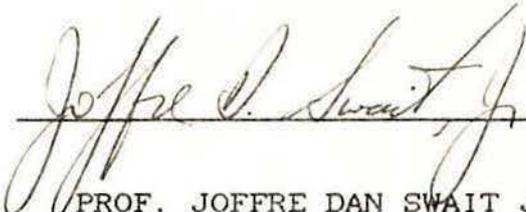


AVALIAÇÃO DA TRANSFERIBILIDADE DE MODELOS  
COMPORTAMENTAIS DESAGREGADOS - TESTE  
EMPIRICO DA TRANSFERENCIA DE MODELO DE  
POSSE DE AUTOMOVEIS PARA SAO PAULO

LUIZ AFONSO DOS SANTOS SENNA

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DE PROGRAMAS DE  
POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE  
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSARIOS PARA A OBTENÇÃO  
DO GRAU DE MESTRE EM CIENCIAS (M.Sc.) EM ENGENHARIA DE  
TRANSPORTES.

APROVADA POR:



---

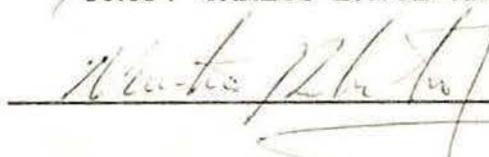
PROF. JOFFRE DAN SWAIT JR.

PRESIDENTE



---

PROF. CARLOS DAVID NASSI



---

PROF. NEWTON RABELLO DE CASTRO

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
JANEIRO DE 1988

SENNA, LUIZ AFONSO DOS SANTOS

Avaliação da Transferibilidade de Modelos Comportamentais Desagregados - Teste Empírico da Transferência de Modelo de Posse de Automóveis para São Paulo.

(Rio de Janeiro) 1988.

x, 79 p. 29,7 cm (COPPE/ UFRJ, M.Sc, Engenharia de Transportes, 1988)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Planejamento de Transportes

I. COPPE/UFRJ

II. Título(série)

A MINHA ESPOSA ELIANA, MINHA  
MÃE EUNICE E MINHAS FILHAS  
LIVIA E LUISE.

## AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Joffre, pela orientação e apoio ao longo do trabalho.
- Ao Prof. Luis Antônio Lindau pela co-orientação, apoio e estímulo constantes no decorrer do trabalho.
- Aos professores Carlos David Nassi e Newton Rabello de Castro pela participação na banca.
- Ao CNPQ e CAPES pelo suporte financeiro.
- A EBTU-Empresa Brasileira de Transportes Urbanos, pelo apoio na concessão de bolsa.
- Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela receptividade e apoio demonstrados.
- A Companhia do Metropolitano de São Paulo pelo fornecimento dos dados necessários ao desenvolvimento do trabalho.
- Aos amigos do PET, pelos bons momentos vividos.
- Aos amigos do NORIE/ UFRGS, pela generosa acolhida.
- A meus familiares e à Maria Helena, pelo estímulo, apoio e compreensão.

Sumário da tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

Avaliação da transferibilidade de Modelos Comportamentais desagregados-Teste Empírico da Transferência de Modelo de Posse de automóveis para São Paulo.

LUIZ AFONSO DOS SANTOS SENNA

JANEIRO/1988

Orientador: Joffre Dan Swait Jr.

Co-orientador: Carlos David Nassi

Programa: Programa de Engenharia de Transportes

O presente trabalho consiste na avaliação da transferibilidade de modelos comportamentais, enquanto forma alternativa de prever e analisar demanda por transportes urbanos.

São analisados os testes utilizados na avaliação da transferibilidade e realizado um estudo de caso. Este consta do estudo da possibilidade de transferir um modelo de posse de automóveis, especificado para a cidade de Maceió, para São Paulo.

Abstract of thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc).

Evaluation of The Transferability Disaggregate Behaviour Models - Empirical Test of Transfer of Auto Onwership Model to São Paulo.

LUIZ AFONSO DOS SANTOS SENNA

JANUARY/1988

Chairman: Joffre Dan Swait Jr  
Co-chairmain: Carlos David Nassi

Programa: Programa de Engenharia de Transportes

This work presents an evaluation of the transferability of behavioural models in the forecasting and analyses of demand for urban transportation.

A series of tests used in the assessment of the transferability of behaviour models is discussed. A case study dealing with auto ownership is examined, transferring a model for the city of Maceiô to São Paulo.

**INDICE****CAPITULO I-INTRODUÇÃO**

- 1.1- Objetivo.....01  
 1.2- Desenvolvimento do trabalho.....01

**CAPITULO II-ANALISE DA DEMANDA POR TRANSPORTES URBANOS**

- II.1-Introdução.....03  
 II.2-Formas de prever demanda.....03  
 II.2.1-Previsão de demanda a partir de procedimentos absolutamente empíricos.....04  
 II.2.2-Previsão de demanda a partir do conhecimento de algumas elasticidades.....05  
 II.3-Previsão de demanda a partir da utilização de modelos.....08  
 II.3.1-Previsão de demanda a partir do uso de modelos convencionais.....09  
 II.3.1.1-Estrutura do modelo.....09  
 II.3.1.2-Críticas à abordagem convencional.....10  
 II.3.2.-Previsão de demanda a partir do uso de modelos desagregados.....11  
 II.3.2.1-Estrutura do modelo.....11  
 II.3.3-Aplicabilidade dos modelos comportamentais.....15

**CAPITULO III-PREVISAO DE DEMANDA A PARTIR DO USO DE MODELOS TRANSFERIDOS**

- III.1-Introdução.....17  
 III.2-Condições a serem analisadas na transferência de modelos.....18  
 III.3-Metodologia.....20  
 III.4-Uma breve revisão da experiência na transferibilidade de modelos comportamentais.....23  
 III.4.1-Introdução.....23  
 III.4.2-Disponibilidade de dados.....24  
 III.4.3-Diferenças sociais, políticas, econômicas e culturais entre contextos.....24

|  |           |
|--|-----------|
| III.4.4-Efeitos da inclusão/exclusão de variáveis.....   | 27        |
| <b>CAPITULO IV-APLICAÇÃO PRÁTICA</b>   |           |
| IV.1-Introdução.....   | 29        |
| IV.2-Estrutura do modelo de posse de automóveis de<br>Maceió.....                                      | 30        |
| IV.2.1-Variáveis incluídas no modelo 1 e seu poder ex-<br>plicativo.....                               | 32        |
| IV.2.2-Resultados da estimação do modelo de posse de<br>automóveis de Maceió.....                      | 33        |
| IV.3-Uso da especificação do modelo de posse de automób-<br>veis de Maceió com dados de São Paulo..... | 38        |
| IV.4-Modelo Especificado para São Paulo.....   | 42        |
| IV.5-Testes estatísticos para avaliação da transferibi-<br>lidade.....                                 | 46        |
| IV.5.1-Comparação de pares de coeficientes.....  | 46        |
| IV.5.2-Tentativa de transferência parcial do modelo....  | 48        |
| IV.5.3-Teste de transferência estatística.....   | 52        |
| IV.5.4-Índice de transferência.....  | 55        |
| IV.5.5-Rho-quadrado de transferência.....  | 55        |
| IV.7-Análise dos resultados.....   | 55        |
| <b>CAPITULO V-CONCLUSÕES.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>   | <b>60</b> |
| <b>ANEXO I.....</b>  | <b>65</b> |
| <b>ANEXO II.....</b>   | <b>67</b> |
| <b>ANEXO III.....</b>  | <b>69</b> |

INDICE DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1- Formas de prever demanda em transportes.....  | 04 |
| Quadro 2- Elasticidade da demanda por automóveis<br>próprios-estimativas na Suécia.....                                     | 06 |
| Quadro 3- Elasticidade-preço da tarifa por tamanho<br>de cidade.....  | 07 |
| Quadro 4- Elasticidades de serviço a partir de<br>modelos desagregados.....   | 08 |
| Quadro 5- Resultados da estimação de modelo de posse<br>de automóveis apenas com variáveis renda.....                       | 36 |
| Quadro 6- Resultados da estimação de modelo de posse<br>de automóveis para dados obtidos em 1977.....                       | 37 |
| Quadro 7- Estimação de modelo de posse de automóveis<br>de Maceió apenas com Variáveis renda com<br>dados de São Paulo..... | 40 |
| Quadro 8- Estimação do modelo de posse de automóveis<br>de Maceió com dados de São Paulo-modelo<br>completo.....            | 41 |
| Quadro 9- Estimação de modelo de posse de automóveis<br>especificado para o conjunto de dados de<br>São Paulo.....          | 45 |
| Quadro 10-Teste de comparação de pares de coeficientes...   | 47 |
| Quadro 11-Modelo mesclando renda de Maceió e variáveis<br>sócio-econômicas de São Paulo.....                                | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Quadro 12-Modelo mesclando variáveis socio-econômicas<br>especificadas para Maceió e variáveis de renda<br>de São Paulo.....         | 51 |
| Quadro 13-Modelo mesclando especificação de renda de<br>Maceió e variáveis de poder de compra especifi-<br>cadas para São Paulo..... | 52 |
| Quadro 14-Teste de transferência estatística.....  | 54 |

## CAPITULO I- INTRODUÇÃO

A necessidade de prever e analisar demanda por transportes urbanos, enquanto forma de permitir a proposição de políticas que visem introduzir modificações no sistema de transporte como um todo ou parte dele, conduz à realidade de que é fundamental o desenvolvimento de instrumentos que possibilitem fazer da forma mais eficiente e econômica.

A restrição de orçamentos e a escassez de tempo são alguns dos fatores que interferem na decisão do planejador de transportes sobre a forma de atuação que o mesmo deve ter no uso dos instrumentos de análise e previsão de que dispõe.

Dentro deste enfoque, a proposta do presente trabalho é discutir as várias formas de analisar demanda e propor uma forma alternativa de tratar o assunto. Trata-se da transferência de modelos estimados e calibrados em um contexto diferente daquele no qual o mesmo é utilizado.

### 1.1-OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é mostrar a aplicação de modelos desagregados no contexto brasileiro e avaliar a transferibilidade de modelos comportamentais desagregados entre contextos diferentes, como forma alternativa no processo de prever demanda por transportes urbanos.

### 1.2-DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para que o objetivo proposto seja alcançado, são tomados por base estudos referenciados na literatura, bem como um estudo de caso que consta de uma aplicação prática dos conceitos teóricos apresentados ao longo do trabalho.

O estudo se apresenta subdividido em 7 capítulos assim distribuídos:

-capítulo I- apresenta o trabalho de uma forma geral, descrevendo o objetivo do mesmo;

-capítulo II- analisa metodologias de quantificação da demanda por transporte urbano, destacando as várias formas de previsão;

-capítulo III- analisa de forma detalhada a base teórica e as condições a serem observadas nos estudos de transferibilidade de modelos comportamentais e destaca a experiência empírica de alguns estudos desenvolvidos sobre transferibilidade de modelos comportamentais;

-capítulo IV- desenvolve uma aplicação prática dos conceitos teóricos de transferibilidade, através da utilização da metodologia consagrada em diversos estudos. Foi realizado um estudo de caso sobre a viabilidade de transferir, no espaço e no tempo, um modelo de posse de automóveis originalmente especificado para a cidade de Maceió, para a região metropolitana de São Paulo;

-capítulo V- apresenta as conclusões e sugestões de trabalhos a serem desenvolvidos.

## CAPITULO II-ANALISE DA DEMANDA POR TRANSPORTES URBANOS

### II.1-INTRODUÇÃO

Ao planejador de transportes urbanos é essencial dispor de estimativas de movimentos de pessoas e mercadorias dentro de uma área urbana. Tais movimentos caracterizam a demanda por transportes urbanos e podem ser realizados através das várias modalidades disponíveis.

A partir do conhecimento da demanda, o planejador poderá adequar o nível de serviço de transportes e propor medidas que contemplem mudanças no sistema de transportes. Tal estimação é complexa, exigindo do planejador uma clara definição do problema e a busca constante de abordagens que permitam avaliar modificações nos elementos componentes quer sejam eles da oferta ou da demanda por transporte.

### II.2-FORMAS DE PREVER DEMANDA

Para que o planejador possa analisar e prever demanda por transportes, é necessário que o mesmo disponha de algum instrumental técnico. De uma forma geral, existem quatro formas de prever demanda. Estas obedecem a uma hierarquia, quer seja do ponto de vista de custos associados, qualidade dos resultados ou ainda tempo de execução. O quadro 1 apresenta de forma esquemática estas formas de prever demanda.

quadro 1. Formas de prever demanda em transportes

| ordem crescente de custos e tempo de execução               | ordem crescente na qualidade dos resultados                 |
|---|---|
| previsões arbitrárias ou desprovidas de embasamento teórico | previsões arbitrárias ou desprovidas de embasamento teórico |
| ↓   | ↓   |
| previsões a partir do conhecimento de algumas elasticidades | previsões a partir do conhecimento de algumas elasticidades |
| ↓   | ↓   |
| transferência de modelos                                    | transferência de modelos                                    |
| ↓   | ↓   |
| modelos comportamentais desagregados                        | modelos convencionais (quatro etapas)                       |
| ↓   | ↓   |
| modelos convencionais (quatro etapas)                       | modelos comportamentais desagregados                        |
| estimação de modelos  |   |

11.2.1-Previsão de demanda a partir de procedimentos absolutamente empíricos

A previsão de demanda a partir do conhecimento empírico do planejador baseia-se tão somente na experiência prévia ou acumulada do mesmo. Não requer nenhum instrumental

técnico e propõe valores desprovidos de fundamentação científica. Este procedimento obedece apenas a critérios pessoais do planejador. Segundo uma hierarquização, estaria nos níveis mais baixos, seja do ponto de vista de custos associados, tempo de execução ou qualidade de resultados previsíveis.

### II.2.2-Previsão de demanda a partir do conhecimento de algumas elasticidades

Trata-se de transferir elasticidades já definidas. São tomados por base algumas elasticidades conhecidas a partir de experiências e determinações de outras áreas urbanas, ou mesmo da própria área em períodos distintos. O uso desta forma de prever demanda pode fornecer indicativos básicos para a orientação de previsões. Contudo, seus resultados são muito gerais e pouco confiáveis, o que põe em dúvida a qualidade dos mesmos. Assim, se o estudo não primar pela qualidade (nível de exatidão) de resultados, a transferência de elasticidade pode fornecer apenas um indicativo bastante geral de tendências do comportamento da demanda face a algumas variáveis independentes características que a compõem. Exemplo de elasticidades já definidas em algumas áreas urbanas e que podem ser utilizadas em outros locais que possuem algumas semelhanças com os primeiros, a nível social, político, econômico, histórico, cultural, etc, podem ser extraídos da publicação "The demand for Public Transport"(32). Nesta, são apresentadas tabelas de elasticidades medidas em várias cidades com respeito a itens diversos como renda, tempo de viagem, tempo no veículo, tempo caminhando, etc, conforme representado nos quadros 2, 3 e 4.

quadro 2. ELASTICIDADES DE DEMANDA POR AUTOMOVEIS PROPRIOS -  
ESTIMATIVAS NA SUECIA

| elasticidade estimada<br>com respeito a:                                      | elasticidade de automòveis<br>pròprios da residência |                   |
|---|--|-------------------|
|   | 01(um) carro   | 02 ou mais carros |
| renda domiciliar  | 0,55   | 0,64              |
| tamanho do domicilio  | 0,63   | 2,05              |
| fatores de nível de ser-<br>viço  |  |                   |
| tempo a espera de trans-<br>porte público                                     | 0,50   | 0,52              |
| custo de estacionamento   | -0,32  | -0,34             |
| número de transferências<br>por transporte público                            | 0,27   | 0,29              |
| custo relativo da viagem<br>(custo transporte públi-<br>co menos custo carro) | 0,18   | 0,19              |
| tempo de viagem relativo<br>(tempo transporte públi-<br>co menos tempo carro) | 0,09   | 0,09              |

fonte: The Demand for Public Transport(32)

quadro 3. ELASTICIDADE PREÇO DA TARIFA POR TAMANHO DE CIDA-  
DADE

| período | população            | no. de ci-<br>dades | elasticidade mē-<br>dia para preços<br>aumentados |
|---------|----------------------|---------------------|---|
| 1947-62 | >500.000             | 60                  | -0,34   |
|         | de 100.000 a 500.000 | 91                  | -0,36   |
|         | menor que 100.000    | 44                  | -0,33   |
|         | total                | 195                 | -0,35   |
| 1950-61 | maior que 500.000    | 51                  | -0,28   |
|         | de 100.000 a 500.000 | 88                  | -0,33   |
|         | menor que 100.000    | 68                  | -0,36   |
|         | total                | 207                 | -0,32   |
| 1961-67 | maior que 500.000    | 15                  | -0,22   |
|         | de 100.000 a 500.000 | 35                  | -0,32   |
|         | menor que 100.000    | 39                  | -0,43   |
|         | total                | 89                  | -0,35   |

fonte: The demand for Public Transport(32)

quadro 4. ELASTICIDADES DE SERVIÇO A PARTIR DE MODELOS DESAGREGADOS

| localização               | elasticidade com respeito a tempo |           |            |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|
|                           | caminhando                        | esperando | no veículo |
| 07 cidades do Reino Unido | -0,14                             | -0,63     | -0,45      |
| Boston, USA               |                                   | -0,71     | -0,39      |
| Sydney                    | -0,10                             | -0,10     | -0,28      |
| Amsterdã                  | -0,54                             | -0,32     | -0,25      |
| Estocolmo                 | *                                 | -0,49     | -0,35      |
| Oppsala                   | *                                 | -0,33     | -0,28      |

\* -não significativamente diferente de zero  
 fonte: The Demand for Public Transport (32)

11.3- PREVISÃO DE DEMANDA A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE MODELOS

A quantificação da demanda, enquanto processo sistêmico e resultado da reprodução matemática do comportamento do usuário de transportes, pressupõe o uso de modelos. Estes, são "um enfoque bem definido e consistente, um quadro bem estruturado, que podem ser justificados com o apoio de uma teoria ou de princípios técnico-econômicos universalmente aceitos", segundo definição de NOVAES(20). Assim, o uso de modelos de previsão de demanda se constitui na forma que melhores resultados obtêm. Já do ponto de vista de custos ou tempo de execução, são os que mais dispendem recursos. Tal fato advém das fases de coleta de dados (que envolve entrevistas domiciliares), modelagem e processamento (que inclui

preparo das informações e posterior tratamento das mesmas). Estas etapas consomem recursos financeiros e de tempo.

De uma forma geral, existem dois tipos de modelos que procuram reproduzir a demanda por transportes:

- a) modelos convencionais (quatro etapas) e
- b) modelos comportamentais.

As concepções dos modelos diferem basicamente entre si.

### 11.3.1-PREVISÃO DE DEMANDA A PARTIR DO USO DE MODELOS CONVENCIONAIS

#### 11.3.1.1-Estrutura do modelo

O processo de prever e analisar demanda esteve ligado, principalmente até há alguns anos atrás, ao "Sistema de Planejamento de Transportes Urbanos-UTPS", considerado como sendo a primeira aplicação dos métodos de análise de sistemas no campo de planejamento dos transportes, segundo BEN-AKIVA E LERMAN(3). Por este sistema, o estudo da demanda consiste, essencialmente, do emprego de quatro submodelos aplicados seqüencialmente:

- a) geração de viagens
- b) distribuição de viagens
- c) repartição modal e
- d) alocação das viagens às redes viárias.

A primeira etapa (geração de viagens) procura prever o número de viagens a serem geradas em cada zona de tráfego, com base nas características de uso do solo da respectiva zona. De um modo geral, os modelos nela utilizados não levam em conta, explicitamente, o nível ou a natureza dos serviços de transporte relativos a cada zona. Segundo DOMENCICH E MCFADDEN (19), as previsões elaboradas independem da existência, da qualidade e do nível destes serviços.

A etapa de distribuição de viagens busca prever o número de viagens entre cada par de zonas situadas na área de

estudo. Esta previsão é calculada por diversos modelos, dentre os quais o mais comumente usado é o modelo gravitacional. Este, leva em conta a atratividade de cada zona (número e tipo de emprego, características de uso do solo, etc) e as impedâncias existentes entre cada par de zonas. Face a sua estrutura, o processo de distribuição torna-se insensível às mudanças no desempenho do sistema de transportes. Isto significa dizer que caso ocorram modificações em atributos como tarifa do transporte público, custo do combustível, renda dos usuários ou mesmo modificações no nível operacional, como frequência, velocidade (refletida pelo tempo de viagem) etc, não serão registrados pelo processo de distribuição de viagens dos modelos convencionais ou quatro etapas.

A etapa de repartição modal visa avaliar o fracionamento das viagens entre pares de zonas, pelos diferentes modos de transporte alternativos. Os modelos utilizados nesta repartição modal utilizam variáveis como tempo e custo de viagem dos vários modos, bem como algumas características sócio-econômicas das zonas de origem e destino. Estes modelos são os que mais levam em consideração o comportamento do usuário.

Segundo DOMENCICH E MCFADDEN(19), a divisão dos modelos convencionais em quatro etapas não é a mais adequada, uma vez que as decisões dos usuários não se processa desta forma seqüencial. Na realidade, espera-se que as decisões dos usuários de transporte obedeam a uma estrutura mais próxima à simultânea.

### 11.3.1.2-Críticas à abordagem convencional

As críticas a esta abordagem baseiam-se no fato dos modelos tomarem por base observações a nível agregado, o que pressupõe um comportamento homogêneo dos usuários em relação a cada zona de tráfego. Para que tal procedimento tenha uma significância estatística, há a necessidade de uma grande quantidade de dados, o que onera sobremaneira a fase de coleta destes dados. Também a "inflexível e irrealística representação seqüencial do processo de decisão nos modelos

UTPS" constituem-se em motivos de críticas a esta abordagem, segundo observações assinaladas por WILLIAMS e ORTUZAR(33). DOMENCICH e MCFADDEN(19) criticam estes modelos no que diz respeito à estanqueidade na análise das diferentes etapas, bem como a ausência de variáveis de nível de serviço em vários dos submodelos. Isto faz com que esta análise torne-se descritiva e não causal, mecanicista e não comportamental. Assim, este procedimento expressa uma projeção da situação levantada, prestando-se menos à análise de políticas que contemplem mudanças, quer nos atributos do usuário, quer no nível de serviço dos transportes.

E importante observar que, muito embora estas limitações, a utilização dos modelos convencionais foi (e continua sendo) significativa. Ocorre que estes constituem-se na mais difundida forma de prever demanda em transportes. MANHEIM (18) relata o fato de já terem sido utilizados os modelos convencionais em mais de 350 áreas metropolitanas em todo o mundo.

A justificativa para tal fato, embora pareça contraditório, é que estes se constituem na primeira tentativa de utilização de métodos de análise sistêmica. Tal fato os tornou populares entre os analistas de transportes. Isto significou sua ampla difusão, fazendo com que ao longo do tempo se desenvolvesse extensa bibliografia. Esta por sua vez, difundiu ainda mais os modelos. Assim, estes fatores representam uma "popularização" dos modelos, o que vem explicar sua ampla utilização.



### 11.3.2-PREVISÃO DE DEMANDA A PARTIR DO USO DE MODELOS DESAGREGADOS

#### 11.3.2.1-Estrutura do modelo

A necessidade de uma melhor compreensão da complexidade das decisões a serem tomadas pelo usuário do transporte urbano, bem como de analisar corredores específicos ou determinados segmentos da população, levaram, nos últimos 15 anos, ao desenvolvimento de técnicas que melhor respondessem a

estas preocupações. Da mesma forma, a urgência em estimar o impacto de políticas de curto e médio prazos, bem como a busca de modelos menos exigentes na coleta de dados, justificam o desenvolvimento destas novas técnicas.

A tentativa de aprimorar os modelos de demanda, busca compreender, essencialmente, a estrutura de decisão do usuário de transporte urbano (público ou privado) e modelá-la adequadamente. Dentro desta abordagem situam-se os modelos comportamentais com base de dados desagregada a nível de indivíduo.

Estes modelos baseiam-se na teoria microeconômica do consumidor, que associa ao indivíduo um conjunto de necessidades básicas. Ao satisfazer estas necessidades, ele se orienta por uma "função de utilidade" que define os níveis de satisfação que ele pode atingir, dentro das limitações dos meios de que dispõe. Para satisfazer estas necessidades, cada indivíduo pode considerar um conjunto de alternativas, procurando maximizar sua "utilidade" ou nível de satisfação. Assim, os atributos do serviço de transporte ao alcance do indivíduo, tais como tempo de viagem, custo, conforto, segurança, confiabilidade, etc, influirão ponderavelmente em sua decisão, ao mesmo tempo em que esta estará condicionada pelas características sócio-econômicas do indivíduo, do domicílio a que pertence, da zona de tráfego em que reside ou tenciona satisfazer suas necessidades, etc.

A função de utilidade pode ser escrita matematicamente da forma:

$$U_{it} = \theta_{1it}X_{1it} + \theta_{2it}X_{2it} + \dots + \theta_{nit}X_{nit} + \epsilon_{it} \quad \text{III.1}$$

onde  $U_{it}$  - é a utilidade da alternativa  $i$  para o indivíduo  $t$

$\theta$  - é um vetor de coeficientes

$X_{nit}$  - é a variável correspondente às características relevantes para cada alternativa

$\epsilon_{it}$  - é o erro ou perturbação na estimativa da função de utilidade.

Em função das "perturbações" ou erros, existem diferentes formas funcionais para o respectivo tratamento das mesmas. Diferentes pressupostos com respeito às distribuições dos erros conduzem a diferentes modelos de escolha. Este

termo aleatório(  $\epsilon$  )expressa erros de diferentes origens. A partir disto, três modelos são comumente desenvolvidos:

- a)modelo linear de probabilidade,
- b)modelo Probit e
- c)modelo Logit.

Segundo estudo do GLIPOT (9),no caso do modelo linear, a diferença entre as perturbações é uniformemente distribuída entre dois valores conhecidos. O problema quanto a sua utilização é quanto à heterocedasticidade do erro (variâncias diferentes) do erro, ou seja, sua variância não é a mesma para todas as observações.

As dificuldades com o modelo linear levaram à busca de especificações mais adequadas para a distribuição das perturbações.Uma solução lógica foi admitir que esta distribuição fosse normal. Isto levou ao modelo Probit. O modelo Probit expressa a probabilidade de escolha na forma de uma integral conforme a equação

$$P_{rn} = \int_{\epsilon = -\infty}^{\frac{V_{in} - V_{jn}}{1/\sqrt{2\pi}}} \exp(-1/2(\epsilon/\sigma)^2) d\epsilon \quad III.2$$

$$\sigma > 0.$$

SHEFFI e DAGANZO (26) relacionam vantagens e desvantagens no modelo Probit Multinomial. Enumeram as seguintes vantagens:

a)flexibilidade de especificação- O modelo Multinomial Probit (MNP) admite parametrização completa em termos da matriz de covariância, e portanto podem capturar diferenças nas utilidades;

b)variação de preferências- O MNP pode incorporar facilmente um conjunto de parâmetros que depende dos valores de algumas variáveis explanatórias, antes de serem fixadas;

c)dados perdidos e erros nos dados-Estes podem ser manuseados dentro da estrutura do MNP;

d)painel de dados- O MNP pode explicar satisfatoriamente observações repetidas de uma maneira eficiente;

e)agregação- O MNP pode ser facilmente agregado;

f)calibração com dados agregados- esta pode ser executada em função da facilidade de agregação anteriormente

mencionada. Isto inclui calibração de dados mistos (agregados/desagregados).

As desvantagens do modelo Probit, ainda segundo os autores SHEFFI e DAGANZO(26) são apresentadas como sendo:

a) a probabilidade de escolha não pode ser calculada de forma fechada, requerendo aproximações especiais em muitos casos. Isto tira a atratividade do modelo, desde que não é intuitivo para os analistas com treinamento matemático limitado, como o de alguns práticos;

b) o modelo é de difícil calibração quando este inclui um grande número de alternativas. Isto, na realidade é o que fatalmente ocorre, ou seja, existem várias alternativas à disposição do usuário.

Os aspectos acima citados limitam a justificativa para o uso do MNP. Tais restrições devem ainda ser conjugadas com os elevados custos computacionais apresentados pelo MNP, segundo trabalho realizado pelo GEIPOT(9).

O modelo Logit Multinomial (MNL) apresenta uma especificação com maior apelo operacional, sendo que em relação às perturbações, assume que as mesmas são independentes, identicamente distribuídas de acordo com a distribuição de Valor Extremo tipo I-Gumbel o que, segundo GEIPOT(9) e MACFADEN e DOMENCICH(19) lhe confere extraordinária operacionalidade.

A formulação matemática do modelo LOGIT é:

$$P(i:A_t) = \frac{e^{V_{it}}}{\sum_{i \in A_t} e^{V_{it}}} \quad \text{III.3}$$

onde  $\underline{t}$  é a unidade de comportamento(domicílio, indivíduo, etc)

$A_t$  é o conjunto de alternativas relevantes para a unidade  $\underline{t}$  de comportamento (por exemplo, um modelo de escolha de modo de viagens,  $A_t$ = automóvel, ônibus, metrô, etc; num modelo de posse de automóveis  $A_t$  pode ser possuir um ou mais veículos ou não possuí-los).

$V_{it}$  é a parte conhecida da utilidade da alternativa  $i$  para a unidade  $\underline{t}$  de comportamento( =  $U_{it} - C_{it}$ ).

$P(i;A_t)$  é a probabilidade da unidade  $t$  de comportamento escolher a alternativa  $i$  do conjunto  $A_t$ .

O modelo Logit pode ser utilizado segundo duas concepções:

- a) modelo Logit Multinomial Simples (MNL) e
- b) modelo Logit Hierárquico (HL).

O MNP supõe que todas as alternativas concorrentes são independentes; o HL aceita a possibilidade de que certos grupos de alternativas estejam correlacionadas.

O modelo mais comumente utilizado entre os modelos Logit é o Modelo Logit Multinomial Simples (MNL). Este, contudo, possui uma propriedade de "independência de alternativas irrelevantes", cujo nome se deve ao fato de que se toma a razão entre as probabilidades de escolher duas opções quaisquer. Segundo ORTUZAR e ACHONDO(23), pode-se facilmente ver que estas não dependem da utilidade de nenhuma outra alternativa. Ao contrário do que inicialmente se considerava, atualmente é aceito que esta propriedade pode induzir a graves erros quando se está em presença de alternativas correlacionadas.

O modelo Logit Multinomial, de uma forma geral e por sua própria estrutura, presta-se mais à avaliação de políticas de transportes, visto que procura reproduzir o comportamento do indivíduo usuário do sistema de transportes. A estrutura comportamental do modelo, aliada ao fato de que os dados necessários à sua estimação são colhidos e utilizados a nível individual (onde ocorre maior variabilidade no comportamento) permite uma redução significativa em termos da quantidade de dados exigidos pelos modelos convencionais. Este fato reduz sensivelmente os custos de utilização de modelos comportamentais desagregados.

### 11.3.3- Aplicabilidade dos modelos comportamentais

Ao longo dos últimos anos, têm-se ampliado de forma considerável a utilização de modelos comportamentais como forma de prever e analisar demanda. A literatura tem regis-

trado as várias aplicações dos modelos segundo as mais diversas finalidades nos mais diferentes países.

Um exemplo da aplicação destes modelos são os estimados para a cidade de Maceió no Brasil, relatados em trabalho realizado pelo GEIPOT(9). Neste, foram definidos os tipos de modelos a serem desenvolvidos, como motivos de viagem, dimensões de decisão a serem associadas a cada um dos motivos, entre outros. Também foram definidas as alternativas válidas para cada indivíduo, sendo estabelecidos diferentes critérios para cada uma das dimensões da estrutura decisória como modo, destino e frequência. Paralelamente a este estudo, foram também desenvolvidos modelos de posse de automóveis, onde foi modelada a decisão de possuir ou não veículos e possuir um ou mais veículos.

Além do trabalho acima mencionado, diversos outros foram realizados nos mais diferentes contextos. Entre eles podem ser destacados modelo estimado em Leeds, Inglaterra, onde foram utilizados os modelos Logit Multinomial Simples e o modelo Hierárquico com vistas a prever a escolha modal naquela cidade. Uma das conclusões a que ORTUZAR(23) chegou neste trabalho, diz respeito ao fato de que os melhores modelos MNL e HL obtidos foram validados mediante uma série de comparações estatísticas e de capacidade preditiva. A conclusão geral do trabalho foi que, em que pese o MNL ser mais completo, o HL foi preferível.

ALGERS e WIDLERT(01) descrevem a utilização de modelos na Suécia, em Gotemburgo, onde foram analisadas a escolha modal em viagens a trabalho.

KOZEL(05) descreve estudos realizados na Colômbia, nas cidades de Bogotá e Cali onde foram especificados e estimados modelos de escolha modal.

Em suma, a apresentação dos presentes exemplos de utilização de modelos comportamentais vem apenas ressaltar as potencialidades dos mesmos, bem como a capacidade de adaptação que os mesmos tem aos mais diferentes contextos.

CAPITULO III-PREVISÃO DE DEMANDA A PARTIR DO USO DE  
MODELOS TRANSFERIDOS

III.1-INTRODUÇÃO

A argumentação que precedeu o presente capítulo conduz ao reconhecimento da melhor qualidade de resultados fornecidos pelos modelos comportamentais. Fica também nitida a significativa superioridade dos modelos comportamentais sobre os convencionais, tanto no que tange à avaliação de políticas de transportes sobre a demanda, como no estabelecimento de custos comparativos de execução. Contudo, mesmo que os modelos comportamentais representem custos comparativos menores, ainda continua cara a estimação de modelos comportamentais para cada área urbana. E neste contexto que a transferência de modelos surge como forma alternativa para a previsão e análise de demanda. Esta alternativa reduz sensivelmente os custos .

A utilização da transferência de modelos comportamentais justifica-se em função do fato de que estes modelos tem maior probabilidade de serem transferidos, devido a que, em teoria, representam o comportamento do usuário individual do transporte. Assim, é razoável esperar que as causas das viagens sejam essencialmente as mesmas em um contexto e em outro, bem como que os critérios básicos de decisão sejam iguais.

A transferência de um modelo previamente estimado em um contexto para um contexto novo de aplicação, pode reduzir ou mesmo eliminar a necessidade de uma ampla coleta de dados e do desenvolvimento de modelos no contexto de aplicação. Tal observação foi feita por KOPPELMAN, KUAH e WILMOT(16) e serve para realçar mais uma das vantagens que os modelos comportamentais têm em relação aos modelos convencionais. Ocorre que, na prática, há uma eliminação ou substituição dos bancos de dados, quando da utilização de modelos convencionais em diferentes momentos. No caso de modelos comportamentais, tal substituição não se faz necessária, uma vez que haverá

tão somente uma renovação ou atualização do banco de dados, mediante uma pequena amostra, a um custo significativamente menor.

De um modo geral, pode-se classificar a transferência de modelos de duas maneiras. A primeira delas se refere à transferibilidade espacial, que propõe o uso de uma especificação de modelo a partir de uma área urbana diferente daquela no qual o modelo (especificação) será aplicado. A segunda se refere à transferibilidade temporal, que propõe o uso de uma mesma especificação dentro de uma mesma área urbana, porém em dois momentos distintos no tempo.

Tome-se por exemplo dois contextos (A e B), onde será verificada a transferibilidade de modelos comportamentais desagregados. O contexto A é considerado como sendo aquele onde o modelo foi especificado, estimado e calibrado; o contexto B é aquele para o qual o modelo será transferido.

Por se tratar de contextos diferentes (diferentes áreas urbanas ou mesma área em períodos diferentes), cada um deles possui características próprias. A questão que se coloca ao analista, diz respeito ao quanto e de que forma pode o modelo estimado no contexto A ser transferido para o contexto B.

### III.2-CONDIÇÕES A SEREM ANALISADAS NA TRANSFERENCIA DE MODELOS

A primeira observação a ser feita é o fato de que transferibilidade não é definida apenas por características estruturais do modelo (isto é, forma funcional, incluindo variáveis), mas também por alguns fatores externos (isto é, mudanças no desenvolvimento dos transportes ou condições de vida da população).

Na realidade, nada impede a transferência de um modelo agregado (no caso, modelos convencionais). O que se questiona é a base teórica para tal, já que sua estrutura é correlativa e não causal.

O ponto inicial na avaliação da transferibilidade de modelos comportamentais é a identificação de duas condições, uma teórica e uma prática, para efetiva possibilidade de

transferência de modelos, segundo opinião de KOPPELMAN e WILMOT(15). A condição teórica é que o processo comportamental descrito pelo modelo é o mesmo, tanto no contexto no qual o modelo foi especificado e estimado, como para o contexto para o qual o modelo foi transferido. Se tais condições não forem satisfeitas, os modelos não serão transferíveis entre contextos. Um exemplo desta condição teórica é a necessidade de que, em ambos os contextos, os usuários do transporte sejam maximizadores de sua função de utilidade. Outro pequeno exemplo diz respeito à "catividade" do usuário em relação às alternativas que lhe são apresentadas.

Se as condições teóricas forem satisfeitas, a condição prática para a transferibilidade é que o modelo descreva o processo comportamental. Isto equivale dizer que a parte conhecida da função de utilidade (Vit) reflete a real estrutura de decisão do usuário e as variáveis que estão sendo consideradas em sua composição são as mais relevantes dentro do processo. Também a especificação funcional deve ser válida.

Também é apropriado considerar o grau de transferibilidade de um modelo. Este processo prende-se ao fato de que o modelo pode ser total ou parcialmente transferido, de acordo com a especificação do modelo e sua capacidade preditiva.

É importante também analisar as limitações (e/ou restrições) existentes no processo de transferência de modelos. Esta análise inicia-se a partir da definição do tipo de modelo desagregado sobre o qual se está falando. Estes "tipos" podem envolver várias questões. A primeira delas diz respeito aos motivos das viagens a serem modelados. Estas podem ser viagens a trabalho, estudos, compras, negócios pessoais, lazer e outros. A segunda questão relaciona-se às dimensões de decisão a serem associadas a cada um destes motivos. Isto equivale dizer que a cada motivo pode-se desenvolver modelos de modo, frequência ou destino, ou ainda a combinação deles. Em função do fato das alternativas de que dispõe cada indivíduo com respeito às decisões de suas viagens dependerem de fatores pessoais, bem como fatores outros que influenciam como

sociais, familiares, culturais e econômicos, é esperado que alguns modelos sejam mais transferíveis do que outros. Esta constatação torna-se ainda mais nítida no que se relaciona às dimensões do modelo. Assim, espera-se modelos de posse de automóveis sejam mais transferíveis do que modelos de escolha modal. Estes, por sua vez, mais transferíveis do que modelos de destino e assim por diante. Um modelo de posse de automóveis tem maior probabilidade de ser transferido, uma vez que incorpora em sua estrutura basicamente variáveis sócio-econômicas. Da mesma forma, a escolha de modo é menos sensível às características do contexto em questão, do que as escolhas de frequência e destino. Também a escolha conjunta de modo, destino e frequência ou de alguma combinação entre elas, é também muito sensível às características do contexto. Este fato os torna, sem dúvida, menos transferíveis.

Finalmente, a forma como é realizada a transferência parte de dois pressupostos básicos. O primeiro se refere à existência de modelo estimado e calibrado para o contexto A. O segundo se refere ao contexto para o qual o modelo será transferido (B). Assim, a partir da especificação do modelo em A, será realizada uma pequena amostra da população de B. O próximo passo será reestimar o modelo com dados de B, não sem antes terem sido analisadas as necessidades de inclusão ou exclusão de variáveis (KOZEL (5) e WILMOT e CHESTER(36)). Após esta análise, são então realizados testes estatísticos que permitirão concluir acerca da possibilidade de transferir ou não um modelo comportamental do contexto A para o contexto B.

### III. 3-METODOLOGIA

A avaliação da transferibilidade de modelos comportamentais desagregados foi motivo de muitos estudos, que deram ênfase, ora ao desenvolvimento teórico, ora à aplicação prática das técnicas consideradas apropriadas.

Estatisticamente falando, a avaliação da transferibilidade de modelos comportamentais comporta um pequeno número de testes, cuja finalidade é estabelecer medidas quanti-

tativas acerca da possibilidade de utilização de um mesmo modelo em contextos diversos.

Trabalhos realizados por ATHERTON e BEN-AKIVA(02), KOPPELMAN e WILMOT(15), GALBRAITH e HENSHER(08), BEN-AKIVA e LERMAN(03), ORTUZAR e ACHONDO(24) e ORTUZAR(23 e 25) indicam algumas medidas adequadas à avaliação da transferibilidade de modelos comportamentais. Segundo estes autores, devem ser realizados testes de transferência de parâmetros do modelo e testes para avaliar a capacidade do modelo como um todo para realizar previsões no novo contexto.

O primeiro destes testes procura medir a transferibilidade de variáveis do modelo, tomando-as individualmente. Tal procedimento tem por base a comparação de pares de coeficientes. As diferenças entre coeficientes podem ser avaliadas mediante a estatística  $\tilde{t}$  para a diferença absoluta entre os coeficientes do modelo original A e os da especificação de A a ser estimada com dados de B.

Assim,

$$\tilde{t} = \frac{(\theta_{Ai} - \theta_{Bi})}{\sqrt{(\theta_{Ai}^2/t_i) + (\theta_{Bi}^2/t_i)}} < 1,96 \quad \text{IV.1}$$

onde  $\theta_A$  é o coeficiente do modelo original com estatística  $t=t_i$  e

$\theta_B$  é o coeficiente obtido ao calibrar a especificação no novo contexto (estatística  $t=t_i$ ).

Caso ocorra a relação acima mencionada, não se pode rejeitar a hipótese nula de que o par de coeficientes é igual a um nível de significância de 95%.

O segundo teste busca medir a capacidade de previsão do modelo. Neste, busca-se ajustar estas comparações tomando em conta a exatidão preditiva que se obteria com um modelo especialmente calibrado para o novo contexto. Para tanto, serão consideradas as seguintes quantidades:

-  $L_A(\theta_A)$  é o logaritmo da verossimilhança dos dados do contexto A,

-  $L_A (\theta_B)$  é o logaritmo da verossimilhança dos dados observados no contexto B gerado pelo modelo estimado em A,

-  $L_B (\theta_B)$  é o logaritmo da verossimilhança de um modelo especificado e estimado no contexto B,

-  $L_i (C)$  é o logaritmo da verossimilhança do modelo apenas com constantes para o contexto i, (i=A,B),

-  $L^*$  é o logaritmo da verossimilhança de um modelo "perfeito" que é igual a zero.

Uma medida natural da estabilidade do modelo estimado no contexto A ao ser aplicado no contexto B é a razão da verossimilhança dada por

$$L = - ( L_A(\theta_A) - L_A(\theta_B) ) \quad \text{IV-1}$$

que se utiliza para formular três índices específicos:

a) teste de transferência estatística (TTE)

$$\text{TTE} (\theta_{Ai}) = -2 ( L_A (\theta_A) - L_A (\theta_B) ) \quad \text{IV-2}$$

Esta estatística tem distribuição chi-quadrado com graus de liberdade igual ao número de parâmetros do modelo. A estatística testa a hipótese de que o conjunto de dados geradores dos parâmetros no contexto A sejam iguais aos estimados no contexto B, isto é,  $H_0 = \theta_A = \theta_B$ .

O teste de transferência estatística não é necessariamente igual em ambos os sentidos, ou seja, modelo A aplicado em B ou vice-versa. Assim, é razoável admitir transferibilidade em um sentido e rejeitá-la em outro.

b) índice de transferência (IT)

$$\text{IT} (\theta_{Ai}) = \frac{( L_A(\theta_B) - L_i(C) )}{( L_B(\theta_B) - L_i(C) )} \quad \text{IV-3}$$

Esta estatística descreve o grau de superação do modelo estimado sobre um modelo nulo ou de referência, relativo à melhoria que oferece sobre este último um modelo desenvolvido especialmente para o novo contexto. IT tem um limite superior de 1(um) quando o modelo estudado é tão bom quanto o estimado localmente. Porém não tem limite inferior. Valores negativos apenas indicam que o modelo é pior que o estimado localmente.

c) rho-quadrado de transferência

A medida rho-quadrado de transferência descreve o grau para o qual o logaritmo da verossimilhança do modelo transferido excede o modelo base relativo ao grau de melhoria no logaritmo da verossimilhança conseguido com um modelo local(perfeito). Esta medida é definida por:

$$\rho^2(\theta_A) = (L_A(\theta_B) - L_A(C)) / (L^* - L_B(C)) \quad \text{IV-4}$$

e está relacionada com IT por

$$\rho^2(\theta_A) = IT(\theta_A) \cdot \rho^2(\theta_B) \quad \text{IV-5}$$

Assim, seu limite superior é o índice do modelo local e não tem limite inferior. Seus valores negativos apenas indicam que o modelo transferido é pior que o local.

Este conjunto de testes estatísticos, associado a uma análise qualitativa eficiente, permite avaliar a transferibilidade de modelos comportamentais.

### III.4-UMA BREVE REVISÃO DA EXPERIÊNCIA NA TRANSFERIBILIDADE DE MODELOS COMPORTAMENTAIS

#### III.4.1-INTRODUÇÃO

Os estudos realizados para avaliar transferibilidade de modelos comportamentais possuem particularidades referentes ao tipo de modelo que se está analisando. As características que envolvem a especificação dos modelos são avaliadas e

consideradas como fundamentais na verificação da possibilidade de transferir modelos. Assim, são observados aspectos como qualidade dos dados usados para a estimação, características conjunturais do período em que o modelo foi estimado, questões do ponto de vista cultural e observação de características locais que recomendariam a inclusão ou exclusão de variáveis.

#### III.4.2-DISPONIBILIDADE DE DADOS

Um grande número de estudos sobre transferibilidade relata dificuldades no sentido de disponibilidade de dados específicos ao uso de modelos comportamentais. Na realidade, este problema advém das resistências à aplicação dos modelos. Isto se deve principalmente às dificuldades de adaptação dos planejadores de transporte a esta forma de prever demanda. Um exemplo de dificuldades na obtenção de dados específicos aos modelos comportamentais é o estudo desenvolvido por ORTUZAR(23). Neste, foi analisada a possibilidade de transferir um modelo estimado em Leeds, Inglaterra, para a cidade de Santiago, no Chile. O trabalho relata que, embora os dados de Santiago tenham sido especialmente coletados para o uso de modelos comportamentais, os de Leeds não o foram. Também KOZEL(05) relata dificuldades em estudo realizado sob os auspícios do Banco Mundial, onde visou avaliar a transferibilidade de modelo da cidade de Bogotá, Colômbia, especificado e estimado com dados de 1972, para a cidade de Cali (Colômbia) e a própria Bogotá, no ano de 1980. Neste caso, a deficiência básica era a qualidade dos dados, devido à não orientação da coleta aos modelos comportamentais.

#### III.4.3-DIFERENÇAS SOCIAIS, POLITICAS, ECONOMICAS E CULTURAIS ENTRE CONTEXTOS

Como foi anteriormente destacado, a transferência de modelos pode ser subdividida em dois grandes grupos, qual sejam, transferência espacial e transferência temporal. Evidentemente, existem variações nestes grupos. KOZEL(05) as descreve como sendo:

a) transferência de modelos dentro de uma área urbana com dados coletados em um ponto particular no tempo, onde será verificada a transferibilidade entre segmentos do mercado (grupos sócio-econômicos) ou entre sub-amostras selecionadas;

b) transferência de modelos dentro de uma área urbana usando dois conjuntos de dados coletados em diferentes pontos no tempo;

c) transferência entre áreas urbanas distintas, usando conjunto de dados de cada área, coletados em diferentes pontos no tempo.

Todas as possibilidades de transferência de modelos envolvem diferenças sócio-político-econômicas e culturais, mesmo quando se trata de uma mesma área urbana em distintos períodos no tempo, uma vez que há um dinamismo da cidade e da conjuntura como um todo.

ORTUZAR(23) analisou a estabilidade cultural de modelos através de um estudo de caso que envolveu a transferência de modelo de escolha modal de Leeds para Santiago do Chile. Neste estudo foram estimados modelos Logit Multinomial Simples e Hierárquico. A primeira base de dados foi coletada em 1975 para um corredor suburbano na cidade de Leeds, e a segunda em 1981 para um corredor urbano de Santiago. Em ambos os casos as alternativas iam desde automóvel particular até trem (metrô no caso chileno), com várias combinações como automóvel-trem, carona-trem e serviços alimentadores do trem. Ambos os conjuntos de dados compreendem cerca de seiscentas observações e representam um valor similar da taxa de motorização, o que facilita a análise notadamente em relação à escolha modal. Assim, qualquer divergência encontrada entre os modelos estimados deve-se creditar à diferença entre o meio-ambiente econômico e cultural das duas áreas. Contudo, é necessário reconhecer que ambas as áreas tem algumas diferenças importantes. Por exemplo, Santiago é uma capital de país, cuja área metropolitana possui cerca de quatro milhões de habitantes e uma densidade habitacional bastante baixa, o que a torna extensa. Leeds, por outro lado, é uma cidade provincial de tamanho médio e possui uma população de cerca de um milhão de habitantes. Existem também diferenças em relação a frequências, custos de operação e custos do transporte público.

Os aspectos acima descritos, em última análise reforçam a idéia de que, na especificação de um modelo, quando da escolha de variáveis supostamente relevantes, há o ocultamento de condições próprias do local ou da atual conjuntura. Isto significa que aspectos como uma crise econômica momentânea ou a má administração do transporte público, por exemplo, estarão refletidos nos coeficientes do modelo, ou mesmo na escolha destas variáveis relevantes. Em verdade, está-se comparando duas cross-section. Desta forma, um modelo mal especificado terá remotas possibilidades de sucesso em outro contexto.

Segundo ATHERTON e BEN-AKIVA(02), a justificação teórica para a transferibilidade de modelos comportamentais deve ser estabelecida pela identificação dos atributos que afetam a capacidade do modelo para ser transferido. Isto se deve ao fato de que todos os fatores que afetam a realização de previsões, afetam também a transferibilidade. Destacam ainda o fato de que "se um modelo não pode prever com sucesso o comportamento de viagens no contexto para o qual foi especificado e estimado, não há razão para esperar um melhor desempenho em algum outro contexto". Assim, para ser transferível, não basta que os modelos tão somente se ajustem à existência de dados; deve também explicar tanto mudanças no comportamento das viagens quanto mudanças nas condições do usuário.

KOPPELMAN, KUAH e WILMOT(16) destacam que a perfeita transferibilidade de modelos não pode ser realizada, em função de diferenças comportamentais entre contextos e limitações de especificação do modelo.

Um dos estudos clássicos sobre a transferibilidade de modelos comportamentais foi desenvolvido por ATHERTON e BEN-AKIVA(02). Este estudo toma por base um modelo de escolha de modo especificado para a cidade de Washington D.C., com dados de 1968. O modelo foi reestimado para a cidade de New Bedford, Massachussets com dados de 1963 e Los Angeles, com dados de 1967. Neste trabalho é também destacado que não há modelo perfeitamente transferível. Algumas variáveis que poderiam ser incluídas (ou excluídas) não o são e, em particular, quando são utilizados dados para o desenvolvimento de modelo de uma área urbana e aplicado para outra, podem existir diferenças

culturais entre estas duas áreas urbanas que não são explicitamente representadas. Assim, os coeficientes estimados em uma área não serão válidos para outra. Ainda segundo estes autores, para que o modelo seja perfeitamente transferível, seus coeficientes devem estar livres de fatores contextuais. Isto, na realidade, é improvável que venha a ocorrer. No exemplo deste estudo, devem ser destacadas as diferenças existentes entre os contextos. Washington D.C. é uma cidade com característica administrativa governamental com elevado número de funcionários públicos. Já New Bedford, é uma cidade industrial de porte médio, e Los Angeles, uma cidade de negócios e lazer. Assim, o modelo possui em sua estrutura variáveis que procuram captar a condição (ou não) de funcionários públicos, que no caso serve como uma "proxy" para trabalhadores providos de incentivos para a formação de "pools" para o uso de veículos. Na transferência do modelo de Washington para o conjunto de dados de New Bedford e Los Angeles, as especificações das variáveis independentes são as mesmas para todo o modelo original, com exceção de que variáveis CBD (indicativo de destino na área central) e variáveis de funcionários públicos são excluídas.

Mais do que a simples correlação existente entre o comportamento de viagens com características sócio-econômicas e nível de serviço do transporte, a especificação do modelo deve representar as relações causais entre variáveis. Desta forma, a especificação causal é pré-condição para as considerações sobre transferibilidade. Assim, a omissão de variáveis relevantes terá efeitos prejudiciais na capacidade de estimação e previsão do modelo, bem como em sua transferibilidade.

#### III.4.4-EFEITOS DA INCLUSÃO/EXCLUSÃO DE VARIÁVEIS

KOPPELMAN e WILMOT(14) alertam para o fato de que a exclusão de variáveis relevantes pode ter sérios impactos na estimação de modelos de escolha desagregada. Destacam ainda que "quando a relação entre variáveis incluídas e excluídas é idêntica nos contextos de estimação e previsão, o modelo

*reduzido* preverá possibilidades de escolha individual que serão tendenciosas em relação às probabilidades de escolha dos níveis socio-econômicos relativo ao modelo completo. Segundo este estudo, estas relações podem ser usadas para definir três casos a que descrevem diferenças ou similaridades entre contextos.

Primeiramente, o comportamento nos dois contextos e as relações entre variáveis incluídas e excluídas podem ser similares ou idênticas. Neste caso, as previsões obtidas serão similares ao modelo estimado localmente para uma ampla série de especificações. Ambos os conjuntos de previsão terão melhorias absolutas com melhorias na especificação. Em segundo lugar, o comportamento pode ser similar ou idêntico nos dois contextos, mas a relação entre variáveis incluídas e excluídas pode ser diferente. Neste caso, a previsão obtida usando o modelo transferido será similar àquela do modelo local. Então as especificações usadas são relativamente completas. Ambas as previsões, do modelo estimado localmente e do transferido, melhorarão. Em terceiro lugar, o comportamento pode ser diferente entre os contextos de estimação e aplicação. Neste caso, existirão diferenças entre previsões feitas pelo uso de modelos transferidos e locais e o padrão de diferenças com mudanças de especificação não pode ser realmente definido.

## CAPITULO IV-APLICAÇÃO PRÁTICA

### IV.1-INTRODUÇÃO

Com a finalidade de desenvolver uma aplicação prática dos conceitos de transferibilidade, foi verificada a possibilidade de transferir um modelo de posse de automóveis originalmente especificado para a cidade de Maceió. A transferência foi verificada em relação à cidade de São Paulo. Para realizar esta análise, foram considerados o modelo especificado para Maceió por Swait (28), com dados de 1977 e dados coletados no mês de setembro de 1986 na região metropolitana de São Paulo.

Deve aqui ser destacado que o presente estudo ateve-se à análise da transferência de especificação de um modelo, não tendo sido verificada a transferibilidade de coeficientes do modelo, devido à não disponibilidade de software adequado para tal.

Para que a metodologia de análise da transferibilidade pudesse ser adequadamente utilizada, foi necessário descrever o modelo de posse de automóveis de Maceió, utilizar sua especificação para o conjunto de dados de São Paulo, especificar e estimar um modelo especial para São Paulo a partir da base de dados, e por fim realizar os testes para avaliar as potencialidades do modelo para analisar a posse de automóveis em São Paulo.

Para se ter um painel acerca dos contextos onde se estava analisando a transferibilidade de modelo, foram feitas algumas considerações.

Maceió, cidade onde foi estimado o modelo, é a capital do estado de Alagoas, sendo um importante polo político, econômico e social da região. A população da cidade no ano de estimação do modelo era de aproximadamente 340.000 habitantes, tendo uma densidade demográfica de aproximadamente 780 habitantes por quilômetro quadrado. Segundo SWAIT (26) os empregos estão alocados em 92,7% no setor terciário, 6,9% no setor secundário e 0,9% no primário. Ainda segundo o autor, em

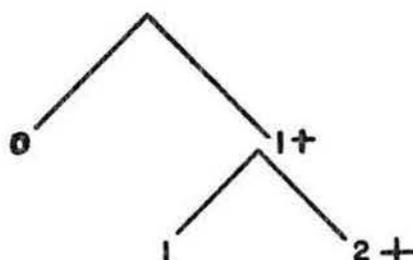
1970, 87,3% da população percebia um salário mínimo ou menos, enquanto apenas 1,5% percebia acima de três salários mínimos. Foram feitas algumas relações entre posse de automóveis e algumas variáveis sócio-econômicas as quais estão registradas no anexo III.

São Paulo, a cidade para onde será avaliada a transferência do modelo, é uma metrópole nacional embasada nas atividades da indústria e comércio. A população da cidade, sem contar as cidades que complementam a região metropolitana, é de aproximadamente 8,5 milhões de habitantes, apresentando uma densidade demográfica de aproximadamente 5.700 habitantes por quilômetro quadrado. Algumas relações obtidas a partir do conjunto de dados de São Paulo são apresentadas no anexo III.

#### IV.2-ESTRUTURA DO MODELO DE POSSE DE AUTOMOVEIS DE MACEIO

A estrutura definida para o modelo foi a de um modelo logit binário ordenado. A propriedade do veículo configura-se como uma daquelas situações de ordenamento hierárquico em que a escolha de uma alternativa específica implica na escolha de todas as alternativas que se situam em um nível superior na escala hierárquica (9).

No contexto de Maceió não é provável que um domicílio que não possuísse nenhum veículo, considerasse imediatamente a compra de dois ou mais automóveis. Segundo SWAIT (28), a sequência natural de decisões é



A compra de um automóvel indica, não apenas a posição econômica do seu proprietário, como também implica em posições de status social. A aquisição do primeiro carro significa um salto qualitativo. A partir do fato de que a situação econômica da família torna esta aquisição possível, o apelo do status também passa a exercer influência.

A aquisição do segundo carro, contudo, parece estar mais influenciada por fatores outros como necessidade de mobilidade, acessibilidade, entre outros. Assim, a escolha fundamental da decisão constava de não possuir carro ou de possuir um ou mais carros.

A partir das considerações acima, o modelo de posse de automóveis, em Maceió, analisa dois níveis hierárquicos. Desta forma, serão estimados modelos logit binários da forma:

modelo 1

$$P_{1+/0,n} = \frac{1}{1 + e^{-(V_{0,n} - V_{1+,n})}}$$

modelo 2

$$P_{2+/0,n} = \frac{1}{1 + e^{-(V_{1+,n} - V_{2+,n})}}$$

onde

$P_{1+/0,n}$  = é a probabilidade de que o domicílio  $n$  escolha possuir um ou mais automóveis, dado que a alternativa seja não possuir carro algum.

$P_{2+/1,n}$  = probabilidade de que o domicílio  $n$  escolha possuir dois ou mais veículos, dado que a alternativa seja possuir apenas um veículo.

$V_{0,n}$ ;  $V_{1+,n}$ ;  $V_{2+,n}$  = funções de utilidade, lineares nos parâmetros.

A base de dados para estimativa dos dois modelos foi constituída por todos os domicílios com renda igual ou superior a Cr\$ 3446,00 mensais (preços de 1977). Os domicílios com renda inferior foram considerados irrelevantes para a

estimativa dos modelos, dado que não dispunham de condições econômicas para a compra de um carro.

IV.2.1-Variáveis incluídas no modelo 1 e seu poder explicativo

O presente trabalho analisa a transferibilidade do modelo de posse de automóveis no primeiro nível hierárquico de alternativas, isto é, a decisão de não possuir automóvel, ou de possuir um ou mais automóveis. A partir disto, serão aqui avaliadas as variáveis incluídas no modelo de posse de automóveis de Maceió.

Duas categorias de variáveis foram incluídas na especificação da função de utilidade para este modelo binário:

-a) variáveis sócio-econômicas: renda, tamanho da família, nível de educação do cabeça da família, número de trabalhadores, ciclo de vida da família;

-b) variáveis geográficas: acessibilidade/localização.

Entre as variáveis, renda desempenha o papel mais importante do modelo. É também fundamental esclarecer que no caso de Maceió não havia disponibilidade desta variável, o que levou à estimação de modelo de renda a partir de dados sobre o consumo de energia elétrica (anexo II).

O tamanho da família é outra variável incluída a partir do fato de que a probabilidade de um domicílio mais numeroso possuir um ou mais automóveis é maior em função da contribuição para a renda total e da demanda por transporte.

A variável número de filhos foi decomposta em duas: uma para domicílios com renda mensal igual ou menor a Cr\$4.514,00 (valores de 1977) e outra para domicílios de renda mais alta, superior a Cr\$4.514,00. No caso das famílias com renda mais baixa, somente os filhos de zero a cinco anos foram incluídos, pois foi considerado que os filhos com idade igual ou superior a seis anos contribuam para a renda familiar. No caso de famílias mais abastadas foram considerados todos os filhos com idade igual ou inferior a 18 anos, supondo-se que os mesmos não contribuam para a renda familiar.

O nível de educação do chefe da família foi definido através de uma variável dummy. O pressuposto básico foi de que esta variável estaria correlacionada com a renda, devendo captar alguns efeitos relacionados ao status social decorrente da propriedade do automóvel.

Quatro variáveis foram definidas com respeito ao número de trabalhadores, sendo duas que expressam a utilidade que representa a propriedade de um automóvel para domicílios com um trabalhador ou domicílios com mais de um trabalhador. As outras duas variáveis foram incluídas com a finalidade de verificar dentro de que medida o efeito marginal de um outro trabalhador sobre a utilidade da posse de automóvel diminui, quando o número de trabalhadores aumenta (SWAIT (28) e GEIPOT (9)).

O ciclo de vida da família entrou no modelo de duas formas. Primeiro, foi considerado que os domicílios cujo cabeça da família tivesse idade superior a 65 anos revelassem tendência a situar-se nas faixas de renda mais baixas e acusassem maior percentual de pessoas fisicamente limitadas no tocante ao uso do automóvel. Além disto, foi constatado que no caso brasileiro a maioria das pessoas neste grupo de idade nunca obtiveram carteira de motorista, pois o automóvel como consumo de massa é fenômeno relativamente recente.

Grupos com ausência de filhos, segundo GEIPOT(9) e SWAIT(28), revelam uma posse de automóveis superior à média, especialmente no caso de domicílios com mais de dois adultos.

Finalmente, uma variável dummy foi introduzida para identificar domicílios que residem fora do CBD (centro histórico/cultural e negócios), ou seja, as zonas mais distantes da zona central.

#### IV.2.2-Resultados da estimação do modelo de posse de automóveis de Maceió

O modelo de posse de automóveis de Maceió expressa a probabilidade de um indivíduo possuir um ou mais automóveis (opção 2) ou nenhum (opção 1). Os resultados da estimação do modelo encontram-se registrados nos quadros 5 e 6. O primeiro

quadro contém um modelo apenas com variáveis de renda, e o segundo o modelo completo. Os nomes utilizados para as variáveis foram os seguintes:

```

-rd40002 -renda domiciliar se renda for menor ou
          igual a Cr$ 4000
          -4000 para os demais casos
-rd4m62  -0 se renda domiciliar for menor ou
          igual a 4000
          -renda menos 4000 se renda maior 4000
          e menor ou igual a 6000
          -2000 se renda for maior que 6000
-rd6m92  -0 se renda domiciliar for menor ou
          igual a 6000
          -renda menos 6000 se renda maior que 6000
          e menor ou igual a 9000
          -3000 se renda for maior que 9000
-rd90002 -0 se renda for menor ou igual a 9000
          -renda menos 9000 se renda for maior
          que 9000
-zminc2  -0 se renda domiciliar menor ou igual a
          renda zonal média (no caso do modelo
          sendo utilizado com os dados de São
          Paulo, a renda zonal média foi substi-
          tuída por renda média, em virtude da
          da renda zonal média não estar
          disponível)
          -renda zonal média se renda for maior
          que renda zonal média
-hhsize2 -tamanho da família( número de membros)
          se tamanho for menor que 6 membros
          -6 para os demais casos
-hhsize62-tamanho da família menos 6 se tamanho
          for maior que 6
          -0 para os demais casos
-nchl62  -número de crianças menores de 6 anos
          se renda for menor que 4514,2
          -0 para os outros casos

```

- nch2 -número de jovens de 18 anos ou menos  
se renda domiciliar for maior que  
4514,2  
-0 para os outros casos
- instssu2-foi adotado o valor 1 se chefe da família tem segundo grau ou curso superior  
-0 para as demais alternativas
- trabal12-foi adotado o valor 1 se há um trabalhador no domicílio  
-0 para os demais casos
- trabal22-valor 1 se há 2 ou mais trabalhadores no domicílio  
-0 para os demais casos
- logtra12- $\log(\text{número de trabalhadores}+1)$  se renda do domicílio for menor ou igual a 7745,9  
-0 para os outros casos
- logtra22- $\log(\text{número de trabalhadores}+1)$  se renda do domicílio for maior que 7745,9  
-0 para as demais alternativas
- idadem62-valor 1 se chefe da família tem 65 anos ou mais  
-0 para os outros casos
- naochil2-valor 1 se domicílio não tem crianças  
-0 para os outros casos
- zntiab2 -valor 1 se zona de residência for maior ou igual a 26(CBD) e renda domiciliar for menor ou igual a 6554,2.

quadro 5. RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DE MODELO DE POSSE DE AUTOMOVEIS DE MACEIÓ COM DADOS DE 1977 APENAS COM VARIÁVEIS RENDA

---



---

| VARIAVEL  | COEFICIENTE | ESTATISTICA T |
|-----------|-------------|---------------|
| CONSTANTE | -4,3500     | -1,2          |
| RD40002   | 0,000492    | 0,7           |
| RD4M62    | 0,000433    | 3,6           |
| RD6M92    | 0,000775    | 8,6           |
| RD90002   | 0,000670    | 2,0           |

---

LOG VEROSSIMILHANÇA EM ZERO= -959,6

LOG VEROSSIMILHANÇA NOS COEFICIENTES ESTIMADOS= -774,7

-2(L(O)-L(B))= 369,8                      GRAUS DE LIBERDADE= 5

RHO-QUADRADO= 0,23

RHO-BARRA QUADRADO(AKAIKE)= 0,23

---



---

fonte: "Discrete Choice Auto Onwership Level for Maceiô"(28)

quadro 6. RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DE MODELO DE POSSE DE AUTOMOVEIS DE MACEIO PARA DADOS OBTIDOS EM 1977

| VARIAVEIS INDEPENDENTES<br>PARA NUMERO DE AUTOS >= 1 | COEFICIENTE | ESTATISTICA T |
|--|-------------|---------------|
| CONSTANTE  | -7,5020     | -2,3          |
| RD40002  | 0,001136    | 1,5           |
| RD4M62   | 0,000366    | 2,1           |
| RD6M92   | 0,000879    | 5,4           |
| RD90002  | 0,000294    | 0,9           |
| ZMINC2   | -0,000062   | -1,5          |
| HHSIZE2  | 1,5080      | 2,1           |
| HHSIZE62   | -0,1689     | -1,4          |
| NCHL62   | -0,5700     | -3,3          |
| NCH2   | -0,0873     | -1,4          |
| INSTSSU2   | 0,6464      | 2,7           |
| TRABAL12   | 1,7300      | 3,6           |
| TRABAL22   | 2,0820      | 2,7           |
| LOGTRAB12  | -0,9697     | -1,5          |
| LOGTRAB22  | -1,2010     | -2,2          |
| IDADEM62   | -0,7881     | -2,2          |

|          |        |     |
|----------|--------|-----|
| NAOCHIL2 | 0,6249 | 2,6 |
| ZNTRAB2  | 0,4897 | 2,3 |

LOG VEROSSIMILHANÇA EM ZERO= -959,6

LOG VEROSSIMILHANÇA NOS COEFICIENTES ESTIMADOS= -691,6

-2(L(O)-L(B))= 536,0 GRAUS DE LIBERDADE= 18

RHO-QUADRADO= 0,28

RHO-BARRA QUADRADO(AKAIKE)= 0,27

fonte: "Discrete Choice Auto Onwership Level for Maceio"(28)

#### IV.3-USO DA ESPECIFICAÇÃO DO MODELO DE POSSE DE AUTOMOVEIS DE MACEIO COM DADOS DE SÃO PAULO

A etapa seguinte na análise da transferibilidade constou da utilização da especificação do modelo de Maceio nos dados de São Paulo. Os dados de São Paulo são originários de pesquisa-piloto realizada pela Companhia do Metropolitano de São Paulo em setembro de 1986, com vistas a servir de base a pesquisa domiciliar a ser desenvolvida na Região Metropolitana de São Paulo. Foram entrevistados 494 domicílios, notadamente nas áreas periféricas. Por se tratar de pesquisa cuja finalidade era balisar pesquisa posterior, não foi observada uma distribuição que observasse, estatisticamente, maiores ou menores concentrações de residências ou, de uma forma mais geral, o tipo de área que estava sendo considerada. Também foi aproveitado o caráter de protótipo para a obtenção de algumas indicações sobre áreas que não haviam sido cobertas por pesquisas anteriores.

Mesmo com as limitações na base de dados, em função das questões anteriormente colocadas, optou-se por

utilizar este conjunto de dados para analisar a possibilidade de transferir modelos.

Para tornar esta base de dados adequada ao uso do modelo Logit, foram eliminados 151 registros, devido às mais variadas razões, como não-disponibilidade da renda ou do número de moradores. Restaram 343 registros, os quais serviram de base para utilizar a especificação de Maceió. Para utilização da especificação de Maceió com os dados de São Paulo, foi necessário deflacionar os valores de renda, para torná-los compatíveis com os valores observados em Maceió no mesmo período. Para esta deflação foi utilizado o IGPDI, Índice Geral de Preços- Disponibilidade Interna, da Fundação Getúlio Vargas.

Os resultados encontram-se registrados nos quadros 7 e 8.

Uma observação que deve ser registrada diz respeito ao baixo desempenho das variáveis renda (especificadas para Maceió) no conjunto de dados de São Paulo. Provavelmente estes resultados estejam associados à distribuição das faixas de renda nos dois conjuntos de dados.

A utilização de um modelo apenas com variáveis renda é resultado da expectativa de que renda, em princípio, é um fator mais geral e independente de contextos. Contudo, o desempenho do modelo no conjunto de dados de São Paulo não confirmou a expectativa.

quadro 7. ESTIMAÇÃO DE MODELO DE POSSE DE AUTOMOVEIS DE MA-  
CEIO APENAS COM VARIAVEIS RENDA COM DADOS DE SAO  
PAULO (modelo 1)

| VARIAVEIS | COEFICIENTES | ESTATISTICA T |
|-----------|--------------|---------------|
| CONSTANTE | -1,7065      | -3,8937       |
| RD40002   | 0,00010826   | 1,0973        |
| RD4M62    | 0,00055764   | 2,0799        |
| RD6M92    | -0,00001365  | -0,64454      |
| RD90002   | 0,00001720   | 0,22010       |

LOG VEROSSIMILHANÇA EM ZERO= -237,749

LOG VEROSSIMILHANÇA NOS COEFICIENTES ESTIMADOS= -196,583

-2(L(OO)-L(B))= 82.3327 GRAUS DE LIBERDADE=5

RHO QUADRADO= 0,1732

RHO BARRA QUADRADO= 0,1521

OBSERVAÇÕES COM DADOS NAO DISPONIVEIS= 68

TOTAL DE OBSERVAÇÕES= 343 CASOS (686 ALTERNATIVAS)

quadro 8. ESTIMAÇÃO DO MODELO DE POSSE DE AUTOMOVEIS DE MA-  
 CEIO COM DADOS DE SAO PAULO- MODELO COMPLETO  
 (modelo 2)

| VARIABLES INDEPENDENTES                 |             |               |
|---|-------------|---------------|
| P/NUMERO DE AUTOS<br>MAIOR OU IGUAL A 1 | COEFICIENTE | ESTATISTICA T |
| constante                               | -3,2371     | -3,6080       |
| RD40002                                 | 0,0001024   | 0,82211       |
| RD4M62                                  | -0,0006313  | 1,6326        |
| RD6M92                                  | -0,0003414  | -0,87516      |
| RD90002                                 | 0,0000351   | 0,33114       |
| ZMINC2                                  | -0,0000072  | -0,60402      |
| HHSIZE2                                 | 0,21660     | 2,0256        |
| HHSIZE62                                | -0,11767    | -0,4259       |
| NCHL62                                  | -0,77798    | -2,1949       |
| NCH2                                    | -0,13149    | -0,85769      |
| INSTSSU2                                | 1,1944      | 3,4806        |
| TRABAL12                                | 1,0928      | 1,4531        |
| TRABAL22                                | 2,1874      | 2,0989        |
| LOGTRA12                                | -1,5059     | -1,8116       |
| LOGTRA22                                | -1,2887     | -1,6228       |

---

|          |         |        |
|----------|---------|--------|
| IDADEM62 | 0,62556 | 1,8462 |
| NAOCHIL2 | 0,46862 | 1,1733 |
| ZNTRAB2  | 0,71970 | 1,5236 |

---

LOG VEROSSIMILHANÇA EM ZERO= -237,749

LOG VEROSSIMILHANÇA NOS COEFICIENTES ESTIMADOS= -177,766

-2(L(O)-L(B))= 119,967 GRAUS DE LIBERDADE= 18

RHO QUADRADO= 0,2523

RHO BARRA QUADRADO(AKAIKE)= 0,1766

OBSERVAÇÕES COM DADOS NAO DISPONIVEIS= 68

TOTAL DE OBSERVAÇÕES= 343 CASOS (686 ALTERNATIVAS)

---

#### IV.4-MODELO ESPECIFICADO PARA SÃO PAULO

A fase seguinte no processo de análise da transferibilidade de modelo de Maceib para São Paulo constou da especificação e conseqüente estimação de modelo para a cidade de São Paulo, o qual assume a condição de "melhor modelo para São Paulo". Para que se chegasse a este modelo, foram experimentadas várias especificações das quais foi escolhida aquela a ser aqui apresentada.

Com vistas a reproduzir a estrutura de decisão do usuário no sentido de possuir ou não automóveis, foi especificado um modelo, onde procurou-se obter o máximo de informações contidas na base de dados. Após esta análise inicial, chegou-se à conclusão de que as variáveis que mais influenciavam o comportamento do usuário eram:

-a) poderco1- variável que procura classificar o usuário segundo seu poder de compra. Foi considerado o valor de pontos atingidos pelo domicílio, segundo a classificação ABA/ ABAP (ver anexo I), para uma pontuação até 4(quatro) pontos (faixa E de consumo) e zero para as demais alternativas.

-b)poderco2- variável que procura classificar o usuário segundo seu poder de compra, a exemplo de poderco1. Foi admitido o total de pontos entre 5 (cinco) e 9(nove) pontos (classe D de consumo) e zero para os demais casos.

-c)poderco3- foi admitido o total de pontos entre 10(diez) e 20(vinte) pontos considerando os consumidores da faixa C de consumo e zero para os demais casos.

-d)poderco4- total de pontos entre 21(vinte e um) e 34(trinta e quatro) e zero para os demais casos, caracterizando a faixa B de consumo.

-e)poderco5- foi adotado o valor do total de pontos obtidos pelo domicílio se iguais ou superiores a 35(trinta e cinco) e zero para os demais casos, caracterizando desta forma a classe A de consumidores.

-f)chefmas- variável que procura analisar se chefe chefe da família é masculino, atribuindo o valor 1(um) se a condição é obedecida e zero para as demais situações.).

-g)morador1- foi registrado o número de moradores do domicílio caso este número fosse igual ou inferior a 5 e 5(cinco) para os demais casos.

-h)morador2- foi registrado o número de moradores do domicílio para o caso deste número ser superior a 5 e adotado o valor 0(zero) para as demais alternativas.

-i)estuda- esta variável procura analisar o efeito sobre demanda por automóveis gerada por estudantes do domicílio. Foi registrado o número de estudantes do domicílio.

-j)rd0a7- foi registrado o valor da renda domiciliar caso a renda fosse inferior ou igual a CR\$ 7000 e Cr\$ 7000 para os demais casos.

-k)rd7a15- foi registrado o valor zero para renda menor ou igual a 7.000; renda-7.000 para renda maior que 7.000 e menor ou igual a 15.000; e 8.000 para renda maior que 15.000.

-l)rdmai15- foi adotado o valor zero para renda menor que Cr\$ 15000 e renda -15000 para os demais casos.

-m)instchef- procura quantificar a influência da instrução do chefe do domicílio na decisão de possuir automóvel. Foi adotado o valor 1 para o caso do chefe do domicílio possuir segundo grau ou curso superior e 0(zero) para as demais alternativas.

-n)idade65- foi adotado o valor 1 para o caso da idade do chefe ser igual ou superior a 65 e 0(zero) para os demais casos.

-o)zntwab- com esta variável procurou-se definir alguma medida de acessibilidade. Foi adotado o valor 1 para o caso da zona de trabalho do chefe do domicílio ser menor ou igual a 127(última zona incluída no (CBD) e 0 (zero) para os demais casos. Em verdade, esta medida é uma aproximação, em virtude das limitações dos dados já anteriormente mencionadas.

O resultado da estimação do modelo encontra-se registrado no quadro 9.

Um resultado não esperado é o sinal do coeficiente da variável Instchefe (-1,5532) e sua importância dentro do modelo. Em princípio era esperado que o sinal fosse positivo, representando que quanto mais elevado fosse o nível de instrução do chefe do domicílio, maior seria a probabilidade do mesmo possuir automóvel. O resultado anômalo fica creditado à natureza do conjunto de dados de São Paulo e eventuais distorções na fase de coleta destes dados. Por outro lado, deve ser destacado o forte poder explicativo da variável poderco4.

Quanto às demais variáveis incluídas no modelo, todas tiveram desempenho razoável na caracterização do contexto de São Paulo.

QUADRO 9. ESTIMAÇÃO DE MODELO DE POSSE DE AUTOMOVEIS ESPECIALIZADO PARA O CONJUNTO DE DADOS DE SÃO PAULO (modelo O)

| VARIAVEIS | COEFICIENTES | ESTATISTICA T |
|-----------|--------------|---------------|
| CONSTANTE | -5,2945      | -4,220        |
| CHEFMAS   | 0,14394      | 0,26824       |
| ESTUDA    | 0,03257      | 0,17452       |
| IDADEM60  | -0,58037     | -1,7766       |
| INSTCHEF  | -1,5532      | -2,9165       |
| MORADOR1  | 0,41706      | 2,2372        |
| MORADOR2  | -0,34860     | -1,5438       |
| PODERCO1  | -3,6160      | -0,077196     |
| PODERCO2  | -0,0,0489    | -0,32221      |
| PODERCO3  | 0,30138      | 0,063808      |
| PODERCO4  | 0,23710      | 5,4582        |
| PODERCO5  | 0,41230      | 0,21902       |
| RDOA7     | 0,000209     | 1,4419        |
| RD7A15    | -0,000095    | -0,87116      |
| RDMAI15   | 0,000084     | 1,8350        |
| ZNTRAB    | 0,90190      | 1,4454        |

LOG VEROSSIMILHANÇA EM ZERO= -237,749  
 LOG VEROSSIMILHANÇA NOS COEFICIENTES ESTIMADOS= -94,3086  
 $-2(L(O)-L(B))= 286,881$  GRAUS DE LIBERDADE=16  
 RHO-QUADRADO= 0,6033  
 RHO BARRA QUADRADO= 0,5360

---



---



---

#### IV.5-TESTES ESTATÍSTICOS PARA AVALIAÇÃO DA TRANSFERIBILIDADE

Segundo a metodologia para avaliar a transferibilidade de modelos, a etapa seguinte constou da realização de testes estatísticos, cuja finalidade é permitir a obtenção de indicadores que permitam concluir acerca da possibilidade de transferir modelos dentro de dados níveis de confiança.

##### IV.5.1-Comparação de pares de coeficientes

O primeiro teste consta da verificação da transferibilidade de variáveis do modelo, tomando-as particularmente. Este procedimento compara os pares de coeficientes através da estatística  $\tilde{t}$  para a diferença absoluta entre os coeficientes do modelo original (especificado e estimado para Maceió) e os do mesmo modelo, porém utilizando o conjunto de dados de São Paulo. A equação é

$$\tilde{t} = \frac{(\theta_{Ai} - \theta_{Bi})}{\sqrt{(\theta_{Ai}/t_i)^2 + (\theta_{Bi}/t_i)^2}} < 1,96 \quad \text{VI.1}$$

com  $\theta_{Ai}$  sendo os coeficientes de Maceió e  $\theta_{Bi}$  os coeficientes de São Paulo, tendo produzido os seguintes resultados apresentados no quadro 10.

## quadro 10. TESTE DE COMPARAÇÃO DE PARES DE COEFICIENTES

| variável | modelo completo (Modelo 2) | apenas renda (modelo 1) |
|----------|----------------------------|-------------------------|
| RD40002  | 1,347                      | 0,541                   |
| RD4M62   | -0,625                     | -0,424                  |
| RD6M92   | 2,887                      | 3,961                   |
| RD90002  | 0,791                      | 1,898                   |
| ZMINC2   | -0,434                     | -                       |
| HHSIZE2  | 1,779                      | -                       |
| HHSIZE62 | -0,169                     | -                       |
| NCHL62   | 0,527                      | -                       |
| NCH2     | 0,267                      | -                       |
| INSTSSU2 | -1,310                     | -                       |
| TRABAL12 | 0,714                      | -                       |
| TRABAL22 | -0,081                     | -                       |
| LOGTRA12 | 0,453                      | -                       |
| LOGTRA22 | 0,091                      | -                       |
| IDADEM62 | -2,867                     | -                       |
| NAOCHIL2 | 0,335                      | -                       |

-----  
ZNRAB2

-0,444

-----  
-----

Uma questão a ser ressaltada neste ponto é a importância de não se ater apenas aos resultados numéricos dos testes, mas também analisar a essência do que se está fazendo. Em verdade, ao compararmos os coeficientes gerados pela aplicação da especificação de Maceib em São Paulo com os de um modelo especificado para São Paulo e tido como "o melhor modelo", devem ser feitas algumas considerações. A principal delas é que se deve ter presente que o "melhor modelo", em verdade, foi especificado e estimado em cima de uma amostra reduzida, o que não permite que se tenha absoluta confiança em sua representatividade. Tendo isto presente e devidamente considerado, admite-se que as variáveis RD6m92 e Idadem62 não seriam consideradas transferíveis. Da mesma forma, as demais variáveis não podem ser tomadas como "transferíveis" de forma absoluta.

Os resultados deste teste eram de alguma forma esperados, na medida em que a distribuição da renda em Maceib e São Paulo divergem em algumas faixas. Isto equivale dizer que, a nível individual, as variáveis renda valem para faixas mais baixas e mais altas de renda, sem contudo valerem para a faixa entre Cr\$ 6000 e Cr\$ 9000, tanto no modelo completo, quanto no modelo apenas com variáveis renda.

Da mesma forma, a idade acima de 65 anos diverge do conjunto de dados de São Paulo.

#### IV.5.2-Tentativa de Transferência Parcial do Modelo

Paralelamente à análise da transferibilidade de modelo apenas com renda e de modelo completo de Maceib para São Paulo, foi verificada sua transferência parcial, ou seja, de partes do mesmo, mesclando-as com variáveis especificadas para São Paulo.

Exemplos de tentativas de transferência parcial do modelo são apresentados nos quadros 11, 12 e 13, onde foram analisadas formas alternativas de considerar a transferibilidade do modelo.

O modelo tomado como base para a realização do teste foi o modelo especificado no quadro 9.

quadro 11 Modelo mesclando renda de Maceib e variáveis sócio-econômicas de São Paulo (modelo 3)

| variáveis | coeficientes | estatística -t |
|-----------|--------------|----------------|
| constant  | -2,5481      | -4,3999        |
| rd40002   | 0,0000973    | 0,93888        |
| rd4m62    | 0,0004928    | 1,7716         |
| rd6m92    | -0,0002487   | -1,1255        |
| rd90002   | 0,0000220    | 0,27030        |
| morador1  | 0,23218      | 2,2585         |
| morador2  | -0,31786     | -1,8459        |
| instchef  | 1,2792       | 3,9929         |
| estuda    | 0,10227      | 0,90978        |

LOG VEROSSIMILHANÇA EM ZERO= -237,749

LOG VEROSSIMILHANÇA NOS COEFICIENTES ESTIMADOS= -183,715

-2 (L(O) - L(B))= 106,069 GRAUS DE LIBERDADE= 9

RHO QUADRADO= 0,2231

RHO BARRA QUADRADO (AKAIKE)= 0,1852

Nesta tentativa foi analisada a estabilidade das variáveis indicadoras de renda do modelo especificado para Maceib. O teste de transferência estatística (TTE) apresentou o resultado de 178,9, superior ao chi-quadrado crítico (ver quadro 14).

Também o rho quadrado apresenta valores relativamente baixos, indicando uma má performance do modelo.

A seguir foi analisada a utilização de modelo utilizando variáveis socio-econômicas especificadas para Maceió e variáveis renda especificadas para São Paulo.

quadro 12 Modelo mesclando variáveis socio-econômicas especificadas para Maceió e variáveis de renda especificadas para São Paulo (modelo 4)

| variáveis | constante  | estatística -t |
|-----------|------------|----------------|
| constant  | -4,0069    | -4,2666        |
| rd0a7     | 0,00035630 | 2,8241         |
| rd7a15    | 0,00001259 | 0,26049        |
| rdmai15   | 0,00007112 | 3,2218         |
| hhsiz2    | 0,19255    | 1,7965         |
| hsiz62    | -0,071809  | -0,25977       |
| nchl62    | -0,76839   | -2,1728        |
| nch2      | -0,14373   | -0,95461       |
| instssu2  | 1,1228     | 3,2954         |
| trabal12  | 1,1312     | 1,4952         |
| logtra12  | -1,3491    | -1,6750        |
| logtra22  | -1,4438    | -1,8380        |
| idadem62  | 0,64625    | 1,9045         |
| naochi12  | 0,51726    | 1,3090         |

---

|         |         |        |
|---------|---------|--------|
| zntreb2 | 0,87859 | 1,8933 |
|---------|---------|--------|

---



---

LOG VEROSSIMILHANÇA EM ZERO= -237,749

LOG VEROSSIMILHANÇA NOS COEFICIENTES ESTIMADOS= -176,450

-2 (L(O) - L(B))= 122,598 GRAUS DE LIBERDADE= 16

RHO QUADRADO= 0,2578

RHO BARRA QUADRADO (AKAIKE)= 0,1905

---

O TTE apresentou um resultado de 164,3 (quadro 14), indicando um valor superior ao valor crítico de chi-quadrado. Da mesma forma, o rho quadrado tem valor reduzido, indicando mau desempenho do modelo.

Finalmente foi analisado um modelo incluindo a especificação de renda de Maceió e variáveis de poder de compra especificadas para São Paulo, apresentado no quadro 13.

quadro 13 Modelo mesclando especificação de renda de Maceió e variáveis de poder de compra especificadas para São Paulo (modelo 5)

---

| variáveis | coeficiente | estat -t |
|-----------|-------------|----------|
| constant  | -5,6217     | -4,1220  |
| rd40002   | 0,0001551   | 0,98214  |
| rd4m62    | 0,0004913   | 1,1002   |
| rd90002   | 0,0000070   | 0,05938  |
| estuda    | -0,0018112  | -0,01005 |
| chefmas   | 0,22755     | 0,42235  |
| idadem60  | -0,29013    | -1,0095  |

---

|  |           |          |
|--|-----------|----------|
| morador1   | 0,37844   | 2,1094   |
| poderco1   | -3,0531   | -0,17758 |
| poderco2   | 0,0025227 | 0,01779  |
| poderco3   | 0,28786   | 4,5029   |
| poderco4   | 0,21818   | 5,2102   |
| poderco5   | 0,35029   | 0,49569  |
| zntrab   | 0,61830   | 1,0026   |
| LOG VEROSSIMILHANÇA EM ZERO= -237,749                    |           |          |
| LOG VEROSSIMILHANÇA NOS COEFICIENTES ESTIMADOS= -98,7992 |           |          |
| -2(L(O) - L(B))= 277,900 GRAUS DE LIBERDADE=15           |           |          |
| RHO QUADRADO= 0,5844                                     |           |          |
| RHO BARRA QUADRADO (AKAIKE)= 0,5213                      |           |          |

Neste modelo o TTE (quadro 14) apresentou valores inferiores ao chi-quadrado crítico, e um rho quadrado muito superior aos demais e muito próximo do obtido com o modelo específico para São Paulo.

A conclusão a que se pode chegar é de que a complementação das variáveis renda especificadas para Maceió com variáveis de São Paulo apresenta uma melhor performance. Presume-se que tal fato se deva à distribuição da renda entre os conjuntos de dados de Maceió e São Paulo e a consequente especificação feita para a primeira.

#### IV.5.3-Teste de transferência estatística

O segundo teste realizado é o teste de transferência estatística ou razão de verossimilhança. Esta estatística testa

a hipótese de que os conjuntos de dados de Maceió e São Paulo que geraram os coeficientes do modelo sejam iguais.

A forma como se realiza este teste obedece a equação IV-2 e produziu os seguintes resultados apresentados no quadro 14.

quadro 14. teste de transferência estatística

| modelo  | Teste de transferência estatística |
|---|------------------------------------|
| modelo especificado para Maceió apenas com renda (modelo 1)                       | 204,5                              |
| modelo especificado para Maceió completo (modelo 2)                               | 166,9                              |
| modelo com renda de Maceió e variáveis sócio-econômicas de São Paulo (modelo 3)   | 178,8                              |
| modelo com renda de São Paulo e sócio-econômicas de Maceió (modelo 4)             | 164,3                              |
| modelo com renda de Maceió e variáveis de poder de compra de São Paulo (modelo 5) | 8,98                               |

Estes valores devem ser comparados com o valor crítico de  $\chi^2$  ao nível de significância desejado (5%) e graus de liberdade igual ao número de variáveis do modelo (18); das tábuas estatísticas este é 28,8. Para graus de liberdade igual a 15, chi-quadrado crítico é 25. Portanto, os resultados dos modelos 1, 2, 3 e 4 rejeitam firmemente a hipótese nula de estabilidade espaço-temporal, ao contrário do modelo 5, que tem seu valor menor que o chi-quadrado crítico.

O resultado do teste do modelo 5 conduz a uma conclusão inicial de aceitação da transferibilidade. Contudo, é

necessário manter certa cautela em relação a este resultado, em função do fato de que as variáveis de poder de compra (poderco1, poderco2, poderco3, poderco4, poderco5) são, em verdade, variáveis que reproduzem a estrutura de renda dos dados de São Paulo. Desta forma, em última análise, está-se superpondo variáveis renda, muito embora, numa análise das correlações entre as variáveis, não se tenha observado valores muito elevados.

#### IV.5.4-Índice de transferência

O índice de transferência apenas confirma os resultados apresentados no quadro 14.

#### IV.5.5-Rho-quadrado de Transferência

A exemplo do índice de transferência, o rho-quadrado de transferência apenas confirma os resultados do quadro 14.

#### IV.6-ANÁLISE DOS RESULTADOS

O objetivo desta aplicação prática foi o de avaliar a hipótese de modelo de posse de automóveis de Maceió ser transferível para um conjunto de dados de São Paulo.

Muito embora transferibilidade seja frequentemente associada à validação de modelagem desagregada, a validade de modelos é uma condição necessária, porém não suficiente para transferibilidade. Teoricamente, o argumento para a transferibilidade pode ser realístico. Todavia, o potencial decresce quando há uma movimentação da teoria para a estimação prática, função básica de hipóteses adicionais e dados imperfeitos, que reduzem a amplitude e validade do modelo.

No caso presente, muito embora o modelo de Maceió esteja bem especificado para os dados de Maceió, sua transferência para o conjunto de dados de São Paulo não pode ser embasada em testes estatísticos. Isto equivale dizer que é rejeitada a hipótese nula de transferência global de modelo de

Maceió para o conjunto de dados de São Paulo. Em apenas uma circunstância experimentada pode-se admitir (com restrições) a transferibilidade. Trata-se do modelo com variáveis renda de Maceió e variáveis de poder de compra de São Paulo.

O principal objetivo em analisar a possibilidade de transferência parcial era o de tentar definir que variáveis, ou grupo delas, tinha maior probabilidade de se adequarem ao conjunto de dados de São Paulo. Tal tentativa teve sucesso, na medida em que foi possível concluir sobre a necessidade de complementar os dados de renda especificados para Maceió, bem como verificar que o desempenho do modelo nestas circunstâncias foi pouco melhor. Isto indica que as variáveis renda seriam mais estáveis que as variáveis sócio-econômicas, resultando daí a necessidade de orientar a coleta de dados sob o ponto de vista de renda. Este resultado, a exemplo da possibilidade de transferência global do modelo de Maceió, era previsível. Contudo, a validade do presente trabalho é dar respaldo quantitativo às hipóteses formuladas e orientar o sentido que deve tomar a análise da transferência de modelos.

## CAPITULO V- CONCLUSOES

No presente trabalho foi apresentada uma análise das principais medidas utilizadas na literatura para estudar a estabilidade e/ou transferência de modelos de escolha discreta. Foram também analisadas as motivações que conduzem ao reconhecimento da transferência de modelos como instrumento válido na análise e planejamento dos transportes urbanos.

Em verdade, a principal característica da transferência de modelos comportamentais é a de propiciar ao analista de transportes a utilização de uma tecnologia alternativa para prever e analisar demanda por transportes. A concepção dos procedimentos é simples e utiliza recursos fáceis de serem manuseados. O conjunto de testes estatísticos que orientam a adoção ou não de um modelo transferido permite ao analista dispor de elementos confiáveis que lhe permitem decidir sobre o uso ou não de um modelo especificado para um contexto diferente daquele no qual está trabalhando.

Os benefícios da utilização desta metodologia de prever demanda podem ser resumidos através da redução de custos e do tempo de execução. Suas limitações, como redução da qualidade dos resultados em comparação com o desenvolvimento de modelos específicos a partir de uma base de dados ampla, podem ser facilmente superadas, dependendo do nível e da qualidade que se deseja obter, bem como da disponibilidade orçamentária do analista. Da interação entre os benefícios e as limitações, fica a certeza de que se dispõe de um instrumento potente para auxiliar a previsão e análise de demanda em transportes.

Na aplicação prática apresentada na presente dissertação, chegou-se à conclusão de que um modelo de posse de automóveis especificado para Maceió com dados de 1977 não pode ser transferido integralmente para um conjunto de dados da região metropolitana de São Paulo, coletados em 1986, alicerçado numa base estatística. Apenas se for considerado um modelo misto incluindo variáveis renda de Maceió complementado com variáveis de poder de compra de São Paulo teve um desempenho pouco melhor. A princípio, se supõe que um modelo de posse de automóveis seja menos sensível a condicionamentos

locais, devido a seu forte embasamento nos aspectos de renda e fatores sócio-econômicos, que seriam mais estáveis temporal e espacialmente. O resultado da aplicação prática do presente trabalho nada mais é do que a constatação de dificuldades na transferência do modelo. As razões para que tal tenha ocorrido podem ser as mais diversas. Podem iniciar pelo fato de que o conjunto de dados obtidos na região metropolitana de São Paulo não obedeceu a uma distribuição que assegurasse a representatividade estatística dos dados, resultado das condições em que os mesmos foram colhidos. Outros possíveis motivos para que a transferência não tenha se consolidado dizem respeito a aspectos culturais, sociais e econômicos que estão embutidos na especificação do modelo, e aspectos da conjuntura, uma vez que os dados de São Paulo foram colhidos em meio a uma forte onda consumista no país (setembro de 1986, auge do Plano cruzado). Outra observação a ser feita é que o fato de não ter sido possível transferir o modelo de posse de automóveis de Maceió (de uma forma completa ou admitindo com segurança a transferência parcial) para São Paulo não invalida tentativas posteriores de repetir tal procedimento, ou com outra especificação, ou em sentido inverso ao nesta ocasião adotado.

Na verdade, o fato de não ter sido possível transferir um modelo que em princípio teria maior possibilidade de ser transferido, apenas vem a ressaltar a necessidade de, a nível nacional, se regionalizar modelos ou agrupar os diferentes contextos urbanos segundo suas características similares. A utilização de um modelo de posse de automóveis na exemplificação da presente dissertação constitui-se num exercício prático que deve ser estendido a outros modelos, como de escolha modal, frequência e destino, entre outros.

Uma observação resultante da aplicação prática da presente dissertação diz respeito à necessidade de se dispor de bases de dados específicas para o uso de modelos comportamentais. Tal observação já constou de outros trabalhos como o do GEIPOT(9) e deve ser enfatizada, uma vez que estes modelos necessitam de informações mais detalhadas que diferem das bases de dados atualmente disponíveis.

Finalmente, uma conclusão emanada do presente trabalho é a identificação da medida e dentro de que condições a transferibilidade de modelos comportamentais pode ser útil ao planejamento de transportes no Brasil.

A realização do presente trabalho despertou a necessidade de serem desenvolvidos outros trabalhos que venham complementar o aqui iniciado. Dentre outros, ficam as seguintes recomendações de trabalhos a serem realizados, quer seja sob o ponto de vista teórico ou prático. A primeira recomendação diz respeito à realização de trabalhos que analisem a transferência de coeficientes do modelo, uma vez que a presente dissertação analisou tão somente a transferência de especificação. A segunda recomendação relaciona-se à realização de trabalhos que estimem modelos comportamentais nas áreas metropolitanas e cidades de médio porte, segundo uma classificação prévia dos vários contextos das cidades brasileiras, com dados específicos para o uso destes modelos. Finalmente, a terceira recomendação diz respeito à realização de estudos que analisem a transferibilidade espaço-temporal de modelos de escolha modal e posse de automóveis, entre outros, segundo uma prévia classificação das áreas metropolitanas brasileiras, com vistas a permitir que todas possam dispor de instrumentos para prever e analisar demanda.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ALGERS, S. e WIDLERT, S., " Applicability and Stability of Logit Models in Sweden- Some Recent Findings with Policy Implications", Behavioural Research for Transport Policy, Introductory Papers, in the 1985 International Conference on Travel Behaviour, pp. 165-190, april 1985.
- (2) ATHERTON, T. e BEN-AKIVA, M., " Transferability and Updating of Disaggregate Travel Demand Models", Transportation Research Record 610, pp. 12-18, 1976.
- (3) BEN-AKIVA, M. e LERMAN, S., Discrete Choice Analysis: Theory and Applications to Predict Travel Demand, Cambridge, MA, MIT Press, 1985.
- (4) BOUTHELIER, F. e DAGANZO, C. F., " Agregation With Multinomial Probit and Estimation of Disaggregate Models With Aggregate Data: A new Methodological Approach", Transportation Research Part B: Methodological, vol. 13B, n.o 2, pp 133-146, 1979.
- (5) DOCUMENTO DE TRABALHO WTR/ BR-002-7, datado de 6/7/1984, KOZEL, VALERIE, Washington D.C., Banco Mundial, 1984.
- (6) DUNNE, J. P., "Elasticity Measures and Disaggregate Choice Models", Journal Of Transport Economic and Policy, Vol. XVIII, n.o 2, pp. 189-197, May, 1982.
- (7) EMPLASA-Pesquisa Origem-destino/77- Sumário de Dados. Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S.A-EMPLASA, São Paulo, 1978.

- (8) GALBRAITH, R. e HENSHER, D. A., "Intrametropolitan Transferability of Mode Choice Models", Journal of Transport Economics and Policy, Vol. XVI, n.o 1, pp. 7-29, January, 1982.
- (9) GEIPOT- Modelos Comportamentais Desagregados: Estimativa de Demanda e Avaliação de Políticas em Transportes Urbanos : Estudo de Caso de Maceió, Brasília, 1982.
- (10) HENDERSON, J. M. e QUANDT, R. E., Teoria Microeconômica- Uma abordagem Matemática, São Paulo, Pioneira, 1976.
- (11) HOROWITZ, J., "The Accuracy of Multinomial Logit Model as an Approximation to the Multinomial Probit Model of Travel Demand", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 14B, n.o 4, pp. 331-341, 1980.
- (12) HOROWITZ, J., " Identification and Diagnosis of Specification Errors in the Multinomial Logit Models" Transportation Research Part B: Methodological, Vol 15B, n.o 5, pp. 345-360, 1981.
- (13) KMENTA, J., Elementos de Econometria, São Paulo, Atlas, 1978.
- (14) KOPPELMAN, F. S. e WILMOT, C. G., "The effect of Mode Specification Improvement on Transferability", 63 rd Annual Meeting, Transportation Research Board, pp. 1-25, Washington D.C., 1984.
- (15) KOPPELMAN, F. S. e WILMOT, C. G., " Transferability Analysis of Disaggregate Choice Models", Transportation Research Record 895, pp. 18- 24, Washington D.C., 1982.

- (16) KOPPELMAN, F. S., KUAH, G., e WILMOT, C. G., "Transfer Model Updating With Disaggregated Data", Transportation Research Record 1037.
- (17) LABORATORIO DE TRATAMENTO ESTATÍSTICO-LTE, Manual do Usuário, versão 2.0, Datamétrica-Consultoria, Informação e sistemas Ltda, 1985.
- (18) MANHEIM, M., Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Cambridge, Massachusetts, MIT press, 1979.
- (19) MCFADDEN, D. e DOMENCICH, T., Urban Travel Demand-- A Behavioural Analysis, North Holland, 1975.
- (20) NOVAES, A. G., Sistemas de Transportes - Volume 1- Análise da Demanda, São Paulo, Edgard Blücher, 1978.
- (21) ORTUZAR, J. D., "Fundamentals of Discrete Multinomial Choice Modelling", Transportation Reviews, Vol. 2, n.o 1, pp. 283-299, 1983.
- (22) ORTUZAR, J. D., "Nested Logit Models for Mixed Mode Travel in Urban Corridors", Transportation Research, Vol. 17A, n.o 4, pp 283-299, 1983.
- (23) ORTUZAR, J. D., "La Estabilidad Cultural de Modelos Desagregados de Eleccion Discreta ", Apuntes de Ingenieria 15, Departamento de Ingenieria de transporte, Universidad Católica de Chile, 1984.
- (24) ORTUZAR, J. D. e ACHONDO, F. J., " La Estabilidad Temporal de Modelos Desagregados de Particion Modal", Anais del II Congresso Chileno de Ingenieria de Transportes, Chile, 1985.

- (25) ORTUZAR, J. D., " The Cultural and Temporal Transferability of Discrete Choice Disaggregate Modal Split Models, to be published in 1986 World Conference on Transport Research, Vancouver, Canada, may 1986.
- (26) SHEFFI, J., HALL, R. e DAGANZO, C., "On the Estimation of The Multinomial Probit Model ", Transportation Research Part A: General, Vol.16A n.o 5-6, september-november, pp. 345-362, 1982.
- (27) SMALL, K. A. e HSIAO, C., "Multinomial Logit Specification Tests", International Economic Review, Vol.26, n.o 3, pp. 619-627, october, 1985.
- (28) SWAIT JR, J., "Discrete Choice Auto Onwership Level for Maceib", A GEIPOT/MIT Technical Cooperation Program Working Paper, October, 1981.
- (29) SWAIT JR, J., "O Impacto da Acessibilidade Sobre a Posse de Automoveis", Instituto Tecnolbgico de Aeronautica, publicação interna 22, novembro, 1984.
- (30) SWAIT JR, J., "Probabilistic Choice Generation in Transportation Demand Models", tese de Doutorado, Massachussets Institute Tecnology, Cambridge, USA, 1984.
- (31) SWAIT JR, J. e BEN-AKIVA, M., "Empirical Test of a Constrained Choice Discrete Model: Mode Choice in São Paulo, Brazil, to be published.
- (32) SWAIT JR, J. e BEN-AKIVA, M., "Incorporating Random-Constraints in Discrete Models of Choice Set Generation", to be published.

- (33) TALVITIE, A. e KIRSHNER, D., " Specification, Transferability and The effect of Data Outliers in Modelling The Choice of Mode in Urban Travel" Transportation, Vol. 7, pp. 311-331, 1978.
- (34) TRANSPORT AND ROAD RESERCH LABORATORY, "The Demand for Public Transport", Crowthorne, United Kingdon, 1980.
- (35) WILLIAMS, H. e ORTUZAR, J. D., "Travel Demand and Response Analysis- Some Integrating Themes", Transportation Research Part A:General, Vol. 16A n.o 5-6, september-november, pp. 345-362, 1982.
- (36) WONNACOTT, R. J. e WONNACOTT, T. H., Econometria Rio de Janeiro, Livros Tècnicos e Científicos, 1978.

ANEXO I

A fim de que se possa dispor de indicativos que melhor classifiquem os domicílios de acordo com seu poder aquisitivo, foi incluído nos questionários utilizados em São Paulo itens de conforto familiar, a cuja posse está associado uma pontuação. Esta pontuação, definida pela ABA/ABAP (Associação Brasileira de Anunciantes e Associação Brasileira de Agências de Publicidade), classifica a pontuação obtida pelo domicílio em classes de renda.

Uma limitação desta classificação é reconhecida pelas próprias Associações que a propõem é a relativa desatualização de alguns dos itens de conforto familiar componentes dos atuais questionários. Contudo, mesmo com esta limitação, a presente classificação constitui-se em importante instrumento na identificação da faixa de renda a que pertence um domicílio.

A pontuação referente à posse dos itens e grau de instrução do chefe do domicílio obedece à seguinte classificação:

CRITÉRIOS PARA INCLUSÃO EM CADA CLASSE

| ITEM 1                 | NAO TEM | TEM                |    |    |    |    |           |
|------------------------|---------|--------------------|----|----|----|----|-----------|
|                        |         | NÚMERO DE UNIDADES |    |    |    |    |           |
|                        |         | 1                  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 ou mais |
| TV.....0               |         | 2                  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12        |
| Rádio.....0            |         | 1                  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6         |
| Banheiro.....0         |         | 2                  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12        |
| Automóvel.....0        |         | 4                  | 8  | 12 | 16 | 16 | 16        |
| Empregada.....0        |         | 6                  | 12 | 18 | 24 | 24 | 24        |
| Aspirador de Pb.....0  |         | 5                  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5         |
| Máquina de lavar.....0 |         | 2                  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2         |

INSTRUÇÃO DO CHEFE DA FAMÍLIA

Número de pontos

|   |    |
|---|----|
| Analfabeto ou primário incompleto.....        | 0  |
| Primário completo ou ginásial incompleto..... | 1  |
| Ginásial completo ou colegial incompleto..... | 3  |
| Colegial completo ou superior incompleto..... | 5  |
| Superior completo.....                        | 10 |

## CLASSIFICAÇÃO :

| CLASSES | PONTOS     |
|---------|------------|
| A       | 35 OU MAIS |
| B       | 21 A 34    |
| C       | 10 A 20    |
| D       | 05 A 09    |
| E       | 00 A 04    |

ANEXO II

Estimativa da variável Renda a Partir de Dados Sobre o  
Consumo de Energia Elétrica

Conforme já mencionado no texto, a pesquisa domiciliar realizada em Maceió, em 1977, não coletou diretamente a informação sobre a renda mensal de cada domicílio. Ao especificar e estimar o modelo de propriedade de automóveis, foi procurado utilizar a variável renda em termos monetários a partir do consumo mensal de energia elétrica.

Para estimar a renda dos domicílios de Maceió a partir do conhecimento do consumo de energia elétrica destes domicílios, foi tomado por base estudo anterior realizado na cidade de Campina Grande/PB. Neste, foram coletadas duas informações: renda mensal domiciliar e consumo mensal domiciliar de energia elétrica. Foi verificado nesta cidade que a renda média e o consumo médio de eletricidade por zona podiam ser correlacionados pela equação:

$$E = \frac{K}{1 + (\exp(a + bR))}$$

onde,

E= consumo médio mensal domiciliar de energia elétrica por zona, em Kwh;

R= renda média domiciliar por zona, em Cr\$;

K, a, b são parâmetros.

A regressão estimada com os dados de Campina Grande produziu os seguintes resultados:

$$\hat{K} = 600$$

$$\hat{a} = 2,737$$

$$\hat{b} = -0,000229$$

Foi aproveitado também a expressão ajustada para Campina Grande e os parâmetros por ela estimados para obter uma

estimativa da renda domiciliar em Maceió. Depois de eliminar da amostra os domicílios para os quais a informação sobre o consumo de energia elétrica não era totalmente confiável, restou uma base de dados de 1935 domicílios. Para cada um destes domicílios foi obtida a estimativa de renda através de uma adaptação da forma utilizada em Campina Grande. Esta adaptação pode ser expressa da forma:

$$R = \frac{\ln (K/E-1) - \hat{a}}{\hat{b}}$$

Em seguida foi aproveitada esta estimativa de renda para utilizá-la como variável dependente em uma regressão linear onde as variáveis independentes eram características sócio-econômicas dos domicílios de Maceió, sobre as quais a pesquisa domiciliar fornecia informações seguras.

Este modelo de regressão tem o coeficiente de determinação de 0,45. Apesar do seu poder explicativo relativamente baixo, foi observado que, com respeito à propriedade de automóvel, ele proporciona uma medida capaz de discriminar melhor os diferentes domicílios do que o simples consumo de energia elétrica. Esta medida de renda foi, pois, utilizada no modelo de propriedade de automóvel, embora todos os demais modelos estimados com relação a Maceió tenham utilizado simplesmente o consumo de energia elétrica.

## ANEXO III

Para acrescentar informações acerca dos contextos envolvidos na transferência do modelo do presente trabalho, são apresentadas em anexo algumas relações entre variáveis incluídas no mesmo.

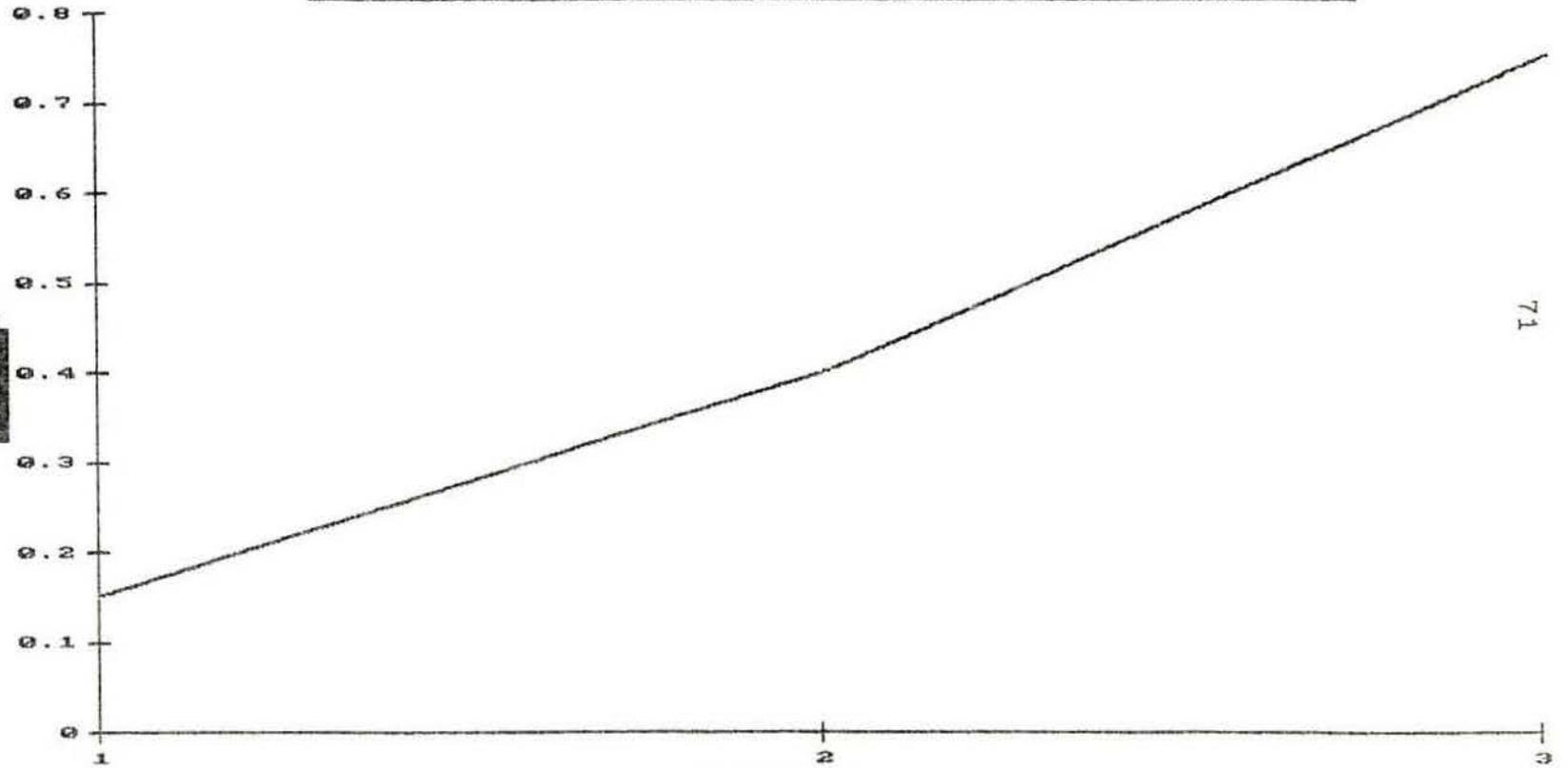
Inicialmente são apresentadas as relações observadas em Maceió em 1977, relatadas por SWAIT (28). Após, as relações observadas no conjunto de dados colhidos em São Paulo, no ano de 1986, oriundo de pesquisa-piloto realizada pela Companhia do Metropolitano de São Paulo.

RELAÇÕES OBSERVADAS EM MACEIO-1977

fonte: SWAIT (28)

POSSE DE AUTOMOVEIS X  
ESCOLARIDADE DO CHEFE  
DODOMICILIO

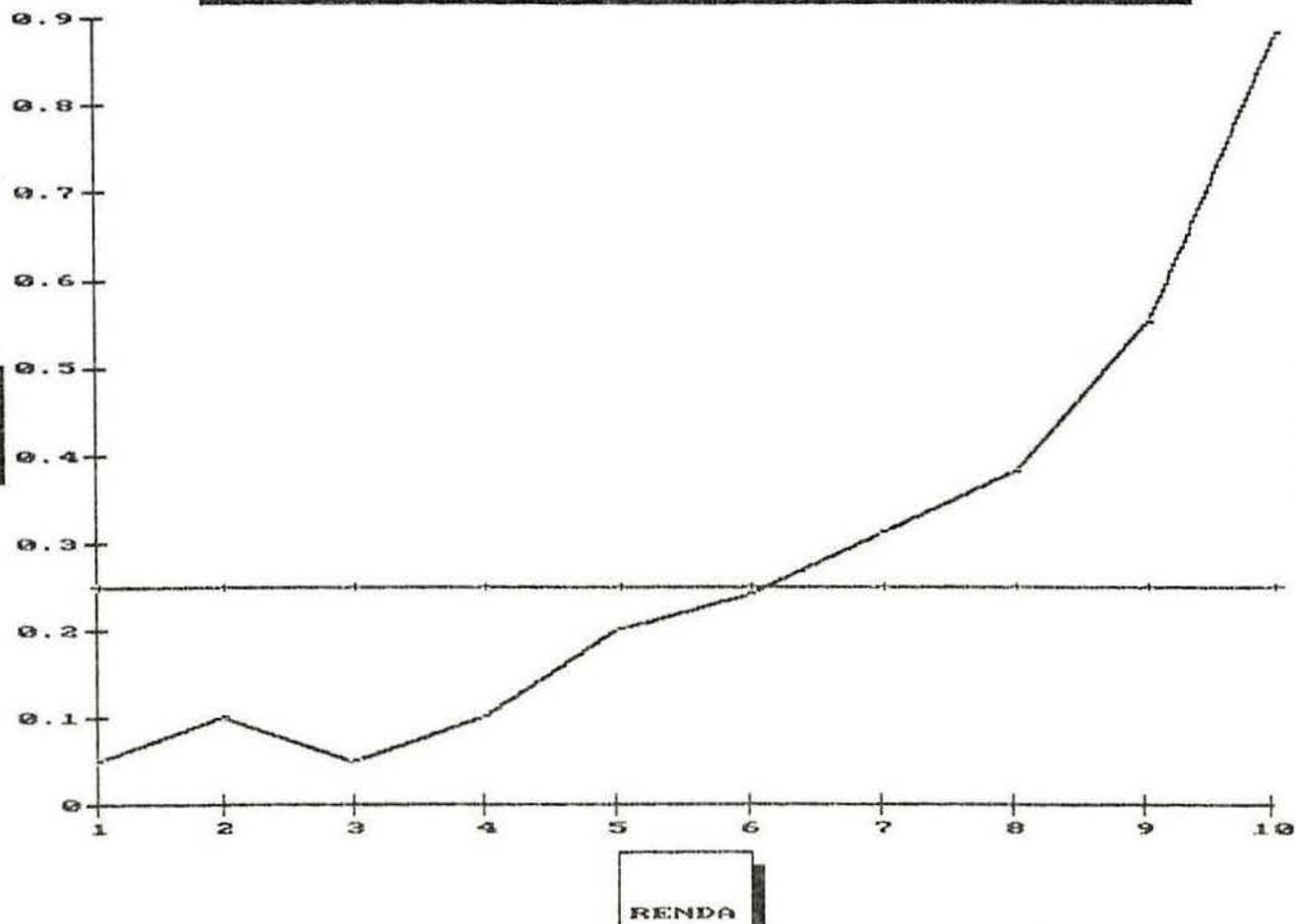
MEDIA DE AUTOS



ESCOLARIDADE-1=primario ou nenhum-  
2=secundario-3=graduado

POSSE DE AUTOMOVEIS X RENDA-MACEIO 1977

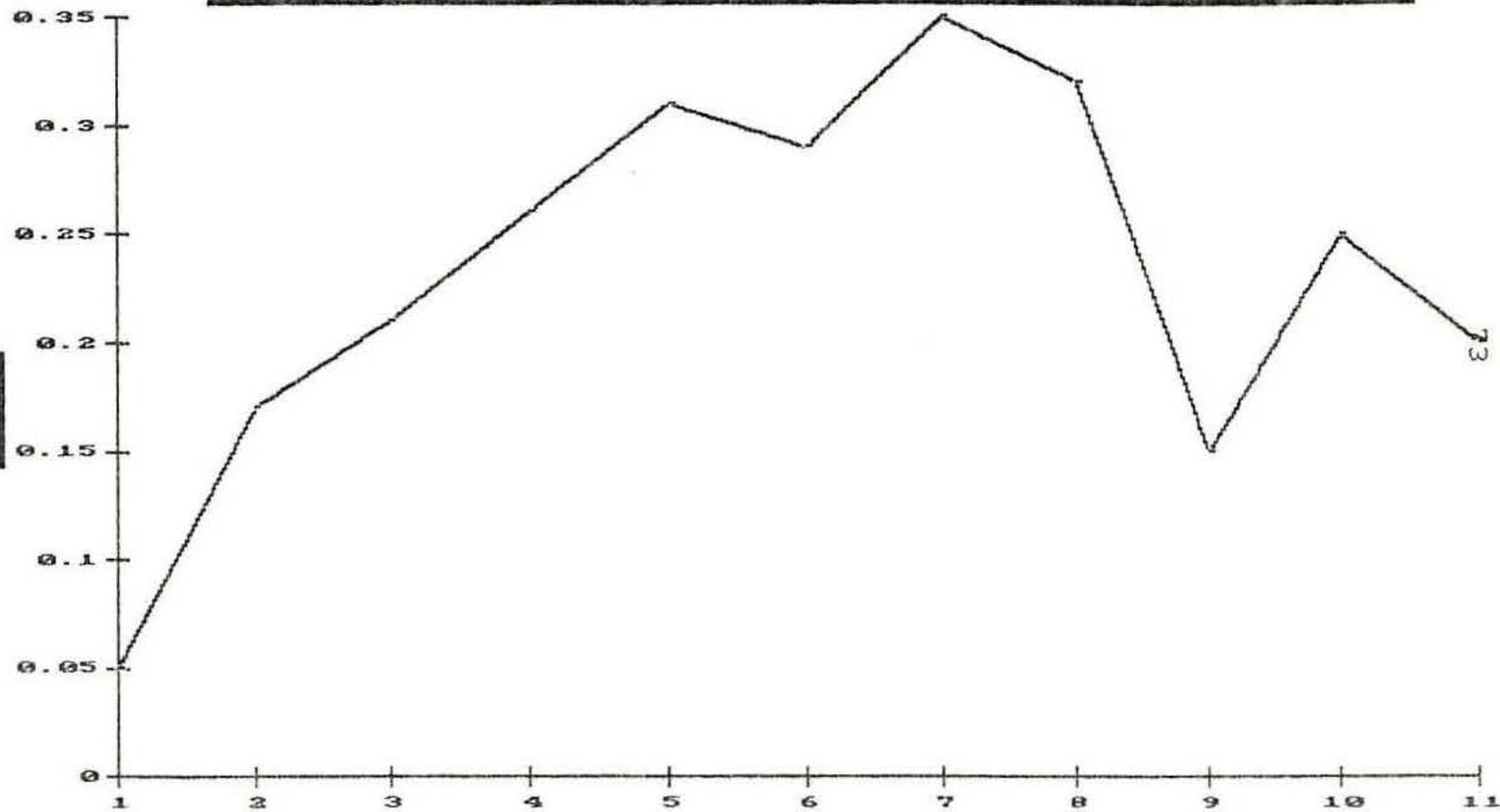
MEDIA AUTOS



- POSSE DE AUTOMOVEIS X RENDA-MACEIO 1977  
+ MEDIA AUTOS

POSSE DE AUTOMOVEIS X TAMANHO DO DOMICILIO- MACEIO 1977

MEDIA AUTOMOVEIS

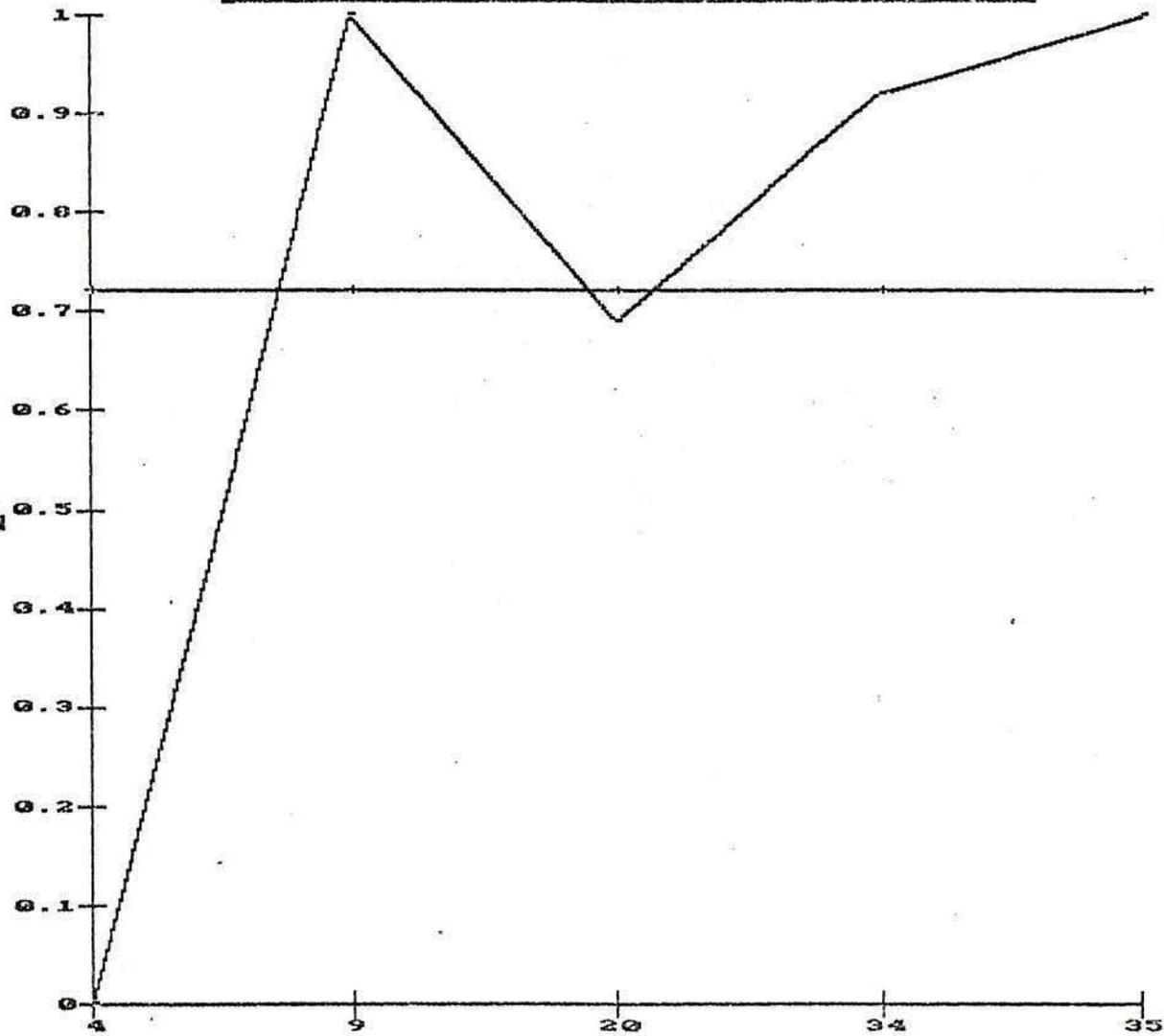


MORADORES

RELAÇÕES OBSERVADAS NO CONJUNTO DE DADOS DE  
SAO PAULO

**POSSE DE AUTOMÓVEIS X PODER DE COMPRA**

**MEDIA CARROS**



**PODER AQUISITIVO (ver anexo I)**

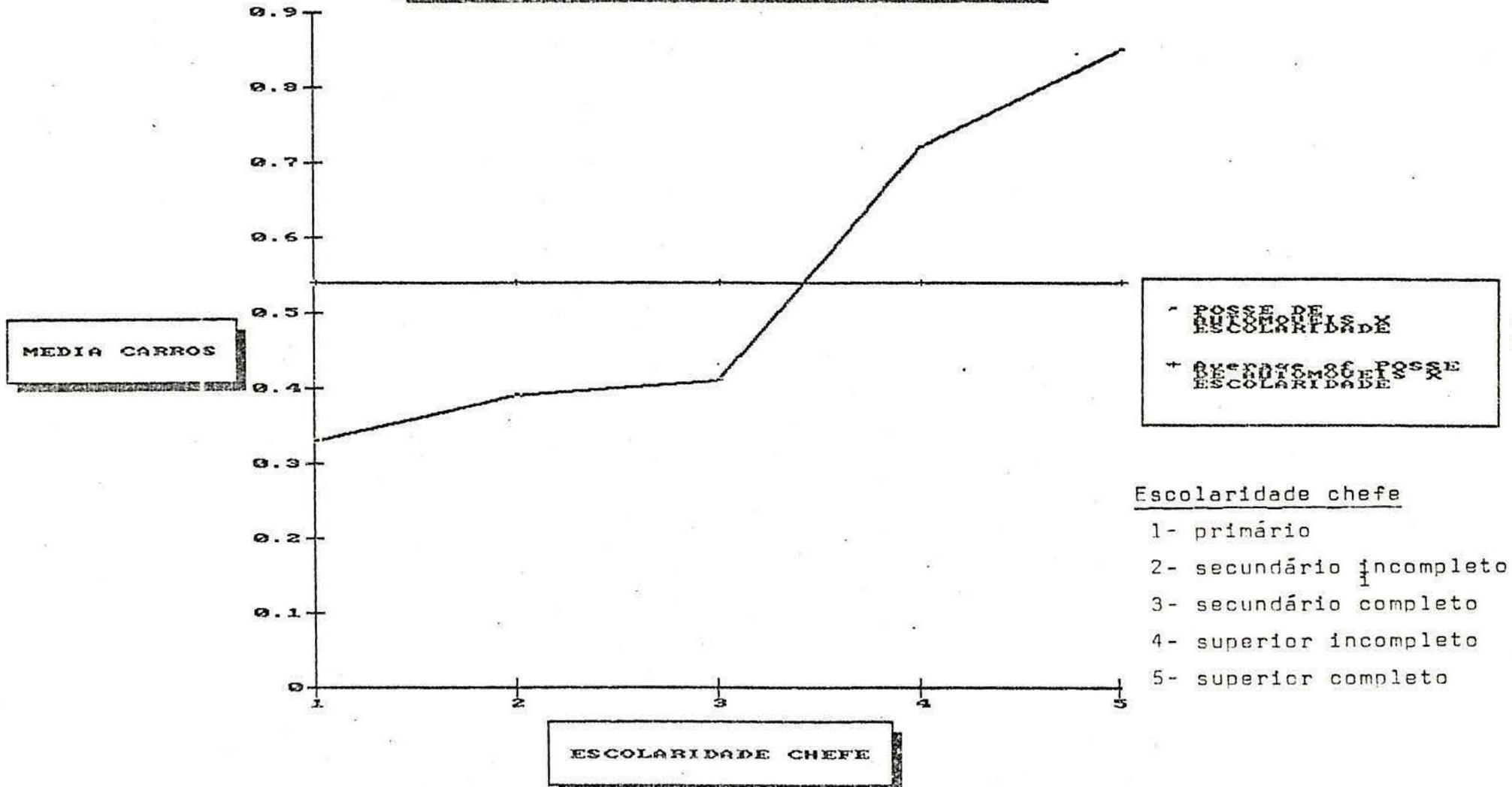
- POSSE DE AUTOMÓVEIS X PODER DE COMPRA  
 + QUANTIDADE DE CARROS POSSE POR PODER DE COMPRA

78

Poder Aquisitivo

- 4 - nível de consumo E
- 4 -9- nível de consumo D
- 9 -20 nível de consumo C
- 20-34 nível de consumo B
- 34-35 nível de consumo A

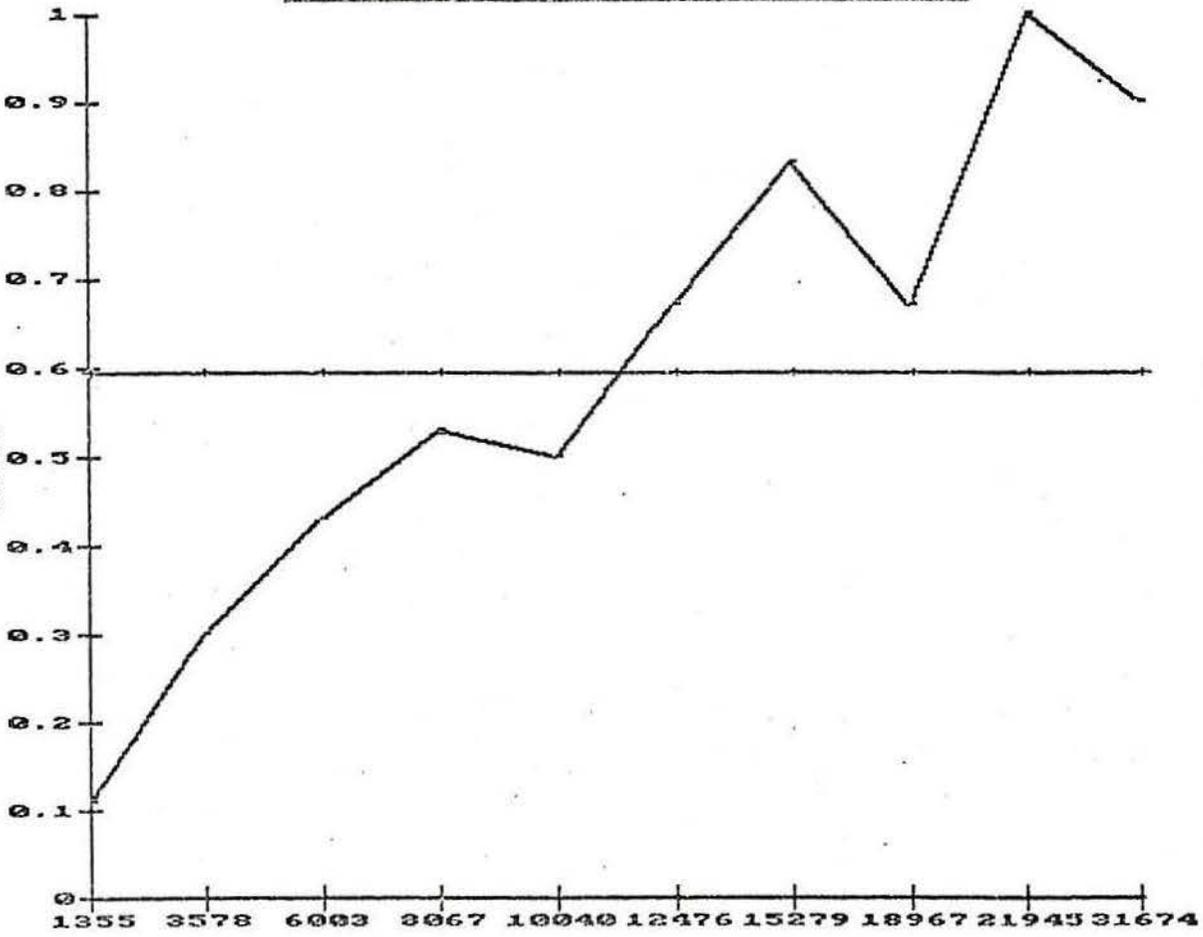
POSSE DE AUTOMOVEIS X ESCOLARIDADE



**RENDA X POSSE DE AUTOMOVEIS**

**MEDIA AUTOS**

- RENDA X POSSE DE AUTOMOVEIS  
 + QUANTIDADE DE RENDA AUTOMOVEIS

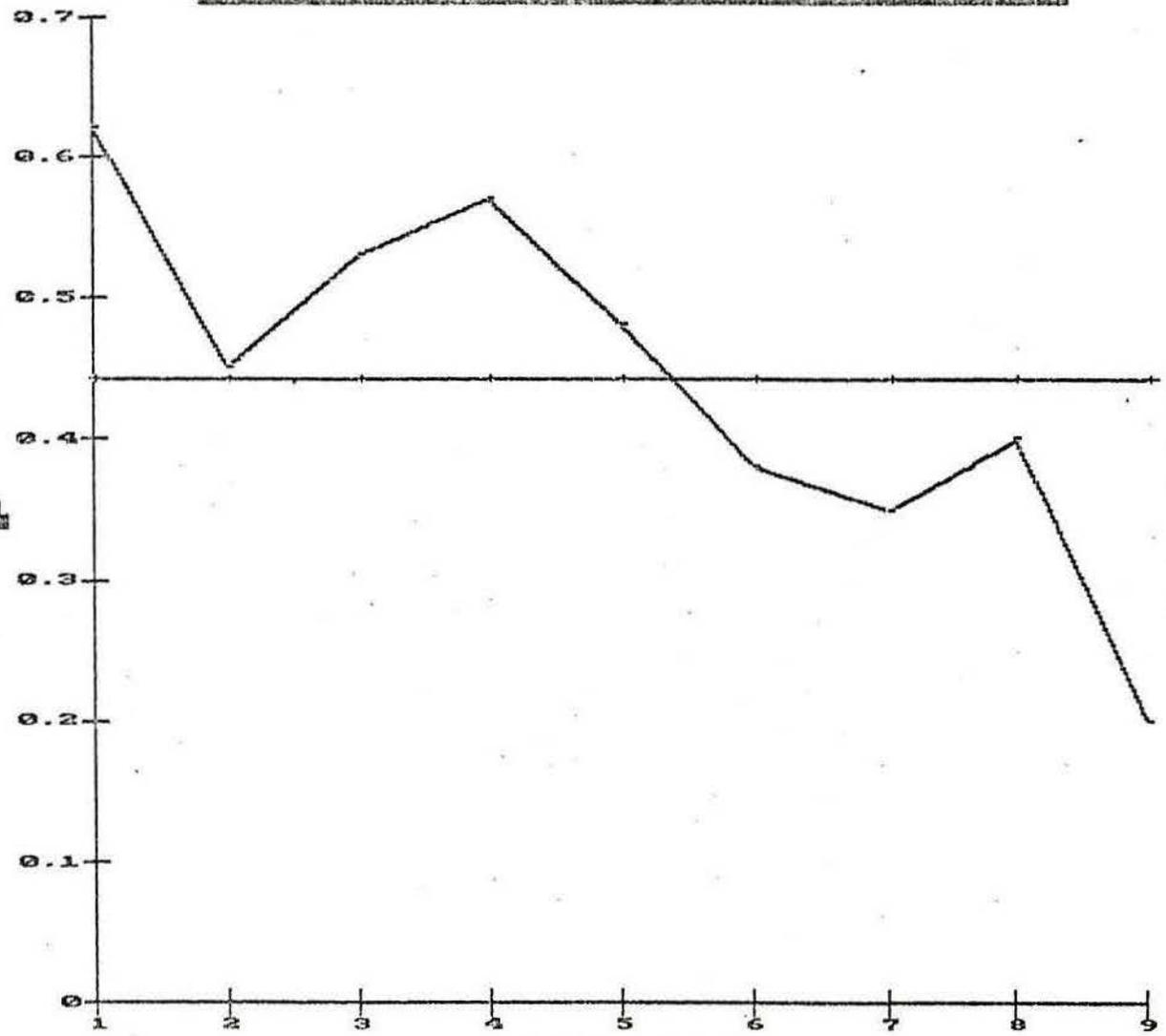


**RENDA**

Renda em Cz\$ de 1986

**POSEE DE AUTOMOVEIS X TAMANHO DOMICILIO**

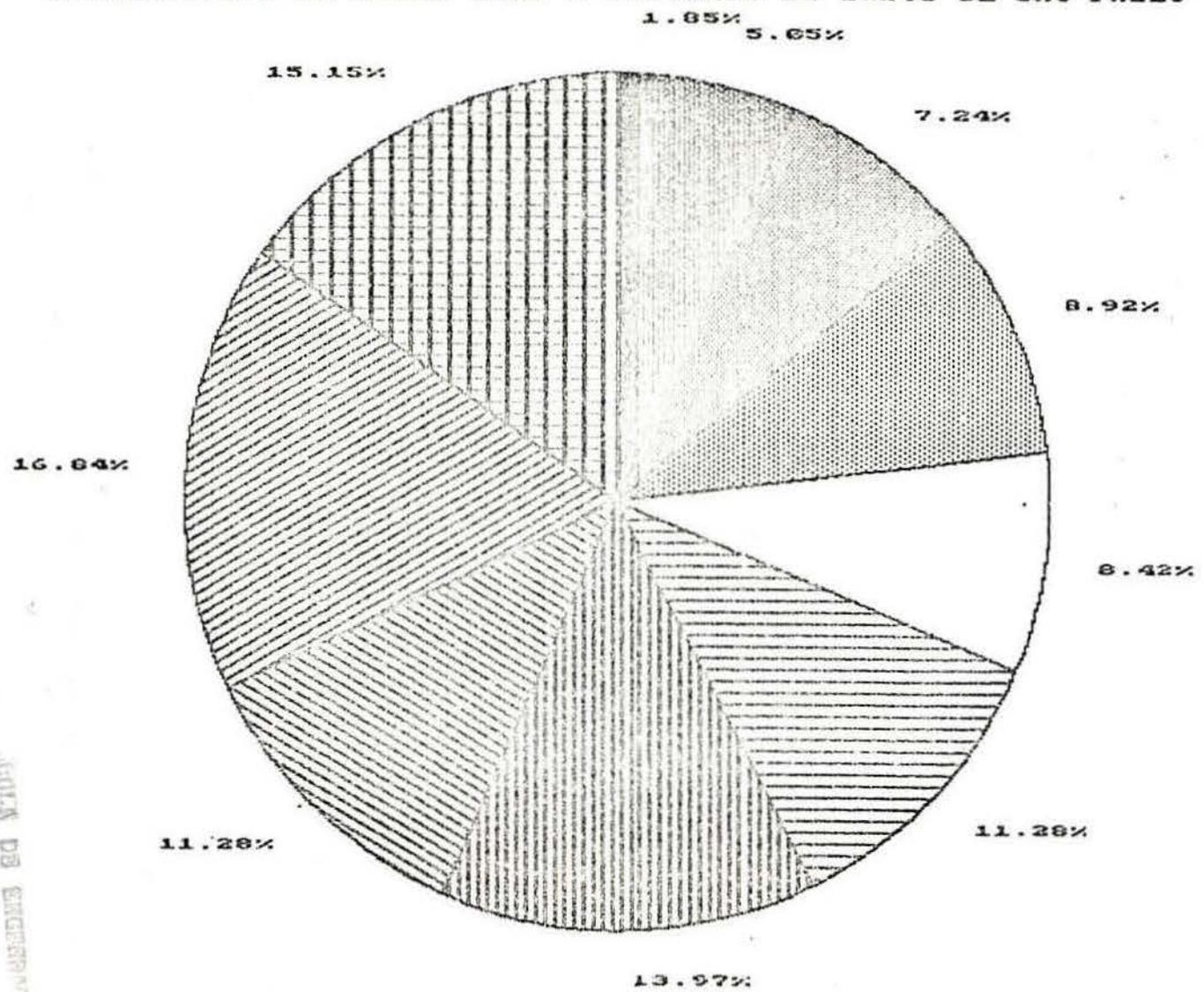
**MEDIA CARROS**



- POSSE DE AUTOMOVEIS X TAMANHO DOMICILIO  
 + MEDIA CARROS

**MORADORES** nº de moradores por domicilio

DISTRIBUICAO DE RENDA PARA O CONJUNTO DE DADOS DE SAO PAULO



|  |       |
|--|-------|
|  | 1355  |
|  | 3578  |
|  | 6003  |
|  | 8067  |
|  | 10040 |
|  | 12476 |
|  | 15279 |
|  | 18967 |
|  | 21945 |
|  | 31674 |

INSTITUTO DE ENGENHARIA  
 DE SAO PAULO