caminho apresentado a cada condutor, às respetivas características de viagem e à escolha efetuada.

Foram validados 3 904 inquéritos a condutores de veículos ligeiros e 1 051 inquéritos a condutores de veículos pesados a circular em eixos pertinentes da rede viária de Maputo. A dimensão da amostra permitiu assegurar uma elevada fiabilidade para uma análise segmentada por motivo de viagem para os veículos ligeiros.

A modelação de escolha discreta foi executada com recurso ao *software* Biogeme (Bierlaire 2003), desenvolvido pela *École Polytechnique Fédérale de Lausanne*, tendo sido testados modelos do tipo Logit Multinomial, que

assumem uma distribuição de Gumbel para o erro associado à função utilidade, isto é, para a parte não observada da função utilidade. A função utilidade calibrada foi a seguinte (equação 3.1):

$$U_i = \begin{bmatrix} \beta_{\text{Tempo Viagem}} \\ \beta_{\text{Custo Portagem}} \\ \beta_{\text{Custo Combustível}} \\ \beta_{\text{Estado Estrada}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Tempo Viagem} \\ \text{Custo Portagem} \\ \text{Custo Combustível} \\ \text{Estado Estrada} \end{bmatrix} + \varepsilon \quad 3.1$$

, onde β corresponde aos coeficientes da combinação linear dos atributos apresentados e ε é a parcela não observada da utilidade (erro).

A calibração foi realizada através da maximização da verosimilhança da amostra obtida, ou seja, maximizando a probabilidade teórica das escolhas efetuadas resultarem da função utilidade proposta. A tabela seguinte resume os resultados dos modelos calibrados para cada segmentação testada:

| | Veículos Leigos | | | Veículos Pesados |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Casa-Trabalho | Lazer | Serviço | |
| Tipo de Modelo | Mixed Multinomial Logit | Mixed Multinomial Logit | Mixed Multinomial Logit | Mixed Multinomial Logit |
| Número de Parâmetros Estimados | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Número de Observações | 1187 | 1538 | 1179 | 1051 |
| Log Versomilhança de Modelo Nulo | -822766 | -1066060 | -817221 | -728498 |
| Log Versomilhança Inicial | -822766 | -1066060 | -817221 | -728498 |
| Log Versomilhança Final | -643378 | -766775 | -581210 | -575301 |
| Rho Quadrado: | 0,218 | 0,281 | 0,289 | 0,21 |
| Rho Quadrado Ajustado | 0,211 | 0,275 | 0,281 | 0,202 |
| Coefficientes | Valor (t-test) | Valor (t-test) | Valor (t-test) | Valor (t-test) |
| Custo Combustível | -6,03 (4,42) | -6,70 (5,14) | -3,98 (3,2) | -3,39 (2,7) |
| Custo Portagem | -11,10 (4,92) | -8,83 (4,34) | -5,01 (2,6) | -3,83 (1,91) |
| Troço de Estrada de Terra | -8,51 (6,9) | -12,20 (8,16) | -12,30 (6,91) | -9,25 (6,18) |
| Tempo de Viagem | -26,90 (5,21) | -26,90 (5,54) | -24,70 (4,93) | -13,50 (3,71) |
| Valor do Tempo (Mt / Hora) | 157 | 173 | 275 | 187 |
| Disposição para pagar por estrada Pavimentada (Mt/km) | 5,0 | 7,9 | 13,7 | |

Quadro 1 – Resultados do Exercício de Preferências Declaradas

Salienta-se a coerência do sinal de todos os coeficientes estimados, já que, como seria de esperar, o aumento de qualquer atributo testado contribui negativamente para a utilidade da escolha. De um modo geral, os coeficientes estimados são estatística e significativamente diferentes de zero.

Refere-se ainda a importância do estado da estrada, mais especificamente da presença de estradas não pavimentadas ou de pavimento danificado no processo de escolha de caminhos aqui analisado. A variável em causa apresenta valores de significância estatística elevados, tendo confirmado as expectativas da elevada percepção e do valor da qualidade do pavimento na escolha do caminho.

4 CASO ESTUDO – S. PAULO, BRASIL

Neste caso, a Concessionária de um conjunto de vias rodoviárias do Estado de São Paulo tinha a obrigação contratual de duplicar um conjunto de corredores, dentro de um determinado prazo. A questão colocava-se na utilidade de antecipar, ou não, essas duplicações, considerando o diferencial da tarifa permitida entre ambas as configurações, e o impacto absoluto que essa alteração poderia ter nos níveis de receita absoluta. Na prática, pretendia-se perceber o impacto da ampliação nos níveis de procura e se a antecipação do investimento se repercutiria positivamente ao nível das receitas de portagem da Concessão.

Para esse fim, foram realizados inquéritos de preferências em 8 postos de combustível adjacentes às diversas rodovias que compõem a malha concessionada, durante um período de dez dias, garantindo uma correta dispersão da amostra por toda a rede em termos de localização geográfica da procura. Em cada posto de inquérito foram instalados dois operadores e um computador portátil com a aplicação informática desenvolvida especificamente para este trabalho. Todos os operadores tiveram formação prévia para a condução do trabalho.

Foi desenvolvida uma aplicação em Microsoft Visual Basic como plataforma para realização de inquéritos. Este inquérito de preferências declaradas foi constituído por três partes:

1. Caracterização da viagem do utilizador (origem, destino, motivo, frequência, categoria, etc...);
2. Caracterização do condutor (sexo, idade, escalão de rendimentos, posse do veículo, variabilidade do comportamento);
3. 5 Exercícios de preferência declarada focados nos *trade-offs* de: Tempo de viagem; Custo de portagem; Custo de combustível; e Distância em via dupla

A geração dos exercícios de preferência declarada foi realizada a partir das características de viagem indicadas na primeira parte do inquérito. A aplicação continha uma base de dados de custos de portagem, estimativa de custos de combustível, tempos de viagem e distância em via dupla para cada classe de veículo (nº de eixos), por município de origem e destino no estado de São Paulo. Foram ainda incluídos os estados vizinhos a São Paulo como origens e destinos possíveis.

De modo a realizar um controlo de qualidade sobre as respostas obtidas, foram ainda incluídas duas combinações dominantes entre as 25 combinações possíveis. Apresenta-se de seguida um exemplo de um exercício de preferência declarada:

| | Caminho A | Caminho B |
|-------------------|---|--|
| Tempo de Viagem | 1h 00min | 1h 20min |
| Custo Combustível | R\$ 18.00 | R\$ 18.00 |
| Custo Pedágio | R\$ 15.50 | R\$ 11.90 |
| Tipo de Pista | 99 km em pista dupla 0 km em pista simples | 65 km em pista dupla 35 km em pista simples |

Figura 4 – Exemplo de um exercício PD

O recurso a um suporte informático permite a gravação automática dos dados de todas as respostas efetuadas em formato digital, não permitindo respostas em falta. No final de cada dia de pesquisa os dados foram exportados em formato MS Excel e centralizados num ponto de contacto único de modo a controlar quotas e rendimentos da pesquisa. O exercício de modelação consistiu a estimar as funções de utilidade de escolha que melhor simulam e representam os exercícios efetuados pelos condutores nesta pesquisa. A função utilidade pode ser representada na forma da equação 4.1.

$$U_i = \sum_{n=1}^{\text{segmentos}} \left(\begin{bmatrix} \beta_{\text{tempo}} \\ \beta_{\text{portagem}} \\ \beta_{\text{combustível}} \\ \beta_{\text{via}} \end{bmatrix}_j \times \begin{bmatrix} X_{\text{tempo}} \\ X_{\text{portagem}} \\ X_{\text{combustível}} \\ X_{\text{via}} \end{bmatrix}_i \times \begin{cases} 1 & \text{se } n = j \\ 0 & \text{se } n \neq j \end{cases} \right) + \varepsilon_{ij} \quad 4.1$$

com:

U – utilidade da alternativa i ; i – a alternativa de rota em causa; j – o segmento do utilizador; β – coeficientes de utilidade dos respetivos atributos para cada segmento j , X – valores dos atributos da alternativa i ; ε – erro associado à componente aleatória da utilidade.

Esta formulação permitiu calcular os coeficientes de utilidade de cada atributo apresentado para uma determinada estrutura de utilizadores. Foram testadas várias estruturas (segmentações), utilizando as variáveis apresentadas nas estatísticas descritivas, de modo a atingir a melhor caracterização da heterogeneidade da valoração dos atributos no processo de escolha. A segmentação final permitiu identificar 10 segmentos distintos, como combinação de classe de veículo, distância de viagem e proprietário do veículo.

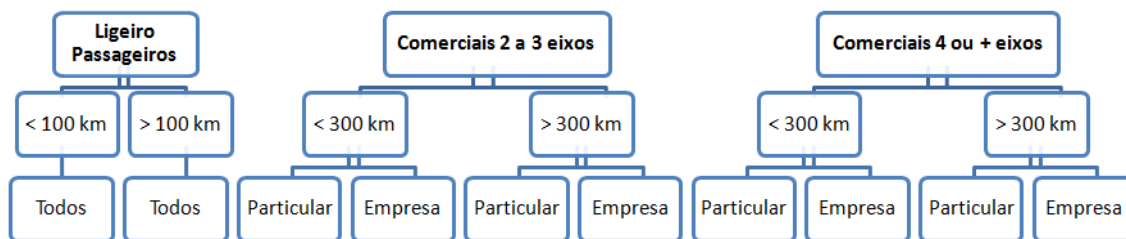


Figura 5 – Segmentação dos utilizadores

Foi estimado um modelo do tipo multinomial com recurso ao software BIOGEME, desenvolvido pela EPFL – Suíça, através da calibração de 40 parâmetros (4 por segmento), utilizando um total de 7270 observações (5 por inquérito). A tabela seguinte resume os valores obtidos para os coeficientes da função utilidade estimada e respetivas significâncias.

Um dos principais indicadores de ajustamento e qualidade do modelo é a consistência do sinal de cada coeficiente estimado. De facto, todos os 40 coeficientes estimados apresentam o sinal de acordo com o esperado: valores negativos para atributos de tempo, custo de portagem e custo de combustível (já que um aumento deste atributo implica uma diminuição da utilidade relativa dessa alternativa); valores positivos para os coeficientes de distância percorrida em via dupla, já que é natural uma preferência por maior utilização de via dupla, dada a perceção de condições de conforto, segurança e qualidade superiores.

Analisando os valores da estatística *t-student*, que indicam a significância estatística dos coeficientes estimados, podemos verificar que a grande maioria é superior a 1.96 em valor absoluto, valor referência para a aceitação do coeficiente estimado com um grau de confiança de 95%. Os coeficientes de menor significância estão associados aos coeficientes do custo de combustível, principalmente no segmento de veículos comerciais de 2 e 3 eixos que realizam distâncias inferiores a 300 km. No entanto, os resultados demonstram uma realidade esperada, já que muitos dos utilizadores assumem os custos de combustível fixo e inerentes à realização da viagem e não uma consequência do caminho realizado. Salienta-se ainda a elevada significância estatística dos coeficientes associados à distância percorrida em via dupla, demonstrando que a maioria dos utilizadores valoriza de forma clara a circulação em via dupla.

| Classe | Distância Viagem | Proprietário | Coefficiente | Valor | (t - stat) |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------|--------|------------|
| Passeio | < 100 | - | Pedágio | -21,10 | (-6.1) |
| | | | Combustível | -16,00 | (-3.9) |
| | | | Tempo | -4,67 | (-10.4) |
| | | | Pista Dupla | 3,06 | (10.2) |
| Passeio | > 100 | - | Pedágio | -1,85 | (-3.2) |
| | | | Combustível | -3,25 | (-5.1) |
| | | | Tempo | -1,38 | (-11.9) |
| | | | Pista Dupla | 0,58 | (12.6) |
| Comerciais 2 e 3 eixos | < 300 | Particular | Pedágio | -3,04 | (-3.1) |
| | | | Combustível | -1,15 | (-.8) |
| | | | Tempo | -1,67 | (-4.7) |
| | | | Pista Dupla | 1,60 | (7.8) |
| | > 300 | Particular | Pedágio | -3,07 | (-3.7) |
| | | | Combustível | -1,73 | (-1.3) |
| | | | Tempo | -0,86 | (-2.2) |
| | | | Pista Dupla | 0,96 | (5.2) |
| | < 300 | Empresa | Pedágio | -0,85 | (-2.3) |
| | | | Combustível | -1,14 | (-2.0) |
| | | | Tempo | -1,19 | (-5.9) |
| | | | Pista Dupla | 0,77 | (8.0) |
| > 300 | Empresa | Pedágio | -0,88 | (-2.3) | |
| | | Combustível | -1,75 | (-3.5) | |
| | | Tempo | -0,46 | (-2.9) | |
| | | Pista Dupla | 0,29 | (4.4) | |
| Comerciais 4 ou + eixos | < 300 | Particular | Pedágio | -0,82 | (-2.0) |
| | | | Combustível | -2,32 | (-2.8) |
| | | | Tempo | -1,36 | (-4.5) |
| | | | Pista Dupla | 1,46 | (7.9) |
| | > 300 | Particular | Pedágio | -2,12 | (-3.4) |
| | | | Combustível | -2,02 | (-1.8) |
| | | | Tempo | -1,59 | (-3.8) |
| | | | Pista Dupla | 1,03 | (4.0) |
| | < 300 | Empresa | Pedágio | -0,46 | (-4.2) |
| | | | Combustível | -0,60 | (-3.1) |
| | | | Tempo | -0,56 | (-6.3) |
| | | | Pista Dupla | 0,47 | (10.2) |
| > 300 | Empresa | Pedágio | -0,71 | (-3.0) | |
| | | Combustível | -0,83 | (-2.2) | |
| | | Tempo | -0,77 | (-4.1) | |
| | | Pista Dupla | 0,35 | (4.0) | |

Quadro 2 – Resultados da modelação de preferências declaradas

Os coeficientes não devem ser analisados pelo seu valor absoluto, mas através de valores relativos, que representam os diferentes *trade-offs* implícitos na função utilidade estimada. Um dos principais resultados do modelo são os indicadores de pré disposição para pagar por cada atributo característico de um caminho. Estes valores, para o modelo calibrado, são calculados da seguinte forma (ver equação 2.3).

$$\text{Valor Tempo}_j = \frac{\beta_{\text{tempo}_j}}{\beta_{\text{pedágio}_j} + \beta_{\text{combustível}_j}} \quad (\$/\text{hora}) \quad 4.2$$

$$\text{WTPViaDupla}_j = \frac{-\beta_{\text{viadupla}_j}}{\beta_{\text{pedágio}_j} + \beta_{\text{combustível}_j}} \quad (\$/\text{kmViadupla}) \quad 4.3$$

O valor do tempo calculado representa a pré disposição para pagar (\$R) pela redução de uma hora no tempo de viagem. A disponibilidade para pagar em Via dupla é um coeficiente quilométrico, apresentado como a disponibilidade a pagar por andar mais um quilómetro nesta configuração face a uma alternativa de via simples.

| Classe | Distância Viagem | Proprietário | Valor do Tempo | WTP Pista Dupla |
|-------------------------|------------------|--------------|----------------|-----------------|
| Passeio | < 100 | - | 7,6 | -0,08 |
| | > 100 | - | 16,2 | -0,11 |
| Comerciais 2 e 3 eixos | < 300 | Particular | 10,7 | -0,20 |
| | | Empresa | 23,9 | -0,38 |
| | > 300 | Particular | 10,4 | -0,11 |
| | | Empresa | 35,9 | -0,39 |
| Comerciais 4 ou + eixos | < 300 | Particular | 23,0 | -0,25 |
| | | Empresa | 26,0 | -0,47 |
| | > 300 | Particular | 29,9 | -0,22 |
| | | Empresa | 31,8 | -0,44 |

Quadro 3 – Valor do tempo e disponibilidade para pagar por via dupla

Os resultados demonstram um aumento relativo das disponibilidades para pagar, tanto em tempo como por via dupla, com um aumento da distância de viagem, dos veículos propriedade de empresa face a veículos de particulares e naturalmente pelo número de eixos do veículo.

Os resultados estão em linha com conhecimento prévio dos valores médios do valor do tempo no Estado de São Paulo, com valores tendencialmente um pouco inferiores. Esta tendência é compreensível dada a localização e características de utilização da concessionária, encontrando-se no interior de São Paulo, fora do grande centro urbano, atravessando territórios com níveis de rendimentos inferiores à média estadual.

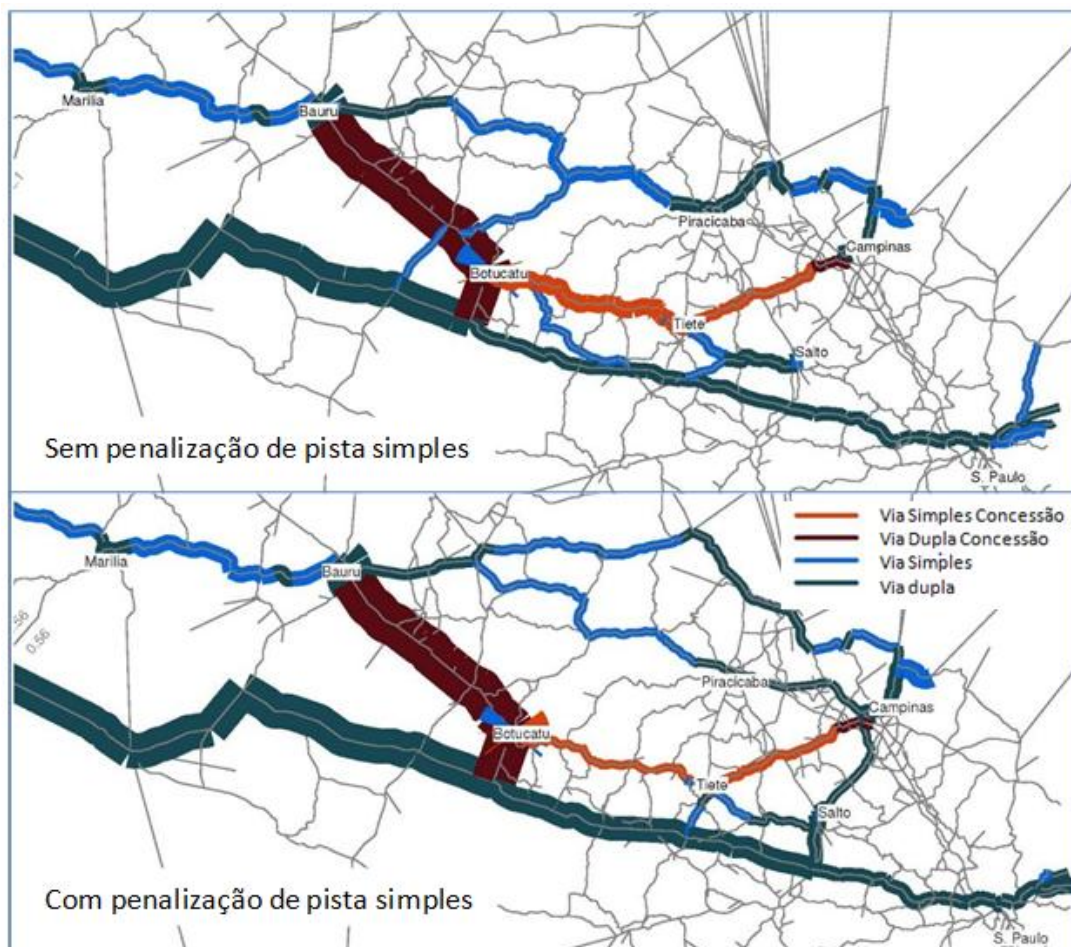


Figura 6 – Impacte da inclusão da Variável “Via dupla” no exercício de afetação

A inclusão deste fator adicional no exercício de afetação permitiu a obtenção de uma repartição de tráfego bastante mais próxima da observada de uma forma bastante célere, como ilustra a figura acima. Os valores obtidos para a pré disposição para pagar por circular em via dupla são consideráveis e representam uma preferência distintiva dos utilizadores pela utilização de via dupla, para valores iguais de tempo de viagem e tarifa de portagem. Ou seja, os utilizadores valorizam os efeitos de conforto de viagem, segurança e assistência de forma significativa.

Numa comparação com os custos operacionais dos veículos, esta pré-disposição é valorizada entre um terço a metade desses custos, ou seja estariam dispostos a pagar mais um terço a metade dos custos operacionais para circular em via dupla.

5 Conclusões

A utilização de modelos de escolha discreta (*discrete choice models*) em exercícios de modelação de sistema de transporte constitui uma prática profissional *standard*, em particular nos mercados anglo-saxónicos. A sua utilização de forma correta gera valor inequívoco à qualidade dos exercícios de previsões de tráfego e de receitas em sistemas de transporte em geral, e em sistemas rodoviários (portajados) em particular. O valor do tempo de viagem poupado, por exemplo, é um indicador crítico da disposição para pagar em muitas aplicações de transporte e parâmetro essencial para modelação de previsões de tráfego (Axhausen, König et al. 2006).

O primeiro exercício, realizado em Moçambique, inclui o atributo "Tipo de Pavimento", com o objetivo de incorporar e diferenciar estradas pavimentadas, não-pavimentadas ou degradadas (com presença significativa e na rede de estradas nesta região à data do estudo). Esta formulação permitiu quantificar um custo por km, representando a perceção dos condutores tráfego em estradas com mau pavimento, para além de aumento do tempo de viagem / redução da velocidade custo inerente.

No segundo exercício, realizado no interior do Estado de São Paulo, Brasil, a variável da condição de condução foi a circulação em "Via Simples" ou "Via Dupla", dado o impacto do elevado número de pesados em circulação na rede. Os valores obtidos para a pré disposição para pagar por uma viagem em estrada de duas vias por sentido são expressivas e representam uma preferência forte dos condutores para o uso deste tipo de infraestruturas, para iguais condições de custo e tempo de viagem, valorizando assim o conforto de condução e a segurança associados. Numa comparação com os custos operacionais dos veículos, a presença de duas vias por sentido produz uma perceção de redução do custo da viagem em cerca de um terço desses custos. O rho quadrado final foi de 0.13, um valor aceitável tendo em conta as características do exercício realizado, em que a utilização das alternativas de um modo genérico não permite a utilização de constantes de ajustamento na função utilidade.

A experiência dos autores em estudos semelhantes, alguns dos quais realizados sobre as mesmas redes, evidencia o ganho de qualidade e o valor gerado acrescido que resulta da parametrização dos modelos de afetação utilizando metodologias de base comportamental, nomeadamente:

- Na maior facilidade e rapidez do processo de calibração dos modelos;
- Na melhoria geral dos indicadores de validação dos modelos; e, fundamentalmente,
- Na maior segurança gerada pelos resultados dos modelos junto das entidades responsáveis pelo planeamento, decisão e financiamento de infraestruturas de Transporte.

Bibliografia

- Axhausen, K. W., S. Hess, A. König, G. Abay, J. J. Bates and M. Bierlaire (2008). "Income and distance elasticities of values of travel time savings: New Swiss results." *Transport Policy* 15(3): 173-185.
- Axhausen, K. W., A. König, G. Abay, J. J. Bates and M. Bierlaire (2006). *Swiss value of travel time savings*. Zürich.
- Ben-Akiva, M. and S. R. Lerman (1985). *Discrete choice analysis : theory and application to travel demand*. Cambridge, Mass., MIT Press.
- Ben-Akiva, M., D. McFadden, T. Gärling, D. Gopinath, J. Walker, D. Bolduc, A. Börsch-Supan, P. Delquié, O. Larichev, T. Morikawa, A. Polydoropoulou and V. Rao (1999). "Extended Framework for Modeling Choice Behavior." *Marketing Letters* 10(3): 187-203.
- Bierlaire, M. (2003). *BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models*. Ascona, Switzerland, Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference.
- Carson, R., J. Louviere, D. Anderson, P. Arabie, D. Bunch, D. Hensher, R. Johnson, W. Kuhfeld, D. Steinberg, J. Swait, H. Timmermans and J. Wiley (1994). "Experimental analysis of choice." *Marketing Letters* 5(4): 351-367.
- Fowkes, T. (2007). "The design and interpretation of freight stated preference experiments seeking to elicit behavioural valuations of journey attributes." *Transportation Research Part B: Methodological* 41(9): 966 - 980.
- Hensher, D. A., J. M. Rose and W. H. Greene (2005). *Applied choice analysis : a primer*. Cambridge, Cambridge University Press.
- McFadden, D. and K. Train (2000). "Mixed MNL models for discrete response." *Journal of Applied Econometrics* 15(5): 447-470.
- Shinghal, N. (2002). "Freight mode choice and adaptive stated preferences." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 38(5): 367 - 378.