



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Modelos de Escolha Discreta em Planeamento de Transportes: uma aplicação à cidade de Coimbra**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação

Autor

**Miguel António Simões Bacalhau**

Orientador

**Gonçalo Homem de Almeida Rodriguez Correia**

**Coimbra, Julho de 2012**

É a Esperança um composto de desejo e confiança:  
com a vontade, deseja e com o entendimento, confia.

Padre António Vieira

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer ao Eng. Gonçalo Correia pela disponibilidade e interesse demonstrados e sem os quais não era possível realizar esta dissertação.

À empresa Metro Mondego agradeço a disponibilização dos dados do Inquérito à Mobilidade.

Aos meus Pais, por tudo.

---

## RESUMO

O sistema de transportes é constituído por vários atributos que são elementos fundamentais dentro do processo e qualquer variação provoca uma alteração na procura. Para estimar a procura é necessário recorrer a modelos matemáticos que traduzam as escolhas das pessoas através do Módulo de Repartição Modal - um módulo particularmente importante do Modelo de Transportes - que estima as quotas de mercado de cada um dos modos de transporte com base em variáveis mensuráveis. A modelação da etapa de repartição modal permite calcular a aproximação dos modelos de escolha discreta com a verdadeira escolha dos utentes de transportes.

A presente dissertação procura analisar como as pessoas escolhem o meio de transporte na cidade de Coimbra. Para concretizar este objectivo utiliza-se como ferramenta de trabalho os modelos matemáticos de escolha discreta tendo por base os dados do Inquérito à Mobilidade da região de Coimbra realizado para a empresa Metro Mondego. A partir dos inquéritos foram criados pares de comparações considerando como modos o Transporte Colectivo e o Transporte Individual. Para a estimação do modelo definiram-se as funções utilidade com base nas variáveis explicativas.

De acordo com os resultados obtidos foi possível verificar que a maioria das variáveis é significativa. No modelo o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) é maior que 0.5, um valor que não traduz um modelo muito ajustado mas em modelos de escolha discreta é aceitável para que os resultados possam ser significativos. Verifica-se que o modelo estima precisamente a mesma repartição modal que é observada nos dados: 72% para o Transporte Individual e 28% para o Transporte Colectivo.

Os resultados da estimação do modelo apontam para que o utente do Transporte Individual é caracterizado por adultos que habitam em zonas centrais da cidade com profissão de rendimento mais elevado. Os mais jovens e a maioria dos idosos têm a tendência para escolher o Transporte Colectivo devido aos seus rendimentos. Esta preferência é incentivada pela oferta de percursos das carreiras aos locais principais da cidade e por descontos que podem usufruir nas viagens.

## ABSTRACT

The transport system consists of several attributes that are key elements within the process and any variation causes a change in demand. To estimate the demand is necessary to use mathematical models that reflect people's choices through the Modal Distribution Module (the main step to the Model Transportation) witch calculate market shares of each mode of transport based on measurable variables. The modeling of the modal split step allows to calculate the approximation of discrete choice models with the real choice of transport users.

This dissertation aims to analyze how people choose the means of transport in the city of Coimbra. To achieve this objective is used as a tool of mathematical models based on discrete choice survey data for mobility in the region of Coimbra done for the company Metro Mondego. The surveys were created from pairs of comparisons considering the Public Transport and Individual Transport. For estimation of the model were defined utility functions based on the explanatory variables.

According to the results we found that most of the variables is significant. In the model the coefficient of determination ( $r^2$ ) is greater than 0.5, a value that expresses a low accuracy but in discrete choice models is acceptable to allow the results to be significant. It appears that the model estimates precisely the same modal distribution that is observed in the data: 72% for the individual transport and 28% for public transport.

The estimation results of the model indicate that the user of the individual transport is characterized by adults who live in city center with higher income profession. The youngest and elderly people have a tendency to choose the public transport because of your earnings. This preference is encouraged by offering career paths to the main sights of the city and can enjoy discounts on travel.

---

## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Motivação .....	1
1.2	Objectivos .....	2
2	MODELOS MATEMÁTICOS .....	5
2.1	A importância dos Modelos Matemáticos na estimação da procura de transportes ....	5
2.2	O Modelo de 4 passos .....	7
2.3	Repartição Modal.....	9
2.4	Teoria Comportamental associada a escolhas.....	11
2.5	Modelos de escolha discreta .....	13
2.6	Calibração de Parâmetros e Validação dos Modelos Globais .....	19
2.7	Preferências Reveladas e Preferências Declaradas .....	21
3	INQUÉRITO À MOBILIDADE .....	25
3.1	Enquadramento .....	25
3.2	Características e dimensão do Inquérito .....	26
3.3	Apresentação dos Documentos do Inquérito à Mobilidade .....	32
4	METODOLOGIA.....	35
4.1	Filragens aplicada à base de dados .....	35
4.2	Macro aplicada à base de dados.....	35
4.3	Estimativa de custos dos Transportes Individual e Colectivo .....	36
4.4	Seleção das variáveis .....	37
4.5	Estimação do modelo.....	38
5	RESULTADOS .....	39
5.1	Apresentação dos resultados .....	39
5.2	Estatística de teste das variáveis explicativas .....	41
5.3	Interpretação dos resultados.....	43
6	CONCLUSÃO.....	45
7	BIBLIOGRAFIA .....	48
	ANEXO A .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema geral do Modelo Global de Transportes

Figura 3.1 – Municípios da Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego

Figura 5.1 – Relação entre o coeficiente de determinação e o pseudo- $r^2$

## **ÍNDICE DE QUADROS**

- Quadro 1.1 – Passos do Modelo Global de Transportes
- Quadro 3.1 – Principais indicadores da dimensão do Inquérito
- Quadro 3.2 – População residente e movimentos pendulares de/para Coimbra
- Quadro 3.3 – População do município de Coimbra nos anos 2001 e 2008
- Quadro 3.4 – Municípios inquiridos – População residente e presente
- Quadro 4.1 – Custos Total e Unitário do Transporte Colectivo
- Quadro 4.2 – Significado e Codificação das Variáveis
- Quadro 5.1 – Coeficiente e T Stat das Variáveis
- Quadro 5.2 – Correlações das variáveis
- Quadro 5.3 – Níveis de significância e Intervalos de confiança
- Quadro 5.4 – Escolhas reais e escolhas previstas



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. Motivação

O planeamento de transportes é a área do planeamento que trata do dimensionamento de infra-estruturas e sistemas de transporte cujo objectivo é garantir a melhor qualidade de funcionamento do sistema para proporcionar segurança e eficiência aos utentes. Este objectivo consiste em reduzir os problemas relacionados com a procura para oferecer maior fiabilidade na circulação de pessoas e cargas.

Historicamente o planeamento de transportes seguiu um modelo racional de planeamento que define objectivos, identifica problemas, gera alternativas, avalia alternativas e desenvolve um plano. Contudo, este modelo não tem sido suficiente e perduram os problemas do passado: congestionamento, poluição, acidentes e défices de operação dos sistemas de transportes. Por vezes as soluções técnicas que procuram resolver problemas pontuais resultam apenas num adiamento do problema com consequências que poderão ser mais graves e abrangentes.

Actualmente é esperado que os planeadores adoptem uma perspectiva multidisciplinar sobretudo devido à importância crescente das preocupações ambientais e sociais. Por exemplo, na área da psicologia procura-se compreender como é possível influenciar o comportamento dos condutores de forma a persuadi-los a abandonar o automóvel e usar o transporte colectivo.

O papel do planeador de transportes está a alterar-se de uma dimensão apenas técnica para uma dimensão de promoção de sustentabilidade através de uma política integrada de transportes. Assiste-se a uma alteração de paradigma de “prever e fornecer” segundo a qual a solução do aumento ou alteração da procura de transportes, nomeadamente em transporte individual, é fornecer mais capacidade para uma nova perspectiva de gestão das infra-estruturas e serviços instalados para tornar a mobilidade mais sustentável.

O crescimento rápido dos centros urbanos exige escolhas aos indivíduos para realizarem as suas deslocações e a escolha do modo de transporte é um factor decisivo para a sustentabilidade da qualidade de vida nas cidades. Dessas escolhas resultam impactos negativos e positivos para o desenvolvimento dos centros urbanos. A prioridade por modos de transportes mais sustentáveis poderá garantir melhor mobilidade e acessibilidade, melhor

fluidez de tráfego, menos congestionamentos, redução em emissões de poluentes e em tempo de deslocações. Por estas razões verifica-se a importância de investimentos em tais modos como incentivo ao uso do transporte colectivo, bicicleta e pedonal.

A dissertação tenta compreender as atitudes das pessoas e as causas das suas escolhas em relação ao uso do automóvel e do transporte público enquanto alternativa; às implicações – para o indivíduo, para a sociedade, para o espaço urbano que habita e para o ambiente – das suas opções ao nível da escolha modal; e ainda à disponibilidade para a mudança no seu comportamento de viagem.

## 1.2 Objectivos

O objectivo principal da dissertação é analisar como as pessoas escolhem o meio de transporte na cidade de Coimbra, utilizando como ferramenta de trabalho os modelos matemáticos de escolha discreta. Os objectivos específicos são:

- Estimar as probabilidades de escolha dos modos de transporte considerando o Transporte Colectivo (TC) e o Transporte Individual (TI) como opções disponíveis dos utentes;
- Avaliar o padrão de escolha modal considerando uma amostra da população de Coimbra;
- Medir a influência dos atributos socio-economicos e de caracterização de viagens sobre o padrão de escolha dos utentes e definir o perfil do utente de transporte por cada modo considerado.

A utilização de transportes colectivos é essencial para garantir uma mobilidade mais sustentável, sobretudo em meio urbano onde o efeito de congestionamento é maior e mais prejudicial à qualidade de vida das pessoas. Esta necessidade acontece na vertente ambiental e económica devido ao tempo perdido em trânsito traduzir-se em perdas para os indivíduos e para a sociedade.

Apesar de haver trabalho desenvolvido na análise da modelação de escolha discreta, permanece a necessidade de conhecer melhor as variáveis que influenciam a escolha do modo de transporte. Estas variáveis dependem das características dos viajantes e dos atributos associados a cada modo de transporte. Como esta escolha é efectuada de forma diferente para cada região, importa concretizar este estudo para cada realidade de mobilidade.

A aplicação destes modelos tem utilidade directa na estimação da procura dos vários modos, permitindo valorar correctamente alguns atributos que os modelos matemáticos têm dificuldade em traduzir. Alguns exemplos dessa dificuldade são:

- Valorar o custo de uma transferência intermodal – não apenas financeiro (pagar um segundo bilhete) mas também poder comportar um custo de perda de conforto tanto ou mais importante que o custo financeiro;
- Valor dos modos de transporte – além do valor instrumental relacionado com a velocidade, capacidade ou conforto têm também um valor intrínseco de imagem positiva ou negativa que é difícil estimar e pode fazer a diferença na sua utilização.

A dissertação procura explorar estas questões recorrendo a um inquérito de preferências reveladas e posterior calibração de um modelo de escolha discreta. Os dados resultam do inquérito à Mobilidade na Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego (IM 2008). É um inquérito de avaliação da mobilidade da região de Coimbra realizado para a empresa Metro Mondego. A aplicação do modelo de escolha discreta poderá auxiliar a construção de um modelo de transportes para a cidade de Coimbra desenvolvido pela Metro Mondego.

A dissertação está estruturada da seguinte forma: no capítulo seguinte é descrita a importância dos modelos matemáticos na estimação da procura de transportes e apresenta-se o passo de repartição modal do modelo de 4 passos. Após referência à teoria comportamental associada a escolhas, são introduzidos os modelos de escolha discreta e explicados os modelos logit binomial e multinomial. O capítulo termina com a calibração dos parâmetros e validação dos modelos e com os inquéritos de preferências reveladas e declaradas.

No terceiro capítulo explica-se a estrutura do Inquérito à Mobilidade na Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego elaborado para a empresa Metro Mondego cujos dados são utilizados na dissertação. Aqui indicam-se as características e dimensão do inquérito e os documentos que o constituem.

O quarto capítulo enuncia a metodologia utilizada para com base nos dados deste inquérito de preferências reveladas construir comparações que possam ser utilizadas para estimar um modelo de escolha modal. A metodologia traduz-se em filtragens e macros aplicadas à base de dados, estimativa de custos de viagem nos modos principais (transportes colectivo e individual), selecção das variáveis e estimação do modelo.

O quinto capítulo apresenta os resultados, a estatística de teste das variáveis explicativas e interpreta os resultados obtidos. A dissertação termina com as principais conclusões retiradas deste trabalho de acordo com os objectivos inicialmente propostos. Aqui se refere como foram atingidos, quais foram as limitações e os principais resultados.

## 2 MODELOS MATEMÁTICOS

### 2.1 A importância dos Modelos Matemáticos na estimação da procura de transportes

As infra-estruturas de transportes são construídas para promover a acessibilidade por um dado modo de transporte a uma área territorial. Com a construção das primeiras estradas não se colocavam questões de capacidade da infra-estrutura por ser suficiente para a procura a dimensão mínima de construção. Devido ao crescimento da motorização das famílias verificaram-se aumentos dos volumes de tráfego que resultou na necessidade de prever o ritmo de crescimento para decidir o aumento da capacidade das vias.

A procura dos sistemas de transportes corresponde às suas solicitações sendo com base nessa procura que se especifica e dimensiona o sistema e as suas componentes. As diferentes escalas de procura são atendidas por sistemas em que se altera não apenas a dimensão mas também a tecnologia e o modo de transporte.

Nos transportes, mais que em qualquer outro ramo da engenharia, a natureza da oferta tem uma forte influência sobre a quantidade de procura. Para além do bom ajuste entre oferta e procura é necessário atender ao equilíbrio entre os custos da oferta e as receitas que podem ser obtidas com a procura. A quantidade de procura evolui ao longo do tempo em resposta a múltiplos factores da demografia, da economia e do modo de vida das pessoas.

Os modelos matemáticos procuram analisar a complexidade deste sistema. Os modelos são simplificados para torná-los fáceis de manipular evitando detalhes desnecessários e focando os elementos determinantes do sistema original. Com a utilização de modelos é possível testar uma série de estímulos e alternativas de configuração. Estes modelos procuram simular o sistema real através de variáveis e relações entre variáveis (equações) para o funcionamento de um sistema físico real.

A necessidade de recurso a modelos matemáticos ocorre quando o analista se defronta com situações mais complexas, nomeadamente quando o problema que se coloca não é do simples crescimento de tráfego numa estrada única para a ligação pretendida - mas o do desenvolvimento de um sistema de transportes cada vez mais complexo e em que os viajantes dispõem de múltiplas alternativas para se deslocarem de um ponto a outro.

A complexidade dos modelos tem que ver com a dificuldade do fenómeno em estudo, com a informação disponível, com o rigor pretendido e com os orçamentos para elaborar o estudo. Um dos principais resultados dos estudos de procura com recurso a modelos matemáticos é a identificação das margens de erro envolvidas nas estimativas produzidas. Ainda que nem sempre seja possível obter um valor quantitativo para as margens de erro, é dever do analista indicar qual o nível de confiança que os resultados lhe merecem.

O problema que surge com estes modelos aplicados aos transportes é entender as escolhas das pessoas no domínio da sua mobilidade e contabilizar os fluxos que daí decorrem. Como elas dispõem de escolha livre e os sistemas modernos de transportes oferecem várias possibilidades para essa escolha, o nível de preferência por determinado elemento do sistema não pode ser estimado com base directamente em experiências anteriores de outros locais porque as realidades são diversas no tempo e no espaço, diferindo não só a quantidade e variedade da oferta de transportes mas também as preferências das pessoas.

Recorre-se à descrição matemática da oferta existente nos vários modos e dos movimentos realizados em cada um deles e das escolhas feitas pelas pessoas. O método de trabalho baseado nos modelos pode descrever-se do seguinte modo (Viegas, 2000a):

- Observar a realidade e descrevê-la com o detalhe e rigor necessários para a sua representação dos fenómenos em estudo;
- Desenvolver e validar os modelos matemáticos que permitam compreender o comportamento das pessoas nomeadamente pela capacidade desses modelos representarem adequadamente as evoluções passadas;
- Estimar as alterações de comportamento das pessoas no que respeita à sua mobilidade no novo contexto, perante cenários alternativos de intervenção sobre o sistema de transportes.

Em todo este processo, para além do domínio das técnicas matemáticas envolvidas, é importante ter uma capacidade crítica permanente que evite a aceitação precipitada de resultados “convenientemente” para ultrapassar um obstáculo no processo de modelação. Quanto mais refinados forem os modelos matemáticos envolvidos mais opacos são e mais fácil se torna que um pequeno erro de dados ou de programação possa não ser detectado.

## 2.2 O Modelo de 4 passos

Os Modelos Globais de procura de transportes surgiram nos anos 60, numa época em que se verificava uma considerável expansão económica, traduzida em construção de novas infra-estruturas (geralmente alternativas a outras pré-existentes) entretanto congestionadas. Foram usados na maioria dos Planos de Transportes das grandes cidades nas décadas de 60 e 70 (Viegas, 2000b).

Estes modelos procuram explicar o conjunto das viagens realizadas em aglomerações urbanas com base em variáveis facilmente quantificáveis para cada uma das zonas em que essas aglomerações eram subdivididas. São usados para avaliar impactes de intervenções tanto no sistema de transportes como nos usos do solo de uma região.

O paradigma subjacente aos modelos globais é a representação eficaz dos motivos de procura de mobilidade e da escolha das soluções para essa mobilidade através de um conjunto de equações. Estes modelos implicam um esforço de montagem e afinação inicial pelo que são inadequados quando se pretende respostas rápidas - uma vez construído e afinado, é importante mantê-lo de forma cuidadosa.

O Modelo Global de Transportes pretende reproduzir a sequência de decisões tomadas por cada pessoa relativamente a uma viagem. Foi concebido e aplicado inicialmente para apoio às decisões de investimento rodoviário em resposta ao congestionamento - como tal foi aplicado geralmente para as deslocações no período de ponta da manhã.

A montante da aplicação do modelo procede-se ao zonamento do território e todas as operações do modelo estão relacionadas com essas zonas ou com as relações entre elas. A divisão do território em zonas permite analisar as viagens numa dada região de uma forma agregada. Essa informação é representada através de uma matriz OD. A matriz deve ser definida no intervalo de tempo, no tipo de viagem e no modo de transporte. A divisão do território em zonas implica que cada zona passa a ser tratada como uma entidade única, a representação é feita por um SIG e cada zona é representada por um nó.

O esquema da Figura 2.1 apresenta as relações entre a informação necessária para calibrar o modelo, os 4 passos do modelo e o sistema actualizado com base nos dados fornecidos.

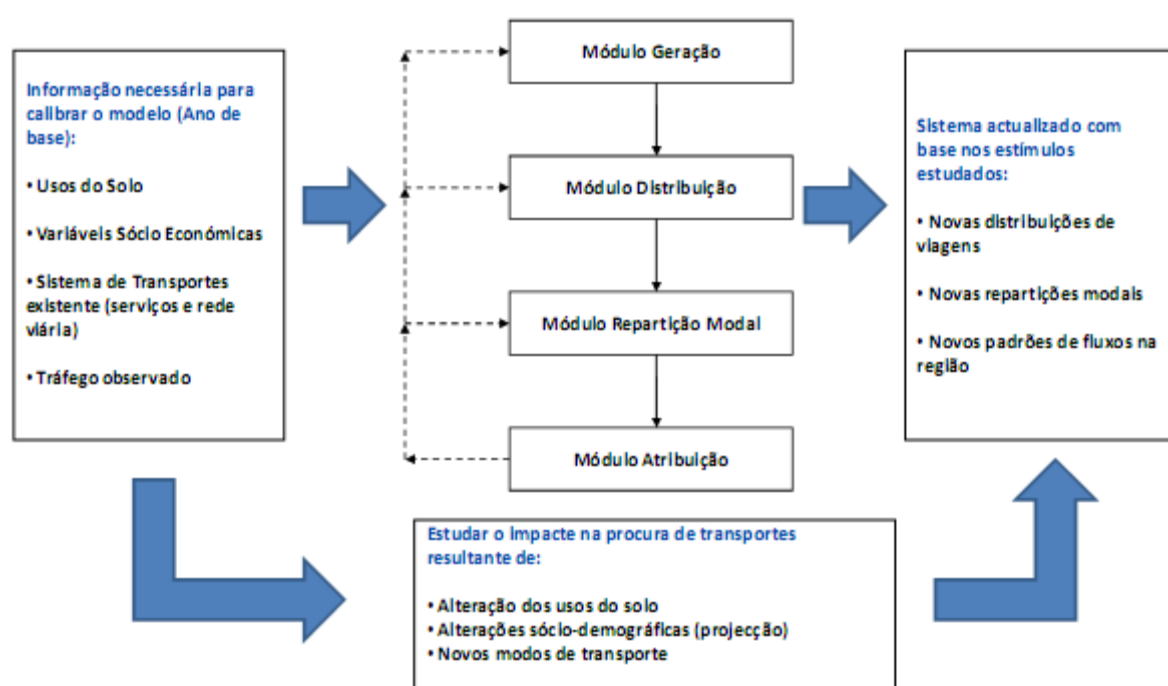


Figura 2.1 – Esquema geral do Modelo Global de Transportes

O Quadro 2.1 apresenta um resumo dos 4 passos. Este modelo continua a ser o mais utilizado apesar das suas debilidades e de modelos globais mais robustos. A simplicidade conceptual e computacional do modelo de 4 passos é responsável pelo seu alto nível de utilização. Os 4 passos correspondem a 4 sub-modelos cada um relativo a uma escolha básica feita para cada viagem e com tradução diferenciada ao nível da representação matemática da procura de transportes. São descritos os diferentes passos do modelo:

- O passo da Geração determina quantas viagens são iniciadas e/ou concluídas em cada zona, em função do seu uso de solos (número de residentes do lado da origem, número de empregos do lado do destino);
- O passo da Distribuição determina como as viagens de cada origem se repartem pelos vários destinos, ou vice-versa. Consoante na fase de geração se tenha conseguido estimar os totais de viagens só num dos seus extremos ou em ambos, assim se utilizam no segundo passo formulações ligeiramente diferentes do modelo;
- O passo de Repartição Modal determina como as viagens realizadas entre cada par de zonas se repartem pelos diferentes modos disponíveis para essa ligação;
- O passo da Atribuição de Tráfego determina quais os percursos usados pelas viagens realizadas entre um dado par de zonas e num dado modo de transporte, tendo em



atenção as redes disponíveis em cada um desses modos e, eventualmente, os seus níveis de congestionamento decorrentes das escolhas dos outros viajantes.

Quadro 2.1 – Passos do Modelo Global de Transportes

Passo	Objectivo do modelo	Decisão	Representação
1-Geração / Atracção	Determinar o número de viagens com origem e destino em cada zona	Viajar ou não viajar?	Estimar a(s) bordadura(s) da matriz O/D (1 ou 2 lados)
2- Distribuição	Determinar o número de viagens entre cada zona de origem e cada zona de destino	Para onde?	Estimar o miolo da matriz O/D
3-Repartição Modal	Determinar a forma como as viagens se repartem entre os modos de transporte	Com que modo?	“Fatiar” a matriz em O/D em tantas matrizes quantos os modos
4-Atribuição de Tráfego	Determinar o volume de tráfego em cada eixo, por modo de transporte e/ou em termos agregados	Por que caminho?	“Projectar” as viagens representadas em cada matriz O/D sobre as redes domodo correspondente

### 2.3 Repartição Modal

Um dos objectivos específicos da dissertação é estimar as probabilidades de escolha dos utentes dos modos de transportes considerando como opções disponíveis o TC e o TI. O módulo de repartição modal é um passo importante no modelo de transportes porque permite estimar as quotas de mercado de cada um dos modos de transporte com base em variáveis mensuráveis.

A repartição modal das viagens determina a percentagem de cada modo de transporte para cada par OD e que depende do custo e tempo de viagem do modo. Dessa divisão resulta uma percentagem de pessoas que se desloca em transporte individual e outra em transporte colectivo. Este módulo requer a atenção dos pontos seguintes:

- A primeira tarefa para cada par OD é estabelecer o conjunto de modos disponíveis para essa ligação (conjunto de escolha). Quando as distâncias são curtas deve considerar-se a marcha;
- Se possível deve separar-se a matriz OD global (resultante do 2º passo) em duas: uma relativa aos viajantes que têm todas as escolhas e outra aos utentes cativos do TC ou a pé (os utentes sem acesso ao TI). Os conjuntos de escolha nas duas matrizes são naturalmente diferentes;
- Serão também diferentes as preferências na medida em que estes grupos sociais dão diferente importância ao tempo de viagem e de espera, ao conforto (densidade a bordo), aos preços, etc;
- Embora os conjuntos de escolha possam ser diferentes para cada par OD, a calibração deste modelo deve ser feita para o conjunto de todos os pares OD (em duas operações ou só numa, consoante se tenha feita a separação de viajantes acima referida).

A repartição modal tem por base as probabilidades de escolha dos utentes perante as principais alternativas de transportes disponíveis. O processo de decisão do consumidor na fase de repartição modal dos transportes baseia-se em escolhas discretas, reflectindo características importantes dos indivíduos, das viagens e dos sistemas de transportes. A forma como o decisor reage aos valores de cada atributo depende das suas características socioeconómicas. Além de que os indivíduos com o mesmo perfil podem reflectir diferentes preferências já que a escolha de uma alternativa é uma variável aleatória (Train, 2002a).

Os utentes dos modos de transporte são orientados por uma função utilidade que procuram maximizar escolhendo dentre as várias alternativas possíveis aquelas cujos atributos lhe proporcionem o maior nível de satisfação. O “juízo de valor” do consumidor sobre as alternativas e atributos dos modos de transportes passa a ser representativo para modelar a procura por modo de transporte na etapa de repartição modal.

Para o planeamento dos serviços oferecidos aos indivíduos é relevante o desenvolvimento de estudos que procurem identificar as preferências dos utentes em relação ao serviço disponível. Os modelos de escolha modal são usados em análises para prever a opção dos indivíduos por um modo de transporte. Nestes estudos é comum o uso de um modelo de escolha discreta para prever a opção modal com base na agregação de diversas variáveis explicativas.

Os factores que influenciam a escolha do modo podem ser divididos em três grupos: características socioeconómicas do decisor, características da viagem e características do sistema de transporte (Ortúzar e Willumsem, 2001a). As variáveis que influenciam a escolha do modo de transporte são descritas de um modo mais detalhado:

- Características dos decisores (viajantes): Idade, Profissão, Rendimento, Estado Civil, composição/estrutura do agregado familiar, Número de automóveis disponíveis no agregado familiar;
- Características do tipo de viagem: Motivo da Viagem - Viagem de trabalho, lazer, facilitação (transporte para o trabalho), hora do dia em que é realizada.
- Características dos modos disponíveis/do sistema de transporte:
  - Quantitativas: tempo de viagem (no veículo, a pé, à espera); custo de viagem (bilhete ou depreciação do veículo + combustível + etc.); disponibilidade e custo de estacionamento junto das interfaces; fiabilidade; número de transbordos
  - Qualitativas: conforto; segurança; frequência do serviço

Um bom modelo de repartição modal deve ter em conta todos estes aspectos mas normalmente só tem em conta alguns - os que melhor explicam essa escolha (maior significância estatística).

## 2.4 Teoria Comportamental associada a escolhas

Enquanto os modelos globais procuram explicar a situação presente, extrapolando esse mecanismo de explicação para um cenário futuro, os modelos comportamentais tomam a situação presente como um dado do problema, estimando os mecanismos de alteração dos comportamentos no que respeita à mobilidade.

Os modelos comportamentais são baseados no conceito de elasticidade (variação relativa de uma variável dependente em relação às variações de uma ou mais variáveis explicativas), ou no conceito de utilidade (em que a cada alternativa corresponde um certo nível de utilidade para os seus utilizadores, variável consoante as preferências destes e o próprio desempenho aleatório dos sistemas).

Trata-se de modelos de previsão de alterações de procura a curto prazo que pretendem contemplar a reacção às diferenças de estímulo e não a subjacente evolução de longo prazo dos sistemas. Para além desta limitação, a dificuldade de aplicação dos modelos comportamentais tem mais que ver com a estimação dos parâmetros do que com a construção dos modelos.

O princípio da teoria comportamental enuncia que o indivíduo estabelece um conjunto de alternativas na ordem de preferência e escolhe sempre a mais desejável segundo os gastos, as condicionantes económico-financeiras e as oportunidades disponíveis. A psicologia clássica interpreta as necessidades do homem por meio da interacção de impulsos, estímulos,

sugestões, reacções e reforços. O comportamento pode ser entendido como um mecanismo que o indivíduo utiliza para dar resposta a um determinado evento na busca de satisfazer os seus desejos e necessidades (Kotler, 2003a).

O processo comportamental inicia-se com um estímulo interno que impulsiona o indivíduo a uma acção. O impulso torna-se um motivo quando é dirigido a um objecto específico e a partir do impulso o indivíduo é condicionado a uma reacção. A reacção de uma pessoa a um determinado estímulo é influenciada por sugestões. As sugestões por sua vez são estímulos menores que determinam quando, onde e como uma pessoa reage.

A reacção é a resposta do organismo ao estímulo. Se a reacção for compensadora, a probabilidade de uma reacção semelhante na próxima vez para a mesma configuração de uma sugestão está reforçada. Se uma reacção não for compensadora, a probabilidade de uma reacção semelhante diminui (Kotler, 2003b). Assim, a escolha do modo de transporte está condicionada pelas características do utente e pela atractividade do modo de transporte. A probabilidade de escolha será tanto maior quanto mais suprir os desejos e necessidades individuais dos utentes.

Os modelos comportamentais encontram fundamento nos princípios teóricos da economia clássica e em técnicas de marketing e podem ser aplicados a escolhas do consumidor. De facto a sua pesquisa foi iniciada no campo da psicologia e marketing antes de serem utilizados em engenharia.

Estes modelos relacionam as motivações dos utentes com as alterações dos atributos dos sistemas de transportes e identificam o processo de decisão em complementação dos aspectos não abrangidos pelos modelos globais. Estas relações são estabelecidas a partir do conceito de utilidade proveniente da teoria do consumidor (Ferguson, 1999).

O objectivo da teoria do consumidor é atribuir significado à transformação de hipóteses sobre preferências dentro de uma função de procura que expresse a acção de um consumidor sob dadas circunstâncias. Um consumidor, em princípio, escolhe um produto ou serviço pelo conjunto de atributos que o produto possui, obedecendo a uma escala subjectiva de valor para cada atributo em relação ao seu custo. Assim, o consumidor procura um produto ou serviço cujo somatório dos atributos seja igual ou superior ao valor disposto a pagar.

O consumidor faz a sua escolha quando selecciona um produto em detrimento de outro conjunto de opções. Num estudo onde se deve identificar requisitos e escolhas sem que se possa considerar todas as opções possíveis é necessária uma restrição nas opções para os entrevistados. O indivíduo, perante uma necessidade ou desejo em adquirir um bem ou

serviço, analisa um conjunto de alternativas disponíveis escolhendo aquela(s) cujos atributos proporcionam o maior nível de satisfação. A escolha é resultado de um procedimento realizado pelo utente de transportes que compreende os seguintes elementos: o decisor, as alternativas, os atributos das alternativas e as regras de decisão (Ben-Akiva e Lerman, 1985a).

## 2.5 Modelos de escolha discreta

Os modelos de escolha discreta são modelos matemáticos que procuram explicar as condições em que as pessoas exercem as suas escolhas com base num conjunto finito (geralmente pequeno) de alternativas discretas - uma pessoa escolhe uma e só uma alternativa. O modelo deve abranger todas as alternativas possíveis de resposta. Estes modelos permitem o cálculo das probabilidades de escolha e o seu fundamento é a teoria do consumidor. Algumas das aplicações destes modelos em Transportes incluem:

- Modelação da escolha do modo de viajar para diferentes fins de viagem, actividades locais ou características sócio-demográficas do decisor;
- Modelação da localização da casa e escritório em função do valor e outras características;
- Modelação da decisão de seguir ou não seguir um conselho dado por uma mensagem em auto-estrada;
- A decisão de entrar ou não entrar numa rotunda em função do perfil sócio-demográfico do decisor, do tipo de veículo e da folga existente no fluxo de tráfego conflituante.

Os modelos de escolha discreta têm como hipótese básica que a probabilidade de um indivíduo escolher uma determinada alternativa é função da atractividade da alternativa escolhida em relação a atractividade das alternativas disponíveis (Ortúzar e Willumsem, 2001b). A atractividade de uma alternativa é representada através do conceito de utilidade definida pela combinação de variáveis que representam as características das alternativas ou do indivíduo. A função utilidade pode ser expressa por uma única função objectivo que expressa a atracção dos atributos que o indivíduo quer maximizar no seu processo de decisão (Ben-Akiva e Lerman, 1985b). Os valores desta função utilidade permitem que se estabeleça uma comparação entre a utilidade dos diferentes atributos considerados relevantes.

Estes modelos são baseados na Teoria da Utilidade Estocástica proposta para modelar comportamentos dominantes num contexto de comparação par a par (Louviere, 2000a).

A Teoria da Utilidade Estocástica enuncia que cada alternativa tem uma utilidade para o decisor (viajante) cujo conhecimento para o analista é imperfeito e que o decisor escolhe a alternativa que tiver maior utilidade comparativamente com as outras. A utilidade de cada alternativa  $j$  é descrita como uma função matemática linear:

- Com um termo determinístico que é função dos seus atributos (utilidade constante.  $V_j$ ); e
- Um termo aleatório cuja dimensão depende da qualidade e rigor da informação utilizada para a calibração (variáveis explicativas) e da variedade de preferências na população (utilidade aleatória,  $\mathcal{E}_j$ ).

$$U_j = V_j + \mathcal{E}_j = \alpha_j + \beta_{1j}X_{1j} + \beta_{2j}X_{2j} + (\dots) + \beta_{aj}X_{aj} + \mathcal{E}_j$$

(Equação 2.1)

Em que:

$U_j$  utilidade da opção "j";

$V_j$  parte determinística ou sistemática da utilidade;

$\mathcal{E}_j$  erro ou componente aleatória;

$X_{aj}$  variáveis de serviço (atributos);

$\beta_{aj}$  coeficientes do modelo;

$\alpha_j$  e  $\beta_{aj}$  parâmetros a ajustar ou calibrar

com

$j$  – alternativa

$a$  – numero de atributos observados das alternativas

Na utilidade constante a abordagem de utilidade das alternativas é fixa. Quando uma alternativa é seleccionada define-se uma probabilidade de escolha sobre o conjunto de alternativas. Os atributos frequentemente considerados na parte determinística da função utilidade são:

- Quase sempre o tempo de viagem, o custo, o nº de transbordos;
- Por vezes a frequência de serviço e o conforto;
- Também um parâmetro específico de cada modo no qual são abrangidos todos os seus atributos mais difíceis de medir.

Uma das suas características restritivas do modelo logit é a incapacidade de captar a variação da escolha individual devido a factores não observados. A componente do erro do modelo logit surgiu como uma forma que permite considerar esses factores.

A abordagem da utilidade aleatória relaciona-se com factores não controlados no processo de escolha, tais como: erro de percepção, de entendimento, fadiga, erros de dados experimentais, etc. São referidas as suposições a respeito da componente aleatória do modelo:

- $\mathcal{E}$  (erro) é um vector real de variáveis aleatórias e de acordo com a população amostrada, possui uma distribuição;
- Essa distribuição desconhecida provém do conjunto de alternativas que devem ser identicamente distribuídas e cada um dos erros é aditivo, ou seja, são independentes.

Cada um dos atributos tem um parâmetro que corresponde à sua importância (peso) relativamente aos outros atributos na utilidade das alternativas. Esta formulação aditiva implica que a utilidade é compensatória - os defeitos numa das dimensões são compensáveis por virtudes noutra - e que os contributos dos vários atributos são independentes, isto é, o peso relativo de cada um deles (dado pelo seu coeficiente) é independente do valor que tome qualquer dos outros atributos. Seguindo o princípio de maximização da utilidade, o decisor escolhe a alternativa que tiver maior utilidade, ou seja escolhe a alternativa  $i$  se:

$$U_i > U_j \text{ com } j \neq i \quad (\text{Equação 2.2})$$

A partir das funções utilidade é possível calcular as probabilidades de escolha de cada alternativa. A probabilidade de escolha da alternativa  $i$  é a probabilidade de que a sua utilidade seja maior que a de todas as outras alternativas. Como a verdadeira função de utilidade não é conhecida - apenas a sua parte sistemática  $V$  - o que pode calcular-se é:

$$\begin{aligned} P(U_i > U_j) \text{ com } j \neq i \\ P(V_i + \mathcal{E}_i > V_j + \mathcal{E}_j) \text{ com } j \neq i \\ P(\mathcal{E}_j - \mathcal{E}_i < V_i - V_j \text{ com } j \neq i \end{aligned} \quad (\text{Equação 2.3})$$

Esta probabilidade é cumulativa, mais especificamente a probabilidade de cada termo aleatório  $\mathcal{E}_j - \mathcal{E}_i$  estar abaixo de  $V_i - V_j$ .

Quando se mantêm as alternativas e se trata apenas de estudar o efeito de alterações de variáveis desses modos calibram-se os parâmetros dos modelos para reproduzir as cotas de mercado nas circunstâncias actuais (desde que haja suficiente variação dos atributos) com base em preferências reveladas e ensaiam-se as mudanças de cotas de mercado por efeito de modificação num ou mais atributos de alguma das alternativas.

Quando há introdução de novos modos a calibração dos parâmetros não pode ser feita apenas como nas circunstâncias anteriores. Nessas situações pode recorrer-se a informação de outras cidades (analogias) embora haja sempre dúvidas sobre o realismo da transposição dessas situações. Usam-se inquéritos de preferências declaradas em que se estimam as compensações que as pessoas afectadas por essas modificações fazem entre os vários atributos.

### 2.5.1 Modelo Logit Binomial

O modelo Logit Binomial é aplicado quando a análise em estudo envolve dois modos (duas alternativas). Este modelo considera que o erro  $\mathcal{E}_j - \mathcal{E}_i$  é logisticamente distribuído. A distribuição logística tende para a distribuição normal com uma boa aproximação quando o número da amostra é grande.

A hipótese de que o erro  $\mathcal{E}_n$  apresenta distribuição logística significa que  $\mathcal{E}_{j_n}$  e  $\mathcal{E}_{i_n}$  são independentes e identicamente distribuídos com a lei de Gumbel – característica da Independência e a Idêntica Distribuição das componentes não observáveis das alternativas do conjunto de respostas. Esta hipótese significa que o erro de uma alternativa  $i$  não fornece nenhuma informação ao analista sobre os erros de uma alternativa  $j$  (Train, 2002b).

$$F(\mathcal{E}_n) = \frac{1}{1 + e^{-\mu\mathcal{E}_n}} \quad (\text{Equação 2.4})$$

Como o modelo estima probabilidades associadas às diferenças entre utilidades das alternativas, quando calculada a diferença entre duas componentes não observáveis obtém-se a distribuição Logística, de onde resulta o nome Logit, descrita por:

$$f(\mathcal{E}_n) = \frac{\mu e^{-\mu\mathcal{E}_n}}{1 + e^{-\mu\mathcal{E}_n}} \quad (\text{Equação 2.5})$$

O Logit binomial não permite acomodar heterogeneidade. Assim, num problema cujo conjunto de respostas é composto por apenas duas alternativas, em que os parâmetros da primeira foram normalizados, a probabilidade de escolha é calculada por:

$$\ln\left(\frac{P_A}{1 - P_A}\right) = U_A - U_B \quad (\text{Equação 2.6})$$



## 2.5.2 Modelo Logit Multinomial

O modelo Logit Multinomial é aplicado quando a análise em estudo envolve mais de um modo (mais de uma opção). O uso deste modelo é a prática mais comum e mais simples entre os modelos de escolha discreta.

O modelo Logit baseia-se na Teoria da Utilidade Estocástica com um conjunto de hipóteses sobre o termo de erro na expressão da utilidade:

$$U_j = V_j + \varepsilon_j = \alpha_j + \beta_{1j}X_{1j} + \beta_{2j}X_{2j} + (\dots) + \beta_{aj}X_{aj} + \varepsilon_j \quad (\text{Equação 2.1})$$

As diferentes hipóteses sobre a distribuição estatística destes erros resultam em diferentes modelos de escolha discreta. O modelo Logit considera os termos de erro  $\varepsilon$  independentes e com a mesma distribuição e parâmetros para todas as alternativas – princípio da Independência e a Idêntica Distribuição. A distribuição dos termos de erro segue uma lei de Gumbel.

O termo de erro toma valores pequenos em comparação com o valor da parte determinística da utilidade das alternativas e a diferença destes termos de erro tem uma distribuição logística. Numa escolha entre J modos a probabilidade de escolher um modo i é dada por:

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_e U_j} \quad (\text{Equação 2.7})$$

Este modelo assume que os factores negativos de padrão de viagem como o custo directo elevado podem ser compensados pelos factores positivos como a duração reduzida da viagem. Pode afirmar-se que os indivíduos seleccionam um modo de transporte (ou um sub-modo), baseando-se no somatório total das utilidades, positivas ou negativas, que estão associadas aos factores que influenciam a realização da viagem (Nicholson, 2003).

As principais vantagens deste modelo são que o cálculo da probabilidade de uma alternativa é feito através de uma expressão matemática fechada, simples e fácil de utilizar e o modelo é simples de programar no computador como parte de instrumentos de simulação que necessitam de reproduzir decisões repetidas.

O modelo Logit Multinomial implica o princípio da Independência das Alternativas Irrelevantes segundo o qual: “Quando duas alternativas tiverem probabilidade não nula de serem escolhidas, o rácio das probabilidades de duas alternativas não é afectado pela ausência ou presença de qualquer alternativa adicional no conjunto de escolha” (Ben-Akiva e Lerman, 1985c).

Isto é, se A e B forem duas alternativas de probabilidade não nula:

$$\frac{P_A}{P_B} = \frac{\frac{e^{U_A}}{\sum e^{U_j}}}{\frac{e^{U_B}}{\sum e^{U_j}}} = \frac{e^{U_A}}{e^{U_B}} \quad (\text{Equação 2.8})$$

A relação entre a probabilidade de escolha das alternativas A e B depende exclusivamente das componentes observáveis dessas alternativas sendo possível incluir ou retirar outras alternativas ao modelo sem que a relação entre A e B se altere.

A propriedade da Independência das Alternativas Irrelevantes representa uma debilidade do modelo sempre que haja alternativas claramente correlacionadas e implica um tratamento especial desses casos (por ex. 2 modos rodoviários partilhando o mesmo caminho) com o modelo Logit Hierárquico.

Outro resultado, associado à distribuição de Gumbel, é a incapacidade em captar variações aleatórias dos gostos entre alternativas ao não permitir correlação entre as componentes não observáveis. Ou seja, indivíduos com igual componente determinística têm iguais probabilidades de escolha para as alternativas. O modelo não deve ser aplicado a alternativas muito correlacionadas. É esta simplificação do Logit que permite obter uma curva de probabilidades de escolha intuitiva:

$$\begin{aligned} \frac{P_A}{P_B} = \frac{e^{U_A}}{e^{U_B}} = \ln\left(\frac{P_A}{P_B}\right) = \ln\left(\frac{e^{U_A}}{e^{U_B}}\right) &\Rightarrow \ln\left(\frac{P_A}{P_B}\right) = \ln(e^{U_A}) - \ln(e^{U_B}) \Rightarrow \\ \ln\left(\frac{P_A}{P_B}\right) &= U_A - U_B \end{aligned} \quad (\text{Equação 2.9})$$

A desvantagem do Logit Multinomial resulta da sua principal propriedade que na prática é pouco recorrente verificar-se seja pela heterogeneidade inerente às próprias alternativas seja

pela incapacidade das variáveis explicativas do modelo em diferencia-las. As limitações do modelo Logit Multinomial são as seguintes (Louviere, 2000b):

- Não há separação entre a forma dos componentes de ponderação que definem o papel dos atributos em cada expressão de utilidade (devido a problemas com escala);
- Parâmetros escalares são constantes entre as alternativas;
- As componentes aleatórias não são correlacionadas.

O Logit Multinomial pode ser considerado como uma aproximação à média dos gostos (Train, 2002c). Este modelo deve ser utilizado como ponto de partida de qualquer investigação na área das escolhas discretas porque, entre outras vantagens, permite captar a significância das variáveis explicativas e a relação destas com a variável explicada (Louviere, 2000c).

## **2.6 Calibração de Parâmetros e Validação dos Modelos Globais**

A calibração de um modelo de escolha discreta é um processo iterativo em que vários conjuntos de variáveis e estruturas de modelos são testados para identificar o modelo que melhor representa a opção dos indivíduos. Qualquer que seja o modelo matemático utilizado para a estimação de procura de transportes deverá conter parâmetros que permitam o ajuste das expressões do modelo às características do caso em estudo.

A calibração dos parâmetros do modelo tem como objectivo obter o melhor ajuste possível entre a realidade observada e a representação produzida pelo modelo. As estimativas dos valores dos parâmetros devem ser produzidas com base no princípio da máxima verosimilhança. Quando a expressão matemática é complexa recorre-se à estimação dos valores óptimos dos parâmetros pelo princípio dos mínimos quadrados, ou seja, calculam-se os valores dos parâmetros que minimizem a soma dos quadrados dos desvios entre os dados observados e os estimados pelo modelo.

Deve evitar-se a parametrização excessiva dos modelos porque a introdução de mais parâmetros aumenta os graus de liberdade do modelo. A consequência desta parametrização crescente é o aumento da dimensão dos intervalos de confiança das estimativas produzidas e uma menor confiança nos resultados obtidos.

Para os problemas em que se obtém as probabilidades de escolha através de inquérito e se pretende estimar apenas os parâmetros das funções de utilidade do modelo Logit, essa operação pode ser efectuada por mínimos quadrados através da expressão:

$$\ln \left( \frac{P_A}{P_B} \right) = V_A - V_B$$

(Equação 2.10)

A estimação por mínimos quadrados é aceitável e mais simples de executar, sobretudo para casos binomiais. Este tipo de estimação não permite a calibração de modelos de escolha discreta em que não se tem as probabilidades de escolha mas a escolha em si, isto é, uma variável binária como variável dependente.

A técnica mais utilizada para calibrar um Modelo Logit é a Máxima Verosimilhança que permite encontrar os melhores valores dos parâmetros para qualquer tipo de dados e variáveis relacionadas com uma escolha. A estimação por máxima verosimilhança do Logit consiste em procurar os parâmetros da função utilidade que maximizam a probabilidade de observar uma determinada amostra assegurando consistência e eficiência dos parâmetros do modelo. Os dados de entrada para a calibração do modelo devem obedecer às seguintes exigências:

- A variável dependente deve ser categórica e as variáveis independentes podem ser factores ou covariáveis. Em geral, os factores devem ser variáveis categóricas (por exemplo: variável sexo: feminino=0 e masculino=1) e as covariáveis devem ser variáveis contínuas (por exemplo: variável tempo de viagem);
- Assume-se no modelo Logit que a razão de escolha de qualquer par de categorias é independente das restantes categorias de resposta.

A verosimilhança de um conjunto de valores para os parâmetros dada a amostra obtida é a probabilidade de obtenção dessa amostra se fossem esses os verdadeiros valores dos parâmetros. O ajuste por máxima verosimilhança garante as seguintes propriedades:

- Consistência, isto é, à medida que o tamanho da amostra aumenta, o ajuste converge estocasticamente para os valores finais do parâmetro;
- Assintoticamente eficiente, ou seja, à medida que aumenta o tamanho da amostra, a variância dos parâmetros estimados tende aos seus valores mínimos;
- Aproximação pela Normal, isto é, à medida que o tamanho da amostra cresce a distribuição dos valores de cada parâmetro ajustado tende a uma Normal.

Dados uma função densidade de probabilidade  $f(X, a)$  e um conjunto de valores  $X_1 = (x_1, \dots, x_n)$ , a função de máxima verosimilhança é dada por:

$$L(a) = \prod_{i=1}^n f\left(\frac{X_i}{a}\right)$$

(Equação 2.11)

O estimador de máxima verosimilhança é o valor de (a) que maximiza L(a).

Para além da calibração dos parâmetros, deve proceder-se à validação do modelo. Esta não pode ser feita sem aquela operação mas não se reduz a ela. Consiste em avaliar se o modelo produzido é adequado para a operação de estimação pretendida que passa pela análise da qualidade do ajuste do modelo à realidade presente - medida na fase de calibração - mas inclui também os seguintes testes (Viegas, 2000c):

- Análise da sensibilidade dos resultados do modelo a pequenas variações de algum dos parâmetros tomado como constante;
- Viabilidade de produzir projecções com pequeno erro das variáveis explicativas, da situação actual para a situação em que se pretendem estimar os tráfegos;
- Aceitação do princípio de escolha expressa pelo modelo, considerada como correcta na situação actual, será idêntica no futuro, não só no que respeita às variáveis explicativas, mas também ao peso da sua influência (parâmetros do modelo).

Só após a passagem satisfatória do modelo construído por estes testes - numérico o primeiro, de análise lógica os dois restantes - se poderá proceder à sua aplicação.

## 2.7 Preferências Reveladas e Preferências Declaradas

Para calibrar o modelo Logit são necessários inquéritos a partir dos quais seja possível compreender as alterações dos comportamentos dos decisores perante a escolha do modo de transporte.

São utilizadas duas abordagens distintas que permitem obter esta informação: Preferências Reveladas e Preferências Declaradas. Os dados provenientes das técnicas de preferências reveladas e declaradas são as fontes de informação utilizadas pelos modelos de escolha discreta.

No método de Preferências Reveladas é observada a repartição das escolhas face a ofertas existentes de características diferenciadas ou as alterações de comportamento diante das alterações reais das condições envolventes (preços ou outras). O objectivo é obter informação

acerca do comportamento actual dos decisores (viajantes) assim como da importância relativa das variáveis que influenciam a sua decisão (Ortúzar e Roman, 2003).

A operação de recolha mais usada para este método corresponde a inquéritos em que se pretende saber, para cada situação de escolha, quantos indivíduos optaram por cada uma das alternativas disponíveis nessa situação. Pode aplicar-se a escolhas de:

- Caminho rodoviário – cada situação corresponde a um par origem – destino, eventualmente diferenciando por horas do dia por haver diferentes níveis de congestionamento;
- Estacionamento numa zona da cidade (tarifado na via e em parque, ilegal na via);
- Modo de transporte para viagens de médio e longo curso (automóvel, expresso, comboio, avião).

Para cada uma dessas situações e para todas as alternativas disponíveis são medidos os valores dos atributos relevantes da função utilidade (por ex. tempos de percurso e de espera, custos para o viajante, número de transbordos, etc). Por vezes a observação objectiva dos atributos pelo analista é difícil e torna-se necessário inquirir os viajantes sobre a sua percepção desses atributos.

Para a aplicação do modelo de escolha discreta deve evitar-se recorrer a comparações entre alternativas em que uma é claramente dominante das outras (por ex. mais de 90% dos viajantes) devido a que um pequeno erro na mediação das procuras associadas a cada alternativa possa gerar grandes variações no quociente das respectivas probabilidades. As principais dificuldades do método de preferência revelada são (Viegas, 2000d):

- As transposições de resultados de um local para outro devem ser cuidadosas, dada a influência que múltiplos factores culturais e sociais têm sobre a reacção das pessoas.
- Deve manter-se atenção a outros sistemas de transportes, procurando saber as alterações semelhantes a alguma(s) que se pretendam contemplar no caso em estudo. Podem não ter sido realizadas alterações semelhantes às que se pretendam introduzir (alguma cidade é a primeira a introduzir novas regras ou sistemas) ou, tendo havido essas experiências, podem não estar disponíveis os dados necessários para se poderem fazer as análises.

No método de Preferências Declaradas os indivíduos são questionados como alterariam o seu comportamento diante de determinadas alterações das condições numa situação futura. O objectivo é obter uma declaração de comportamento face a uma série de alternativas que o

decisor pode não ter experienciado. São criadas situações hipotéticas sobre as quais o inquirido reflecte e toma uma decisão.

Estes inquéritos são realizados na fase de preparação de medidas de modificação da oferta de transportes (mudança de preços, introdução de novos modos ou serviços) e que procuram obter declarações da resposta esperada (adaptação de comportamento) perante essas situações hipotéticas.

A forma mais usual de inquérito consiste em apresentar ao inquirido um conjunto de comparações entre pares de hipóteses e questionar a sua preferência por uma dessas hipóteses (e eventualmente a intensidade da preferência). Os atributos mais frequentes são o custo, frequência, tempo de viagem, etc.

Com um projecto do conjunto de comparações, consegue estimar-se os trade-off médios da população em estudo. Este conjunto permite calcular as modificações da oferta que maximizem a receita ou a cota de mercado de um determinado modo sujeito a um limite de resultados e estimar a procura e a receita para uma situação de referência.

A administração dos inquéritos pode operar-se com inquiridores - mais caro e mais fiável com importante decisão sobre a selecção da amostra e sobre o local de realização do inquérito – e por auto-administração – método falível mas por vezes é a única alternativa devido ao custo dos inquiridores.

Na realização das questões deve evitar-se a pergunta directa “como actuaria nesta nova situação?” porque a decisão quanto à mudança muitas vezes ainda não foi tomada e porque pode suscitar “respostas estratégicas” (a resposta dada é a que o inquirido pensa que maximiza a probabilidade de vir a ser decidido o que mais lhe convém).

Para os inquiridos as situações descritas devem ser simples de entender com poucos atributos de cada uma das alternativas. As alternativas devem ser aceitáveis e relacionáveis com a experiência anterior. Deve evitar-se a fadiga do inquirido com demasiadas comparações. As principais dificuldades do método de preferência declarada são (Viegas, 2000e):

- Dificuldade em fornecer ao entrevistado uma descrição eficaz das alterações previstas (decorrentes da introdução de um novo modo de transporte ou de um novo regime tarifário) o que implica que a pessoa se coloque para essa resposta num referencial diferente daquele em que estará realmente no futuro quando tiver de optar.
- Frequentemente os inquiridos praticam a resposta estratégica, respondem da forma que maximize a probabilidade de não se concretizarem as alterações que lhes seriam

desfavoráveis (e.g. aumentos de preços) ou de que se concretizem alterações que trariam mais autonomia nas suas escolhas futuras (e.g. introdução de novos modos de transporte, ainda que sem qualquer expectativa real de utilização). Deve colocar-se as questões para que os inquiridos se coloquem em cenários futuros sem a possibilidade de identificar qual deles é testado como possibilidade principal.



## 3 INQUÉRITO À MOBILIDADE

### 3.1 Enquadramento

Para fornecer a informação necessária aos modelos de escolha discreta foram utilizados os dados do Inquérito à Mobilidade na Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego (IM 2008) elaborado para a empresa Metro Mondego. Os documentos facultados à FCTUC são o Relatório Final e a Documentação da Base de Dados (ficheiros pdf), a Base de Dados (ficheiro Excel), as Notas sobre o Inquérito à Mobilidade 2008 (ficheiro Word) e os mapas do zonamento (ficheiro jpg).

A empresa Metro Mondego decidiu realizar um inquérito à mobilidade aos residentes na Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego que tem como objectivo principal a recolha de dados para apoiar a realização de estudos de planeamento e exploração.

O Inquérito à Mobilidade fornece dados para caracterizar as viagens realizadas ao longo de um dia útil pela população residente, o contexto socioeconómico do indivíduo e do seu agregado familiar, constituindo uma importante base de informação para o planeamento de redes de transporte e ordenamento do território. Com a realização de um inquérito à mobilidade encontra-se disponível informação recente e detalhada sobre os padrões de mobilidade na Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego.

Complementarmente ao inquérito aos residentes foram realizadas três actividades adicionais de recolha de informação:

- Inquéritos e contagens aos passageiros do Ramal da Lousã;
- Contagens pontuais aos movimentos de entrada e saída nos autocarros urbanos;
- Inquéritos a estudantes do ensino superior de Coimbra.

O Inquérito abrange os municípios do Distrito de Coimbra e os municípios vizinhos que apresentam ligação à cidade. A realização deste inquérito é uma oportunidade para conhecer a mobilidade na Região Centro envolvente a Coimbra tendo em vista a melhoria global das redes multi-modais de transporte colectivo. Por essa razão a área abrangida pelo Inquérito é mais vasta do que a directamente beneficiada pela primeira fase do projecto do Metro Mondego.

### 3.2 Características e dimensão do Inquérito

O Inquérito à Mobilidade teve como alvo a população com mais de 14 anos de idade e apenas abrangeu um indivíduo por agregado familiar. A unidade de inquérito foi o indivíduo sendo os inquiridos seleccionados por um processo de amostragem aleatória.

A cada um dos inquiridos foi pedido que descrevesse todas as viagens realizadas ao longo de um dia útil, incluindo as viagens a pé com duração superior a 5 minutos. Foi ainda realizado um inquérito que permitiu caracterizar o inquirido e o respectivo agregado no que respeita às principais características sócio-económicas.

O Inquérito foi realizado através de entrevistas telefónicas e domiciliárias (presenciais) ao longo de 12 semanas, entre Outubro de 2008 e Fevereiro de 2009. O Inquérito à Mobilidade implicou a realização de 13,7 mil inquéritos (o que torna a base de dados muito extensa).

O Quadro 3.1 resume os principais indicadores da dimensão do Inquérito e da mobilidade dos residentes na região inquirida. Estes resultados referem-se apenas ao inquérito geral aos residentes e excluem os inquéritos complementares realizados a passageiros do Ramal da Lousã e a estudantes do ensino superior de Coimbra.

Quadro 3.1 – Principais indicadores da dimensão do Inquérito

O Inquérito IM 2008 em números	Coimbra	Totalidade da região envolvida
Municípios envolvidos	1	26
Residentes em 2001	148.443	601.853
Residentes em 2007 com mais de 14 anos	120.948	515.713
Residentes em 2007 abrangidos pelo inquérito	120.449	514.701
Residentes inquiridos	5.031	13.696
Taxa média de amostragem	4,2%	2,7%
Total de viagens por dia	209.540	775.714
Número médio de viagens por dia / pessoa	1,74	1,51
Percentagem de viagens a pé	12%	13%
Percentagem de viagens em transporte colectivo no total das viagens motorizadas	19%	11%



Município	Distrito	População Residente 2001	Movimentos pendulares 2001			
			Para Coimbra	De Coimbra	Total	Total / Pop. Res.
Coimbra	Coimbra	148,443	-	-	-	-
Condeixa-a-Nova	Coimbra	15,340	3,339	526	3,865	25%
Montemor-o-Velho	Coimbra	25,478	2,872	465	3,337	13%
Miranda do Corvo	Coimbra	13,069	2,722	297	3,019	23%
Cantanhede	Coimbra	37,910	2,121	877	2,998	8%
Penacova	Coimbra	16,725	2,647	335	2,982	18%
Mealhada	Aveiro	20,751	2,179	611	2,790	13%
Figueira da Foz	Coimbra	62,601	1,795	504	2,299	4%
Soure	Coimbra	20,940	1,866	227	2,093	10%
Lousã	Coimbra	15,753	1,742	234	1,976	13%
Pombal	Leiria	56,299	889	309	1,198	2%
Anadia	Aveiro	31,545	704	253	957	3%
Vila Nova de Poiares	Coimbra	7,061	573	192	765	11%
Penela	Coimbra	6,594	537	83	620	9%
Ansião	Leiria	13,719	475	116	591	4%
Oliveira do Hospital	Coimbra	22,112	339	85	424	2%
Arganil	Coimbra	13,623	231	130	361	3%
Mira	Coimbra	12,872	328	32	360	3%
Mortágua	Viseu	10,379	230	66	296	3%
Santa Comba Dão	Viseu	12,473	225	48	273	2%
Tábua	Coimbra	12,602	155	84	239	2%
Figueiró dos Vinhos	Leiria	7,352	127	31	158	2%
Góis	Coimbra	4,861	92	50	142	3%
Pampilhosa da Serra	Coimbra	5,220	97	42	139	3%
Pedrógão Grande	Leiria	4,398	51	14	65	1%
Castanheira de Pêra	Leiria	3,733	52	13	65	2%
<b>Total</b>		<b>601,853</b>	<b>26,388</b>	<b>5,624</b>	<b>32,012</b>	<b>6%</b>

### 3.2.2 Estimativa da população alvo do Inquérito à Mobilidade

Para estimar a população alvo do IM 2008 foi necessário resolver duas dificuldades:

- Estimar a população em 2008, um ano já muito afastado dos Censos de 2001.
- Considerar a população presente e não a residente, uma vez que a primeira é mais relevante para avaliar a geração de viagens e a mobilidade em geral nos dias úteis. A diferença entre as duas é significativa no caso de Coimbra, principalmente devido ao peso dos estudantes do ensino superior que são população presente mas não residente.

O Quadro 3.3 apresenta a população residente e presente para todos os municípios inquiridos nos anos 2001 e 2008. O método de estimação da população adoptado no IM 2008 envolveu algumas aproximações:

- Município de Coimbra:
  - Foram estimadas: i) a população residente em 2008, com base nos Censos de 2001 e nas estimativas intercensitárias do INE para 2007 (as últimas disponíveis à data); ii) a população de estudantes do ensino superior que são população presente mas não residente, através de um inquérito preliminar.
  - As duas sub-populações foram inquiridas separadamente. Os indivíduos inquiridos da população residente foram apenas os presentes. Na população residente estão incluídos os estudantes que são população residente e presente.
  - Segundo as estimativas intercensitárias do INE desde 2001 houve um decréscimo significativo da população residente do município de Coimbra. Nas estimativas do IM 2008 foi também considerado um decréscimo mas menor.
  - Foram ignoradas outras diferenças entre população residente e presente, em número de habitantes e na sua distribuição por segmentos (zona, idade, sexo).

Quadro 3.3 – População do município de Coimbra nos anos 2001 e 2008

Dados do INE	
População residente em 2001	148.443
População presente em 2001	157.510
População residente em 2007	137.212
Estimativas usadas no IM 2008	
População residente em 2008	140.338
Estudantes do ensino superior em 2008 presentes (inferior ao total de todas as instituições)	22.798
<b>População presente considerada no IM 2008</b>	<b>163.136</b>

- Outros municípios:
  - Foi considerada a população residente em 2007 segundo as estimativas intercensitárias do INE.
  - Foi ignorada a diferença entre população presente e residente.

O Quadro 3.4 apresenta os Municípios inquiridos e a População residente e presente nesses Municípios nos anos 2001 e 2007.

Quadro 3.4 – Municípios inquiridos – População residente e presente (*fonte: INE*)

Município	População Residente 2001 (A)	População Presente 2001 (B)	População Residente 2007 (C)	Diferença B/A-1	Diferença C/A-1
Coimbra	148,443	157,510	137,212	6%	-8%
Condeixa-a-Nova	15,340	14,871	17,422	-3%	14%
Montemor-o-Velho	25,478	24,485	24,820	-4%	-3%
Miranda do Corvo	13,069	12,786	13,686	-2%	5%
Cantanhede	37,910	36,378	38,931	-4%	3%
Penacova	16,725	16,065	16,893	-4%	1%
Mealhada	20,751	20,055	22,099	-3%	6%
Figueira da Foz	62,601	59,374	63,229	-5%	1%
Soure	20,940	20,162	20,579	-4%	-2%
Lousã	15,753	15,059	18,786	-4%	19%
Pombal	56,299	54,866	59,764	-3%	6%
Anadia	31,545	30,466	31,559	-3%	0%
Vila Nova de Poiares	7,061	6,785	7,491	-4%	6%
Penela	6,594	6,322	6,287	-4%	-5%
Ansião	13,719	13,192	13,591	-4%	-1%
Oliveira do Hospital	22,112	21,311	21,714	-4%	-2%
Arganil	13,623	13,407	12,799	-2%	-6%
Mira	12,872	12,185	13,269	-5%	3%
Mortágua	10,379	9,910	10,217	-5%	-2%
Santa Comba Dão	12,473	11,862	12,310	-5%	-1%
Tábua	12,602	12,329	12,331	-2%	-2%
Figueiró dos Vinhos	7,352	7,079	6,901	-4%	-6%
Góis	4,861	4,859	4,446	0%	-9%
Pampilhosa da Serra	5,220	5,027	4,416	-4%	-15%
Pedrógão Grande	4,398	4,226	4,111	-4%	-7%
Castanheira de Pêra	3,733	3,607	3,250	-3%	-13%

---

Total	601,853	594,178	598,113	-1%	-1%
-------	---------	---------	---------	-----	-----

---

### 3.3 Apresentação dos Documentos do Inquérito à Mobilidade

#### 3.3.1 Documentação da Base de Dados

O Inquérito à Mobilidade aos Residentes da Área de Influência do SMM foi desenvolvido em suporte de papel para auxiliar as entrevistas efectuadas ao domicílio e em formato electrónico para auxiliar os entrevistadores nos inquéritos por telefone. A estrutura dos dois modos de inquérito é coincidente para conciliar a informação reunida.

A Documentação da Base de Dados do Inquérito à Mobilidade apoia a interpretação das informações contidas na Base de Dados (disponibilizada em ficheiro Excel). Este documento tem uma estrutura idêntica à da Base de Dados onde apresenta cada uma das questões realizadas e a informação recolhida. A Documentação da Base de Dados é organizada nas cinco secções seguintes:

Na primeira secção apresenta-se o Bloco de Filtro onde se verifica a validade dos inquiridos para o âmbito do Inquérito. Cada inquérito é identificado com um ID único. O Inquérito à Mobilidade foi realizado por telefone aos residentes da Área de Influência do SMM, aos estudantes universitários residentes em Coimbra em período lectivo e aos utentes do Ramal da Lousã. Foram ainda realizados inquéritos presenciais aos residentes da Área de Influência.

Este capítulo regista o dia da semana em que o inquérito foi realizado e avalia se o indivíduo fez viagens no dia anterior em que a resposta afirmativa determina a sua participação no inquérito. Em caso de resposta negativa o inquirido responde a questões sobre a caracterização do seu agregado.

Na segunda secção apresenta-se a Caracterização do Inquirido e do seu Agregado Familiar que fornece informação relevante para a avaliação da mobilidade. Foi questionada a dimensão do agregado familiar e feita uma classificação por grupos etários, o modo de transporte utilizado nas deslocações casa-escola e o acompanhamento prestado aos menores nessas viagens. Fizeram-se questões acerca do nível de motorização da família, das despesas com o automóvel, do tipo de estacionamento no local de residência e da situação do inquirido perante a condução do automóvel.

Por fim fez-se uma caracterização socioeconómica dos indivíduos (idade, nível de instrução, taxa de emprego, profissão, rendimento mensal). Com base na informação anterior foi



calculado o status social. A morada do agregado foi georreferenciada e classificada em função da exactidão da referência.

Na terceira secção apresenta-se a Descrição das Viagens que caracteriza as viagens do inquirido e refere algumas razões sobre as opções de escolha modal. Para cada inquirido foi descrita a sequência de viagens e registada a informação sobre a origem e destino da viagem, o motivo, horas de início e fim da viagem e respectiva duração. De modo a avaliar a necessidade de utilizar mais do que um modo de transporte foi questionado o número de permutas efectuadas e o modo de transporte utilizado.

Quanto ao tipo de estacionamento, pretendeu-se aferir sobre a zona e custo de estacionamento e nas situações em que era possível aos inquiridos usarem automóvel foram questionadas as principais razões da escolha dos modos pedonal e transporte colectivo. O inquirido apresenta uma questão relativa ao título de transporte utilizado (bilhética) para apreciar a regularidade de utilização do transporte colectivo, avalia se as viagens eram condicionadas por se realizarem na companhia de outra pessoa e se era necessário fazer algum desvio devido a esse facto. Por último foi questionado sobre a frequência com que os inquiridos realizam a viagem descrita.

Na quarta secção apresenta-se a Caracterização dos Transbordos descrevendo o modo de transporte utilizado pelos inquiridos para chegar ao local de transbordo e referencia as zonas com maior ocorrência de transbordos com os principais pontos identificados.

Finalmente, na quinta secção apresenta-se a Valorização do grau de satisfação onde se registou as razões associadas ao grau de satisfação dos inquiridos com o modo de transporte.

### **3.3.2 Relatório de Apresentação dos Resultados**

O Relatório apresenta os resultados dos trabalhos de campo que constituem o cerne deste estudo e que tem como objectivo permitir que a Metro Mondego desenvolva um modelo de procura para o sistema do Mondego, avalie os impactes das opções de reorganização dos serviços dos SMTUC ou diferentes configurações de tarifário.

Este documento corresponde a um elemento de apoio no qual se destacam os principais resultados dos trabalhos de campo que foram desenvolvidos acompanhado de:

- Base de dados dos inquéritos aos residentes, estudantes universitários e passageiros do Ramal da Lousã

Tendo em consideração o vasto programa de estudos desenvolvido para o SMM, é fundamental disponibilizar a informação de base do inquérito à mobilidade. A base de dados contém os factores de extrapolação considerados bem como as fórmulas que conduziram ao cálculo de todos os elementos contidos no Relatório.

- Documentação da Base de Dados e codificação dos inquéritos

De forma a apoiar a exploração da base de dados dos inquéritos aos residentes é produzido um guião em que são identificadas e descritas as variáveis do inquérito e apresentados os campos de codificação.

- Elementos geográficos de suporte em SIG

Para auxiliar a interpretação geográfica da informação é disponibilizada em base SIG o zonamento adoptado no SMM bem como a localização geo-referenciada dos inquéritos (zonas de residência e extremos de viagem).

- Contagens e inquéritos de passageiros no Ramal da Lousã e nas paragens de autocarros estruturantes

As bases de dados com as contagens e inquéritos realizados aos passageiros do Ramal da Lousã e dos autocarros dos SMTUC e das linhas suburbanas e regionais e base em SIG com a localização dos pontos em que foram realizadas contagens.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Filtragens aplicada à base de dados**

Como o objectivo da dissertação é analisar as escolhas do meio de transporte na cidade de Coimbra (e a base de dados disponível apresenta informação que não é relevante para o âmbito do estudo) aplicaram-se 4 filtros distintos ao inquérito apresentado em ficheiro Excel.

Os filtros aplicados têm que ver com a origem e destino das viagens que são o município de Coimbra filtrado de entre os 26 municípios da Área de Influência do SMM. Foram considerados os 2 modos principais de transporte: transporte individual e transporte colectivo rodoviário e ferroviário e excluídos os modos pedonal, bicicleta e táxi. O último filtro aplicado refere-se à hora de fim das viagens no período de ponta da manhã entre as 7 e as 9 horas. Com a aplicação dos filtros reduziu-se as linhas de dados para 6 % do total (1286/22535).

Alguns inquéritos foram eliminados no que respeita a posse de carta de condução. Os inquéritos eliminados correspondem a inquiridos que não possuem carta e apenas usam o TC. Nesta situação não é possível fazer uma escolha entre o TI e o TC por não se poder usar mais nenhuma alternativa.

### **4.2 Macro aplicada à base de dados**

Devido ao facto de que um inquérito de preferências reveladas não contém em si uma escolha entre modos foi necessário construir comparações de forma artificial. Após a filtragem dos dados aplicou-se uma ferramenta de Excel designada macro em que para cada inquérito se procurou outro idêntico em termos de coordenadas de origem e destino assim como hora de saída mas modo de transporte diferente do original.

Procura-se assim ter uma caracterização do modo de transporte não escolhido que seja a mais próxima da realidade possível (não estava disponível informação em rede para os sistemas de transportes colectivos de Coimbra). Os limites aplicados para encontrar essas viagens foram os seguintes: para as coordenadas aceitou-se uma distância máxima de 350 m e para a hora

um tempo de 20 minutos de diferença máxima. De entre as viagens encontradas foi sempre escolhido o inquérito com menor diferença do inquérito analisado nestes dois atributos.

Assim, numa nova folha de cálculo, a primeira linha é a do inquérito original e a seguinte do inquérito encontrado que se assemelha em coordenadas e tempo. Manteve-se as características socio-demográficas do inquérito encontrado mas as que se consideram para efeitos do modelo são as do inquérito de referência. Do inquérito reteve-se as variáveis tempo e custo de viagem.

No total apresentam-se 454 inquéritos o que corresponde a 227 comparações – um número suficiente para obter os resultados dos modelos de escolha discreta. Com a aplicação da macro reduziu-se os inquéritos para 35% do total dos dados filtrados (454/1286).

### 4.3 Estimativa de custos dos Transportes Individual e Colectivo

Para estimar o custo do TI calculou-se um custo médio por quilómetro com base no seguinte raciocínio: considerou-se um automóvel com consumo médio de 10 L/100 km, preço do combustível de 1,5€/L e uma percentagem de 30% para os restantes gastos (estacionamento, manutenção, desgaste). O consumo elevado justifica-se por se tratar de condução em ambiente urbano com consumos irregulares. Efectuando o cálculo vem:

$$\left(1,5 \frac{\text{€}}{\text{L}} * 0,1 \frac{\text{L}}{\text{Km}}\right) * 1,3 \approx 0,20 \frac{\text{€}}{\text{Km}}$$

Assim, adoptou-se 0,20 €/km para o custo médio de viagem em TI.

O custo do TC foi calculado com os preços dos bilhetes e do passe dos SMTUC: bilhetes comprados no veículo, pré-comprados e tipos de passe mensal. O tarifário considerado é do ano 2011. No cálculo do custo unitário do passe dividiu-se o custo total por 44 que representa o número médio mensal de viagens considerando 22 dias úteis por mês. No Quadro 4.1 apresentam-se os resultados do custo do TC.

Quadro 4.1 – Custos Total e Unitário do Transporte Colectivo

	Modalidade	Custo total (€)	Custo unitário (€/viagem)
Comprado no TC	1 Viagem	1,5	1,5
Pré – comprado	11 Viagens	6,1	0,55
	Sénior	13	0,30
Passe	4 – 23 Anos	17,5	0,40
	SMTUC + CP	35	0,80

#### 4.4 Selecção das variáveis

De entre as variáveis que foi possível construir com os dados disponíveis no inquérito é apresentado as 8 variáveis utilizadas nos modelos devido à sua significância.

Numa primeira fase consideraram-se, além das variáveis referidas, as variáveis Distância, Transbordos em TC, Tempo de Viagem e Rendimento na função utilidade do TI. Na análise dos resultados verificou-se que estas variáveis apresentavam influência reduzida no cálculo da utilidade.

A variável Rendimento continha dados insuficientes e foi substituída pela variável Profissão. A variável Idade foi dividida em 2 grupos: Jovens (< 23 anos) e Velhos (> 65 anos). No Quadro 4.2 apresentam-se o significado e codificação das variáveis utilizadas:

Quadro 4.2 – Significado e Codificação das Variáveis

Variável	Significado	Codificação
ASTI	Constante específica da alternativa TI	1 se é TI; 0 caso contrário
CUSTO	Custo do Transporte	Euros
AUTO	Número de automóveis no agregado familiar	Nº de automóveis no agregado
SEXO	Sexo do inquirido	1 se Homem; 0 se Mulher;
ENCART	Número de pessoas do agregado com carta de condução	Nº de Cartas de condução no agregado
PROF	Profissão do Inquirido	Quadro A.1 – Anexo A
VELHOS	Se o inquirido é velho	1 se inquirido tem idade > 65 anos; 0 caso contrário
JOVEM	Se o inquirido é Jovem	1 se inquirido tem idade < 23 anos; 0 caso contrário
STATBIG	Se o status do inquirido é alto	1 se é status=A; 0 caso contrário; Quadro A.3 – Anexo A

Pode verificar-se que a variável Custo é a única da caracterização das viagens e as restantes são características sócio-demográficas dos inquiridos.

#### 4.5 Estimação do modelo

O primeiro passo para a estimação do modelo é definir as funções utilidade dos dois modos de transporte considerados a partir da expressão da utilidade (Equação 2.1). Para a utilidade do TI vem (optou-se por nomear os coeficientes da função com os nomes das respectivas variáveis):

$$U(TI) = ASTI + CUSTO * CUSTO + AUTO * AUTO + SEXO * SEXO + ENCAR * ENCAR + PROF * PROF + VELHOS * VELHOS + JOVEM * JOVEM + STATBIG * STATBIG$$

(Equação 4.1)

Para a utilidade do TC vem um único atributo precedido do respectivo coeficiente:

$$U(TC) = CUSTO * CUSTO$$

(Equação 4.2)

A variável ASTI é a constante específica da alternativa e mede a diferença média de utilidade entre a alternativa TI e a alternativa TC que não é medida pelas variáveis explicativas. Só pode haver n-1 constantes específicas de alternativa nas funções de utilidade, com n igual ao número de alternativas. A justificação prende-se com a identificação de todos os parâmetros do modelo.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Apresentação dos resultados

Os dados foram introduzidos no programa Nlogit 4.0 onde é possível construir um modelo de escolha discreta segundo várias especificações entre as quais as funções utilidade desejadas.

Este programa destina-se a pesquisa de dados de mercado em que os consumidores escolhem entre um conjunto de alternativas discretas e oferece um conjunto de ferramentas para análise econométrica. Possibilita a configuração de dados para a estimativa, a especificação de diferentes formas de modelos, a experimentação com diferentes especificações, teste de hipóteses, análise de dados e resultados do modelo e estimadores.

Oferece as seguintes ferramentas estatísticas: Modelação de escolha discreta, Análise dos dados de escolha multinomial, Estimação da máxima verosimilhança, Simulação de modelos, Análise de fronteira e Contagem de dados.

Seguidamente apresentam-se as instruções colocadas no programa para correr o modelo:

```
? MultinomialLogit  
NLOGIT
```

```
;lhs=ESCOLHA  
;choices=TI,TC  
;MODEL:
```

```
? TI Utilidade
```

```
U(TI) =  
ASTI+CUSTO*CUSTO+AUTO*AUTO+SEXO*SEXO+ENCART*ENCART+PROF*PROF+VELHOS*VELHOS+JOVEM*JOVEM+STATBIG*STATBIG/
```

```
? TC Utilidade
```

```
U(TC) =CUSTO*CUSTO + TRANS*TRANS  
;Crosstab
```

```
;Describe  
;Prob=Prob  
;CHECKDATA$
```

Após correr o modelo resultaram os seguintes coeficientes e significâncias estatísticas apresentados no Quadro 5.1:

Quadro 5.1 – Coeficientes e T Stat das Variáveis

Variável	Coeficiente	T stat
ASTI	3.2784	3.789
CUSTO	-0.5569	-1.560
AUTO	1.2026	4.326
SEXO	0.7130	1.822
ENCART	-0.9328	-4.071
PROF	-0.1853	-2.723
VELHOS	-2.2545	-2.573
JOVEM	-1.0590	-1.840
STATBIG	1.1373	1.185

O coeficiente ASTI corresponde ao peso da constante específica da alternativa que mede a diferença média de utilidade entre o TI e o TC que não é explicada pelas variáveis do modelo. O facto de o coeficiente ser positivo significa que parte da preferência pelo automóvel não é explicada com estas variáveis. Muitas vezes associa-se a este coeficiente uma preferência especial pelo modo que não se consegue explicar.

Este facto acontece especialmente no caso do automóvel cuja atractividade está muito ligada a aspectos mais subjectivos de atitude pessoal do que a aspectos mais racionais e objectivos como o tempo e custo de viagem. No caso deste estudo, devido às suas limitações, não foi possível dispor de alguns dos atributos funcionais fundamentais do modo de transporte como o tempo de viagem por estar muito correlacionado com o custo e desta forma o coeficiente da constante específica de alternativa pode estar enviesado.

O Quadro 5.2 apresenta as correlações das variáveis que estão pouco correlacionadas devido aos seus valores reduzidos. Estes resultados mostram que as variáveis são independentes e assim o seu efeito no modelo é independente.



Quadro 5.2 – Correlações das variáveis

	ESCOLHA	DIST	CUSTO	TRANS	AUTO	CARTA	IDADE	SEXO	ENCART	PROF	REND
ESCOLHA	1										
DIST	0,021	1									
CUSTO	-0,053	0,638	1								
TRANS	-0,107	-0,100	-0,021	1							
AUTO	0	0,095	-0,009	0,062	1						
CARTA	0	0,108	0,057	0,001	0,436	1					
IDADE	0	-0,117	-0,024	-0,077	-0,290	-0,282	1				
SEXO	0	-0,021	-0,004	0,000	0,044	0,010	0,050	1			
ENCART	0	0,003	-0,003	0,038	0,305	0,364	-0,090	-0,045	1		
PROF	0	-0,022	-0,036	0,034	0,037	0,035	0,025	0,039	-0,028	1	
REND	0	-0,021	0,023	0,020	-0,218	-0,075	0,136	-0,165	-0,041	-0,020	1

## 5.2 Estatística de teste das variáveis explicativas

Associado a cada variável está o resultado do teste estatístico t que permite aferir a significância estatística de cada variável no modelo. No Quadro 5.2 apresentam-se os Intervalos de confiança e Limites do t Stat para os diferentes Níveis de significância.

Quadro 5.3 – Níveis de significância e Intervalos de confiança

Nível de significância ( $\alpha$ )	Intervalo de confiança (1- $\alpha$ )	Limite para o t Stat ( $Z_{\alpha/2}$ )
5%	95%	1,96
10%	90%	1,64
20%	80%	1,28

Observa-se que a maioria das variáveis são significativas para um nível de significância de 5%. Para as variáveis AUTO, ENCART, PROF e VELHOS os respectivos t Stat são superiores a 1,96 ou inferiores a -1,96. Estas variáveis são estatisticamente significativas com um nível de significância de 5%.

Para as variáveis SEXO e JOVEM os respectivos t Stat são inferiores a 1,96 mas superiores a 1,64 ou inferiores a -1,64. Estas variáveis apresentam um nível de significância de 10%. Para um nível de significância de 20% (intervalo de confiança a 80%), o limite para o t Stat é 1.28. A variável CUSTO apresenta um t Stat igual a -1,560 que é inferior a -1,28.

A variável STATBIG é a única cujo t Stat, de valor 1,185, é inferior a 1,28. Esta variável tem menos significância estatística; a significância associada ao valor de 1.185 é 22% o que não difere muito da significância a 20%. Verifica-se que as variáveis oferecem significância estatística pelo que é aceitável utilizá-las para estimar o modelo logit de repartição modal.

Para avaliar o ajustamento global do modelo aos dados é necessário uma estatística global de ajustamento. Nos modelos de escolha discreta não se utiliza o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) que diz respeito a regressões lineares. Contudo, está disponível outro indicador equivalente, o pseudo- $r^2$ , que não se lê como o coeficiente de determinação porque a relação entre os dois não é linear. Na Figura 5.1 apresenta-se a relação entre os dois indicadores:

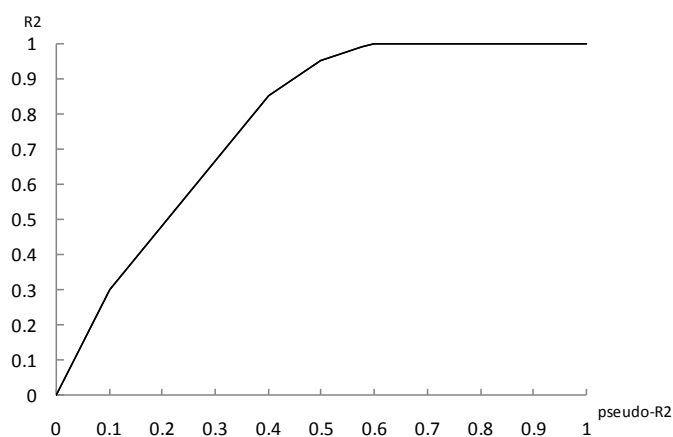


Figura 5.1 – Relação entre o coeficiente de determinação e o pseudo- $r^2$

No modelo o resultado do pseudo- $r^2$  é 0.27 que conduz a um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) maior que 0.5. Este valor não traduz um modelo muito ajustado mas em modelos de escolha discreta é um valor aceitável para que os resultados possam ser significativos.

Outro resultado apresentado pelo programa é a tabulação de escolhas realizadas nos dados e escolhas estimadas pelo modelo de escolha discreta. No Quadro 5.3 apresentam-se as escolhas reais em linha e em coluna as escolhas previstas pelo modelo:

Quadro 5.4 – Escolhas reais e escolhas previstas

	TI	TC	Total
TI	126	29	155
TC	29	30	59
Total	155	59	214

No Quadro pretende-se ter o máximo de valores na diagonal por corresponder a escolhas reais que foram acertadas pelas escolhas estimadas através do modelo. Verifica-se que o modelo estima precisamente a mesma repartição modal que é observada nos dados:  $155/214 = 72\%$  para o TI e  $59/214 = 28\%$  para o TC.

Este facto era esperado por ser uma premissa do modelo de estimação reproduzir exactamente o mesmo número de casos mas verifica-se que há erros nessa estimação: por exemplo 29 casos em que a alternativa escolhida foi o TC são estimados como escolhendo o TI e o mesmo acontece no caso inverso: 29 casos em que foi escolhido o TI foram estimados como tendo escolhido o TC. No total há 27% ( $=29*2/214$ ) dos casos em que a estimação falha.

### 5.3 Interpretação dos resultados

A partir da interpretação da variável constante específica da alternativa TI conclui-se que existe uma preferência especial por este modo. A variável seguinte é o CUSTO de transporte que serve amiúde para a validação do modelo já que o custo de transporte representa sempre uma perda de utilidade para quaisquer modos em competição. No modelo verificou-se este facto porque o coeficiente é negativo aumentando a confiança nos dados obtidos pelo processo de extracção de informação explicado anteriormente.

O modelo estimado permite retirar conclusões interessantes sobre a relação entre as características dos viajantes de Coimbra e a sua escolha de modo de transporte. Verifica-se através da variável AUTO que a posse do automóvel tem um impacte positivo na utilidade da escolha do TI e que esse impacte é significativo, contribuindo para confirmar que associado a taxas de motorização mais elevadas está uma maior propensão para a utilização do automóvel. Deve-se a que o agregado familiar já incorreu em custos de posse que tenta otimizar utilizando o automóvel.

Verifica-se também uma tendência de maior propensão para escolha do automóvel por parte dos Homens (variável SEXO). Essa é uma tendência habitual já que normalmente é dada prioridade aos homens ao uso do automóvel dentro do agregado familiar devido a questões culturais. Estes resultados confirmam essa intuição acerca do comportamento da população de Coimbra.

A variável seguinte diz respeito ao número de pessoas com carta no agregado familiar (ENCART). Esta variável é expressiva e com coeficiente negativo na função utilidade do TI o que permite concluir que o facto de haver muitas pessoas com carta de condução no agregado familiar contribui para uma menor possibilidade de escolha do transporte individual. A interpretação que se pode fazer deste resultado é que o aumento de competição pelo

automóvel dentro da família contribui para uma diminuição da probabilidade de escolha do automóvel.

A variável Profissão (PROF) foi colocada como uma variável contínua no modelo das profissões de rendimento mais alto para as profissões de rendimento mais baixo. O coeficiente negativo pode interpretar-se como uma tendência para profissões de menores rendimentos estarem associadas a uma menor utilização do transporte individual.

Este resultado pode ser analisado em conjunto com a variável STATBIG que pretende ser um indicador do estatuto social da pessoa inquirida. Quanto maior é o nível de instrução (associado à profissão) maior o estatuto social. Esta variável é a última da lista de variáveis e tem um coeficiente positivo na utilidade de escolha do TI, que é um resultado esperado.

As últimas duas variáveis que se interpretam dos resultados são a variável VELHOS e JOVEM codificadas como referido. Ambas têm coeficientes negativos na utilidade do modo de transporte TI o que permite inferir que nestas idades há menor tendência para a escolha do automóvel, seja por impossibilidade financeira no caso dos jovens ou por perda de reflexos e impossibilidade física no caso dos mais velhos.

## 6 CONCLUSÃO

O objectivo da dissertação é estudar a motivação da escolha do meio de transporte em Coimbra utilizando os modelos de escolha discreta. Este concretiza-se em estimar as probabilidades de escolha dos utentes dos modos TC e TI, avaliar o padrão de escolha modal da população de Coimbra, medir a influência dos atributos sobre o padrão de escolha dos utentes e definir o perfil do utente de transporte por cada modo considerado. Pode afirmar-se que, de um modo geral, os objectivos iniciais foram atingidos embora a utilização de um inquérito de preferências reveladas para este tipo de objetivo tenha várias limitações.

A dissertação revela por isso algumas limitações próprias de um estudo que tem por base um inquérito com informação bastante diversificada. O ficheiro de dados apresenta grande quantidade de informação sendo necessário proceder à filtragem dos dados relevantes para o âmbito do estudo.

Não estava ainda disponível uma representação dos sistemas de transportes colectivos de Coimbra em rede para os diferentes modos (informação fornecida pela empresa metro Mondego que não foi integrada neste trabalho). Esta dificuldade implicou a construção de comparações artificiais entre os modos de transporte para que a caracterização do modo não escolhido seja a mais próxima possível do modo de referência. Estas comparações introduzem erros nas estimativas dos parâmetros que influenciam os resultados da repartição modal.

Na análise dos resultados verificou-se que não foi possível contar com alguns dos atributos fundamentais dos modos de transporte (como as variáveis Tempo de viagem e Distância) por estarem muito correlacionadas com o Custo. Daqui resulta o enviesamento do coeficiente da constante específica de alternativa que pode desvirtuar a utilidade do TI.

No modelo verificam-se erros de estimação: 29 casos em que a alternativa escolhida foi o TC são estimados como escolhendo o TI e o mesmo acontece no caso inverso. No total a estimação falha em 27% dos casos. Os factos anteriores confirmam que a dificuldade de aplicação dos modelos tem mais que ver com a estimação dos parâmetros do que com a construção dos modelos.

---

Verificou-se que as variáveis oferecem significância estatística com base na estatística de teste sendo admissível utilizá-las na estimação do modelo de repartição modal. A partir da interpretação da variável constante específica da alternativa TI, de valor 3.2784, conclui-se que existe uma preferência especial por este modo que não foi possível explicar através das variáveis consideradas.

No modelo de estimação o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), de valor superior a 0.5, traduz um modelo suficientemente ajustado. É um valor razoável para que os resultados possam ser significativos em modelos de escolha discreta. O modelo estima exactamente a repartição modal observada nos dados: 72% para o TI e 28% para o TC. É este o padrão de escolha modal de Coimbra de acordo com os dados utilizados do inquérito.

Para definir o perfil do utente de transporte por cada modo considerado pode a população de Coimbra dividir-se, de grosso modo, em residentes e estudantes não residentes (cerca de 20% da população total da cidade – Quadro 3.3). Importa também distinguir estes utilizadores pela sua idade já que se verifica ser um elemento diferenciador assim como o rendimento.

Os resultados da estimação do modelo apontam para que o utente do TI é caracterizado por adultos (tanto os inquiridos idosos e jovens têm maior propensão para não escolher o TI), que habitam em zonas centrais da cidade (custo de transporte mais baixo e por isso maior proximidade ao local de trabalho), com profissão de rendimento mais elevado. Os respectivos agregados familiares auferem rendimentos superiores à média o que lhes deverá permitir a posse de mais que um automóvel. Verifica-se que a posse do automóvel tem impacte forte na sua utilização tal como seria de esperar.

Os mais jovens têm a tendência para escolher o TC. Isso deverá corresponder a grande parte de estudantes deslocados pertencentes a agregados familiares que possuem rendimentos menores quando comparados com os rendimentos dos agregados residentes na cidade de Coimbra. A preferência pelo TC deverá ser justificada pelas ofertas de percursos das carreiras aos locais centrais da cidade, por passes mensais com descontos para estudantes e pela facilidade da transferência intermodal entre autocarro e comboio.

A maioria dos idosos de Coimbra usa o TC como meio de transporte devido à comodidade e segurança dos autocarros e para evitar os constrangimentos causados pelo uso do TI (trânsito, estacionamento) devido a possíveis faltas de reflexos e visibilidade próprias da idade. A elevada frequência das carreiras e acessibilidade do TC na cidade e os passes mensais com descontos são outros factores que podem justificar a escolha do TC como meio de transporte.

É importante referir nestas conclusões que apesar das fragilidades do método de construção de comparações através dos dados dos inquéritos de preferência revelada, estes dados assumem uma grande vantagem quando comparados com dados de inquéritos de preferências declaradas.

Essa vantagem prende-se com o facto de que estes revelam uma escolha efectivamente efectuada. Isso tem uma consequência positiva na forma como devem ser encarados os resultados que se pode ilustrar com o exemplo da variável JOVEM. Esta variável indica que os jovens têm menor tendência para escolher o TI e isso corresponde a uma realidade observada na cidade de Coimbra devido aos estudantes tal como explicado.

Num inquérito de preferências declaradas ao perguntar-se a um jovem se prefere o automóvel ou o transporte coletivo, este muitas vezes tende a responder aquilo que mais desejaria escolher e não efetivamente aquilo que ele pode escolher, deturpando dessa forma os resultados da estimação do modelo de escolha discreta. Tendo em conta que estes modelos são utilizados para suportar decisões de investimentos muito significativos pode tornar-se arriscado a utilização de preferências declaradas sendo que há a opção de integrar ambas as técnicas para obter resultados mais fiáveis.

## 7 BIBLIOGRAFIA

### Livros

Antunes A. (2008) Apontamentos da Disciplina de Planeamento Regional e Urbano. Departamento de Engenharia Civil e Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Banister D. (2002) Transport Planning. 2nd Edition. Taylor & Francis, New York.

Ben-Akiva M. Lerman S. (1985) Discrete Choice Analysis – Theory and Application to Travel Demand. MIT-Press, Cambridge, Massachusetts.

Correia G. (2009) Apontamentos da Disciplina de Planeamento de Transportes do Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Ferguson (1999) Microeconomia, 20ª edição. Forense Universitária, Rio de Janeiro.

Hensher D. Rose J. Greene W. (2005) Applied Choice Analysis: A Primer. Cambridge University Press, Cambridge.

Kotler, P. (2003), Marketing Management, 12ª Edition, Prentice Hall International Editions. New Jersey.

Louviere, J. J., Hensher, D. A. e Swait, J. (2000) Stated Choice Methods. Cambridge University Press, Cambridge.

Ortúzar J. Willumsen L. (2001) Modelling Transport. 3rd Edition. John Wiley and Sons, West Sussex.

Seco A. (2009) Apontamentos da Disciplina de Planeamento de Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.



---

Train K. (2002) *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press, Cambridge.

Viegas J. M. (2008) *Apontamentos da Disciplina de Transportes do Mestrado Integrado em Engenharia Civil*. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

Viegas J. M. (2000) *A utilização de modelos matemáticos para a estimação da procura de transportes*. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

#### Artigos em Revista

Correia, G. H. e Viegas J. M. 2011. “Carpooling and carpool clubs: Clarifying concepts and assessing value enhancement possibilities through a Stated Preference web survey in Lisbon, Portugal”. *Transportation Research Part A*. Vol.45, Issue 2, pages 81-90

Nicholson, A. (2003) *Desenvolvimento da Estratégia de Transporte da Universidade Canterbury: Estabilidade Temporal de um Modelo de Escolha Modal*. In *Transporte em Transformação VIII, CNT-ANPET*, p. 39-55.

Ortúzar, J. de D. e Román, C. (2003). *El Problema de Modelación de Demanda Desde Una Perspectiva Desagregada: el caso del transeuropeo*. *Revista Eure*, v. 29, nº 88, p. 149-171.

#### Relatórios Técnicos

Metro Mondego – Inquérito à Mobilidade na Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego – Notas sobre o Inquérito à Mobilidade 2008 (2011)

Metro Mondego - Inquérito à Mobilidade na Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego – Base de Dados do Inquérito (2009)

Metro Mondego – Inquérito à Mobilidade na Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego – Documentação da Base de Dados (2009)

Metro Mondego – Inquérito à Mobilidade na Área de Influência do Sistema de Mobilidade do Mondego – Relatório de Apresentação dos resultados (2009)

Instituto Nacional de Estatística INE (2003) Censos 2001. XVI Recenseamento Geral da População e IV Recenseamento Geral da Habitação. INE, Lisboa.

Nave, J. Gil et tal. (2004) O Automóvel – Usos e Desusos do Transporte Individual. ISCTE, Lisboa

#### Teses de doutoramento

Ribeiro, A. (2008) As Infra-estruturas Rodoviárias e o Desenvolvimento Regional. Departamento de Engenharia Civil e Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Santos, B. (2009). Road Network planning with Efficiency, Equity and Robustness Objectives. Departamento de Engenharia Civil e Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

#### Internet

Correia G., Bradley M.(2010) Travel Survey Manual Wiki Site. Chapter 21 – Stated Preference Surveys. Committee on Travel Survey Methods of the Transportation Research Board. <http://www.travelsurveymanual.org/Chapter-21.html>

## ANEXO A

O quadro A.1 apresenta a codificação da profissão tendo em consideração a seguinte chave:

Quadro A.1 – Descrição dos códigos da profissão

Descritivos	Códigos
Patrão / Proprietário (6 ou mais trabalhadores)	1
Quadros superiores (responsável por 6 ou mais trabalhadores)	2
Quadros superiores (responsável por 5 ou menos trabalhadores)	3
Profissões liberais	4
Quadros médios (responsável por 6 ou mais trabalhadores)	5
Patrão / Proprietário (5 ou menos trabalhadores)	6
Profissões liberais por conta de outrem	7
Quadros médios (responsável por 5 ou menos trabalhadores)	8
Empregados de escritório	9
Logistas, vendedores	10
Trabalhadores manuais por conta própria	11
Desempregados	12
Trabalhadores manuais por conta de outrem	13
Domésticas	14
Estudante	15
Reformados / Pensionistas	16

Os níveis de instrução foram codificados como descrito no Quadro A.2:

Quadro A.2 – Descrição dos códigos do nível de instrução

Nível de instrução	Código
Curso Universitário	1
Curso Médio /politécnico	2
7º ano liceu (12º ano liceu)	3
5º ano liceu (9º ano liceu)	4
2º ano liceu (6º ano liceu)	5
Instrução primária completa	6
Analfabeto / Instrução primária completa	7

O Quadro A.3 apresenta a matriz utilizada para calcular o status social dos inquiridos a partir do nível de instrução e profissão do indivíduo.

Quadro A.3 – Matriz Status Social

		Profissão													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nível de Instrução	7	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	E	E	E	E
	6	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E
	5	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	E	E
	4	A	A	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D	E
	3	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	D	D	D
	2	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	D
	1	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	D