

SERGIO MICHEL SOLA

PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
ESCOLA POLITÉCNICA - USP**

SERGIO MICHEL SOLA,

PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

AUTORES

**ELMIR GERMANI
FRANCISCO MORENO NETO
JOÃO CARLOS SCATENA
MICHEL KAYAL
ROGÉRIO BELDA
SÍLVIO DOS SANTOS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
ESCOLA POLITÉCNICA - USP**

A P R E S E N T A Ç Ã O

A carência de bibliografia em Português no campo do Planejamento de Transportes evidenciou a necessidade da elaboração da presente publicação, cujo objetivo primeiro é servir como orientação no curso de PTR-526, sob a responsabilidade do Prof. Ion de Freitas, do Departamento de Transportes da EPUSP.

O trabalho consiste na compilação de notas preparadas por diversos autores e não pretende ser exaustivo. Descreve, apenas com a profundidade exigida para o referido curso, a sequência metodológica seguida usualmente nos problemas de Planejamento de Transporte.

O texto refere-se, a não ser quando mencionado em contrário, ao caso Urbano, por ser normalmente, o mais complexo. A solução de problemas interurbanos segue, no entanto, metodologia semelhante.

No Capítulo I são enunciados os conceitos e definições básicas e no Capítulo II descreve-se a pesquisa Origem e Destino e respectivas tabulações.

O Capítulo III é reservado à explicações sobre a preparação e calibração de redes de transporte viário, de transportes coletivos e do tipo "SPIDER". No primeiro caso os conceitos são aqueles adotados pela Federal Highway Administration (Bureau of Public Roads) e no segundo caso segue-se a UMTA Transportation Planning System (UTPS) desenvolvido pela Urban Mass Transit Administration (UMTA), ambos do Departamento de Transporte dos Estados Unidos, por serem os de uso mais generalizados.

Nos Capítulos IV, V e VI são descritos os principais modelos de Geração, Distribuição e Divisão Modal necessários para a projeção futura da demanda de viagens.

Nos modelos de geração, é dada ênfase ao método de regressão linear múltipla e nos de Distribuição aos modelos de Fratar e de Gravidade.

O Capítulo VII é virtualmente uma sequência do capítulo III, onde é descrita a atribuição de matrizes de viagens às redes que é a etapa final do processo de modelagem, para posterior avaliação cujos procedimentos estão esboçado no Capítulo VIII.

O presente trabalho foi desenvolvido pelos Engenheiros:

ELMIR GERMANI, FRANCISCO MORENO NETO, JOÃO CARLOS SCATENA, MICHEL KAYAL, ROGÉRIO BELDA e SILVIO DOS SANTOS e contou para tanto com a colaboração e experiência da equipe técnica do PTR-METRÔ de São Paulo, à qual vai o nosso agradecimento.

A. Os Autores

INDICE

APRESENTAÇÃO	III
ÍNDICE	V
LISTA DAS FIGURAS	XI
LISTA DAS TABELAS	XIX

CAPÍTULO I

NOÇÕES DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

A. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
B. <u>CONCEITOS E DEFINIÇÕES</u>	2
1. Área de Estudo	3
2. Área de Pesquisa	3
3. Zoneamento	3
4. Centróide	4
C. <u>VIAGEM</u>	4
1. Tipos de Viagens	6
2. Variação Horária das Viagens	7
3. Índices de Viagens	10
4. Geração, Produção e Atração das Viagens	11
D. <u>PESQUISAS REQUERIDAS</u>	12
1. Levantamentos Gerais	13
2. Pesquisa de Origem e Destino (O/D)	13
3. Pesquisa das Facilidades de Transportes	14

CAPÍTULO II

PESQUISA O/D E TABULAÇÕES

A. <u>INTRODUÇÃO</u>	17
1. Tabela Quadrada de Frequencia de Viagens	17
2. Tabela Triangular de Frequencia de Viagens	18
3. Viagens Intrazonais	19
B. <u>PESQUISA ORIGEM - DESTINO</u>	19
1. Elaboração da Pesquisa (Domiciliar)	20
2. Tabulação e Análise dos Resultados	22
3. Pesquisas Paralelas	23

CAPÍTULO III

REDES DE SIMULAÇÃO

A. <u>REDE</u>	25
1. Conceito	25
2. Tipos de Rede	25
3. Representação Gráfica	26
B. <u>PESQUISAS DAS FACILIDADES DE TRANSPORTES</u>	30
1. Rede Viária	30
2. Rede de Transporte Coletivo	31
C. <u>VELOCIDADE</u>	31
1. Rede Viária	32
2. Rede de Transportes Coletivos	33
D. <u>CAPACIDADE</u>	35
E. <u>ÁRVORES</u>	37
F. <u>CALIBRAÇÃO</u>	40

MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS

A.	<u>INTRODUÇÃO</u>	43
B.	<u>PESQUISAS GERAIS</u>	44
	1. Distribuição Espacial	44
	2. Evolução Histórica	45
C.	<u>FATORES QUE AFETAM A GERAÇÃO DE VIAGENS</u>	45
	1. Intensidade do Uso do Solo	45
	2. Características Sócio-Econômicas	46
	3. Localização	46
D.	<u>METODOLOGIA</u>	47
E.	<u>MÉTODOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS</u>	48
	1. Método do fator de projeção	48
	2. Método da Média - Uso do Solo	48
	3. Método de Regressão Linear Múltipla	49
	a. introdução	49
	b. técnica de análise de dados	49
	c. determinação dos modelos matemáticos	53
	d. cuidados necessários	54
	e. análise dos resultados	58
	f. avaliação estatística	60
	g. exemplo	63
F.	<u>PROJEÇÕES DE VARIÁVEIS SÓCIO-ECONÔMICAS</u>	66
	1. Projeção geométrica	67
	2. Projeção logística	69
	3. Outros procedimentos	71

CAPÍTULO V

MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS

A. <u>INTRODUÇÃO</u>	73
B. <u>TIPOS DE MODELOS</u>	74
1. Modelo de Regressão Múltipla	74
2. Modelo do Fator Uniforme	76
3. Modelo do Fator Médio	77
C. <u>MODELO DE FRATAR</u>	80
1. Teoria do Modelo	80
2. Formulação do Modelo	81
3. Observações	83
4. Exemplo de Aplicação	83
D. <u>MODELO DE GRAVIDADE</u>	89
1. Evolução Histórica do Modelo	89
2. Função Distância	90
3. Uso atual do Modelo de Gravidade	91
4. Calibração do Modelo	93
5. Utilização do Modelo	94
6. Exemplo de Aplicação	95
E: <u>CONCLUSÕES</u>	97

CAPÍTULO VI

MODELOS DE DIVISÃO MODAL DE VIAGENS

A. <u>INTRODUÇÃO</u>	99
B. <u>MODELOS DE GERAÇÃO DIRETA</u>	100
C. <u>MODELOS ANTERIORES À DISTRIBUIÇÃO</u>	100

D. <u>MODELOS POSTERIORES À DISTRIBUIÇÃO</u>	105
1. Modelo de Zurich	105
2. Modelo de São Francisco	107
3. Modelo da N.C.T.A.	108
4. Modelo de Desutilidades	109

E. <u>CALIBRAÇÃO DOS MODELOS</u>	112
--	-----

F. <u>COMENTÁRIOS</u>	112
-----------------------------	-----

CAPÍTULO VII

MODELOS DE ATRIBUIÇÃO DE VIAGENS

A. <u>GENERALIDADES</u>	115
-------------------------------	-----

B. <u>ATRIBUIÇÃO DAS TABELAS DE VIAGEM ÀS REDES</u>	115
---	-----

C. <u>MODELOS DE ATRIBUIÇÃO</u>	117
---------------------------------------	-----

1. Modelos de Atribuição nos Problemas em Rede	118
--	-----

a. "Tudo ou Nada"	118
-------------------------	-----

b. "Tudo ou Nada" com Restrição de Capacidade	119
---	-----

c. Probabilístico	120
-------------------------	-----

2. Problemas Lineares	121
-----------------------------	-----

a. Modelo do "BPR"	121
--------------------------	-----

b. Modelo da "AASHO"	122
----------------------------	-----

c. Modelo da Califórnia	122
-------------------------------	-----

D. <u>REPRESENTAÇÃO GRÁFICA</u>	123
---------------------------------------	-----

E. <u>CONCLUSÕES</u>	125
----------------------------	-----

CAPÍTULO VIII

AVALIAÇÃO DE PROJETOS

A. CRITÉRIOS DE RENTABILIDADE 128

1. Benefício Líquido Atualizado 129

2. Relação Benefício/Custo 129

3. Taxa de Retorno 130

4. Benefício Incremental 130

B. ITENS DE CUSTO 130

C. TIPOS DE BENEFÍCIOS 131

D. EXEMPLO: ITENS DE UM ESTUDO DE METRO 132

1. Benefícios e Custos Diretos 132

2. Benefícios Indiretos 132

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 133

E. CONCLUSÕES

F. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

LISTA DAS FIGURAS

Figura 1.1 - Delimitação das Áreas de Influência	3
1.2 - Zoneamento da Área de Pesquisa do Metro-SP	5
1.3 - Tipos de Viagens	6
1.4 - Viagens HB e NHB	7
1.5 - Variação Horária das Viagens conforme o Modo ...	8
1.6 - Variação Horária das Viagens conforme o Motivo .	9
1.7 - Variação Horária das Viagens - Local, Modo, Motivo	10
1.8 - Conceituação das Viagens	12
1.9 - Projeção das Viagens Urbanas - Fluxograma	15
3.1 - Rede Viária - Projeto PERSIT	27
3.2 - Simbologia Adotada	28
3.3 - Rede de Transportes Coletivos - Projeto PERSIT..	29
3.4 - Rede Spider	30
3.5 - Velocidades do Metro	33
3.6 - Correlação de Velocidades de Carros e Ônibus ...	34
3.7 - Tempos para os "walk Links"	35
3.8 - Algoritmo de Moore	39
3.9 - Árvore de Um Centróide	39
3.10- Isócronas de um centróide	41
4.1 - Gráfico de Correlação	46
4.2 - Correlação entre dados Sócio-Econômicos e Viagens	46
4.3 - Distribuição Percentual das Viagens Diárias	47
4.4 - Técnica de Linearização	52
4.5 - Exemplo de Colinearidade entre Variáveis	55
4.6 - Exemplo de Faixa de Validade	56
4.7 - Exemplo de Estratificação de modelos	57
4.8 - Comparação entre Viagens Estimadas e Reais	59
4.9 - Graus de Correlação	61
4.10- Significado Físico do Erro Padrão	62
4.11- Determinação Indireta da Renda Média Familiar ..	71
5.1 - Esquema de Zoneamento	81
5.2 - Esquema de Zoneamento e Distribuição de Tempos..	93
5.3 - Correlação - Resistência ao Deslocamento= $f(\text{tempo})$	96
6.1 - Metodologia de Estudo utilizando modelo de Geração Direta	101
6.2 - Metodologia de estudo com Modelo Anterior aos Modelos de Distribuição	102
6.3 - Modelo Simplificado de Divisão Modal	102

6.4 - Metodologia de Estudo com modelos posteriores 104

6.5 - Modelo de Zurich 106

6.6 - Modelo de São Francisco 107

6.7 - Modelo do N.C.T.A. 108

6.8 - Modelo de Desutilidade Marginal 111

6.9 - Superfície "Calibrada" no Modelo de Desutilidades 113

7.1 - Esquema de Conversões 117

7.2 - Modelo com Restrição de Capacidade - BPR 118

7.3 - Problemas Lineares - Curva do "BPR" 121

7.4 - Problemas Lineares - California 122

7.5 - Representação Gráfica do Carregamento 123

7.6 - Representação do Carregamento - Rede de Coletivos 124

7.7 - Carregamento - Movimentos de Entradas e Saídas 124

LISTA DAS TABELAS

Tabela 2.1 - Tabela Quadrada de Frequência de Viagens 18

2.2 - Tabela Triangular de Frequencia de Viagens ... 18

3.1 - Tabela de Velocidades 32

3.2 - Tabela de Capacidades Práticas 36

4.1 - Tabela de Cálculo das Médias 49

4.2 - Previsão Futura das Viagens 49

4.3 - Fatores Determinantes das Atrações 50

4.4 - Exemplo de Classificação Cruzada 51

7.1 - Procedimento para o Carregamento da Rede 116

CAPITULO I

NOÇÕES DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

A. INTRODUÇÃO

O mundo contemporâneo sofre um acelerado processo de urbanização, o que sujeita a infraestrutura urbana a uma permanente carência em relação a serviços públicos essenciais, como é o caso dos transportes.

Um dos grandes desafios do nosso tempo é o de criar cidades que sejam economicamente saudias e prósperas, e ao mesmo tempo atraentes, oferecendo lugares para se viver e trabalhar.

Uma circulação eficiente, tanto do povo como de mercadorias é essencial para a economia da cidade principalmente quando o seu desenvolvimento é rápido.

Os congestionamentos dos meios de transportes, nos centros urbanos, aumentaram de tal forma, principalmente nas horas do "rush", que a velocidade das viagens pelos meios de transportes muitas vezes torna-se inferior à do pedestre.

Tal fato evidencia a importância de um planejamento adequado a fim de solucionar o problema que dia a dia se agrava.

Torna-se necessário desenvolver estudos à respeito da integração entre o desenvolvimento do solo e os meios de transporte, o que nos assegurará a aplicação dos recursos disponíveis com uma eficiência maior.

Os objetivos do planejamento de transportes são inúmeros, podendo-se citar (1):

- oferecer transporte rápido, econômico e seguro.
- assegurar a máxima utilização dos meios de transporte existentes.
- orientar os novos meios para complementação dos atuais.

(1) SMITH, W. - Future Highways and Urban Growth (New Haven, USA).

- equilibrar as capacidades em vista das futuras demandas de tráfego.
- garantir maior continuidade nos traçados das vias.
- servir como um guia e estímulo para um crescimento e desenvolvimento urbano ordenados.

Deve-se lembrar que o planejamento é um processo dinâmico, necessitando de atualizações e revisões permanentes.

B. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Procura-se apresentar neste trabalho uma metodologia para os estudos referentes ao planejamento de transportes.

Como ponto de partida é necessário conhecer os "desejos de deslocamento" da população, e então estabelecer relações entre o número de viagens realizadas pela população e outras grandezas que possam explicá-las de modo que projetadas para o ano de projeto permitam inferir os desejos de deslocamentos no futuro.

Utiliza-se então técnicas de simulação, através de modelos matemáticos, que procuram exprimir as interrelações entre os dados sócio-econômicos e as viagens realizadas pelos habitantes de determinadas regiões.

Procedimento necessário para a visualização do perfil futuro de viagens é fazer-se uma estimativa de como o aglomerado urbano se comportará no futuro, tanto fisicamente como também seus habitantes.

Neste último aspecto a simulação torna-se difícil por ter que representar o comportamento humano dos habitantes, sobre o qual influem variáveis de difícil quantificação. Como exemplo pode-se citar o tempo de relógio que é fácil de ser medido; no entanto, o tempo subjetivo como ele é sentido pelos indivíduos é diferente do tempo cronológico.

Se alguém sai de casa para o trabalho, o modo como ele sente o tempo enquanto espera o ônibus no ponto é diferente de quando está fazendo uma viagem no interior do mesmo.

Para melhor compreender a metodologia adotada, apresentam-se alguns conceitos básicos.

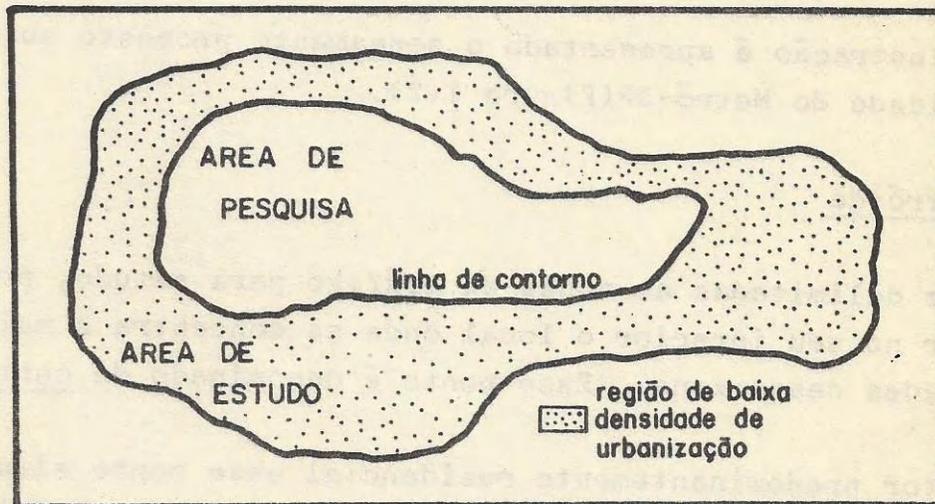
1. Área de Estudo

No estudo de simulação dos transportes, a área de estudo deve ser definida, abrangendo todo o aglomerado urbano.

Assim, a linha limítrofe deve passar na periferia do aglomerado, onde a urbanização praticamente deixa de existir sendo cortada apenas pelas estradas que ligam esta área às regiões vizinhas.

2. Área de Pesquisa

É uma área menor que a área de estudo, onde se fará o levantamento de dados através de amostras representativas, isto porque os grandes fluxos de tráfego estão concentrados nesta região. O contorno imaginário dessa região é chamada Linha de Contorno ("CORDON LINE" (Figura 1.1)).



Delimitação das Áreas de Influência

FIG. 1.1

Nos estudos de viabilidade do Metrô-SP a área de pesquisa abrange 16,5% da área de estudo, contendo 92% da população o que nos permite afirmar, que pelo menos para uma porcentagem equivalente do total de viagens que interessam ao estudo a análise foi feita com mais detalhes.

3. Zoneamento

Para possibilitar a análise dos movimentos internos à área de pesquisa faz-se uma subdivisão da mesma em zonas de tráfego.

A zona é a unidade-base de análise e as características da área são pesquisadas e analisadas ao nível de zona.

O tamanho da zona é função da precisão a ser obtida nos modelos de simulação. Existem planejamentos regionais onde a zona pode ser uma cidade.

Na delimitação das zonas procura-se seguir inicialmente os limites políticos, administrativos e censitários, e então fazer-se uma subdivisão em zonas menores (quando necessário) procurando abranger um todo homogêneo e também respeitar, se possível, as barreiras naturais ou artificiais (rios, estradas de ferro, etc.) como limites desta subdivisão.

Estas zonas devem envolver um todo homogêneo ou o mais próximo disto, por exemplo, um bairro tipicamente industrial, residencial, etc. A razão disto será apresentada em capítulos posteriores, especialmente no capítulo IV onde se indica que a não homogeneidade prejudica a qualidade da análise.

Para ilustração é apresentado o zoneamento proposto no estudo de Viabilidade do Metrô-SP (Figura 1.2).

4. Centróide

Uma vez delimitadas as zonas de tráfego para estudo, procura-se localizar no seu interior o local onde se concentra a maioria das atividades dessa zona. Esse ponto é denominado de centróide.

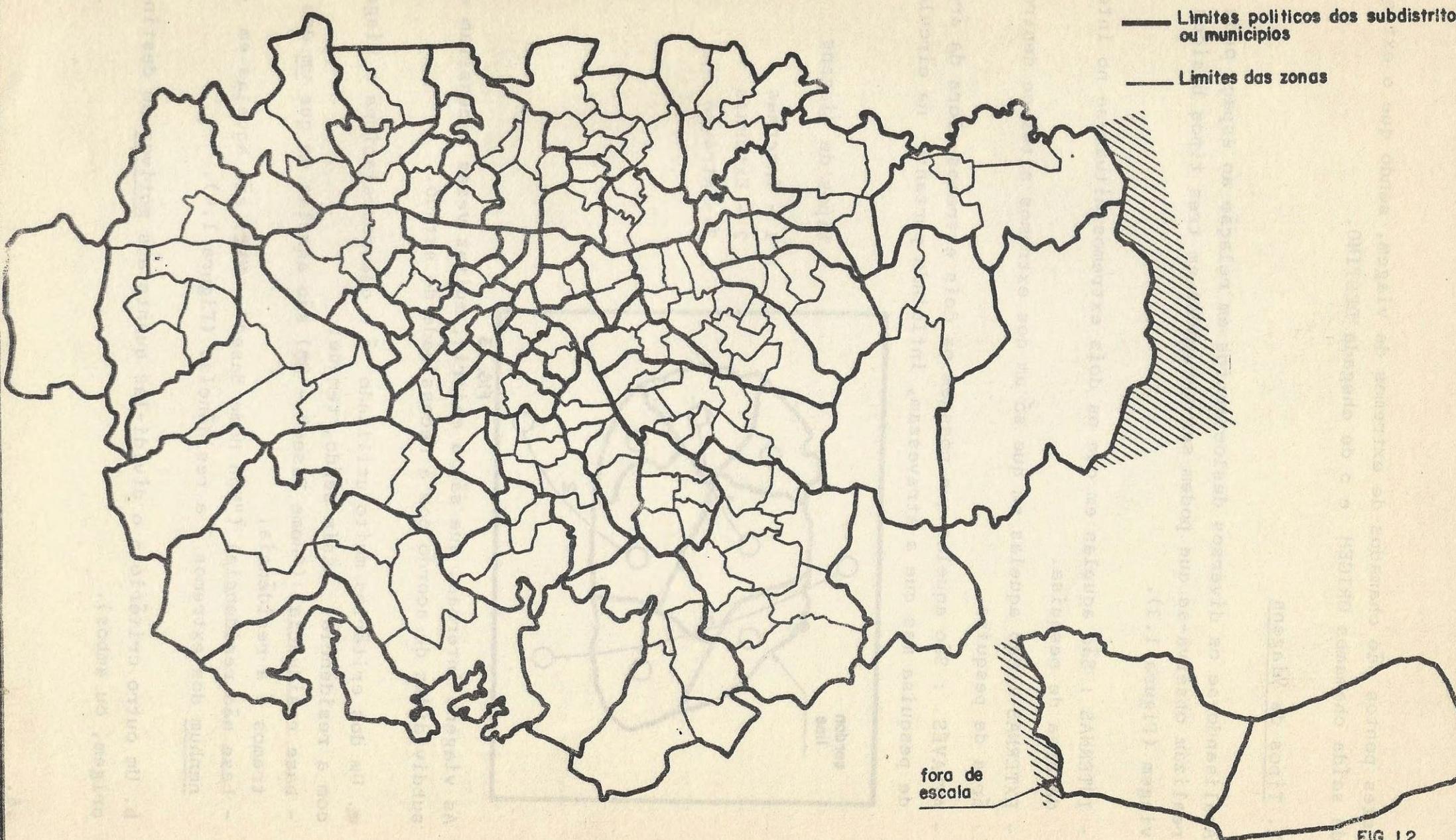
Num setor predominantemente residencial esse ponto situar-se-ia no lugar de maior densidade demográfica; num setor comercial nas proximidades do centro comercial, e assim por diante.

O centróide é a representação pontual da zona. É como se todos os dados pesquisados e analisados para a zona estivessem concentrados nesse ponto, bem como as viagens originadas ou com destino nessa zona.

C. VIAGEM

O estudo de planejamento de transportes tem como objeto fundamental a viagem.

A mais prática das definições é chamar de VIAGEM o percurso entre dois pontos com objetivo específico.



— Limites políticos dos subdistritos
ou municípios

— Limites das zonas

fora de
escala

Zoneamento da Área de Pesquisa do Metro-SP

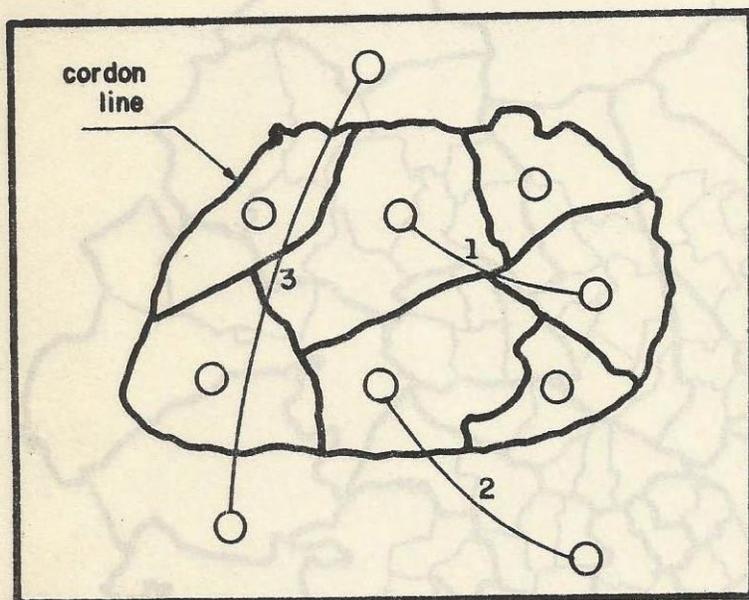
FIG. 1.2

Estes pontos são chamados de extremos de viagem, sendo que o extremo de saída chamamos ORIGEM e o de chegada DESTINO.

1. Tipos de Viagens

Analisando-se os diversos deslocamentos em relação ao espaço onde se realizam observa-se que podem ser agrupados em tres tipos básicos de viagem (Figura 1.3).

- INTERNAS : São aquelas em que os dois extremos situam-se no interior da área de pesquisa.
- EXTERNAS : São aquelas em que só um dos extremos situa-se dentro da área de pesquisa.
- ATRAVÉS : São aquelas que possuem os dois extremos, fora da área de pesquisa mas que a atravessam, influenciando portanto na circulação.



Tipos de Viagens

- 1 - Internas
- 2 - Externas
- 3 -- Através

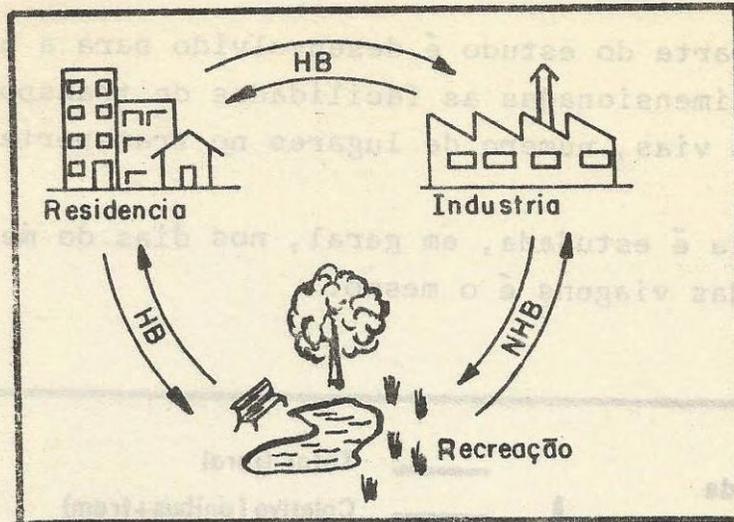
FIG. 1.3

As viagens internas, que são a maioria, muitas vezes necessitam ser subdivididas de acordo com a necessidade do estudo.

a. Um dos critérios muito utilizado é o que correlaciona a viagem com a residência. Assim sendo, tem-se:

- base residencial ("Home Based" - HB) são aquelas em que um dos extremos é a residência.
- base não residencial ("Non Home Based" - NHB) são aquelas em que nenhum dos extremos é a residência. (Figura 1.4).

b. Um outro critério é o dividi-las quanto aos motivos no destino(ou origem, ou ambos).



Viagens HB e NHB

FIG. 1.4

A subdivisão mais usada é:

- | | | |
|--------------|------------|----------|
| - residência | - trabalho | - escola |
| - negócios | - compras | - outros |

c. Pode-se ter também uma subdivisão quanto ao modo de realização da viagem. Por exemplo:

- | | | |
|--------------------|----------------------|----------|
| - auto (motorista) | - auto (passageiros) | - taxi |
| - ônibus | - trem | - outros |

2. Variação Horária das Viagens

Nos estudos de planejamento de transportes o modo como são utilizados os dados de viagens variam de acordo com os diversos objetivos do trabalho.

Por exemplo: Com o fim de avaliar os diferentes sistemas de transporte precisa-se conhecer os custos de construção, de operação dos mesmos e ainda os custos do usuário. A estimativa dos custos do usuário é baseada no tráfego total diário. Os custos de construção dependem da capacidade e do nível de serviço, devendo ser previsto, neste caso, o tráfego nas horas de pico.

Para a determinação das variações horárias são necessárias pesquisas de campo. Um exemplo dessa variação horária é a encontrada na pesquisa realizada pela HMD em 1967 para o estudo de viabilidade do Metrô-SP (Figuras 1.5 e 1.6).

Como foi explicado deve-se estudar o tráfego na hora de pico visto que se pretende prever uma oferta de transportes suficiente para a demanda na pior hora.

Portanto grande parte do estudo é desenvolvido para a hora de pico para a qual são dimensionadas as facilidades de transporte necessárias (tamanho das vias, número de lugares no transporte coletivo, etc.)

A variação horária é estudada, em geral, nos dias do meio da semana, quando o padrão das viagens é o mesmo.

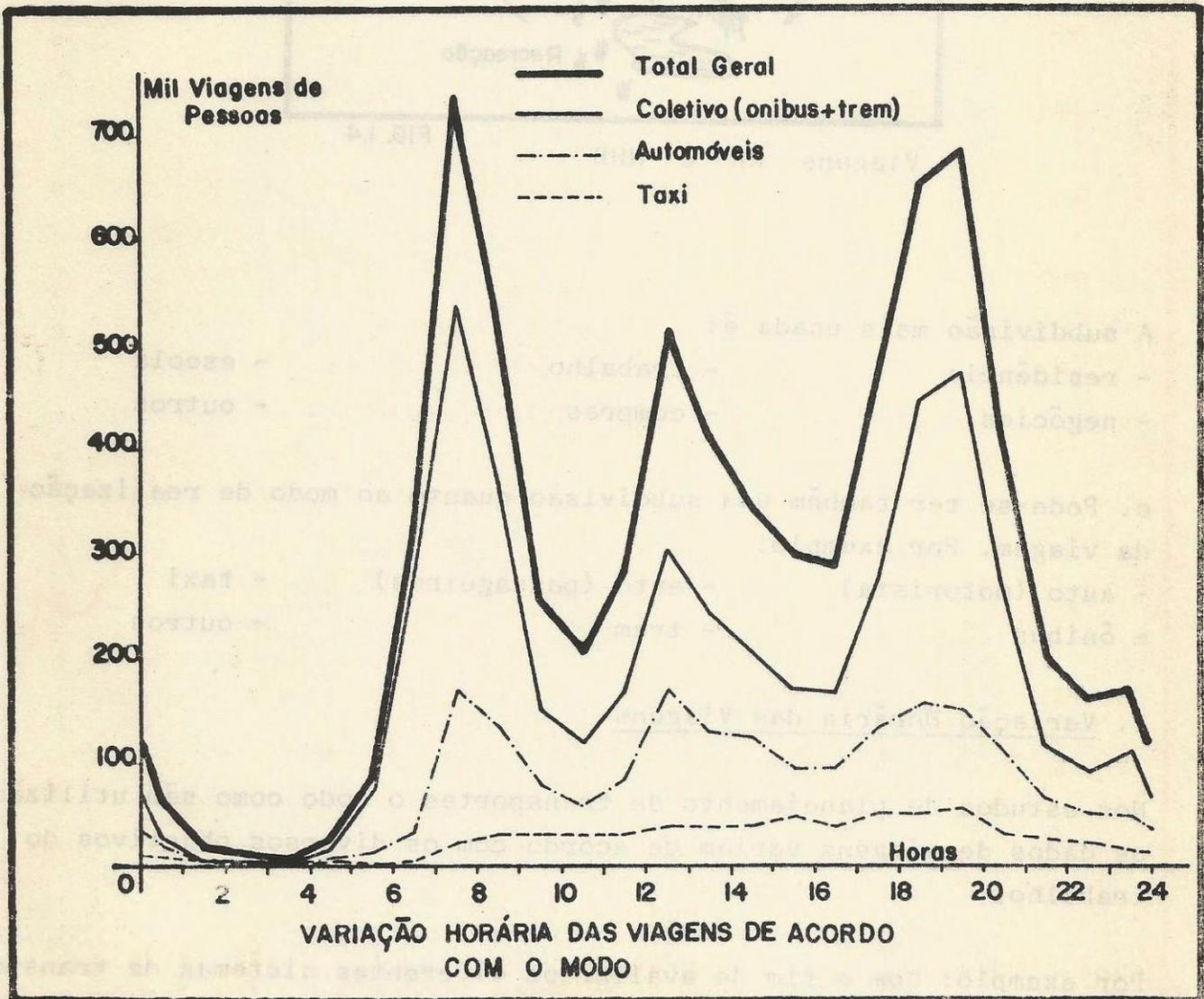


FIG. 1.5

Os gráficos apresentados nas figuras 1.5 e 1.6 referem-se aos horários dos finais de viagem e foram obtidos da tabulação da pesquisa de Origem e Destino do estudo de Viabilidade do Metrô-SP (1967).

Observando as figuras 1.5 e 1.6, nota-se que existem dois picos

distintos, sendo necessário escolher para qual deles será desenvolvido o estudo.

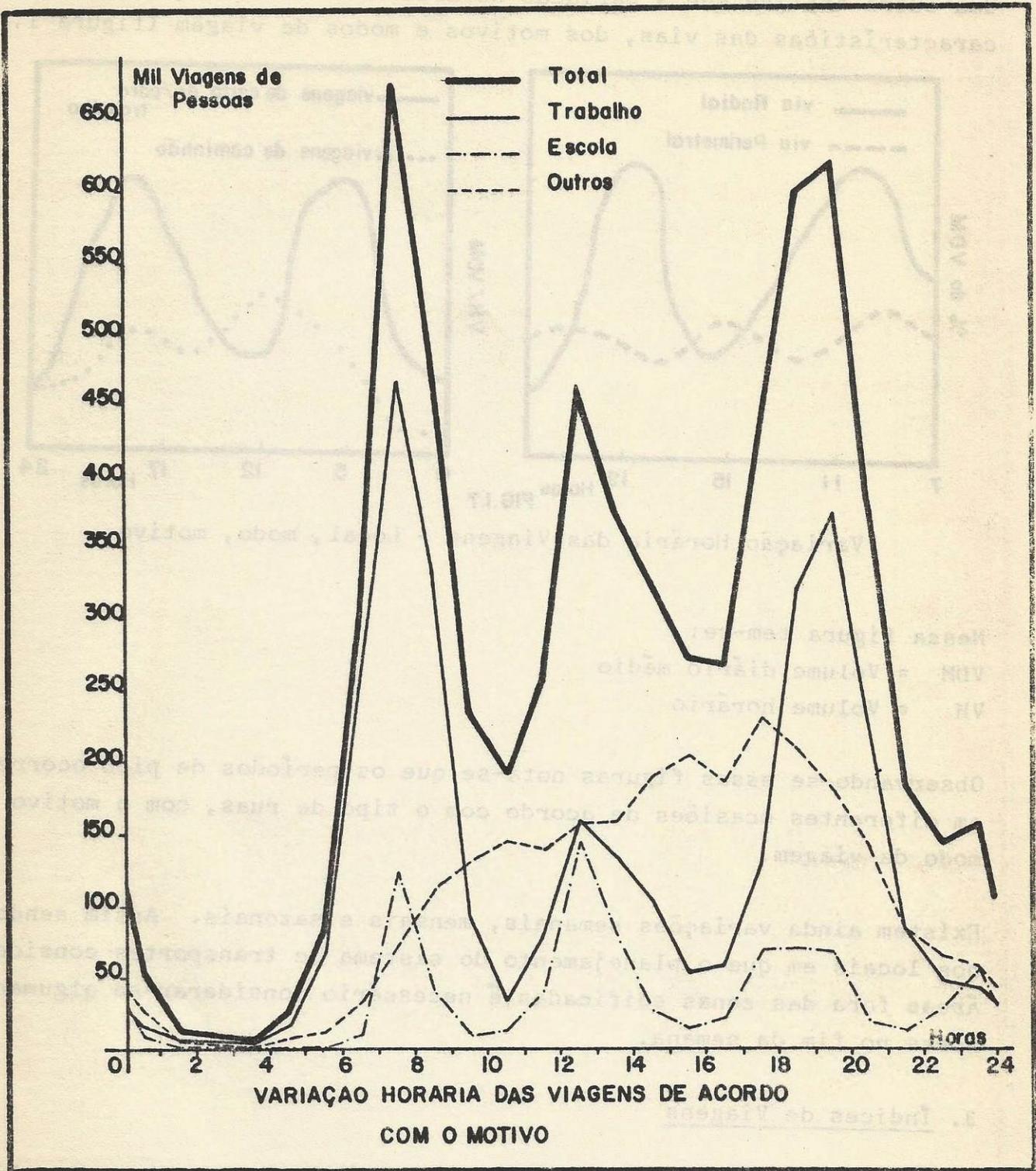


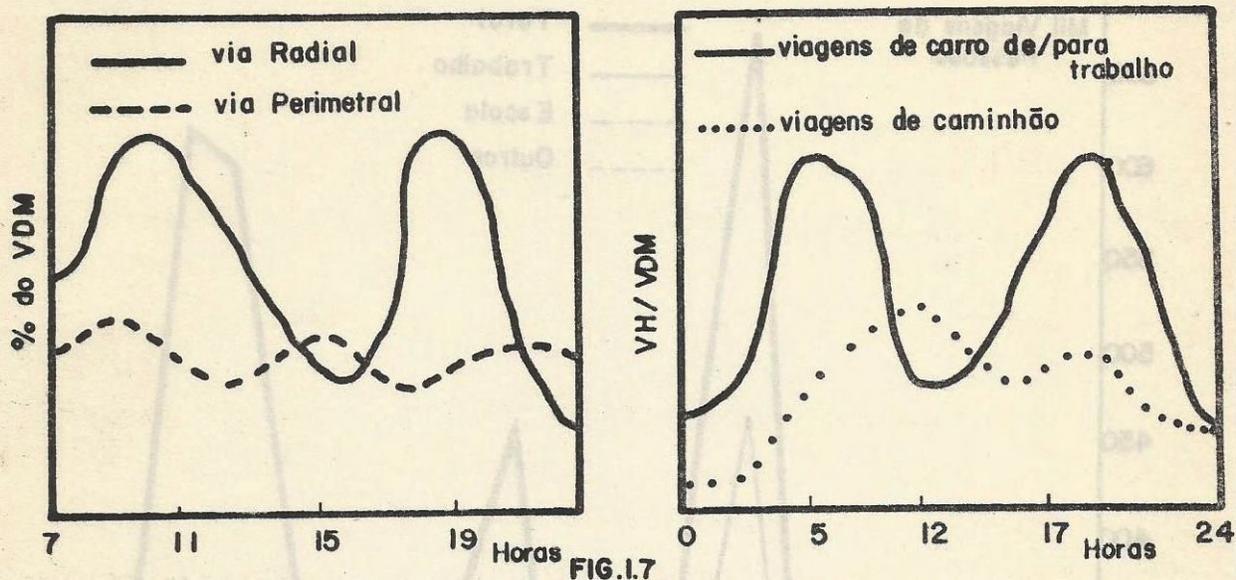
FIG. 1.6

Para tal escolha deve-se levar em conta inúmeros fatores que variam de acordo com as características locais de cada estudo. Alguns fatores que podem ser considerados além da intensidade do pico são:

- interrelação das variáveis socio-econômicas com as viagens.
- facilidade de projeção dessas variáveis socio-econômicas.

- padrão mais uniforme das viagens.
- melhor simulação dos deslocamentos.

Uma outra análise que a variação horária nos indica é quanto às características das vias, dos motivos e modos de viagem (figura 1.7)



Variação Horária das Viagens - Local, modo, motivo

Nessa figura tem-se:

VDM = Volume diário médio

VH = Volume horário

Observando-se essas figuras nota-se que os períodos de pico ocorrem em diferentes ocasiões de acordo com o tipo de ruas, com o motivo e modo da viagem.

Existem ainda variações semanais, mensais e sazonais. Assim sendo, nos locais em que o planejamento do sistema de transportes considera áreas fora das zonas edificadas é necessário considerar-se algumas horas no fim da semana.

3. Índices de Viagens

No decorrer do estudo deve-se ter alguns índices para controle. Eles procuram interrelacionar o número de pessoas, o número de viagens de carros, o número de residências, o tempo, a hora, os modos da viagem etc.

Esses índices fornecerão dados que comparados com estudos anteriores ajudarão na determinação dos modelos de simulação a serem adotados.

No Estudo de Viabilidade do Metrô-SP (1967), foram encontrados os seguintes valores:

Viagens por pessoa por dia = 0,92
Pessoas por residência = 4,38
Viagens por residência = 3,70
Viagens por autos por dia = 2,60
Fator de ocupação de autos = 1,48 pessoas/carro.

Divisão modal das viagens:

- transporte privado = 31,2%
- transporte coletivo = 68,8%

Tempos médios de viagem por motivos:

a. residência-trabalho = 44,23 min.
b. residência-escola = 32,42 min.
c. residencia-outras = 38,40 min.
d. base não residencial = 34,24 min.
e. externas = 41,43 min.

Numa comparação com estudos realizados em outros países encontra-se: uma baixa mobilidade da população 0,92 viagem/dia contra até 3,10 nos EUA; um fator de ocupação de autos relativamente alto em virtude da baixa taxa de motorização. Como consequência direta da baixa taxa de motorização encontra-se a alta divisão modal, que apresenta uma situação inversa, por exemplo, à dos EUA.

4. Geração, Produção e Atração das Viagens

Como vimos, uma viagem é o percurso entre dois pontos, ditos extremos para consecução de um objetivo.

Conforme o objetivo do estudo, os dados disponíveis, as técnicas de projeção desses dados, e os modelos de simulação a serem utilizados pode-se conceituar diferentemente esses pontos.

Desse modo tem-se:

- a. Geração: É o número de viagens que saem de uma determinada zona.
- b. Produção: Este conceito está intimamente relacionado com as viagens do tipo HB e NHB.

- Para as viagens com Base Domiciliar (HB) as viagens são consideradas como produzidas pela zona de residência.

- Para as viagens com Base Não Domiciliar (NHB) as viagens são consideradas como produzidas pela zona de origem.

c. Atração: Este conceito está relacionado com os conceitos anteriores.

- Se foi adotado o conceito de Geração, então atração é o número total de viagens que chegam numa determinada zona.

- Com o conceito de Produção tem-se: as viagens do tipo HB são consideradas como atraídas pela zona que não seja da residência; e as viagens do tipo NHB são consideradas como atraídas pela zona do final da viagem. (Figura 1.8).

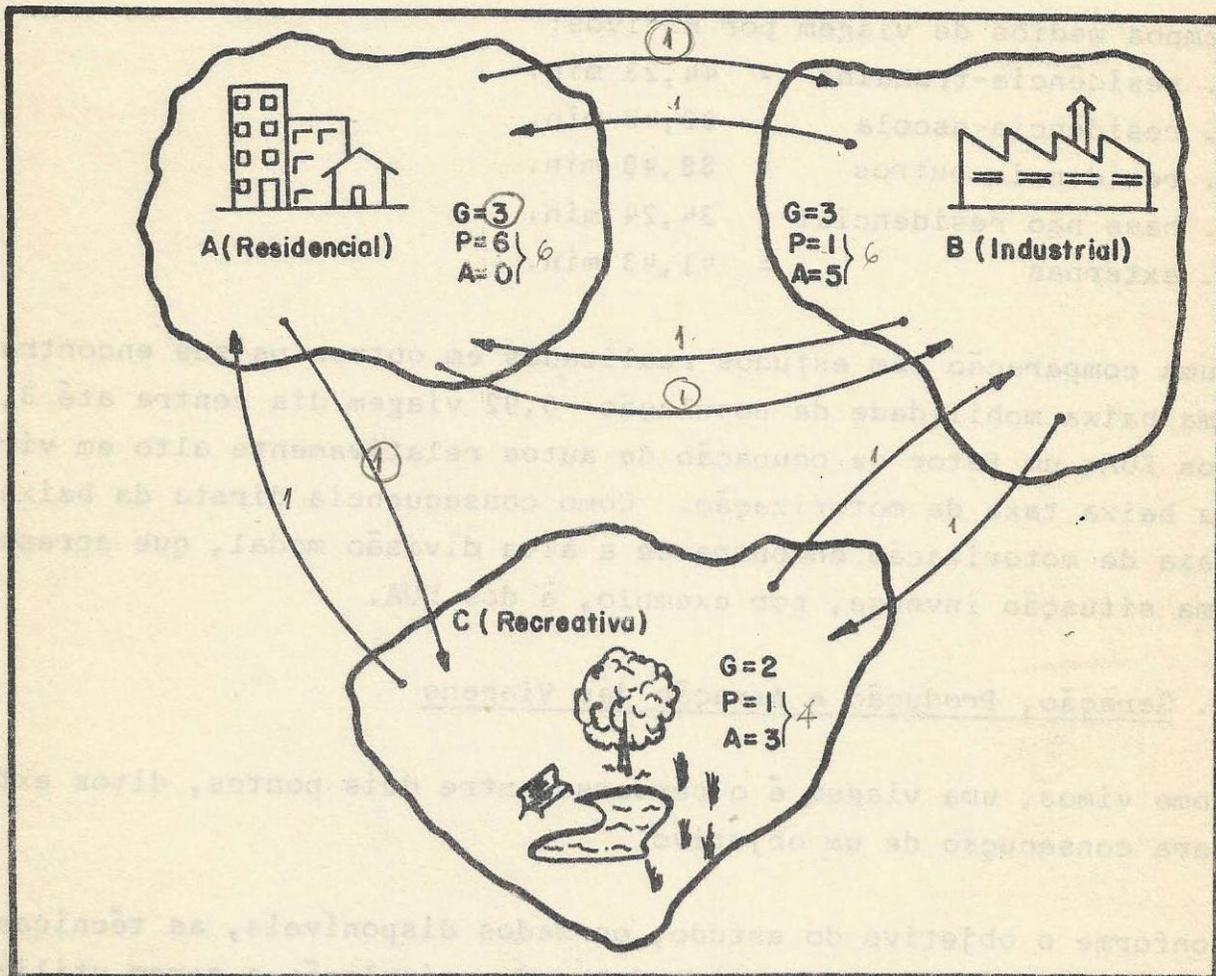


FIG. 1.8

Conceituação das Viagens

D. PESQUISAS REQUERIDAS

Nos estudos de transportes é necessário conseguir certas informações e dados através de pesquisas diretas na área de pesquisa, por não existirem registros secundários disponíveis.

A primeira dificuldade é decidir quais os dados que serão relevantes para o planejamento. Necessita-se também saber quais as variáveis

que podem ser controladas no futuro ou que possam ser consideradas invariáveis, e então dar-lhes um tratamento adequado.

Uma vez definidos os objetivos pode-se orientar e dimensionar as pesquisas a serem feitas.

1. Levantamentos Gerais

Os levantamentos feitos para obter informações incluem:

- uso do solo
- população
- fatores econômicos
- facilidades de transporte
- legislação
- recursos financeiros

Os dados coletados são expandidos, ordenados e analisados com o propósito de apreender as tendências e relações básicas entre as condições existentes. Estes dados formam a base para o desenvolvimento de modelos para a geração, distribuição, divisão modal e atribuição de viagens.

2. Pesquisa de origem e destino (O - D)

Esta pesquisa pode ser realizada de inúmeros modos, sendo mais completa a realizada pessoalmente por entrevistadores nos domicílios.

É importante que as informações pertencentes aos itens seguintes sejam obtidas em cada contato residencial:

- a. Endereço da Unidade Residencial.
- b. Número de Pessoas Residentes.
- c. Número de Carros possuídos pelos residentes.
- d. Renda Familiar.
- e. Para cada viagem feita por cada um dos residentes:
 - identificação da pessoa que fez a viagem.
 - identificação da viagem.
 - endereço da origem da viagem.
 - endereço do destino da viagem.
 - hora do início da viagem.
 - duração da viagem.
 - objetivo na origem.
 - objetivo no destino.
 - modo da viagem.

Em complementação à pesquisa domiciliar de O-D, devem ser feitas contagens de O-D, tanto para viagens internas como externas, na

linha de contorno, corrigindo-se as pesquisas de viagem internas.

Pesquisas de caminhões e taxis devem também ser feitas para completar o quadro de viagens na área de estudo.

3. Pesquisa das Facilidades de Transportes:

Os levantamentos de facilidades de transporte incluem o cadastramento das vias expressas, das vias de trânsito, terminais e volumes de tráfego. Estes levantamentos fornecem as bases para a elaboração das redes, para os cálculos dos tempos de percurso entre as zonas, para a determinação das velocidades e capacidades das vias, etc.

Os dados seguintes são usualmente tabulados para a maioria das vias:

- a. Local
- b. Dimensões Físicas
- c. Características de Tráfego
- d. Regulamentação de Tráfego

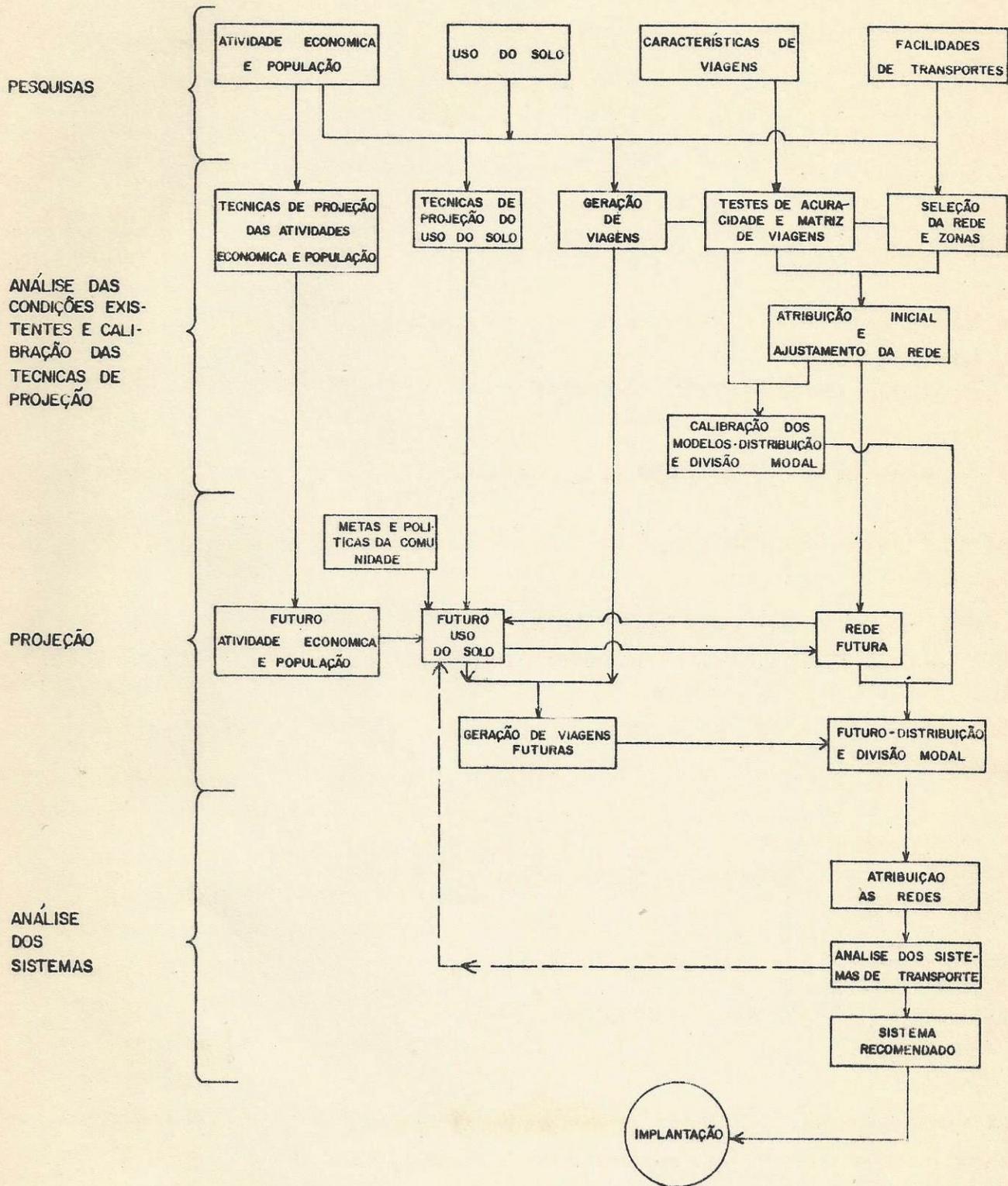
Maiores detalhes sobre as pesquisas serão vistos nos capítulos posteriores.

Pode-se dizer que o processo de planejamento de transportes é caracterizado por quatro fases gerais:

- a. Levantamento de dados
- b. Análises das condições existentes e calibração das técnicas de projeção.
- c. Projeção das condições futuras.
- d. Uma análise do sistema de transportes futuro, a qual fornece também o "feed back" essencial para compreensão da evolução conjugada do transporte e do uso do solo.

A Figura 1.9 ilustra os vários elementos abrangidos nas quatro fases do processo de planejamento de transportes urbanos.

FIGURA 1 PROCESSO DE PROJEÇÃO DE VIAGENS URBANAS



PESQUISA O-D E TABULAÇÕES

A. INTRODUÇÃO

Como foi visto no capítulo anterior o dado básico para o planejamento de transportes é a viagem.

Para a utilização desses dados devem ser elaboradas tabelas que nos indicam a frequência das viagens entre cada par de zonas.

Os objetivos do estudo determinarão quais os tipos de tabulações a serem efetuadas, de acordo com um ou mais dos seguintes critérios:

- Viagens de pessoas, veículos ou mercadorias.
- Modo da viagem (carro, ônibus, etc.)
- Propósito da viagem (trabalho, compra, etc.)
- Hora do dia (pico da manhã, pico da tarde, etc.)

1. Tabela Quadrada de Frequência de Viagens

Em geral, as frequências de viagens são tabeladas conforme a Figura 2.1. Cada célula da tabela indica o número de viagens para cada par de zonas, num dos sentidos, isto é, existe uma célula indicando o número de viagens com origem na zona i e destinada à zona j e uma outra célula, indicando as viagens originadas em j e destinadas à i . Na Figura 2.1 é utilizada a seguinte convenção:

- $V_{i,j}$ = número de viagens originadas na zona i e destinadas à zona j .
 G_i = número total de viagens originadas na zona i .
 A_j = número total de viagens destinadas à zona j .
 n = número de zonas.

Destino Origem	Destino						$\sum_{j=1}^n v_{i,j}$
	1	2	3	j	.....		n
1	$v_{1,1}$	.....	$v_{1,j}$	.....	$v_{1,n}$		G_1
2	$v_{2,1}$	.....	$v_{2,j}$	.....	$v_{2,n}$		G_2
3	.....	.....	.....	.....	.....		.....
.....
i	$v_{i,1}$	.....	$v_{i,j}$	.....	$v_{i,n}$		G_i
.....
.....
n	$v_{n,1}$	.....	$v_{n,j}$	.....	$v_{n,n}$		G_n
$\sum_{i=1}^n v_{i,j}$	A_1	.....	A_j	.....	A_n		$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{i,j}$

Tabela Quadrada de Frequência de Viagens Tabela 2.1

2. Tabela Triangular de Frequência de Viagens

Em alguns estudos são utilizadas tabelas de frequência de viagens em que não se considera o sentido desta, isto é, numa célula da tabela são computadas todas as viagens existentes entre as duas zonas.

Destino Origem	Destino					
	1	2	.....	j	.....	n
1	v_{11}	.....	.....	.....	.....	.....
2	v_{21}	v_{22}	.....	.....	.....	.....
.....
i	v_{i1}	v_{i2}	.....	v_{ij}	.....	.....
.....
n	v_{n1}	v_{n2}	.....	v_{nj}	.....	v_{nn}

Tabela 2.2

Tabela Triangular de Frequência de Viagens

A forma geral de representação da tabela triangular de frequência de viagens é a indicada na tabela 2.2., onde:

$$V_{ij} = V_{i,j} + V_{j,i}$$

Existem inúmeras razões para serem utilizadas tabelas deste tipo por exemplo, alguns modelos são calibrados somente com viagens em ambas as direções fazendo-se posteriormente a distribuição direcional. Outros modelos utilizam matrizes deste tipo e fazem: $V_{i,j} = V_{j,i}$

3. Viagens Intrazonais

Viagens intrazonais são aquelas em que a origem e o destino estão na mesma zona. Nas tabelas de frequências de viagens são os valores das células situadas na diagonal.

Alguns estudos colocam "zero" nestas células. Este é o caso quando na pesquisa de tráfego são computadas somente as viagens que cruzam as linhas de contorno de cada zona. As viagens intrazonais são computadas separadamente, o que significa um trabalho suplementar.

O fato de colocar o valor "zero" nas viagens intrazonais pode ser explicado porque a área de estudo foi dividida em zonas e estas são representadas por um ponto, centróide. Assim sendo uma viagem intrazonal não afetaria a simulação do carregamento das redes de transporte.

Todavia os modelos mais recentes, utilizados em outras partes do estudo (distribuição e divisão modal das viagens) levam em consideração também as viagens intrazonais. Portanto na hora da elaboração da pesquisa isto deve ser previsto para que seja possível a determinação da frequência de viagens intrazonais.

B. PESQUISA ORIGEM-DESTINO

Para a elaboração das tabelas de frequência de viagem se faz necessária a realização de uma pesquisa de origem-destino das viagens. Ela procura saber o padrão atual dos deslocamentos realizados na cidade, os modos, motivos, horas da realização dessas viagens, etc.

Existem inúmeros modos de se realizar tal pesquisa: entrevista domiciliar, por telefone, pelo correio, no meio da viagem e cogita-se nos EUA da realização da pesquisa por intermédio da televisão.

Mas de todas estas, a mais completa é a pesquisa realizada pessoalmente nos domicílios, apesar de ser muito trabalhosa e dispendiosa.

A pesquisa domiciliar procura obter as origens e os destinos de todas as viagens diárias das pessoas residentes, temporária ou permanentemente, na área de pesquisa.

1. Elaboração da Pesquisa (domiciliar)

A realização da pesquisa para toda a população da área de pesquisa é um processo muito demorado e muito caro tornando-se inviável na prática.

A pesquisa domiciliar é então realizada, utilizando-se amostras representativas para cada zona de tráfego. O número a ser amostrado é o conjunto das viagens ocorridas em um dia. Em termos práticos, no entanto, adota-se como unidade amostral o conjunto de viagens realizadas pelos indivíduos de uma residência.

O dimensionamento da amostra consiste em determinar o número de residências a serem visitadas a partir de procedimentos estatísticos que consideram a variancia da grandeza a ser estudada; no caso, características das viagens diárias.

O tamanho da amostra depende principalmente da homogeneidade ou heterogeneidade da população em relação ao atributo a ser estimado, e bem pouco do tamanho da população a ser estudada. Depende também do número de zonas de pesquisa consideradas na setorização da área.

Pesquisas já realizadas indicam como mínimo aconselhável, amostras variando de 1.000 a 2.000 residências sendo esta última cifra para cidades de um milhão de habitantes. Acima deste limite pode ser tomado 1% como fração mínima de amostragem. As amostras que ultrapassam estes limites apresentam maior confiabilidade porém a melhoria de qualidade dos resultados é menos que proporcional ao aumento do custo decorrente. Por isso não costumam ultrapassar a quatro vezes os valores indicados como mínimos.

No estudo de viabilidade do Metrô de São Paulo a amostra adotada foi de 16.000 residências sendo de 125 o número médio de endereços por zona de tráfego.

Para o sorteio da amostra deve-se dispor de antemão de um cadastramento das residências, podendo ser utilizado mapas, levantamentos aéreos, cadastros imobiliários, etc.

Por exemplo, no estudo de viabilidade do Metrô de São Paulo, devido à falta de mapas cadastrais ou levantamentos aéreos que cobrissem toda a área de pesquisa, utilizou-se as listas de consumidores de energia elétrica da LIGHT, na área de pesquisa.

Sorteados os domicílios a serem pesquisados deve-se submeter todos os residentes do domicílio a um questionário objetivo, procurando determinar as características das viagens realizadas por todas as pessoas com idade igual ou superior a 5 anos no dia imediatamente anterior à pesquisa. A caracterização das viagens como as do dia anterior evita informações subjetivas e não exige esforço de memória.

Esse questionário deve procurar obter "principalmente" as seguintes informações:

- identificação da pessoa que fez a viagem.
- identificação da viagem.
- endereços da origem e destino da viagem.
- horário e duração da viagem.
- objetivos na origem e no destino.
- modos da viagem.

Um cuidado a ser tomado é que as viagens devem referir-se aos dias em que o padrão seja o mesmo, isto é, durante os dias de meio da semana nos quais as variações são pouco sensíveis.

Cada viagem pesquisada deve ser então expandida para obter-se o total de viagens realizadas na área de estudo.

Define-se como fator de expansão ao coeficiente resultante da divisão da população de uma zona, pelo número total de pessoas residentes nos domicílios amostrados e pesquisados na mesma zona.

Desse modo cada viagem pesquisada representa um número de viagens igual ao fator de expansão da referida zona.

2. Tabulação e Análise dos Resultados.

Durante a realização da pesquisa deve-se proceder a um controle de qualidade dos questionários entregues pelos pesquisadores. Desse modo cada lote terá algumas entrevistas refeitas por um segundo pesquisador e os resultados comparados antes de sua completa aceitação

Efetuada o controle de qualidade e refeitos os lotes eventualmente rejeitados, procede-se a tabulações iniciais tais como:

- número de viagens por motivos na origem e no destino.
- número de viagens por motivo e por modo.
- número de viagens por zona de residência e por tempo de percurso.
- número de viagens por zona de residência e por hora da viagem.
- número de viagens por hora da viagem, por modo e por tempo de percurso.

Estes dados fornecem informações quanto ao padrão dos deslocamentos realizados na área de estudo, permitindo-se tirar decisões quanto às tabelas de viagens que serão utilizadas na determinação e calibração dos modelos de simulação a serem utilizados.

Além desses resultados são determinados também alguns índices, como por exemplo:

- média de viagens por pessoa por dia.
- número de pessoas por domicílio.
- número de viagens por domicílio.
- porcentagem de viagens por transporte coletivo em relação ao total.
- número de transferências realizadas nas viagens por transporte coletivo.
- tempos médios de viagem de acordo com os motivos.

Esses valores são comparados com índices semelhantes obtidos em estudos anteriores para teste de coerência e visando também auxiliar na determinação dos modelos a serem utilizados.

Como as informações pesquisadas tendem a ser subreportadas principalmente aquelas referentes a viagens não costumeiras (compras, taxis, etc.) os dados obtidos a partir da pesquisa Origem e Destino são aferidos, através de uma contagem de volumes numa linha que corta a área de pesquisa, linha de contagem - ("screen-line").

Nessa pesquisa a área fica dividida em grandes zonas e são computadas todas as viagens que atravessam essa linha comparando-se

.22.

com os dados das tabelas de viagens obtidas, ajustando-se estas últimas.

Em geral essa linha situa-se numa barreira física, tal como um rio ou uma estrada de ferro, (quando não houver tráfego de subúrbio), em que temos alguns pontos bem definidos para o seu cruzamento.

Esta contagem pode ser de volumes de pessoas simplesmente ou classificadas por modo, hora ou ainda por propósito, neste caso necessitando entrevistas com o motorista e/ou passageiros.

3. Pesquisas Paralelas

Com vistas a uma complementação dos dados obtidos na pesquisa Origem- Destino devem ser realizadas ainda duas outras pesquisas.

a. Sócio-Econômica (nos domicílios) - Esta pesquisa é feita visando complementar as informações sócio-econômicas disponíveis para a cidade e para as zonas (cap. IV), e geralmente é realizada na mesma amostra da pesquisa de tráfego.

Ela procura determinar, para as residências pesquisadas, os níveis de renda familiar, o número de carros por família, o tipo de residência (casa própria, alugada, pensão, etc.) e outros dados.

b. Pesquisa de Viagens Externas - Com o objetivo de determinar as viagens efetuadas na área de pesquisa por pessoas não residentes, efetuam-se pesquisas nos principais pontos de entrada e saída desta área, ou seja, nos cruzamentos da "Linha de Contorno" com as grandes vias de tráfego (estradas de ferro e de rodagem).

As informações colhidas são essencialmente as mesmas da pesquisa OD domiciliar. Os fatores de expansão são calculados utilizando-se de contagens de volumes efetuadas simultaneamente às pesquisas.

Como na OD domiciliar também são detetadas algumas viagens externas, estas devem ser daí excluídas, sendo consideradas corretas aquelas detetadas pela pesquisa externa.

As viagens através devem ser divididas pela metade em cada posto pois são detetadas em dois pontos da linha de contorno.

REDES DE SIMULAÇÃO

A. RÊDE

1. Conceito

A rede de simulação de tráfego implica na criação de um modelo digital representativo do sistema de transportes em estudo. Tal modelo se constitui no mais moderno instrumento para o planejador urbano, uma vez que de posse de uma descrição completa do sistema de transportes e de tabelas de viagens ele poderá:

- determinar as deficiências no sistema existente.
- prever o desenvolvimento futuro de um sistema de transportes através de uma avaliação dos efeitos de melhoramentos, no sistema existente.
- fornecer testes sistemáticos e reproduzíveis para cada alternativa de um sistema proposto.
- estabelecer uma escala de prioridade de construção.
- fornecer volumes de tráfego de projeto, para o sistema escolhido.

2. Tipos de Rede

Nos estudos de simulação usualmente são necessários três tipos de rede:

- Rede Viária
- Rede de transportes coletivos
- "Spider-net"

a. Rede viária é aquela constituída pelo sistema de vias oferecidas aos usuários de transporte privado a saber, automóveis particulares e taxi. Esta rede se caracteriza pelas rotas variáveis onde a escolha do percurso obedece fatores tais como distância, tempo ou custo.

b. Rede de transportes coletivos é constituída pelas linhas de Metropolitan, subúrbios ferroviários e linhas de ônibus, e se caracteriza pelo fato de possuir rotas fixas.

c. "Spider-net" é uma rede onde não se representa as facilidades existentes.

tentes, mas somente as ligações entre um centróide e os mais próximos, constituindo portanto, no conjunto, uma malha ideal, que proporcione o acesso mais curto a todos os centróides.

3. Representação Gráfica

Numa rede é importante representar todos os elementos significativos do sistema de transportes, num detalhamento coerente com aquele estabelecido no zoneamento.

Na rede viária consideram-se rodovias, vias expressas, avenidas e ruas. Essas vias são representadas graficamente por segmentos denominados de ligações ("links")

O cruzamento de três ou mais ligações denomina-se nó. Portanto uma via qualquer será representada por uma sequência de ligações e nós sendo esses nós, as intersecções com outras vias.

Analogamente na rede de transportes coletivos, as ligações são os trechos de metrô ou ferrovia entre as estações, e estas os nós. Para a representação das linhas de ônibus, as ligações são os trechos das ruas e avenidas por onde estes circulam, e os nós basicamente os locais onde há possibilidade de entrada, saída ou troca de passageiros.

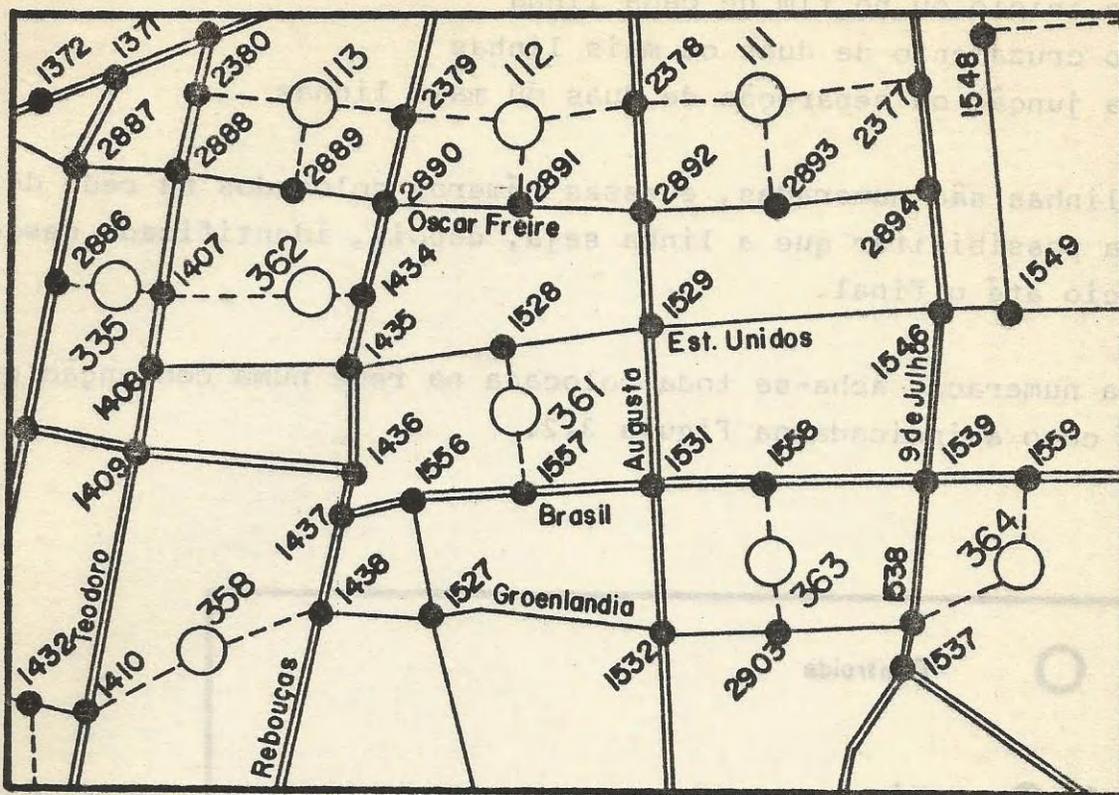
As uniões dos centróides com a rede também são ligações, sendo na rede de transportes coletivos chamados de "WALK-LINKS", pois representam os percursos feitos a pé pelo usuário. Na rede viária essas ligações representam os percursos dentro da própria zona, feito pelos motoristas até atingir a rede.

Na Figura 3.1. apresenta-se uma área da cidade de São Paulo, e sua codificação para o estudo do PERSIT(1).

Graficamente procura-se diferenciar as várias categorias de vias variando-se as espessuras dos grafos, onde posteriormente, a verificação dos percursos será facilitada pela identificação visual dessas mesmas categorias.

Cada nó é caracterizado por um número, e portanto a ligação pelos seus nós extremos. A cada ligação é atribuída uma velocidade, uma capacidade e um comprimento.

(1) PERSIT - Programa de Execução da Rede Simulada de Integração dos Transportes. (PTR - METRÔ)



Rêde Viária - PROJETO PERSIT

FIG. 3.1

O comprimento é obtido diretamente do mapa, enquanto que a velocidade e a capacidade exigem um estudo mais detalhado conforme será visto a seguir.

Quando se fala de representação gráfica de uma rede de transportes coletivos, cabe uma convenção:

- Rota: é o caminho físico do ônibus, na cidade.
- Linha: é a representação da rota na rede, geralmente mais simplificada.

Uma rede de coletivos é constituída de modo análogo a uma rede viária, diferindo apenas quanto ao mapa base, que na rede de coletivo é um mapa das rotas de ônibus.

É com auxílio desse mapa que são determinados:

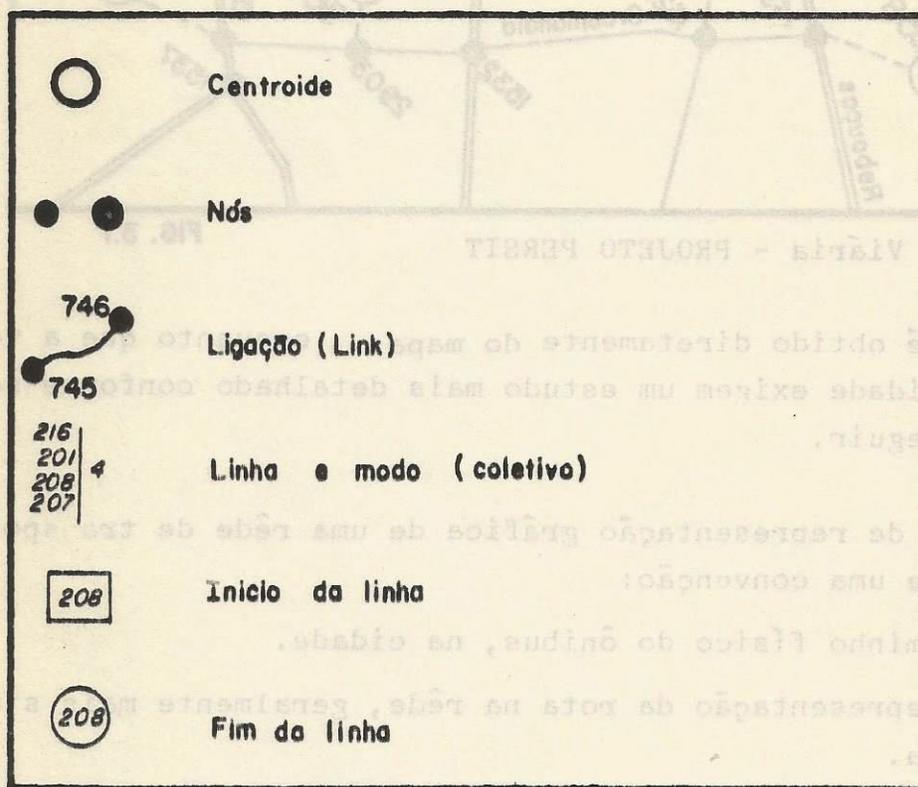
- as ligações
- os nós
- os tempos de acesso, do centróide à rede.
- as linhas

Os nós são colocados:

- no início ou no fim de cada linha
- no cruzamento de duas ou mais linhas
- na junção ou separação de duas ou mais linhas

As linhas são numeradas, e esses números colocados na rede de maneira a possibilitar que a linha seja, depois, identificada desde seu início até o final.

Essa numeração acha-se toda colocada na rede numa convenção que pode ser como a indicada na Figura 3.2.



Simbologia Adotada

FIG.3.2

A rede prevê também a distinção do transporte coletivo em modos, para que se possibilite a separação dos meios de transporte existentes, tais como:

- metrô
- ferrovia de subúrbio
- rotas de ônibus interurbanos
- rotas de ônibus urbanos

Na Figura 3.3. encontra-se uma área da cidade de São Paulo com a rede de transportes coletivos codificada.

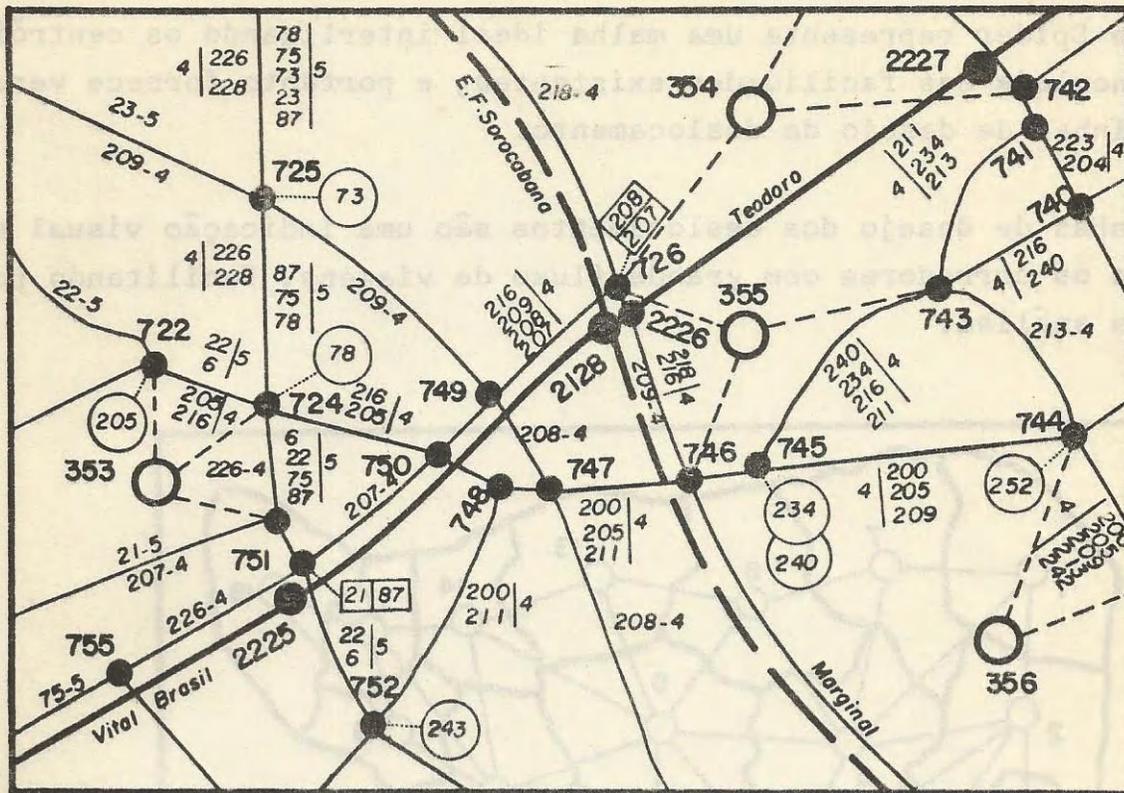


FIG. 3.3

Rêde de Transportes Coletivos - PROJETO PERSIT

Um outro tipo de rede utilizada é a "SPIDER-NET" que serve como instrumental de comparação inicial e determinação de fluxos principais de pessoas ou veículos através da área de pesquisa. Ela fornece as diretrizes básicas das viagens que se processam dentro da área urbana.

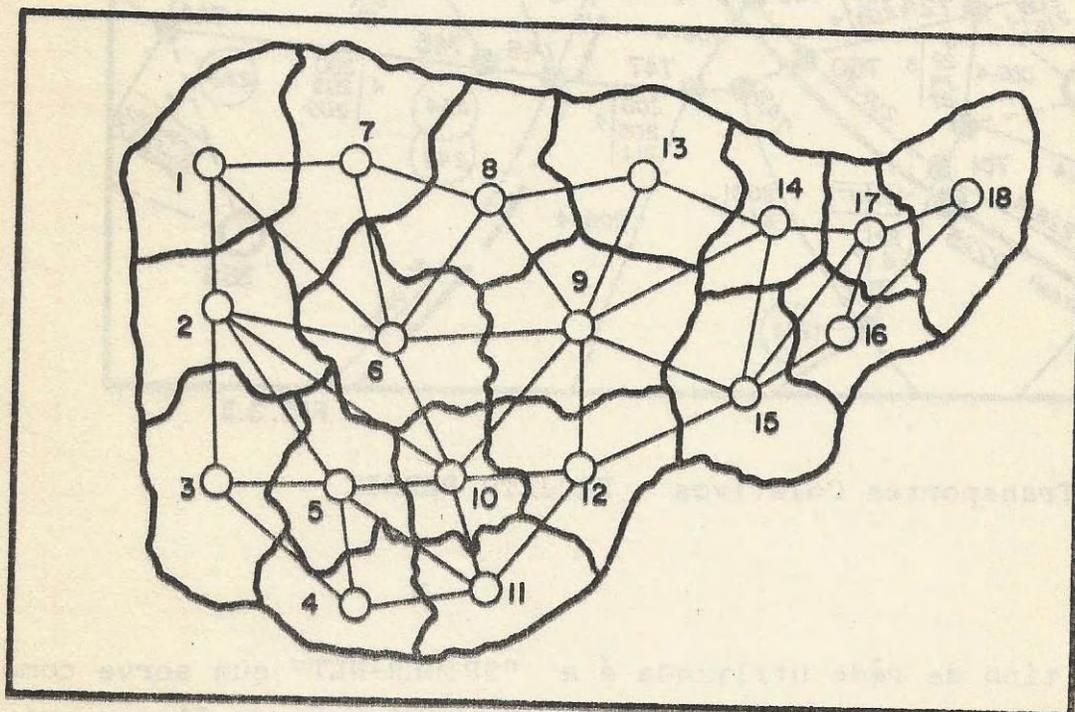
Sua construção não se apega ao traçado da malha viária nem às rotas de ônibus existentes. Procura-se ligar um centróide a todos os centróides a ele adjacentes sem cruzar as ligações. (Figura 3.4).

Por ser uma rede hipotética, é utilizada apenas para determinar futuras vias ou futuras rotas de transporte coletivo de alta capacidade, admite-se uma velocidade constante e adota-se como distância, a distância gráfica entre os centróides.

Como já visto, essa rede é um instrumento que serve para apontar as deficiências de um sistema de transporte ou fornecer uma primeira comparação de sistemas alternativos propostos.

A Rede Spider representa uma malha ideal interligando os centróides, desvinculada das facilidades existentes, e portanto fornece verdadeiras linhas de desejo de deslocamento.

As linhas de desejo dos deslocamentos são uma indicação visual sobresaindo os corredores com grande fluxo de viagens, facilitando portanto sua análise.



Rede Spider

FIG.3.4

B. PESQUISAS DAS FACILIDADES DE TRANSPORTES

Para a elaboração de uma rede de simulação de Tráfego são necessárias pesquisas que forneçam uma completa descrição das vias que irão compor a referida rede.

1. Rede Viária

Para a rede viária deve-se obter uma descrição completa dos seguintes dados:

- Local: Deve-se situar a via na área de estudo, ressaltando sua importância, categoria e principais intersecções.

b. Dimensões Físicas: Procura-se obter todos os elementos que irão caracterizar cada via. Assim o comprimento, largura (número de faixas), tipo de via, controles de acesso, devem ser levantados, obrigatoriamente.

c. Características do Tráfego: A velocidade média de viagem nas horas de pico e fora delas, velocidades e retardamento, volumes de tráfego existentes e composição modal do tráfego são dados importantes a serem colhidos.

d. Regulamentação do Tráfego: A sinalização das vias deve ser levantada para fornecer as mãos de direção, possibilidade de estacionamento, assim como conversões proibidas.

Assim, de posse dos elementos acima descritos, pode-se elaborar a rede, determinar velocidades e capacidades, como também testar a consistência da mesma.

REGIÃO	REGIÃO	REGIÃO	REGIÃO	REGIÃO
35	75	50 km/h	EXPRESSA	
			SUBURBANA	70
			ARTERIAL	30
			COLETORA	35
			ESTADUAL	50
			MUNICIPAL	20

2. Rêde de Transportes Coletivos

Para a elaboração desta rede, é necessário além dos dados levantados para a rede viária, mais um inventário geral do sistema de transportes coletivos:

- Mapa das rotas
- Intervalo médio entre dois veículos de cada rota ("Headway")
- Período de operação da rota
- Comprimento e tempo de percurso médio de cada rota
- Frota de veículos
- Custo de Operação

Em posse destes dados, elaboram-se a rede, determinam-se velocidades e capacidades, e faz-se o teste de consistência.

C. VELOCIDADE

No desenvolver do estudo um dos dados mais utilizados são as velocidades. Em geral são utilizadas juntamente com as distâncias das ligações para a determinação dos tempos de viagem. Encontram-se aqui algumas considerações a respeito desses dados.

1. Rêde Viária

O objeto desta parte do estudo é atribuir velocidades às ligações de tal modo que se consiga reproduzir a situação real.

Assim, feita uma pesquisa de velocidades através dos principais corredores de tráfego, pode-se obter uma tabela que relacione a velocidade com o tipo de via e a área em que esta via está localizada.

Nos estudos do projeto PERSIT, foram determinados os seguintes valores: (Tabela 3.1).

Tipo de via	REGIÃO RURAL	REGIÃO INTERMED.	REGIÃO CENTRAL	Exemplos
EXPRESSA	80 km/h	75	35	Anchieta Dutra Ruben Berta
SUBURBANA c/ 2faixas	70			Raposo Tavares Fernão Dias BR - 116
ARTERIAL 1ª categoria		38	30	Rebouças 9 de Julho Ipiranga
ARTERIAL 2ª categoria	36	35	26	Paulista Brigadeiro Vergueiro
COLETORA	34	32	24	Augusta Pamplona Frei Caneca
ESTRADA MUNICIPAL	55	45		Est. de Cotia Est. de Diadema
Ligação de centroide	20	20	20	

Tabela 3.1

Tabela de Velocidades

Esses valores atribuídos às velocidades, são médios e iniciais para o processo de calibração da rede. Portanto deverão variar ao longo desta, quando se executarem os testes de consistência.

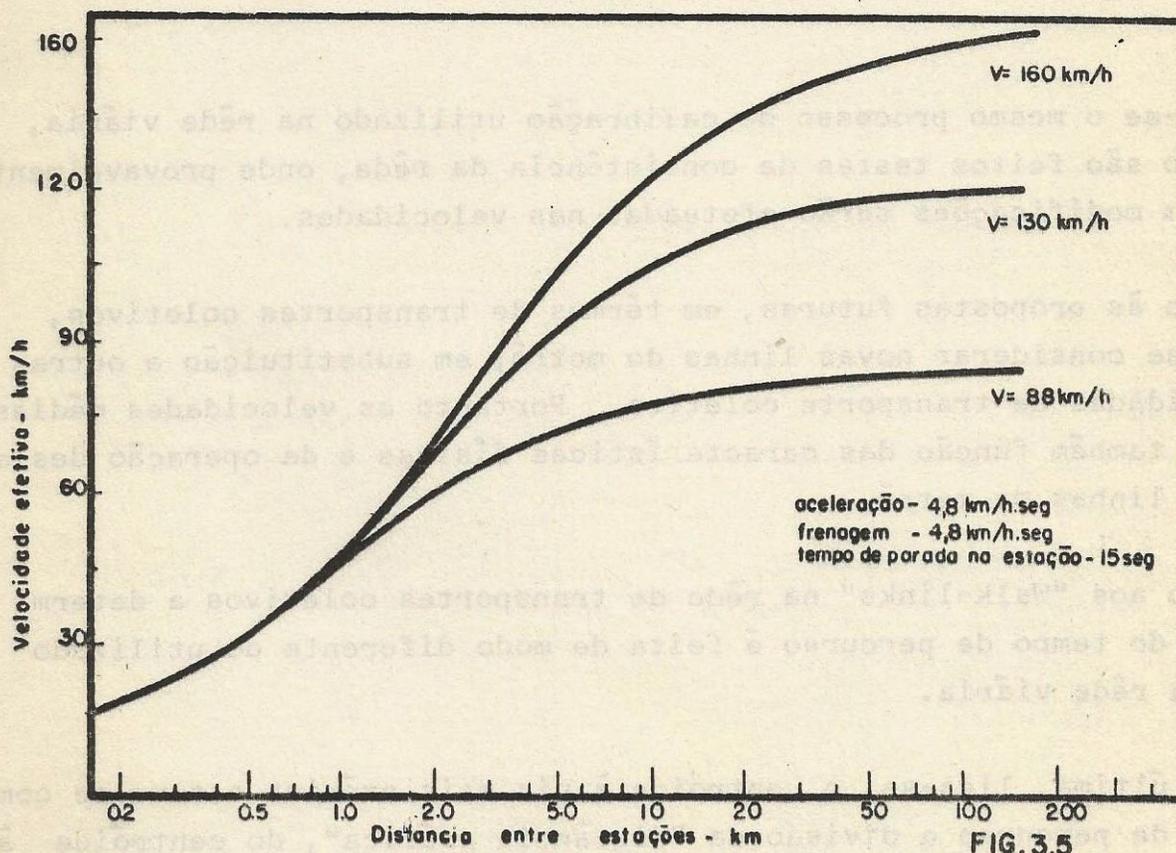
Após a calibração, isto é, a rede representando a situação real, deve-se adotar as velocidades para as futuras vias, propostas para a rede viária.

Considerando-se um dado nível de serviço como o de projeto, pode-se obter no "Highway Capacity Manual", relações entre a velocidade e o tipo de via de acordo com a região em que está situada. Portanto tem-se, uma outra tabela de velocidades em função do tipo de região para cada uma das diferentes categorias de vias.

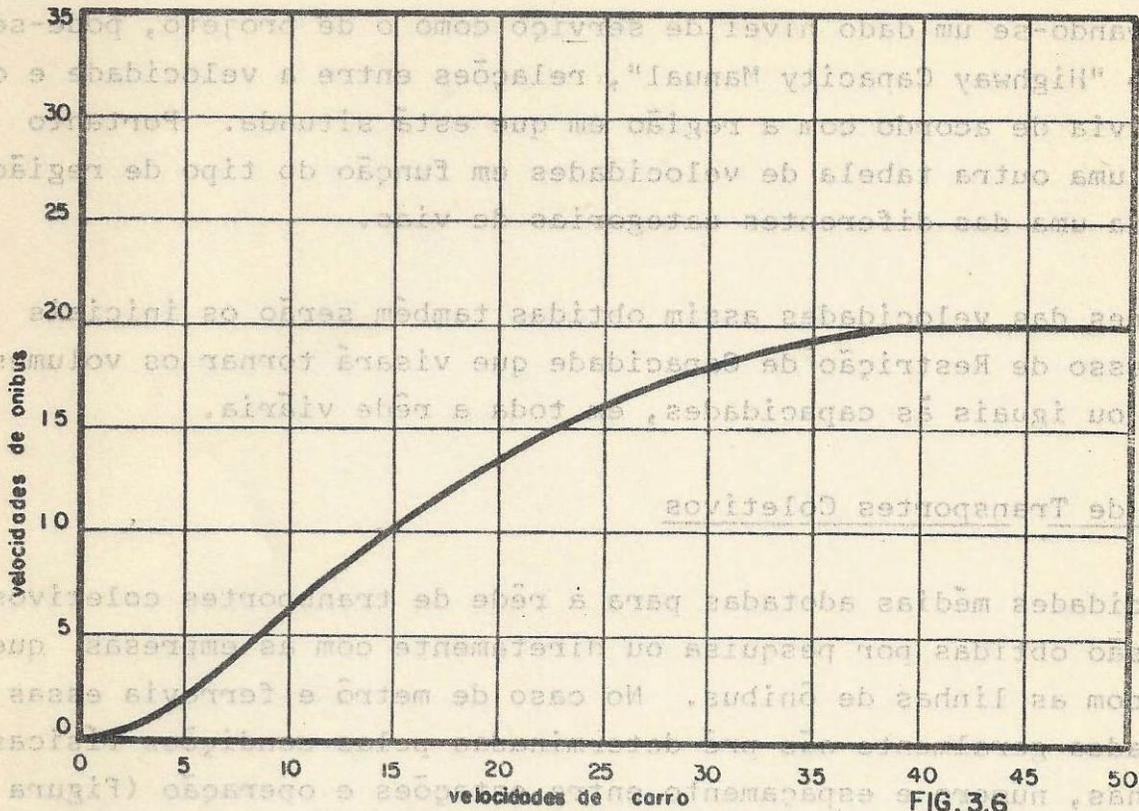
Os valores das velocidades assim obtidas também serão os iniciais do Processo de Restrição de Capacidade que visará tornar os volumes menores ou iguais às capacidades, em toda a rede viária.

2. Rede de Transportes Coletivos

As velocidades médias adotadas para a rede de transportes coletivos, também são obtidas por pesquisa ou diretamente com as empresas que operam com as linhas de ônibus. No caso de metrô e ferrovia essas velocidades geralmente são pré-determinadas pelas condições físicas das linhas, número e espaçamento entre estações e operação (Figura 3.5).



Quando não houver sido realizada uma pesquisa de velocidade e retardamento, pode-se estimar a velocidade dos ônibus em função da velocidade do automóvel obtida na calibração da rede viária, como indicada na curva desenvolvida pelo UMTA (Figura 3.6).



Correlação de Velocidades de Carros e Ônibus

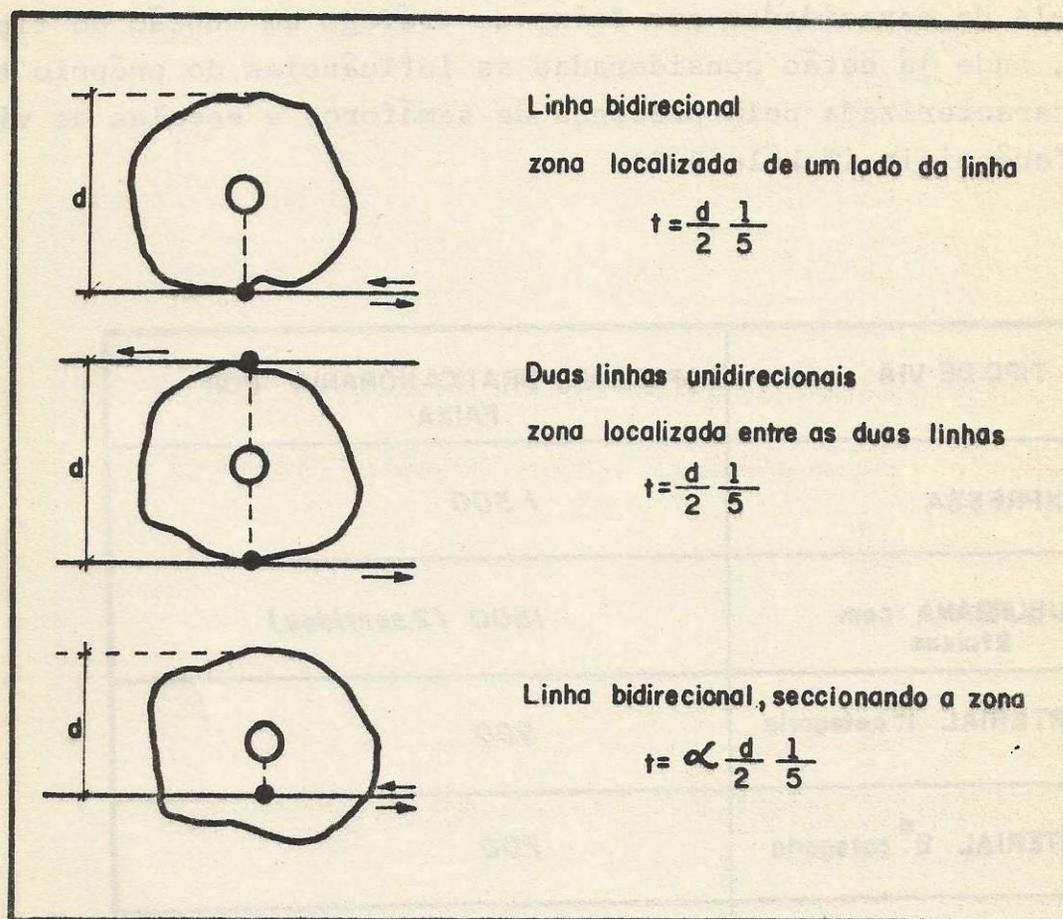
Segue-se o mesmo processo de calibração utilizado na rede viária, quando são feitos testes de consistência da rede, onde provavelmente também modificações serão efetuadas nas velocidades.

Quanto às propostas futuras, em termos de transportes coletivos, deve-se considerar novas linhas do metrô, em substituição a outras modalidades de transporte coletivo. Portanto as velocidades médias serão também função das características físicas e da operação dessas novas linhas de metrô.

Quanto aos "Walk-links" na rede de transportes coletivos a determinação do tempo de percurso é feita de modo diferente do utilizado para a rede viária.

Nesta última, liga-se o centróide à via mais próxima e toma-se como tempo de percurso a divisão da "distância gráfica", do centróide à rede, pela velocidade média admitida.

Na rede de transporte coletivo, esse tempo é função da posição relativa das áreas urbanizadas da zona e as facilidades de transportes que a atravessam. A velocidade de uma pessoa andando é adotada como sendo 5km/h, e a determinação do tempo no "Walk-link" é feito conforme mostra a Figura 3.7. Recomenda-se que todos os "Walk-links" sejam locados por uma pessoa conhecedora da área de pesquisa.



Tempos para os "Walk-links"

FIG.3.7

D. CAPACIDADE

A capacidade das vias para a rede viária, quando se adota um modelo de atribuição com restrição de capacidade, é um elemento muito importante, que deve ser determinado.

A capacidade de uma via é função das características físicas da mesma, ou seja, curvas horizontais e verticais, largura, etc.. Porém neste estudo de macro-planejamento não é tão importante a capacidade teórica da via, mas sim uma capacidade prática, obtida por observações e medidas reais.

Capacidade Prática é definida como o volume de veículos numa via, desenvolvendo uma velocidade razoável, sem que o deslocamento de um

veículo afete os demais.

A partir de observações considera-se a velocidade na capacidade prática 87% da velocidade desenvolvida num percurso totalmente livre.

Assim, através de medidas e observações, chegou-se à seguinte tabela de capacidades por faixa de tráfego em função do tipo de via, onde já estão consideradas as influências do próprio tráfego caracterizada pela presença de semáforos e escalas de vias preferenciais (Tabela 3.2).

TIPO DE VIA	CAPACIDADE PRÁTICA HORARIA POR FAIXA
EXPRESSA	1300
SUBURBANA com 2faixas	1500 (2 sentidos)
ARTERIAL 1. ^a categoria	900
ARTERIAL 2. ^a categoria	700
COLETORA	500
ESTRADA MUNICIPAL	1000 (2 sentidos)

Tabela 3.2

Tabela de Capacidades Práticas

Neste ponto convém salientar, que a Simulação de Tráfego em rede é uma representação discreta da malha existente e portanto só permite o detalhamento até determinado grau.

Logo, quando se adotar a capacidade para uma determinada artéria, deve-se analisar, quantas são as vias que ela está realmente representando, ou seja, por muitas vias que não foram representadas,

existe um escoamento de tráfego e portanto, o número de faixas a ser adotado deve ser o total disponível no corredor que a mesma representa.

No que se refere à capacidade para a rede de transportes coletivos, considera-se o número máximo de passageiros possíveis de serem transportados num ponto de uma linha de transportes.

Este dado não é tão importante como para a rede viária servindo apenas para uma melhor análise da rede.

No caso de metrô e ferrovia pode-se facilmente determinar tal número, baseando-se nas frequências mínimas admissíveis na linha, e na capacidade de cada composição.

Para as linhas de ônibus isto se torna mais difícil uma vez que várias empresas operam simultaneamente. Adota-se então a capacidade do corredor de transporte coletivo com base no número total de ônibus por hora e capacidade de cada ônibus.

E. ÁRVORES

Uma vez elaborada a rede, com os nós e centróides numerados, cada ligação identificada através de seu comprimento, e velocidade definidos, passa-se a etapa de escolha dos percursos, de centróide a centróide. E ao total dos percursos de um centróide para todos os outros denomina-se de "árvore".

Essa escolha sempre obedece ao critério de menor impedância, sendo esta admitida como a resistência que o usuário enfrenta para atingir seu destino. A impedância pode ser função do tempo, distância, custo, ou combinações destes,

Assim pode-se admitir que a escolha de um determinado percurso seja o de menor tempo, ou o de menor custo ou ainda o que apresente a menor média aritmética entre distâncias ou tempo, e assim por diante. Usualmente adota-se o de menor tempo de viagens.

A escolha destes percursos em uma rede, a primeira vista pode parecer simples, mas quando tem-se uma malha que recobre muitos centróides o problema se complica e é praticamente impossível a determinação direta de todos os caminhos de menor impedância.

Uma solução foi obtida recentemente quando Moore, em estudos que envolviam rêsdes telefônicas, chegou a um algoritmo simples e de fácil utilização.

Este algoritmo consiste no seguinte: a partir de um centróide vai-se atingindo os nós a ele ligados, sempre acumulando a impedância

Atingidos esses primeiros nós, repete-se o processo alcançando nós ligados aos anteriores.

Na repetição do processo inicia-se pelo nó que foi atingido pela menor impedância. Quando um nó é atingido por dois percursos diferentes adota-se o de menor impedância, eliminando-se o outro, bem como todos aqueles atingidos a partir dele.

O exemplo abaixo elucidará tal algoritmo. Seja a rêsde da Figura 3.1. e os tempos de percurso nas ligações como indicado na tabela:

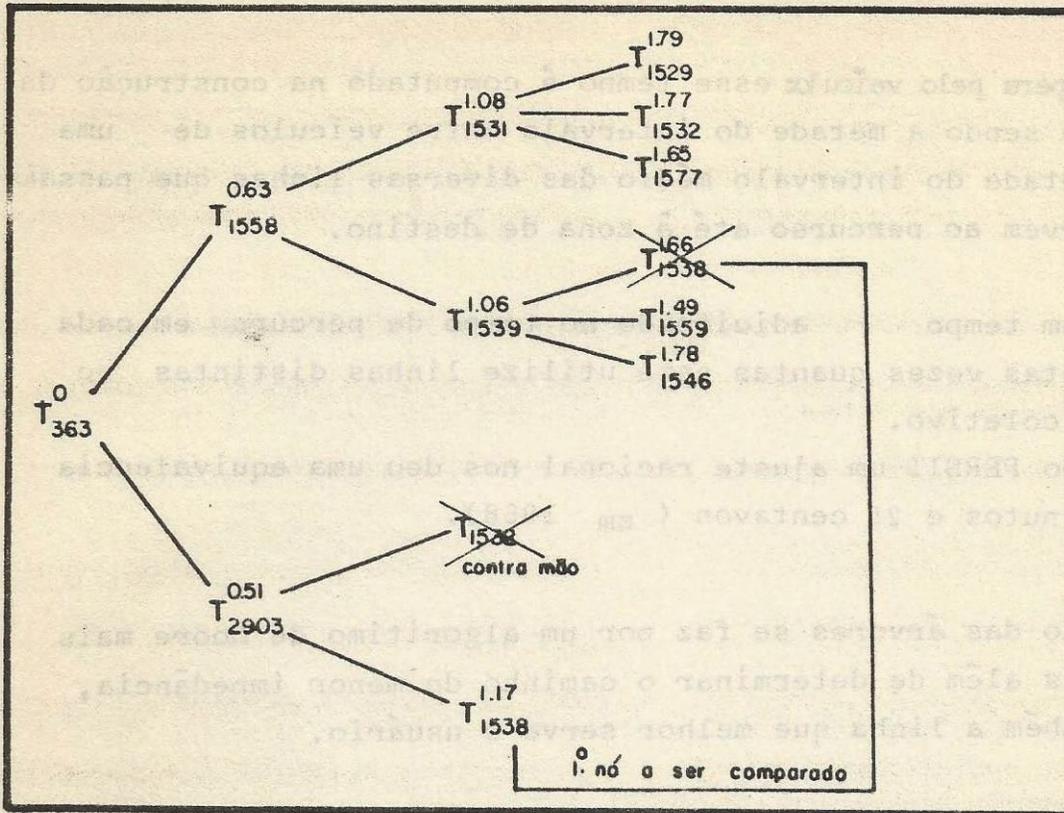
NÓ A	NÓ B	Tempo (min) (Impedância)
363	1558	0,63
363	2903	0,51
1529	1531	0,71
1531	1532	0,69
1531	1557	0,57
1531	1558	0,45
1538	1539	0,60
1538	2903	0,66
1539	1546	0,72
1539	1558	0,43
1539	1559	0,43

PROJETO PERSIT

-

PTR - METRÔ

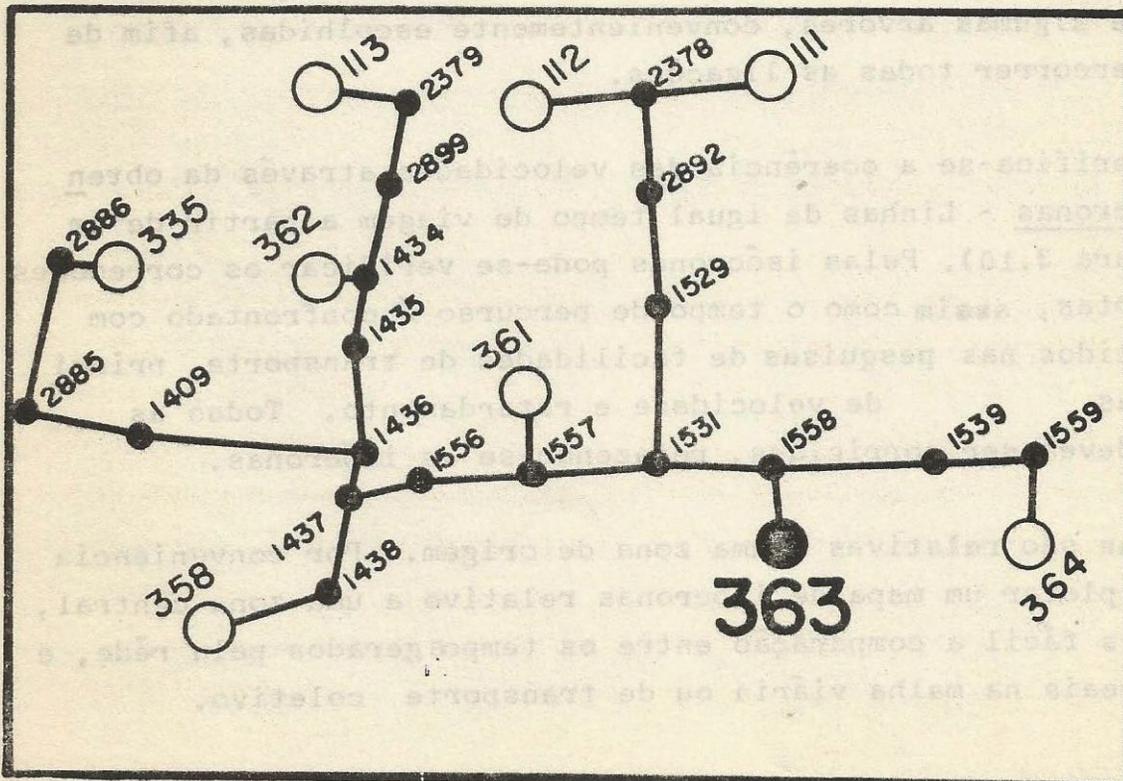
Continuando no traçado do Algoritmo de Moore (Figura 3.8), ao atingir-se cada um dos centróides (índices inferiores) ter-se-ã os percursos de menor impedância (índices superiores), entre o centróide inicial e todos os demais, isto é, estará determinada a árvore do centróide inicial. Repetindo-se o processo para todos os centróides obter-se-ã as árvores para todos os deslocamentos possíveis.



Algoritmo de Moore

FIG.3.8

Um desenho esquemático da árvore resultante pelo algoritmo de Moore acima é mostrado na Figura 3.9, no trecho da correspondente rede.



Árvore de um centróide

FIG.3.9

No caso da rede de transportes coletivos, existem outros parâmetros a serem considerados no cálculo do tempo:

- Tempo de espera pelo veículo: esse tempo é computado na construção da árvore como sendo a metade do intervalo entre veículos de uma linha ou metade do intervalo médio das diversas linhas que passam no nó e servem ao percurso até à zona de destino.

- Tarifa: É um tempo adicionado ao tempo de percurso em cada trajeto tantas vezes quantas este utilize linhas distintas de transporte coletivo.

No Estudo do PERSIT um ajuste racional nos deu uma equivalência entre 20 minutos e 25 centavos (em 1968).

A determinação das árvores se faz por um algoritmo de Moore mais complexo, pois além de determinar o caminho de menor impedância, determina também a linha que melhor serve o usuário.

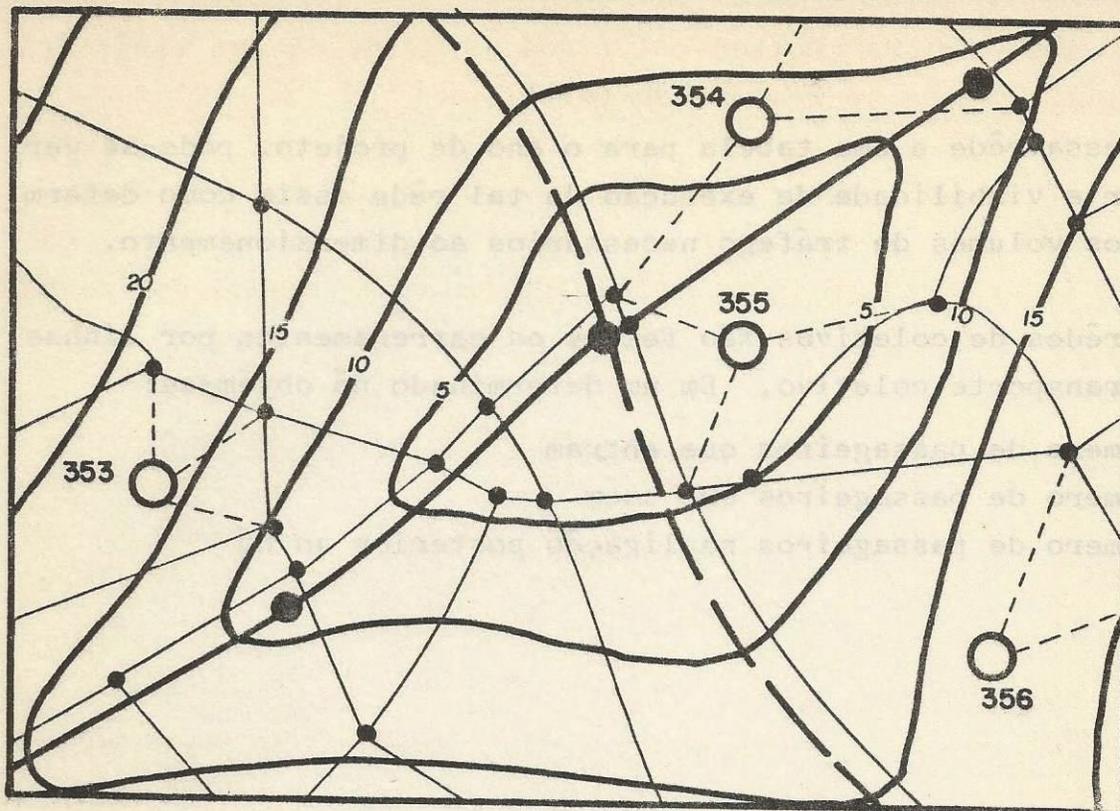
F. CALIBRAÇÃO

Nesta etapa são realizados todos os testes de consistência para verificar se a rede está representando realmente o Sistema de Transporte, seja o viário ou o coletivo.

Assim poder-se-ia verificar se os percursos estão corretos, plotando-se na rede algumas árvores, convenientemente escolhidas, afim de se poder percorrer todas as ligações.

A seguir verifica-se a coerência das velocidades através da obtenção de isócronas - Linhas de igual tempo de viagem a partir de um ponto (Figura 3.10). Pelas isócronas pode-se verificar os corredores de transportes, assim como o tempo de percurso é confrontado com aqueles obtidos nas pesquisas de facilidades de transporte, principalmente nas de velocidade e retardamento. Todas as distorções devem ser corrigidas, refazendo-se as isócronas.

As isócronas são relativas a uma zona de origem. Por conveniência costuma-se plotar um mapa de isócronas relativo a uma zona central, por ser mais fácil a comparação entre os tempos gerados pela rede, e os tempos reais na malha viária ou de transporte coletivo.



Isócronas de um centróide

FIG. 3.10

Uma vez a rede "limpa", sem erros, obtém-se as árvores de todos os centróides. Com o conjunto dessas árvores e a tabela de viagens atuais inicia-se o processo de atribuição que aloca em cada ligação o seu volume de tráfego.

Tal processo é executado da seguinte maneira:

1º) Conhecida a árvore de um dado centróide estão identificados os itinerários dele para cada um dos outros.

2º) Em todas as ligações que compõem cada itinerário, aloca-se o número de viagens obtido na tabela de viagens para esse deslocamento. Proceda-se do mesmo modo para todos os outros itinerários. A seguir repete-se o processo para as demais árvores.

3º) Uma somatória final fornece o volume total em cada ligação. Posteriormente, esse volume é comparado com aqueles obtidos em pesquisas, a fim de ajustar o modelo também neste sentido. No caso de discordância procura-se descobrir as causas corrigindo-as. Tais causas podem ocorrer por erro de velocidade, capacidade ou falta de detalhes da rede.

4º) Neste ponto a rede estará calibrada e portanto, acrescentando-se as modificações sugeridas para um sistema de transportes, obtém-se a rede futura, ou uma rede modificada, visando melhorias no sistema.

59) Com essa rēde e uma tabela para o ano de projeto, pode-se verificar a viabilidade de execuçāo de tal rēde assim como determinar os volumes de tráfego necessārios ao dimensionamento.

69) Nas rēdes de coletivos são feitos os carregamentos por linhas de transporte coletivo. Em um determinado nō obtēm-se:

- número de passageiros que entram
- número de passageiros que saem
- número de passageiros na ligaçāo posterior ao nō

CAPITULO IV

MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS

A. INTRODUÇÃO

A Geração de Viagens é uma das primeiras etapas em Planejamento de Transportes, ocupando uma posição importante no processo, pelo fato de seus resultados servirem de base para as fases a serem desenvolvidas a seguir.

Ela tem por finalidade correlacionar os dados sócio-econômicos (causas), com os dados de viagens (efeitos), determinando quais seriam os fatores que ocasionam uma determinada espécie de viagem.

A Renda Média Familiar de uma zona, por exemplo, deve ser um fator determinante na produção de viagens por taxi, assim como a densidade de empregos deve explicar as viagens atraídas à zona, motivadas pelo trabalho.

Daí a importância de um zoneamento bem elaborado, procurando dividir o aglomerado urbano em setores com características semelhantes, formando cada um, na medida do possível, um todo homogêneo e ao mesmo tempo tipicamente diferentes entre si.

Se o zoneamento for tecnicamente mal feito, não será possível quantificar essas influências por não se ter uma sensível variação de zona para zona do "status" de seus habitantes (Renda Média Familiar, número de carros, etc..), uma vez que os valores por zona estarão mascarando a heterogeneidade interna existente.

Um aspecto importante a ser considerado é a noção de quais zonas da cidade são potencialmente atrativas e quais as produtoras de viagens, porque permite a visualização das grandes tendências de deslocamentos da população.

Um conhecimento da lei do zoneamento, como controle de tendências espontâneas, contribui no sentido de se ter uma idéia de como a cidade virá a se configurar no futuro, através das áreas destinadas a usos do solo pré-determinados (residencial, industrial). A esses estudos chamamos de Previsão Futura da Distribuição Espacial das Atividades.

Uma zona, predominantemente residencial, evidencia o fato de possuir um grande potencial produtor de viagens; já outra com muitas escolas, logicamente seria um polo atrativo de viagens motivadas pelo estudo.

Os habitantes desta última dificilmente sairiam dela para estudar, uma vez que estariam provavelmente estudando em um local próximo, dentro da própria zona.

O raciocínio indica portanto os fatores sócio-econômicos das zonas de origem e de destino como explicativos da efetivação de uma viagem entre elas, a modalidade de transporte usada e o motivo específico.

Um estudo profundo dos modelos, que melhor representam as relações indicadas, deve ser realizado, a fim de não ocorrer o risco de uma sub ou superestimação da demanda de tráfego futura.

B. PESQUISAS GERAIS

Como foi visto no capítulo II, feito o zoneamento, escolhe-se uma amostra significativa, em termos estatísticos para cada zona, onde se processará a pesquisa origem-destino.

1. Distribuição Espacial

Além da pesquisa O-D é necessário um levantamento dos dados sócio-econômicos das zonas, o qual é feito conjuntamente com a pesquisa origem-destino. Anexando um questionário que fornece dados como:

- tamanho médio da família
- número de carros da residência
- renda familiar
- número pessoas com idade superior à 5 anos, etc.

Obtem-se com isso, uma distribuição espacial dos dados sócio-econômicos dentro da área, necessários à elaboração dos modelos de simulação.

2. Evolução Histórica

A complementação dos dados obtidos na pesquisa, bem como sua aferição, é feita através de dados globais como população (censos), número de carros, empregos, matrículas, a serem obtidos em entidades onde sejam disponíveis, em especial:

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- DEESP - Departamento Estadual de Estatística do Estado de São Paulo e órgãos das Prefeituras Municipais.

C. FATORES QUE AFETAM A GERAÇÃO DE VIAGENS

Em posse deste material, faz-se um estudo sobre determinação dos fatores que afetam as viagens para cada motivo. Por exemplo os estudos de tráfego do projeto PERSIT dividem, tanto as produções como as atrações, por motivo, totalizando oito modelos:

- motivo escola
- motivo trabalho
- motivo outros (compras, recreação, etc.)
- taxi (todos os motivos)

Na maioria dos modelos, o número de viagens aparece como função da:

1. Intensidade de uso do solo

É necessário salientar, para melhor compreensão do gráfico adiante (Figura 4.1) que as viagens a pé não estão computados por não interferirem no sistema de transportes em estudo.

Plotando num gráfico o número de viagens x densidade residencial, obteve-se o gráfico da Figura 4.1.

Percebe-se que à medida que a densidade residencial de uma zona cresce, o número de viagens produzidas pela mesma decresce.

Isto porque altas densidades tendem a restringir o uso de carros, obrigando a realização de viagens a pé, as quais não são computadas. E além disso é maior a probabilidade de um "motivo" de viagem ser satisfeito na própria zona (existência de "shopping-center", por exemplo), não sendo necessário que seus habitantes saiam da mesma.

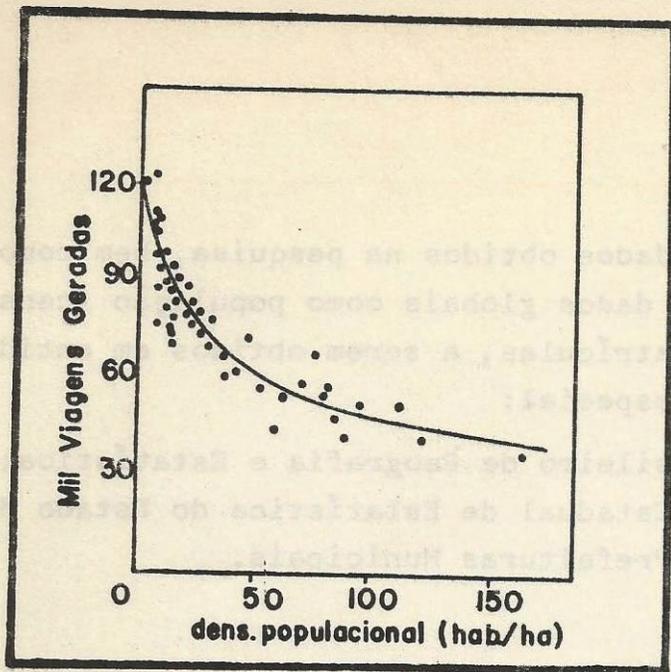


Gráfico de Correlação Fig.4.1

2. Características Sócio-Econômicas

Já foi enfatizada a influência dos fatores sócio-econômicos, mas não custa lembrar que é de se esperar que zonas de maior número de carros devam gerar mais viagens como pode ser observado na Figura 4.2, bem como a correlação entre as viagens atraídas para a escola e a densidade de matrículas.

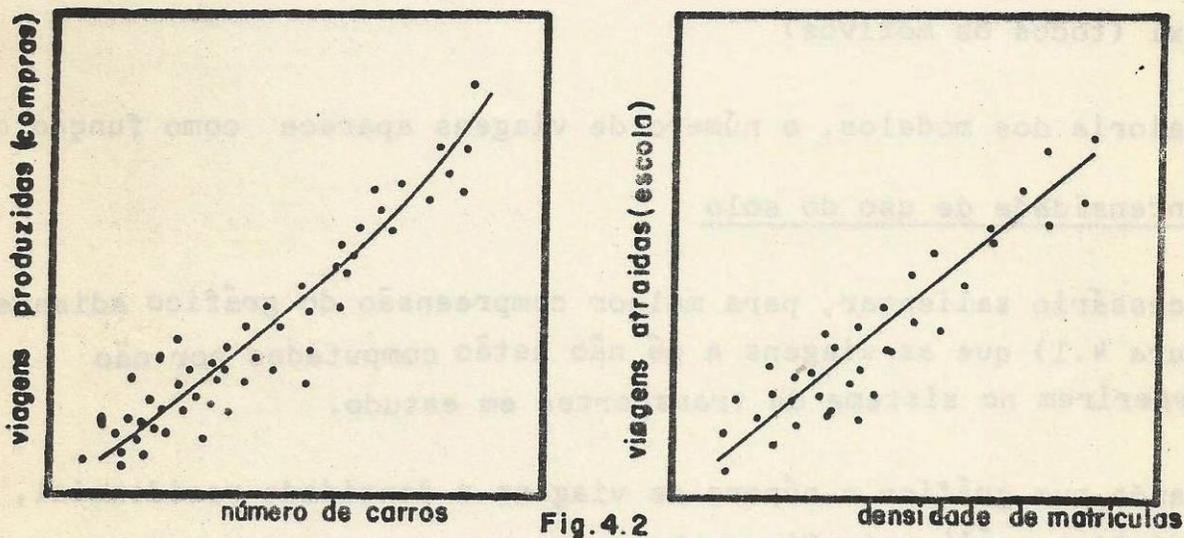


Fig. 4.2

Correlação entre Dados Socio-Econômicos e Viagens

Plotando-se os pontos observados para verificar uma relação hipotética, se ocorrer uma nuvem de pontos esparsa, é provável que a variável considerada não esteja explicando as viagens para tal motivo.

3. Localização

Não é difícil perceber que, à medida que as zonas de tráfego se localizam afastadas do centro urbano (CBD- Central Business District)

a demanda nas vias vai diminuindo sendo mais perceptível numa cidade tipicamente radio-concêntrica (Figura 4.3).

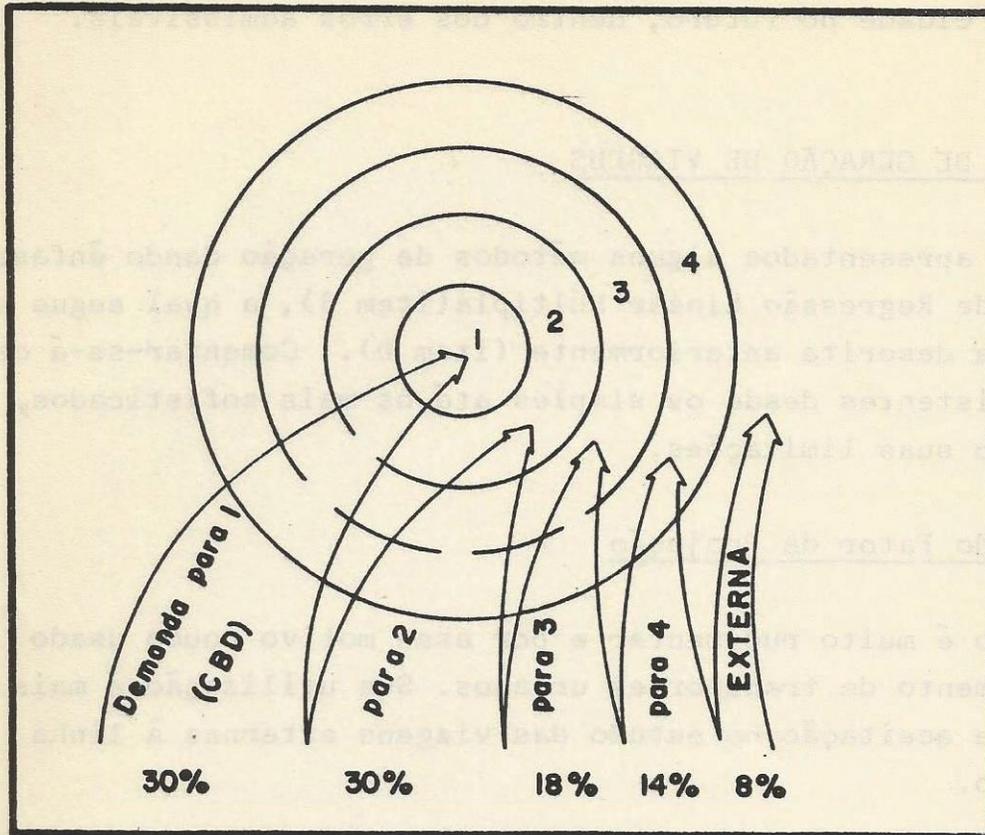


Fig. 4.3

Distribuição Percentual das Viagens Diárias

D. METODOLOGIA

A Metodologia dos estudos de Geração consiste na elaboração de um modelo matemático que represente o sistema de transporte, de modo a refletir de uma forma simples e fiel a realidade estudada.

Estes modelos são obtidos através dos dados levantados na atualidade (ano-base). Em posse disto, deve-se projetar os dados sócio-econômicos para o ano de projeto e através do modelo, suposto válido, determinar o número de viagens produzidas e atraídas no futuro (ano de projeto).

As etapas seguidas para cada modelo consistem em:

1. Determinação dos fatores determinantes no ano-base.
2. Determinação dos modelos aceitáveis.
3. Projeção dos dados sócio-econômicos para o ano de projeto.
4. Aplicação dos modelos escolhidos.
5. Determinação das viagens futuras.

Essa sequência lógica é adotada mundialmente posto que os resultados de aplicações passadas tem mostrado refletir bem o comportamento da cidade no futuro, dentro dos erros admissíveis.

E. MÉTODOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS

Serão aqui apresentados alguns métodos de geração dando ênfase à Técnica de Regressão Linear Múltipla (item 3), a qual segue a metodologia descrita anteriormente (item D). Comentar-se-ão os métodos existentes desde os simples até os mais sofisticados, ressaltando suas limitações.

1. Método do Fator de Projeção

Este método é muito rudimentar e por esse motivo pouco usado em planejamento de transportes urbanos. Sua utilização é mais passível de aceitação no estudo das viagens externas à linha de contorno.

Ele supõe que o número de viagens futuras é igual ao número de viagens atuais multiplicadas por um fator de projeção, sendo que:

$$F_p = \frac{P' \cdot U' \cdot D'}{P \cdot U \cdot D} \quad (\text{por exemplo})$$

Onde: (') = futuro

F_p = fator de projeção

P = população

U = utilização de carros $\left(\frac{\text{viagens por carro}}{\text{número de carros}} \right)$

D = taxa de motorização

2. Método da Média - Uso do Solo

Este método se baseia essencialmente no uso do solo admitindo a hipótese de que o número de viagens produzidas por unidade de área permaneça constante para cada tipo de uso (Tabela 4.1)

Através da pesquisa O-D e de uma planta de distribuição espacial de ocupação do solo, pode-se determinar a média observada.

Uso do Solo	Levantamento de uso do solo atual (área-ha) (1)	Levantamento atual O-D (2) (finais de viagens)	MÉDIA (2) (1)
RESIDENCIAL	2 000	4 000	2
INDUSTRIAL	200	3 000	15
COMERCIAL	50	2 000	40

Tabela de Cálculo das Médias

Tabela 4.1

Esta média é suposta válida para o ano de projeto, para o qual se fez a previsão da futura distribuição espacial do uso, obtendo-se assim a provável demanda futura (Tabela 4.2).

Uso do solo	Previsão de uso do solo (área-ha) (1)	MÉDIA (2)	Previsão de Finais de Viagem (1) x (2)
RESIDENCIAL	4300	2	8 600
INDUSTRIAL	800	15	12 000
COMERCIAL	500	40	20 000

Previsão Futura das Viagens

Tabela 4.2

Este método não é sensível às variações da intensidade de uso, uma vez que apenas se preocupa com as áreas. É lógico que setores com mesma área e mesmo uso, e no entanto com intensidades diferentes, devam evidentemente gerar diferentes números de viagens.

3. Método de Regressão Linear Múltipla

a. Introdução: Este processo é o mais difundido atualmente, e a sua frequente utilização é devida ao seu maior grau de confiabilidade em relação aos métodos anteriores.

Ele se baseia em argumentos estatísticos que permitem simular de maneira bastante satisfatória a realidade.

Antes de sua apresentação serão examinadas certas técnicas e cuidados importantes e anteriores à sua aplicação.

b. Técnica de análise dos dados:

- Divisão dos dados de viagem por motivos - Os estudos de tráfego já efetuados indicam que a realização de uma viagem é melhor explicada diferenciando cada motivo. As viagens atraídas por diferentes

motivações mostram grande correlação com certas variáveis específicas da zona de atração (Tabela 4.3).

ATRAÇÃO de VIAGENS	FATOR DETERMINANTE
motivo TRABALHO	Empregos Comerciais e Industriais
motivo ESCOLA	Matriculas Escolares
motivo OUTROS	Empregos Comerciais

Tabela 4.3

Fatores Determinantes das Atrações

O fato de obter-se correlações mais consistentes justifica esta divisão.

- Classificação Cruzada:- A Classificação cruzada é uma técnica que procura analisar as variações nos índices de viagens, provocadas pelas variações de duas ou mais variáveis sócio-econômicas.

Ela permite a escolha das variáveis mais significativas, bem como a determinação das que não mostraram correlação, sendo portanto eliminadas do modelo (Tabela 4.4).

Supondo que através de manipulação dos dados da pesquisa se obtenha a tabela adiante, verifica-se que o número de pessoas por residência e o número de carros por residência são fatores que realmente explicam a média de viagens de pessoas por residência.

Um grande número de tabelas deste tipo podem ser obtidas através dos dados coletados na pesquisa. Esta análise deve anteceder a definição das variáveis a serem utilizadas em cada um dos modelos.

Este procedimento é importante para a seleção das variáveis, reduzindo o custo que seria gasto no teste dos modelos, uma vez que ela nos fornece os dados de partida mais adequados, otimizando com isso o processo de calibração.

MÉDIA DIARIA DE VIAGENS DE PESSOAS POR RESIDENCIA					
NÚMERO DE PESSOAS POR RESIDENCIA	NÚMERO DE CARROS POR RESIDENCIA				
	0	1	2	≥3	Médias
1	1.03	2.68	4.37	—	1.72
2	1.52	5.13	7.04	2.00(*)	4.38
3	3.08	7.16	9.26	10.47	7.46
4	3.16	7.98	11.56	12.75	9.10
5	3.46	8.54	12.36	17.73	10.16
6-7	7.11	9.82	12.62	16.77(*)	11.00
≥8	7.00 (*)	9.66 (*)	17.29	22.00	12.24
Médias	1.60	6.62	10.53	13.68	6.58

Exemplo de Classificação Cruzada Tabela 4.4

(*) Os valores assinalados não são estatisticamente significativos razão pela qual são discrepantes em relação aos demais dados da tabela.

Nota-se também que a medida que o número de carros por residência cresce, cresce também o número de viagens por residência.

Raciocínio análogo se aplica à outra variável. Na seleção das variáveis determinantes, essa técnica permite uma boa visualização das influências mútuas.

- Escolha das formas

Quando plotados em um gráfico as viagens e os dados sócio-econômicos nem sempre a nuvem de pontos evidencia uma forma linear.

Para estes casos usa-se uma transformação das variáveis que permite "linearizar" a correlação por ser mais simples a resolução do sistema de equações lineares de regressão. (Figura 4.4)

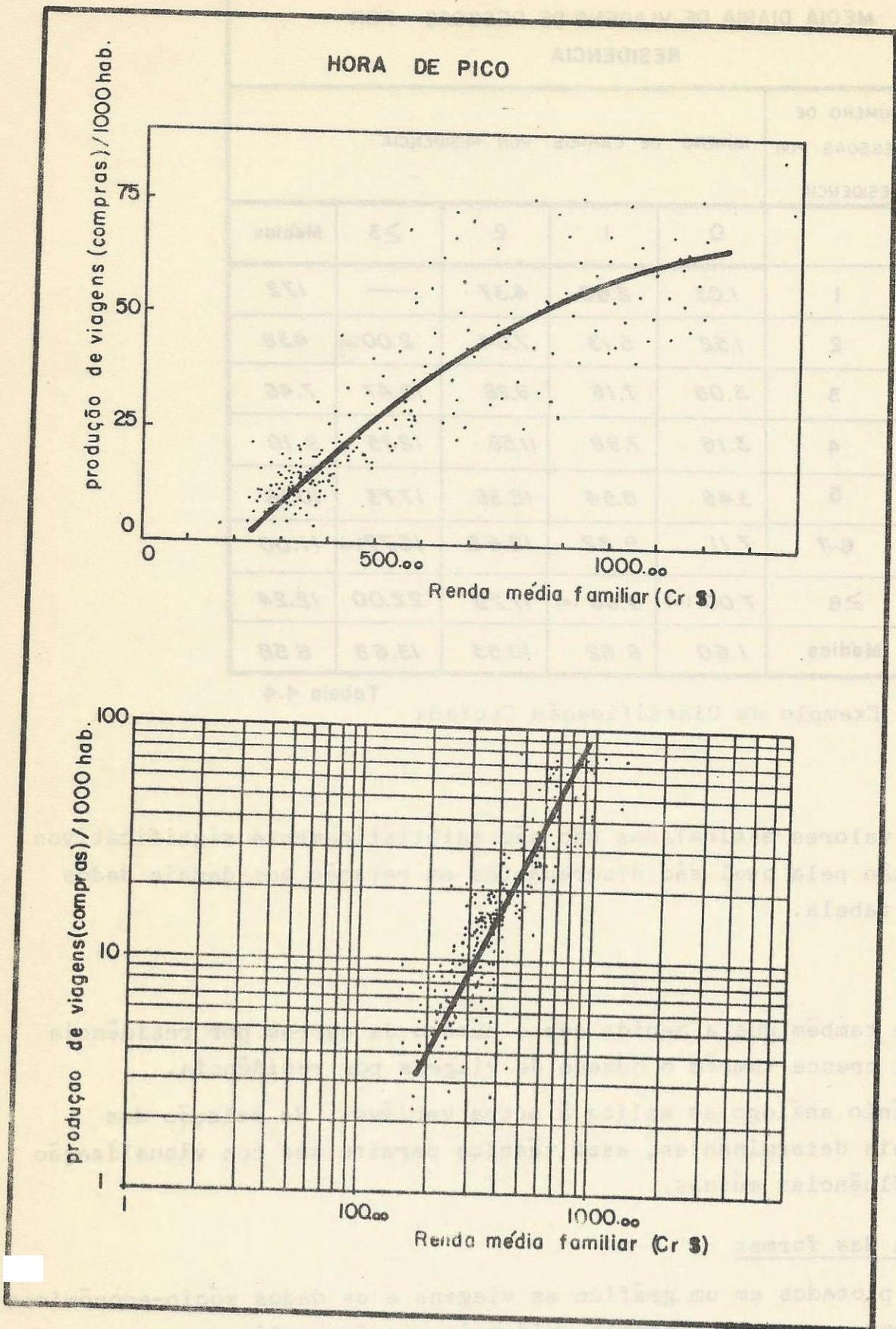


Fig. 4.4

Técnica de Linearização

c. Determinação dos Modelos Matemáticos

Obtidas as variáveis determinantes para cada motivo, o passo seguinte será a resolução de equações de regressão linear. Supõe-se que estas técnicas sejam conhecidas, apresentando-se aqui uma recapitulação, sem intenção de provar a validade das equações de resolução.

Sejam:

Y_i = número de viagens produzidas (ou atraídas) na zona i.

X_{1i} , X_{2i} , X_{3i} , X_{vi}

v = variáveis escolhidas como pertinentes.

A meta consiste em determinar um modelo matemático que simule de maneira aceitável as interrelações existentes; em outras palavras, calcular os coeficientes da seguinte equação: =

$$Y_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_v X_{vi}$$

O método procura determinar os coeficientes (a, b_1 , b_v) de maneira que a função:

$$Q = \sum_{i=1}^n (Y_{ri} - Y_{ei})^2$$

seja minimizada, onde:

Y_{ri} = valores observados (real)

Y_{ei} = valores estimados, através do uso do modelo

n = o número total de zonas i, à serem simuladas pelo modelo.

A função Q portanto, mede os erros que estamos cometendo quando aceitamos o modelo obtido.

A solução do problema se obtém através do sistema de equações mostrado a seguir:

$$\bar{Y} = A + b_1 \bar{X}_1 + b_2 \bar{X}_2 + \dots + b_v \bar{X}_v$$

$$x_{1i} \cdot y_i = b_1 \sum x_{1i}^2 + b_2 \sum x_{1i} \cdot x_{2i} + \dots + b_v \sum x_{1i} \cdot x_{vi}$$

$$x_{2i} \cdot y_i = b_1 \sum x_{2i} \cdot x_{1i} + b_2 \sum x_{2i}^2 + \dots + b_v \sum x_{2i} \cdot x_{vi}$$

$$x_{3i} \cdot y_i = b_1 \sum x_{3i} \cdot x_{1i} + b_2 \sum x_{3i} \cdot x_{2i} + \dots + b_v \sum x_{3i} \cdot x_{vi}$$

.....

$$x_{vi} \cdot y_i = b_1 \sum x_{vi} \cdot x_{1i} + b_2 \sum x_{vi} \cdot x_{2i} + \dots + b_v \sum x_{vi}^2$$

Onde:

- \bar{Y} = média dos Y_i
- \bar{X}_k = média da variável k do modelo
- x_{ki} = $X_{ki} - \bar{X}_k$ = desvio da variável k em relação à média.
- y_i = $Y_i - \bar{Y}$ = desvios dos Y_i em relação à média.
- k = índice representativo das variáveis no modelo.
- i = índice representativo das zonas simuladas pelo modelo.

A solução destas equações fornecerão os melhores valores de b_1, b_2, \dots, b_n , sendo chamados de coeficientes parciais da equação de regressão. O coeficiente é calculado com base na propriedade da reta de regressão passar pelo ponto representativo das médias da variável dependente e independentes.

d. Cuidados Necessários

A seguir comenta-se os cuidados que devem ser tomados, a fim de eliminar a possibilidade de um eventual engano na elaboração dos modelos.

- Colinearidade entre variáveis independentes.

Não se deve usar numa mesma equação, duas (ou mais) variáveis explicativas que são nitidamente uma, parcela da outra, ou seja, variáveis altamente correlacionadas.

A maneira de detetar essa colinearidade, pode ser visualizada através da representação em um gráfico, não devendo as mesmas apresentar forte correlação como acontece com as variáveis X_j e X_i da figura 4.5.

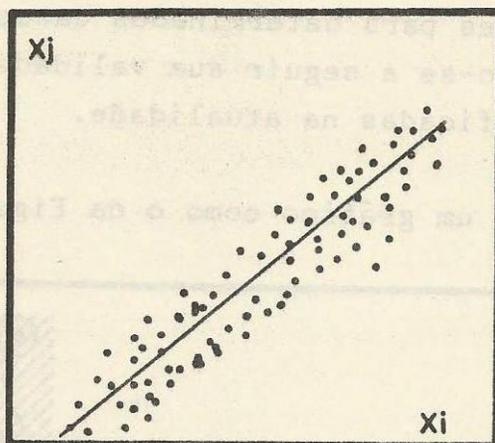


Fig.4.5

Exemplo de Colinearidade entre Variáveis

Suponhamos um modelo matemático.

$$V_{pt} = 51,27 + 0,83 (\text{população}) - 0,56 (\text{mão de obra disponível}). (*)$$

Onde:

V_{pt} = viagens produzidas motivadas pelo trabalho

(*) = número de pessoas com idade superior à 14 anos.

Este modelo pode até aderir bem aos valores observados, mas intuitivamente é de se esperar uma correlação direta entre o número de viagens produzidas motivo trabalho e a mão de obra disponível. No entanto o modelo mostra uma correlação inversa, das viagens com a população ativa, o que não é aceitável.

O mesmo acontece no caso das variáveis: Renda Média Familiar e Propriedade de carros.

Imaginando um caso hipotético em que se usasse no mesmo modelo duas variáveis, idênticas, supondo que fossem diferen

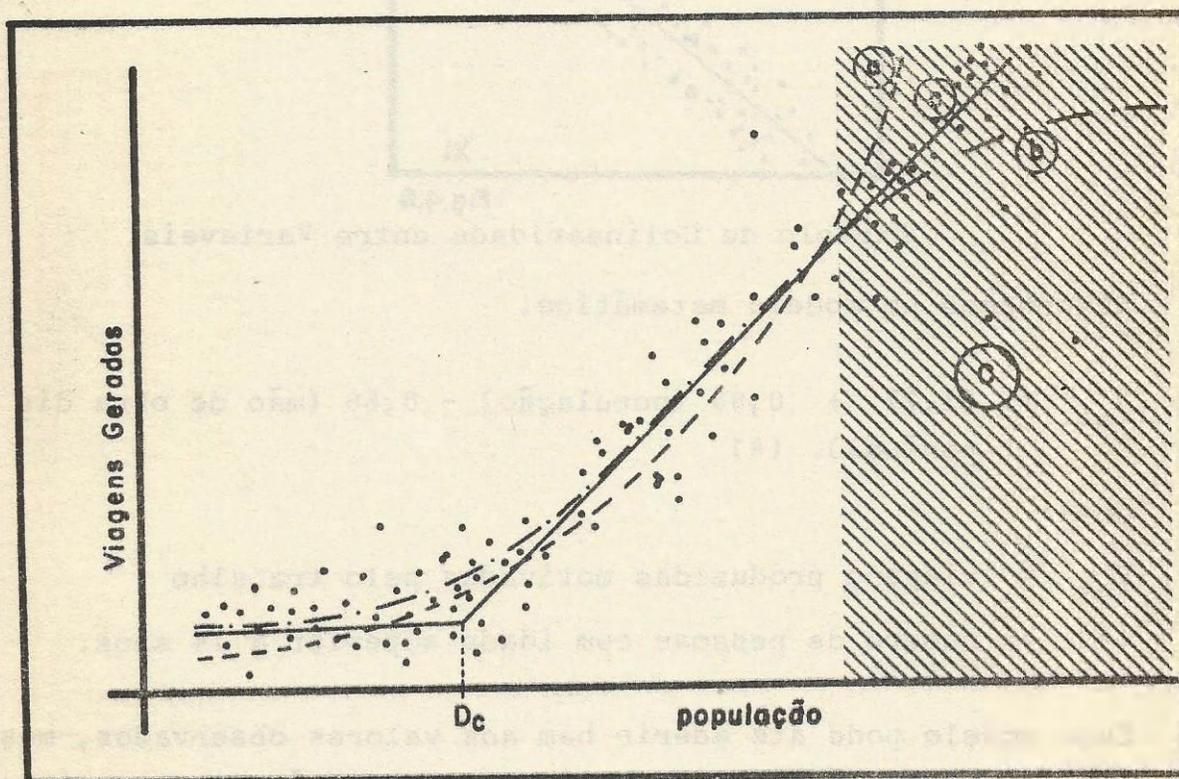
tes, o sistema de equações se tornaria indeterminado. De certo modo é o que ocorre quando as variáveis explicativas escolhidas são redundantes.

- Faixa de validade do modelo.

A análise das limitações dos modelos, é outro problema a ser resolvido.

Um estudo simples pode ser feito a fim de se ajustar um modelo que explique, pela sua forma, mais adequadamente a realidade. As soluções para determinados casos, podem ser formuladas, analisando-se a seguir sua validade de acordo com as tendências verificadas na atualidade.

Seja, por exemplo, um gráfico como o da Figura 4.6.



Exemplo de Faixa de Validade

Fig.4.6

Tres soluções cabíveis para o caso seriam.

Primeira - Linearizar a equação através de uma equação exponencial (curva a).

Dentro deste método, corre-se o risco de superestimar a demanda para as zonas onde ocorrem altas densidades populacionais (região C).

Segunda - Adaptar uma curva logística (curva b).

No entanto, se uma política na qual um planejamento adequado oferece um sistema de transportes que acompanha rigorosamente as necessidades da demanda, não teria sentido uma saturação do número de viagens, característica básica no modelo logístico.

Terceira - Usar uma faixa de validade no modelo (curva c). O modelo teria forma linear, válido apenas para densidades superiores a D_c . Poder-se-ia então determinar outro modelo para as baixas densidades.

- Estratificação de modelos.

Em certos modelos, se faz necessário uma estratificação, isto é, uma subdivisão das zonas em classes, para melhor calibração. Na Figura 4.7. os pontos estão estratificados pelo nível de renda da população nas zonas de residência.

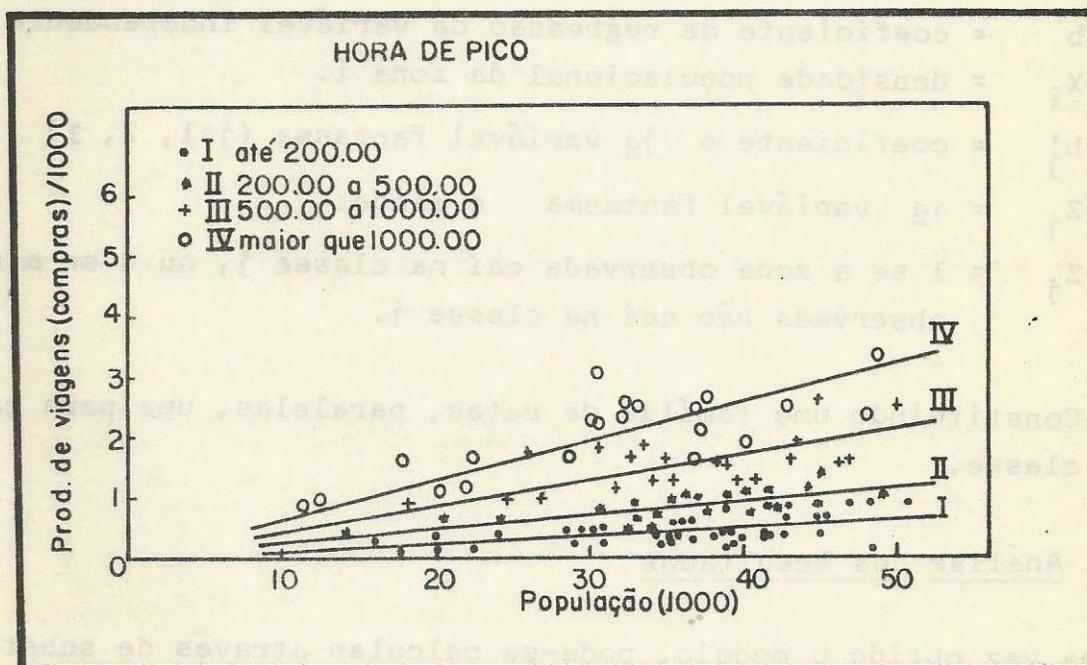


Fig. 4.7

Exemplo de Estratificação de Modelos

No conjunto, parece não existir forte correlação entre as variáveis; no entanto analisando as zonas, percebe-se que para contingentes semelhantes de população, a variação é motivada pelas diferenças na renda média familiar.

A solução seria inserir no modelo, também, a variável renda média familiar, ou então dividir as zonas em classes de renda e determinar um modelo para cada classe.

Quando a diferença entre os grupos de pontos é devida a características peculiares de um conjunto de zonas, utiliza-se uma variável fictícia para representar esta diferenciação. Neste caso a variável fictícia ("dummy") é introduzida de modo a tornar os grupos de pontos num só conjunto a ser ajustado pela regressão, o que equivale a eliminar as particularidades de cada grupo.

O modelo teria a seguinte forma quando as nuvens de pontos de cada grupo apresentam a mesma inclinação.

$$Y_{ei} = a + b(X_i) + b'_1.Z_1 + b'_2.Z_2 + b'_3.Z_3$$

Onde:

Y_{ei} = viagens estimadas para a zona i.

a = constante de regressão

b = coeficiente de regressão da variável independente.

X_i = densidade populacional da zona i.

b'_j = coeficiente da variável fantasma ($j=1, 2, 3$)

Z_j = j ª variável fantasma e ainda:

Z_j = 1 se a zona observada cai na classe j, ou 0 se a zona observada não cai na classe j.

Constituindo uma família de retas, paralelas, uma para cada classe.

e. Análise dos Resultados

Uma vez obtido o modelo, pode-se calcular através de substituição das variáveis independentes o número de viagens estimadas, para o ano-base.

Um teste pode ser feito plotando em um gráfico as viagens reais e as estimadas para cada zona (Figura 4.8).

Quanto maior a proximidade dos pontos da reta de 45°, melhor será o modelo, uma vez que ela representa o conjunto de pontos onde os valores estimados são iguais aos reais.

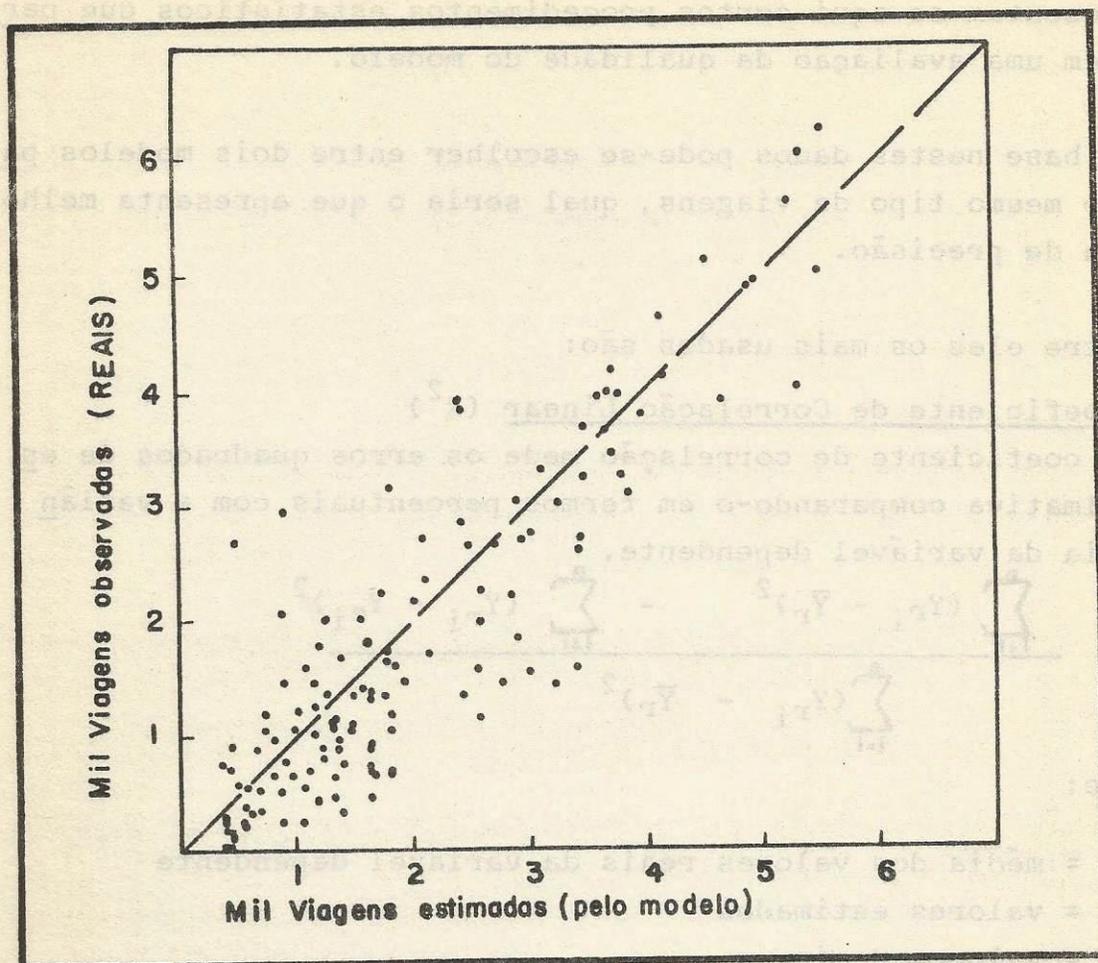


Fig. 4.8 .

Comparação Entre Viagens Estimadas e Reais

Este processo é utilizado frequentemente pelos planejadores pelo fato de se obter uma boa visualização da qualidade do modelo. Seria portanto uma espécie de teste que visa mostrar se a simulação obtida pelo modelo reflete de maneira razoável a realidade.

Até esta etapa do planejamento, ainda estamos calibrando os modelos representativos do ano-base. Outros testes quantitativos são efetuados numa etapa posterior a fim de verificar a evolução dos índices de viagens previstos para o ano-meta e analisá-los através de comparação com os obtidos em outros estudos similares.

f. Avaliação Estatística

Apresentam-se aqui certos procedimentos estatísticos que permitem uma avaliação da qualidade do modelo.

Com base nestes dados pode-se escolher entre dois modelos para o mesmo tipo de viagens, qual seria o que apresenta melhor grau de precisão.

Dentre eles os mais usados são:

- Coefficiente de Correlação Linear (R^2)

O coeficiente de correlação mede os erros quadrados de estimativa comparando-o em termos percentuais com a variância da variável dependente.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ri} - \bar{Y}_r)^2 - \sum_{i=1}^n (Y_{ri} - Y_{ei})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{ri} - \bar{Y}_r)^2}$$

Onde:

\bar{Y}_r = média dos valores reais da variável dependente

Y_{ei} = valores estimados

Y_{ri} = valores reais

Num modelo perfeito, onde a curva ajustada passe rigorosamente por todos os pontos a função

$$Q = \sum_{i=1}^n (Y_{ri} - Y_{ei})^2$$

seria igual a zero, uma vez que os valores estimados e os reais seriam iguais para todas as zonas. O coeficiente de correlação para o caso seria igual a 1.

Para um modelo real é evidente que tal não ocorre, no entanto quanto mais próximo o valor de R^2 está da unidade, (Figura 4.9) melhor simulação foi obtida pelo modelo ajustado.

O coeficiente de correlação é um dado estatístico importante para a avaliação, uma vez que mede-se realmente as viagens são explicadas pelas variáveis utilizadas no modelo.

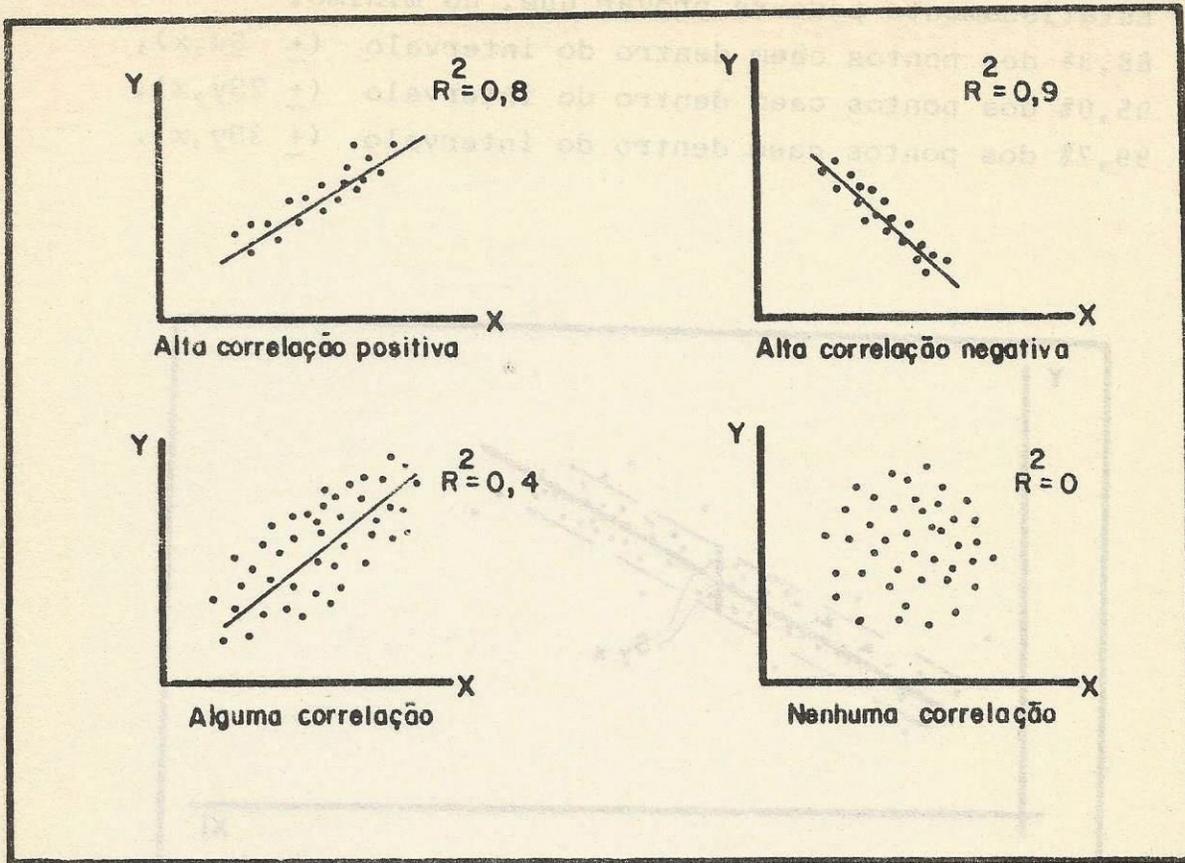


Fig. 4.9

Graus de Correlação

- Erro padrão de Estimativa ($S_{y,x}$)

Outro fator importante na avaliação da equação é uma medida da dispersão entre os valores estimados e reais, através do erro padrão de estimativa dado por:

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ri} - Y_{ei})^2}{n - (v + 1)}}$$

Onde:

- $S_{y,x}$ = erro padrão de estimativa
- Y_{ri} = valor real da variável dependente para a zona i
- Y_{ei} = valor estimado, para a zona i
- n = número total de zonas
- v = número de variáveis independentes do modelo

A Figura 4.10 explica o conceito exposto.

Estatisticamente pode-se provar que, no mínimo;

68,3% dos pontos caem dentro do intervalo $(\pm S_{y,x})$,

95,0% dos pontos caem dentro do intervalo $(\pm 2S_{y,x})$,

99,7% dos pontos caem dentro do intervalo $(\pm 3S_{y,x})$.

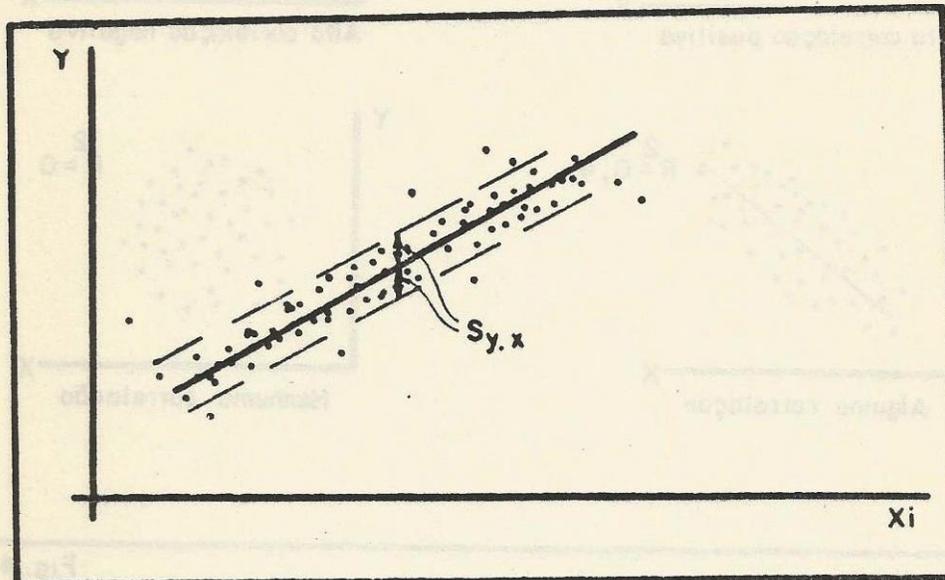


Fig. 4.10

Significado Físico do Erro Padrão

O dado estatístico usado para melhor visualização é a porcentagem do desvio padrão em relação à média. Os menores valores indicam a melhor aderência dos pontos a reta de ajuste.

$$p = \frac{S_{y,x}}{\bar{Y}} \times 100\%$$

- Comentários

O processo se aplica também para o caso da determinação das variáveis que possam ser colineares.

É feito o cálculo do coeficiente de correlação entre cada variável independente e todas as outras, não usando para o mesmo modelo as variáveis que apresentarem um alto valor de R^2 .

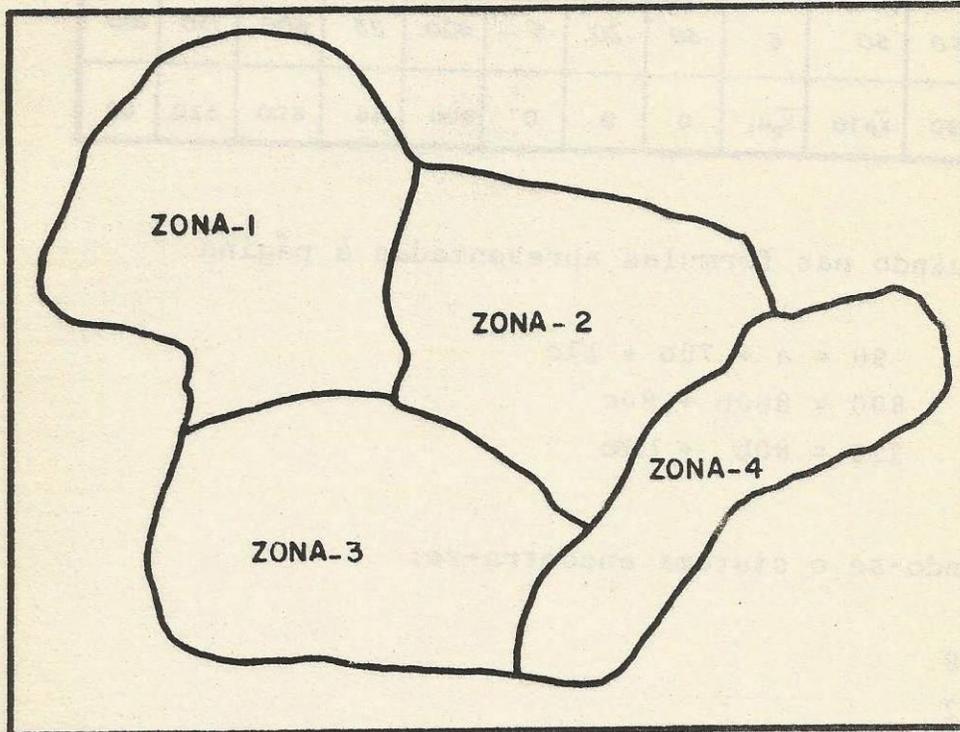
Além dos testes comentados, tem-se também o teste de Student e outros desenvolvidos pela teoria estatística.

g. Exemplo

Num planejamento de r ede viária, foram feitos estudos de uso do solo, levantamentos sócio-econômicos, etc.

O zoneamento foi feito com base na renda média onde se procurou definir zonas o mais uniformes possíveis.

Tal zoneamento está indicado abaixo:



A tabela dos dados sócio-econômicos é dada a seguir, e as variáveis escolhidas mostraram ser significativas para o caso.

Fazer a curva de regressão para este caso e provar, por meio de testes estatísticos, que a curva adotada tem uma precisão tolerável.

.. Dados:

Macro Zonas	Numero de viagens (Y)	Numero de residencias (X ₁)	Numero de carros (X ₂)
1	110	70	20
2	100	90	10
3	90	70	8
4	60	50	6

• Cálculos:

ZONAS	Y	X ₁	X ₂	y	x ₁	x ₂	x ₁ ²	x ₂ ²	x ₁ y	x ₂ y	x ₁ x ₂
1	110	70	20	20	0	9	0	81	0	180	0
2	100	90	10	10	20	-1	400	1	200	-10	-20
3	90	70	8	0	0	-3	0	9	0	0	0
4	60	50	6	-30	-20	-5	400	25	600	150	100
Σ	$\bar{Y}=90$	$\bar{X}_1=70$	$\bar{X}_2=11$	0	0	0	800	116	800	320	80

Substituindo nas fórmulas apresentadas à página

Temos:

$$90 = a + 70b + 11c$$

$$800 = 800b + 80c$$

$$320 = 80b + 116c$$

Resolvendo-se o sistema encontra-se:

$$a = 11$$

$$b = 0,78$$

$$c = 2,22$$

Portanto a nossa equação fica:

$$Y_{ei} = 11 + 0,78X_{1i} + 2,22X_{2i}$$

• Análise do Resultado:

ZONAS	X ₁	0.78X ₁	X ₂	2.22X ₂	Yestimado	Yreal	Y _e -Y _r
1	70	55	20	45	110	110	0
2	90	70	10	22	103	100	3
3	70	55	8	18	84	90	6
4	50	39	6	13	63	60	3

1) Cálculo de R^2 :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ri} - \bar{Y})^2 - \sum_{i=1}^n (Y_{ri} - Y_{ei})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{ri} - \bar{Y})^2}$$

ZONAS	Y_r	Y_e	\bar{Y}	$(Y_r - \bar{Y})$	$(Y_r - \bar{Y})^2$	$(Y_r - Y_e)$	$(Y_r - Y_e)^2$
1	110	110	90	20	400	0	0
2	100	103	90	10	100	-3	9
3	90	84	90	0	0	6	36
4	60	63	90	-30	900	-3	9
Σ	—	—	—	0	1400	0	56

$$R^2 = \frac{1.400 - 56}{1.400} = 0,96 \quad \dots \quad R^2 = 0,96$$

2) Cálculo do erro padrão de estimativa

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ri} - Y_{ei})^2}{n - (v + 1)}}$$

Onde:

$$n = 4$$

$$v = 2$$

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{56}{1}} = 7,48$$

Portanto, 68,3% dos valores estão contidos no intervalo (+ 7,48)

Analisando os resultados obtidos, nota-se que:

1. O coeficiente de correlação múltipla ($R^2 = 0,96$) está próximo do valor ideal (1,00) indicando uma boa correlação.
2. O desvio padrão de estimativa ($S_{y,x} = 7,48$) apresenta um valor que, porcentualmente, é pequeno em relação aos dados de campo, indicando portanto pequena interferência de outros fatores que não os considerados.

Estes testes nos permitem concluir que a equação de regressão ajustada representa bem as condições atuais.

Segundo a hipótese feita de que ela permanecerá válida no futuro, com os valores projetados para as variáveis independentes, pode-se determinar o número provável de viagens geradas por cada zona, no ano de projeto.

F. PROJEÇÕES DE VARIÁVEIS SÓCIO-ECONOMICAS.

Os modelos de tráfego urbano utilizam como entrada na representação de uma situação futura, variáveis como população, emprego, renda e veículos em áreas geradoras de tráfego.

Devem ser conhecidas portanto para um ano-meta o nível global destas variáveis na área de estudo e sua distribuição espacial.

Em princípio estes dados seriam obtidos também por simulação em modelos representativos da atividade urbana e da distribuição espacial. Alguns modelos desta natureza tem sido desenvolvidos recentemente, mas o estágio de aperfeiçoamento nesta área está atrasado em relação ao aprimoramento conseguido nos modelos de tráfego.

Por este motivo as projeções sócio-econômicas têm sido feitas em um bom número de aplicações práticas, como projeções globais isoladas de cada uma das variáveis, para posterior distribuição espacial por critérios empíricos.

Estes procedimentos baseiam-se em avaliações de tendências econômicas e urbanísticas sendo os resultados finais comparados para correção de incompatibilidades.

A garantia de coerência do conjunto dependendo de uma infinidade de cálculos, torna-se cada vez mais precária à medida que se tratam de áreas urbanas mais complexas.

Como a evolução de grandezas agregadas apresentam maior previsibilidade de comportamento, as projeções globais são tomadas como total de controle para correção das projeções parciais.

As projeções parciais são basicamente extrapolação de tendência observada ou hipóteses de evolução considerando uma intervenção para alteração de tendências indesejáveis.

Dois procedimentos são corriqueiros nestes casos: a utilização de curvas representando uma progressão geométrica e de curvas amortecidas do tipo logístico.

Tais métodos são usados com muita frequência, (até mesmo quando não são os mais adequados) e por isto são aqui apresentados.

Em ambos os casos, seu emprego significa aceitar a hipótese subjacente de que o comportamento da variável explicada possa ser assemelhado às características das curvas mencionadas.

1. Projeção Geométrica

Para se verificar se uma série temporal pode ser assemelhada a uma progressão geométrica, o procedimento mais rápido é plotar em papel mono-logaritmo as observações disponíveis. Estando os pontos sensivelmente alinhados, pode-se supor que se trata de uma série geométrica.

A projeção para épocas futuras significa que, por hipótese, a tendência observada se manterá nos períodos subsequentes.

Evidentemente quanto mais longo for o período de projeção mais precárias serão as garantias de validade das hipóteses em que se baseiam.

Aceitando-se estas limitações deve-se calcular então a taxa geométrica por unidade de tempo a ser considerada. Escolhido dois valores conhecidos da série que no gráfico estejam mais alinhados e correspondam a observações mais recentes porém

razoavelmente espaçadas entre si, calcula-se a razão da progressão geométrica. A taxa geométrica corresponde à razão, menos 1. Por exemplo, seja P_0 o primeiro ponto considerado e P_t o segundo ponto, situado t unidades de tempo adiante, a razão $(1 + a)$ é obtida por:

$$(1 + a) = \left(\frac{P_t}{P_0} \right)^{\frac{1}{t}}$$

Calculada a razão $(1 + a)$ obtem-se a taxa. Existem tabelas que fornecem diretamente a taxa geométrica (a) , conhecido o período t e o índice P_t/P_0 , motivo pelo qual raramente se realizam estes cálculos.

Conhecida a taxa, tomando-se como P_1 , para a projeção, o último valor observado da série, os valores futuros são determinados por:

$$P_t = P_0 (1 + a)^t$$

Do exposto parecerá supérfluo calcular a taxa geométrica (a) , trabalhando-se diretamente com a razão $(1 + a)$. E de fato é o que ocorre, quando se realizam os cálculos. A taxa geométrica referindo-se a acréscimos percentuais é mais usada quando se descreve a evolução na linguagem corrente por ter significado mais evidente.

Quando dizemos que uma população cresce a 3% ao ano segundo uma progressão geométrica, a razão é de 1,03 e nos cálculos é este valor que multiplicado pela grandeza observada em um ano, fornece o tamanho da população no ano seguinte. E para os demais anos basta multiplicar sucessivamente a mesma razão, operação bastante simples quando executada em máquinas de calcular onde se pode fixar um fator. A alternativa de somar a cada ano o acréscimo percentual para obtenção do ano seguinte implica em manipulações bem menos práticas da máquina.

Uma das propriedades das progressões geométricas permite interpolações bastante práticas do valor intermediário da série, quando o número de termos é impar.

Se por exemplo conhecemos a população de uma área em 1960 (P_{60})

e a população desta mesma área em 1970 (P_{70}) e sua evolução pôde ser assemelhada a um processo geométrico, a população em 1965 pode ser obtida por:

$$P_{65} = \sqrt{P_{60} \times P_{70}}$$

Este procedimento de cálculo não apresenta nenhuma novidade do ponto de vista conceitual, mas é lembrado aqui porque evita a acumulação de erros nos produtos sucessivos de uma razão com valores aproximados. Em diversos casos particulares, artifícios semelhantes podem ser encontrados de modo a evitar estes erros. Nos demais casos deve-se procurar corrigi-los.

É prática corrente arredondar nas tabelas valores projetados para indicar, quando publicados, que são aproximados e dependem da validade do ajuste adotado. Entretanto, quando utilizados como elementos de novos cálculos devem ser empregados os valores antes do arredondamento.

2. Projeção Logística

A curva logística representa um crescimento que se auto-limita por esgotar o recurso em que se baseia sendo o aumento em cada unidade de tempo proporcional a magnitude já atingida e a diferença entre este valor e o limite de saturação a ser alcançado.

A expressão matemática desta formulação é dada pela fórmula:

$$\frac{dy}{dt} = ay (K - y)$$

Onde: K = nível de saturação

a = fator de proporcionalidade

E a solução desta equação diferencial nos dá como valor de y num momento t :

$$y = \frac{K}{1 + Ce^{at}}$$

Onde C é uma constante de integração e

como a forma da curva depende de tres parâmetros, a sua completa individualização necessita o conhecimento de no mínimo tres valores da variável, para montagem de um sistema de tres equações a tres incógnitas. Quando os pontos conhecidos (y_1 e y_2 e y_3) são equiespaçados, a solução do sistema fica bastante simplificada podendo os parâmetros serem calculados pelas fórmulas:

$$K = \frac{y_2^2 (y_3 + y_1) - 2y_1y_2y_3}{y_2^2 - y_1y_3}$$

Desde que $y_2^2 > y_1y_3$

$$c = \frac{K - y_1}{y_1}$$

$$b = \frac{1}{t} \cdot \lg_e \left[\frac{(K - y_1) \cdot y_2}{(K - y_2) \cdot y_1} \right]$$

Onde t é o período entre y_1 e y_2 ou y_2 e y_3

É claro que se o limite de saturação K é conhecido, a curva pode ser ajustada por apenas dois pontos, desde que admitida como hipótese ser a evolução da variável estudada, assemelhada a uma logística.

Isto pode ser examinado graficamente quando se conhece K e alguns pontos da série, plotando em um papel mono-logaritmo os valores $\frac{K}{y_t} - 1$ correspondentes a diferentes valores de t .

Estes valores estarão sensivelmente alinhados se a série puder ser assemelhada a uma logística.

Outras propriedades da curva logística que podem ser demonstradas são:

A maior velocidade de crescimento ocorre no ponto de inflexão, quando $y = K/2$ sendo $\frac{dy}{dt} = \frac{bK}{4}$.

As taxas de crescimento relativo são decrescentes e menores que b.

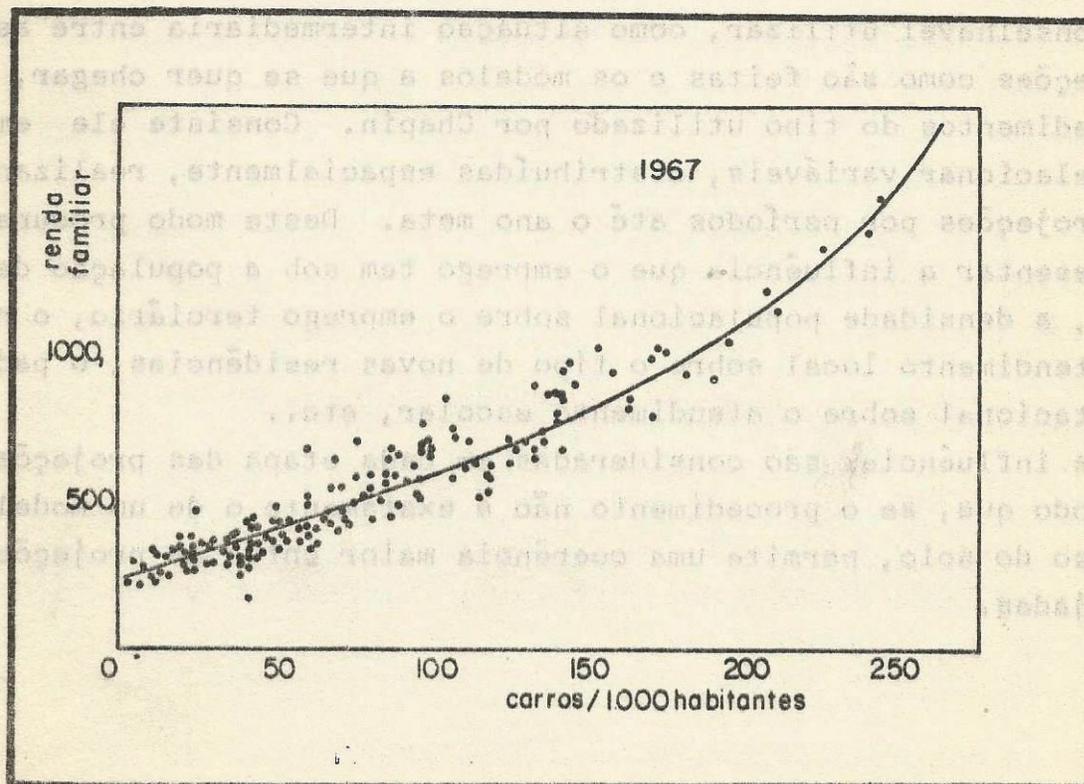
$$\frac{dy}{ydt} < b$$

3. Outros Procedimentos

Os procedimentos apresentados são métodos mecânicos bastante rudimentares que se baseiam em extrapolação de tendências sob as hipóteses:

- a. Que as curvas representem satisfatoriamente o fenômeno estudado.
- b. Que a tendência observada mantenha-se no futuro.
- c. Apresentam como principal limitação o fato de isolarem a evolução da variável estudada, não considerando a evolução de outras possíveis intervenientes.

Outros procedimentos ainda sujeitos a estas limitações, porém com um instrumental mais desenvolvidos são estudados num capítulo da Estatística Descritiva denominado Séries Cronológicas ou Séries Temporais.



Determinação Indireta da Renda Média Familiar.

Fig.4.11

Pode ser mencionado também o artifício de se correlacionar a variável que se deseja extrapolar com variáveis de mais fácil projeção, para estimativas indiretas de valores futuros. (Fig. 4.11)

Um exemplo disto são os modelos de geração de viagens apresentados em outra parte deste volume.

Finalmente, a Econometria tem desenvolvido modelos de sequencia onde diversas variáveis se relacionam entre si por coeficientes sendo então calculadas por períodos, mediante acréscimos finitos nas variáveis exógenas ao modelo, de modo a se obter uma evolução de conjunto mais coerente.

Além deste estágio estão os modelos de simulação mencionados como mais adequados porém ainda pouco desenvolvidos, em que além das variáveis, os parâmetros sofrem alterações ao longo do tempo.

Estas menções visam assinalar tão somente os desenvolvimentos possíveis e reafirmar mais uma vez apesar da sua utilidade, a precaridade dos dois métodos apresentados.

No estágio atual de informações e familiaridade com as técnicas é aconselhável utilizar, como situação intermediária entre as projeções como são feitas e os modelos a que se quer chegar, procedimentos do tipo utilizado por Chapin. Consiste ele em correlacionar variáveis, distribuídas espacialmente, realizando as projeções por períodos até o ano meta. Deste modo procura-se representar a influência que o emprego tem sob a população de uma área, a densidade populacional sobre o emprego terciário, o nível de atendimento local sobre o tipo de novas residências, o padrão habitacional sobre o atendimento escolar, etc..

Estas influências são consideradas em cada etapa das projeções de modo que, se o procedimento não é exatamente o de um modelo de uso do solo, permite uma coerência maior entre as projeções desejadas.

CAPITULO V

MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS

A. INTRODUÇÃO

No planejamento do Sistema de Transportes de uma área, onde um grande número de conexões entre as diferentes zonas da mesma são possíveis, precisa-se conhecer a demanda de viagens entre elas, isto é, a frequência de viagens entre as zonas.

A análise da Distribuição de Viagens é o processo pelo qual as viagens originadas e atraídas em uma zona são distribuídas para as demais zonas da área de estudo.

Os métodos para a análise da distribuição de viagens estão em constante evolução, desde uma confiança, simplista nas técnicas dos fatores de crescimento até um crescente uso de modelos matemáticos, mais elaborados.

Os modelos que utilizam os fatores de crescimento projetam para o futuro o padrão atual dos deslocamentos detetado pela pesquisa Origem-Destino. Deve-se desenvolver um fator de crescimento para cada zona, e cada motivo de viagem (às vezes também para cada modo). Deve-se fazer ajustamentos quanto às áreas atualmente desocupadas e com possibilidades de uso no futuro, ou que sofrerão mudanças na sua utilização.

Estes modelos são aplicáí

veis principalmente nas áreas de crescimento mais lento ou onde supõe-se que não sofrerão mudanças muito sensíveis no futuro.

Os modelos matemáticos são utilizados principalmente nas áreas em que se nota um rápido desenvolvimento e portanto um grande número de ajustamentos. A força de produção e atração das atividades de uma dada zona, em geral, é medida como totais de viagens. Admitem também que o intercâmbio de viagens é uma função da separação espacial entre as zonas. Estes modelos necessitam de uma calibração inicial para a representação dos padrões encontrados na área estudada e a qualidade de qualquer modelo é medida pela acuracidade com que reproduz a distribuição de viagens inicialmente pesquisada.

Como já foi visto em capítulos anteriores algumas decisões devem ser tomadas visando a uma melhor escolha do modelo a ser utilizado.

Assim sendo, deve-se prever a quais tipos, modos, motivos, horários referem-se as viagens a serem estudadas e distribuídas.

B. TIPOS DE MODELOS

Inúmeros modelos de distribuição de viagens foram desenvolvidos de acordo com a técnica e os recursos disponíveis na ocasião. A seguir encontram-se algumas noções sobre os modelos mais utilizados.

1. Modelo de Regressão Múltipla

Um modelo deste tipo foi utilizado por Osofsky, na Califórnia e é estudado de maneira análoga à feita para os estudos de geração, interrelacionando variáveis sócio-econômicas com as viagens. Praticamente, engloba o estudo de geração de viagens.

A equação representativa deste estudo é:

$$V_{i,j} = K_0 + K_1 X_1 + K_2 X_2 + \dots + K_v X_v$$

Onde: $V_{i,j}$ = número de viagens entre i e j computados para a zona i.

K_0, K_1, \dots, K_v = parâmetros da zona i

X_1, X_2, \dots, X_v = variáveis referentes à zona j, relativos à frequência de viagens.

Os valores de K, podem ser determinados para cada zona, ou adotar-se um valor comum para todas elas, admitidos constantes no tempo.

No planejamento é admitido que a frequência de viagens entre i e j, é a média entre $V_{i,j}$ e $V_{j,i}$.

Por exemplo, em Vallejo, determinou-se:

$$V_{i,j} = k_0 + k_1 \cdot \frac{P_j \cdot M_j}{(1+d_{ij})^2} + k_2 \cdot \frac{E_j^2}{(1+d_{ij})^2} + k_3 \cdot \frac{H_j}{(1+d_{ij})^2} + k_4 \cdot \frac{J_j}{(1+d_{ij})^2}$$

Onde: P_j = população da zona j

M_j = número de veículos em j

E_j = número de empregos em j

H_j = área do solo ocupada pelo comércio em j

J_j = área do solo ocupada pela indústria em j

d_{ij} = distância entre i e j

Outras equações:

Estudos realizados em outras cidades, determinaram equações diferentes das anteriormente apresentadas. Por exemplo:

"Modesto" :

$$V_{i,j} = k_0 + k_1 \cdot \frac{P_j}{(1+d_{ij})^2} + k_2 \cdot \frac{E_j}{(1+d_{ij})^2} + k_3 \cdot \frac{R}{(1+d_{ij})^2}$$

"San Diego" :

$$V_{i,j} = k_0 + k_1 \cdot \frac{P_j^2}{d_{ij}^{1,5}} + k_2 \cdot \frac{E_j^2}{d_{ij}^{1,5}} + k_3 \cdot \frac{R}{d_{ij}^{1,5}} + k_4 \cdot \frac{L}{d_{ij}^{1,5}}$$

Onde: R = índice de motorização

L = uso do solo

Os demais tem o mesmo significado anteriormente mostrado.

2. Modelo do Fator Uniforme

Este modelo admite que todas as viagens crescem em função de um fator uniforme para toda a tabela.

Matematicamente, é representado por:

$$V_{i,j} = v_{i,j} \cdot \bar{F}$$

Onde: \bar{F} = fator de crescimento uniforme da tabela de viagem
(total de viagens no futuro/total de viagens atuais)

$v_{i,j}$ = nº de viagens atuais entre i e j

$V_{i,j}$ = nº de viagens futuras entre i e j

Na prática este modelo não é mais usado, visto que as diferentes regiões da cidade não se desenvolvem da mesma forma.

- Exemplo de Aplicação:

TABELA DE VIAGENS ATUAIS

0 \ D	1	2	3	4	v_i
1	-	5	2	3	10
2	5	-	8	3	16
3	2	8	-	3	13
4	3	3	3	-	9

$$\sum_{i=1}^4 v_i = 48 \text{ viagens (atuais)}$$

Dos estudos de geração foi determinado para o ano-meta um total de 132 viagens, o que resulta um fator de crescimento igual a 2,75.

TABELA DE VIAGENS FUTURAS

D 0	1	2	3	4	V_i	v_i
1	-	14	6	8	28	10
2	14	-	22	8	44	16
3	6	22	-	8	36	13
4	8	8	8	-	24	9

3. Modelo do Fator Médio

Este modelo leva em conta as relações de crescimento individuais das zonas.

As viagens futuras são calculadas por:

$$V_{i,j} = v_{i,j} \cdot \left(\frac{F_i + F_j}{2} \right)$$

Este processo é iterativo, determinando-se um novo fator de crescimento quando o total de viagens calculadas for diferente do estimado.

Este novo fator é calculado pela fórmula:

$$F'_i = \frac{F_i \cdot \sum_{j=1}^n v_{i,j}}{\sum_{j=1}^n v_{i,jk}} = \frac{V_i^g}{V_i^k} \quad (k = n^\circ \text{ da iteração})$$

que é aplicado na tabela de viagens já calculada.

Este processo continua até que os novos fatores de crescimento assumam valores próximos de 1,00.

- Exemplo de Aplicação

TABELA DE VIAGENS ATUAIS

D \ O	1	2	3	4	v_i	V_{ig}	F_i
1	-	5	2	3	10	20	2
2	5	-	8	3	16	32	2
3	2	8	-	3	13	52	4
4	3	3	3	-	9	27	3
F_j	2	2	4	3	--	-	-

1.^a TABELA DO FATOR MÉDIO (F_{ij})

D \ O	1	2	3	4
1	-	2	3	2,5
2	$\frac{2+2}{2}=2$	-	3	2,5
3	$\frac{2+4}{2}=3$	3	-	3,5
4	$\frac{2+3}{2}=2,5$	2,5	3,5	-

1.^a TABELA FUTURA ($V_{ij} \times F_{ij}$)

D \ O	1	2	3	4	V_{i1}	$F'_i = \frac{V_{ig}}{V_{i1}}$
1	-	10	6	8	24	0,83
2	10	-	24	8	42	0,76
3	6	24	-	11	41	1,27
4	8	8	11	-	27	1,00
F'_j	0,83	0,76	1,27	1,00	-	-

2.^a TABELA DO FATOR MÉDIO

D \ 0	1	2	3	4
1	-	0,80	1,05	0,92
2	0,80	-	1,02	0,88
3	1,05	1,02	-	1,13
4	0,92	0,88	1,13	-

2.^a TABELA FUTURA

D \ 0	1	2	3	4	V_{i_2}	$F'_i = \frac{V_{i_g}}{V_{i_2}}$
1	-	8	6	7	21	0,95
2	8	-	24	7	39	0,82
3	6	24	-	12	42	1,24
4	7	7	12	-	26	1,04
F'_j	0,95	0,82	1,24	1,04	-	-

3.^a TABELA DO FATOR MÉDIO

D \ 0	1	2	3	4
1	-	0,89	1,09	1,00
2	0,89	-	1,03	0,93
3	1,09	1,03	-	1,14
4	1,00	0,93	1,14	-

3.^a TABELA FUTURA

D \ 0	1	2	3	4	V_{i_3}	$F'_i = \frac{V_{i_g}}{V_{i_3}}$
1	-	7	7	7	21	0,95
2	7	-	25	7	39	0,82
3	7	25	-	14	46	1,13
4	7	7	14	-	28	0,96
F'_j	0,95	0,82	1,13	0,96	-	-

O processo se repete até encontrar-se: $F'_i \approx 1,0$

C. MODELO DE FRATAR

Um dos modelos mais utilizados atualmente é o desenvolvido por FRATAR (1954) baseado nos fatores de crescimento das zonas.

1. Teoria do Modelo

Neste modelo a previsão das viagens futuras entre qualquer par de zonas é obtida com a multiplicação das viagens atuais pelo produto dos fatores de crescimento para as duas zonas, com um ajustamento para a atratividade relativa das outras zonas competitivas.

Este modelo necessita como dados:

- a tabela de viagens atual,
- os fatores de crescimento de cada zona de origem,
- os fatores de crescimento de cada zona de destino.

Algumas vezes os fatores de crescimento das origens e destinos são admitidos iguais para uma determinada zona.

Estes fatores são aplicados num primeiro cálculo, após o qual os totais reais de viagens destinadas a cada uma das zonas podem diferir dos estimados. Um processo iterativo é então adotado procurando refinar a correspondência entre o total de viagens estimadas e o obtido nos cálculos.

Os novos fatores de crescimento a serem adotados são os obtidos pela divisão dos totais de viagens estimados e os realmente obtidos em cada iteração, e a tabela de viagem é aquela obtida na iteração anterior.

O número de iterações a serem efetuadas é função da precisão desejada (em geral, $\pm 2\%$). Experiências tem demonstrado que quatro iterações são suficientes.

2. Formulação do Modelo

A expressão básica da fórmula no processo de FRATAR é:

$$V_{i,j} = v_{i,j} \cdot F_i \cdot F_j \cdot L_i$$

Onde: $V_{i,j}$ = viagens futuras de i para j
 $v_{i,j}$ = viagens atuais de i para j
 F_i = fator de crescimento da zona de origem i
 F_j = fator de crescimento da zona de destino j
 L_i = fator de ajustamento das origens.

Seja por exemplo o esquema da Figura 5.1 ,

Aplicando a fórmula tem-se:

$$V_{i,1} = v_{i,1} \cdot F_i \cdot F_1 \cdot L_i$$

$$V_{i,2} = v_{i,2} \cdot F_i \cdot F_2 \cdot L_i$$

$$V_{i,3} = v_{i,3} \cdot F_i \cdot F_3 \cdot L_i$$

.....

.....

.....

.....

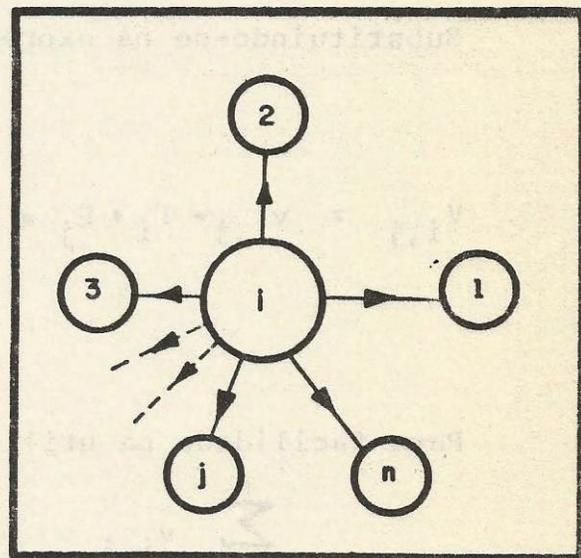
$$V_{i,j} = v_{i,j} \cdot F_i \cdot F_j \cdot L_i$$

.....

.....

.....

$$V_{i,n} = v_{i,n} \cdot F_i \cdot F_n \cdot L_i$$



Esquema de Zoneamento Fig. 5.1

Somando-se membro a membro, obtém-se:

$$\sum_{j=1}^n V_{i,j} = \sum_{j=1}^n (v_{i,j} \cdot F_i \cdot F_j \cdot L_i)$$

Mas os valores de F_i e L_i são independentes de j , portanto,

$$\sum_{j=1}^n V_{i,j} = L_i \cdot F_i \cdot \sum_{j=1}^n (v_{i,j} \cdot F_j)$$

Resulta para valor de L_i a seguinte expressão:

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^n V_{i,j}}{F_i \cdot \sum_{j=1}^n (v_{i,j} \cdot F_j)}$$

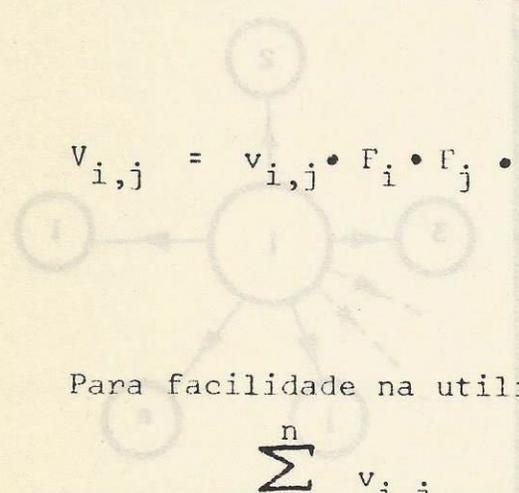
Como:

$$\sum_{j=1}^n V_{i,j} = V_i = F_i \cdot v_i = F_i \cdot \sum_{j=1}^n (v_{i,j})$$

Onde: V_i = total de viagens originadas na zona i no ano-meta

v_i = total de viagens originadas na-zona i no ano-base

Substituindo-se na expressão básica do modelo, ter-se-á:



$$V_{i,j} = v_{i,j} \cdot F_i \cdot F_j \cdot \frac{\sum_{j=1}^n v_{i,j}}{\sum_{j=1}^n (v_{i,j} \cdot F_j)}$$

Para facilidade na utilização do modelo faz-se:

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^n v_{i,j}}{\sum_{j=1}^n (v_{i,j} \cdot F_j)}$$

Desse modo a fórmula final fica sendo:

$$V_{i,j} = v_{i,j} \cdot F_i \cdot F_j \cdot L_i$$

3. Observações:

a. O modelo de FRATAR pode ser utilizado ajustando-se as colunas e as linhas da tabela de viagens alternadamente, em cada uma das iterações. Utilizado esse processo pode ocorrer que o total de viagens atraídas pelas zonas não seja o mesmo que o total de viagens produzidas. Neste caso deve-se adotar um dos valores (Produção ou atração) como o correto - aquele que supõe-se ser mais exato - e corrigir-se o outro na mesma relação obtida inicialmente.

b. Ao se adotar o processo iterativo alternando-se os ajustamentos das linhas e das colunas, define-se um fator L_j análogo ao L_i . O primeiro é utilizado nos ajustes das colunas e o segundo nas linhas.

O valor de L_j é expresso pela fórmula:

$$L_j = \frac{\sum_{i=1}^n v_{i,j}}{\sum_{i=1}^n (v_{i,j} \cdot F_j)}$$

c. Em estudos menos elaborados adota-se o processo iterativo ajustando somente as linhas da tabela de viagens. Esta tabela é formada por valores médios, onde o número de viagens entre duas zonas é a média entre as viagens de ida e volta entre elas.

4. Exemplo de Aplicação

Seja a tabela de viagens (pág.82) atuais, pesquisadas nos estudos O-D. Nesta tabela:

v_i = total de viagens atuais com origem na zona i.

$V_{i g}$ = total de viagens futuras com origem na zona i,
calculadas a partir da Geração.

$$F_i = \frac{V_{i g}}{v_i}$$

s_j = total de viagens atuais com destino na zona j.

$S_{j g}$ = total de viagens futuras, com destino na zona j,
calculadas a partir dos estudos da Geração.

$$F_j = \frac{S_{j g}}{s_j}$$

0 \ D	1	2	3	v_i	$V_{i g}$	F_i
1	100	400	200	700	1400	2,00
2	600	200	300	1100	3300	3,00
3	400	100	200	700	2800	4,00
s_j	1100	700	700	2500		
$S_{j g}$	3300	2800	1400			
F_j	3,00	4,00	2,00			

1.^a ITERAÇÃO - COLUNAS

a. Cálculo dos Fatores: L_j =
$$\frac{\sum_{i=1}^n v_{i-j}}{\sum_{i=1}^n (v_{i-j} \cdot F_i)}$$

$$L_{1j} = \frac{1.100}{100 \cdot 2 + 600 \cdot 3 + 400 \cdot 4} = 0,31$$

$$L_{2j} = \frac{700}{400 \cdot 2 + 200 \cdot 3 + 100 \cdot 4} = 0,39$$

$$L_{3j} = \frac{700}{200 \cdot 2 + 300 \cdot 3 + 200 \cdot 4} = 0,33$$

b. Cálculo dos Fatores: $(L_j \cdot F_i \cdot F_j)$

0 \ D	1	2	3
1	1,86	3,12	1,32
2	2,79	4,68	1,98
3	3,72	6,24	2,64

c. Cálculo da 1.^a Tabela Futura:

0 \ D	1	2	3	V_i	V_{ig}	F_i
1	186	1248	264	1698	1400	0,83
2	1.674	936	594	3204	3300	1,03
3	1.488	624	528	2640	2800	1,06
S_j	3.348	2808	1386			
S_{jg}	3.300	2800	1400			
F_j	0,99	1,00	1,01			

2ª ITERAÇÃO - LINHAS

$$\sum_{j=1}^n v_{i,j_1}$$

a. Cálculo dos Fatores: $L_i =$ _____

$$\sum_{j=1}^n (v_{i,j_1} \cdot F_{j_1})$$

$$L_{1i} = \frac{1698}{186 \cdot 0,99 + 1248 \cdot 1,00 + 264 \cdot 1,01} = 1,00,$$

$$L_{2i} = \frac{3204}{1674 \cdot 0,99 + 936 \cdot 1,00 + 594 \cdot 1,01} = 1,01$$

$$L_{3i} = \frac{2640}{1488 \cdot 0,99 + 624 \cdot 1,00 + 528 \cdot 1,01} = 1,01$$

b. Cálculo dos Fatores: ($L_i \cdot F_i \cdot F_j$)

0 \ D	1	2	3
1	0,82	0,83	0,84
2	1,03	1,04	1,05
3	1,06	1,07	1,08

c. Cálculo da 2ª Tabela Futura:

0 \ D	1	2	3	V_i	V_{ig}	F_i
1	153	1036	222	1411	1400	0,99
2	1724	973	624	3321	3300	0,99
3	1577	668	570	2815	2800	0,99
S_j	3454	2677	1416			
S_{jg}	3300	2800	1400			
F_j	0,96	1,05	0,99			

a. Cálculo dos Fatores: $L_j = \frac{\sum_{i=1}^n V_{i,j_2}}{\sum_{i=1}^n (V_{i,j_2} \cdot F_{i_2})}$

$$L_{1j} = \frac{3454}{153 \cdot 0,99 + 1724 \cdot 0,99 + 1577 \cdot 0,99} = 1,01$$

$$L_{2j} = \frac{2677}{1036 \cdot 0,99 + 973 \cdot 0,99 + 668 \cdot 0,99} = 1,01$$

$$L_{3j} = \frac{1416}{222 \cdot 0,99 + 624 \cdot 0,99 + 570 \cdot 0,99} = 1,01$$

b. Cálculo dos Fatores: $(L_j \cdot F_i \cdot F_j)$

O \ D	1	2	3
1	0,96	1,05	0,99
2	0,96	1,05	0,99
3	0,96	1,05	0,99

c. Cálculo da 3ª Tabela Futura:

O \ D	1	2	3	V_i	V_{ig}	F_i
1	147	1088	220	1455	1400	0,96
2	1655	1022	618	3295	3300	1,00
3	1514	701	564	2779	2800	1,01
S_j	3316	2811	1402			
S_{ig}	3300	2800	1400			
F_j	1,00	1,00	1,00			

4.^a ITERAÇÃO - LINHAS

a. Cálculo dos Fatores: $L_i = \frac{\sum_{j=1}^n V_{i,j_3}}{\sum_{j=1}^n (V_{i,j_3} \cdot F_j)}$

$$L_{1i} = \frac{1455}{147 \cdot 1,00 + 1088 \cdot 1,00 + 220 \cdot 1,00} = 1,00$$

$$L_{2i} = \frac{3295}{1655 \cdot 1,00 + 1022 \cdot 1,00 + 618 \cdot 1,00} = 1,00$$

$$L_{3i} = \frac{2779}{1514 \cdot 1,00 + 701 \cdot 1,00 + 564 \cdot 1,00} = 1,00$$

b. Cálculo dos Fatores: $(L_i \cdot F_i \cdot F_j)$

0 \ D	1	2	3
1	0,96	0,96	0,96
2	1,00	1,00	1,00
3	1,01	1,01	1,01

c. Cálculo da 4.^a Tabela Futura:

0 \ D	1	2	3	V_i	V_i^r	F_i
1	141	1044	211	1396	1400	1,00
2	1655	1022	618	3295	3300	1,00
3	1529	708	370	2807	2800	1,00
S_j	3325	2774	1399			
S_j^r	3300	2800	1400			
F_j	0,99	1,01	1,00			

∴ Aqui encerram-se as iterações, pois os valores de F_i e F_j já se encontram dentro da precisão requerida (2%).

D. MODELO DE GRAVIDADE

Dos modelos matemáticos desenvolvidos para a análise de distribuição de viagens o mais utilizado é o elaborado por Alan M. Voorhees, principalmente pela sua conceituação relativamente simples.

Ele tem o nome de Modelo de Gravidade porque se adapta ao conceito gravitacional proposto por Newton.

Em essência, o modelo de gravidade diz que o intercâmbio de viagens entre as zonas é diretamente proporcional à atração relativa de cada zona e inversamente proporcional a uma "função distância" entre elas.

Este modelo tem a grande vantagem de independe da tabela de viagens atual, possibilitando haver viagens no futuro em células onde atualmente não existam. Entretanto exige um processo de calibração, com os dados do ano-base.

1. Evolução Histórica do Modelo

Supondo-se, no caso mais simples, duas zonas (i e j) ligadas por uma via. Entre as cidades existirá, no futuro, um certo número de viagens. Os modelos de gravidade, iniciais, adotaram uma expressão do tipo:

$$V_{i,j} = K \left(\frac{H_i \cdot H_j}{d_{ij}} \right)$$

Onde: H_i e H_j = habitantes das zonas i e j
 d_{ij} = distância física entre as zonas
 K = constante de proporcionalidade

Posteriormente, adotou-se o expoente dois para a distância.

Na etapa seguinte adotou-se um expoente variável, modificou-se o conceito da "função distância" de acordo com os dados disponíveis e foi introduzido o conceito de atratividade da zona de destino A_j .

A expressão representativa do fenômeno ficou sendo:

$$V_{i,j} = K \left(\frac{H_i \cdot A_j}{d_{ij}^a} \right)$$

Como medida da atratividade de uma zona, pode-se enumerar os seguintes aspectos:

- população
- número de empregos (comerciais, industriais, serviços, etc.)
- escolas
- áreas comerciais, industriais.
- distância ao "C.B.D", etc.

Como função distância pode-se adotar:

- distância física (em linha reta)
- distância real (quilometragem observada)
- tempo da viagem
- custo da viagem, etc.

Em estudos mais recentes "Voorhees" propôs a seguinte expressão:

$$V_{i,j} = k \cdot P_i \cdot \frac{A_j}{d_{ij}^a} \cdot \frac{1}{\frac{A_1}{d_{i1}^a} + \frac{A_2}{d_{i2}^a} + \dots + \frac{A_n}{d_{in}^a}}$$

Onde: P_i = total de viagens produzidas pela zona i
 A_j = total de viagens atraídas pela zona j
 d_{ij} = função distância entre i e j

2. "Função Distância"

O termo das fórmulas apresentadas, que leva em consideração o efeito da separação entre as zonas, evoluiu desde a consideração da distância real até a de um "tempo generalizado" de viagem entre as zonas.

De acordo com o tipo de estudo determina-se qual a melhor "função distância" a ser utilizada. Por exemplo: nos estudos de rede viária urbana, em geral, é utilizado o "tempo de viagem"

enquanto nas viagens interurbanas adota-se a distância real (quilometragem das estradas).

Nos estudos em redes urbanas devem ser considerados também, os chamados tempos terminais. Estes levam em consideração um possível congestionamento nas zonas de cada final de viagem, uma espera para estacionar, o tempo gasto no percurso a pé até se tomar o meio de transporte da viagem, etc.

O expoente a da função **distância**, varia, principalmente, de acordo com o conceito utilizado para ela. Nos estudos de viagens interurbanas os valores encontrados são aproximadamente 2,5, enquanto nos estudos em redes urbanas variam em torno de 1,5.

Outros fatores que podem influir no valor do expoente são: tamanho da cidade, população, propriedades de carro, motivos e modos da viagem, importância das viagens em relação ao total, etc.

Vários estudos já se realizaram procurando determinar as influências na variação do valor do expoente, e na "função distância". Foram encontrados quatro resultados significativos:

- a "função distância" entre as zonas mostrou ser melhor representada pelo tempo de percurso, acrescido dos tempos terminais.
- o expoente difere de acordo com os motivos da viagem. Ele é menor quando a viagem é mais significativa. Por exemplo, viagem com motivo trabalho é mais significativa do que as viagens com motivo recreação.
- o expoente do "tempo de viagem" não é constante para todos os intervalos de tempo. Em geral, ele aumenta quando o intervalo de tempo aumenta.
- os estudos mais recentes indicam que deve-se levar em consideração outros fatores além do tempo de viagem, pois os padrões de viagem podem ser afetados também por dados sócio-econômicos os quais não estão completamente identificados e quantificados.

3. Uso Atual do Modelo de Gravidade

A formulação atual do modelo de gravidade está baseada nas hipóteses de que as viagens produzidas em uma origem e atraídas por um destino são diretamente proporcionais ao total de viagens

produzidas na origem, ao total de viagens atraídas no destino, a um termo obtido na calibração e possivelmente a um fator de ajustamento das características socio-econômicas.

Esta fórmula pode ser expressa por:

$$V_{i,j} = C \cdot P_i \cdot A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij}$$

Onde: $V_{i,j}$ = número de viagens produzidas em i e atraídas por j .

P_i = total de viagens produzidas em i

A_j = total de viagens atraídas por j

F_{ij} = termo de calibração para o par de zonas ij

K_{ij} = fator de ajustamento sócio-econômico para o par de zonas ij

i = número das zonas de origem

j = número das zonas de destino

C = constante de proporcionalidade

O fator F_{ij} indicado na fórmula anterior é chamado de "Fator de Fricção" (ou Resistência ao Deslocamento). É determinado empiricamente através de um processo de calibração do modelo procurando expressar a influência do tempo de viagem.

Tal fator pode ser expresso por $1/t^a$, sendo que a varia de acordo com a conceituação adotada para a função distância, e também com a distância da viagem. Utiliza-se o fator de fricção ao invés da função exponencial do tempo por uma questão de simplificação do processo de cálculo.

Quanto ao fator de ajustamento sócio-econômico (K_{ij}), pode-se dizer que ele procura incorporar as características das zonas nos padrões de viagem. Entretanto poucos estudos, até hoje desenvolvidos, levaram em conta este fator.

A constante C pode ser determinada como indicado abaixo:

$$V_{i,j} = C \cdot P_i \cdot A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij}$$

como

$$\sum_{j=1}^n V_{i,j} = P_i$$

tem-se $P_i = \sum_{j=1}^n (C \cdot P_i \cdot A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij})$

$$\therefore P_i = C \cdot P_i \cdot \sum_{j=1}^n (A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij})$$

$$\therefore C = \frac{1}{\sum_{j=1}^n (A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij})}$$

A fórmula final do modelo fica expressa por:

$$V_{i,j} = \frac{P_i \cdot A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij})}$$

4. Calibração do Modelo

O modelo de gravidade exige uma calibração prévia dos fatores que serão utilizados.

Basicamente refere-se à determinação de uma curva $F_{ij} = f(t)$ baseada nos dados originados da pesquisa O-D.

Esta curva é assumida como válida ao longo do tempo. Isto não foi definitivamente comprovado mas vários estudos que fizeram tal hipótese obtiveram resultados indicando que há base suficiente para a validade desta assertiva.

Em geral o fator de fricção é o inverso de uma função exponencial da impedância - t. Entretanto, não é obrigado a assumir tal forma. Esta elasticidade é, talvez, uma das maiores forças do modelo.

Inicialmente, para a calibração do modelo, é admitida uma curva $F_{ij} = f(t)$. Com os valores de Produção e Atração das zonas é feita a distribuição das viagens produzidas em cada uma (no ano-base). Desse modo pode-se obter um número de viagens entre cada par de zonas distinto do realmente observado.

O processo iterativo é então utilizado ajustando-se novas curvas, sucessivamente, até que a tabela de viagens obtidas aproxime-se da real, quando admite-se que o modelo está calibrado.

Um ajuste das variáveis sócio-econômicas das zonas (K_{ij}) pode ser também considerado. Em geral, tal ajuste é feito em níveis setoriais procurando englobar dentro de um mesmo setor várias zonas afins.

5. Utilização do Modelo

Com o modelo calibrado para o ano-base, e os totais de Produção e Atração de viagens no ano-de-projeto em cada zona, obtidas dos estudos de geração, é feita uma primeira iteração que determina uma tabela de viagens.

Como as viagens produzidas é que são distribuídas na tabela de viagens, eventualmente pode-se obter totais de viagens atraídas para cada zona, diferentes dos totais determinados nos estudos de geração. É feito o processo iterativo procurando refinar os intercâmbios de viagens entre as zonas até que as atrações calculadas estejam próximas dos resultados desejados.

No modelo desenvolvido pelo BPR, após cada iteração, os fatores de ajuste das atrações são calculados de acordo com a fórmula:

$$A_{jk} = A_{jg} \cdot C_{jk-1}$$

Onde: $C_{k-1} = \left(\frac{A_j \text{ adotado}}{A_j \text{ obtido}} \right)_{k-1}$ = relação obtida na iteração anterior entre as atrações de viagens adotadas e obtidas.

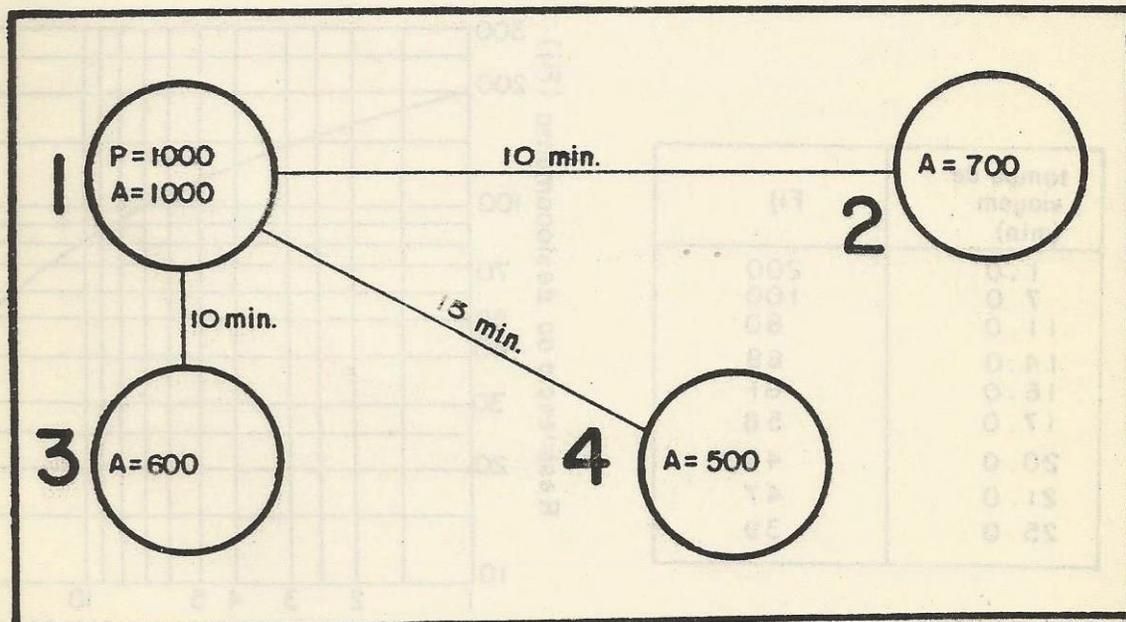
A_{jk} = Total de viagens atraídas pela zona j a ser adotada na iteração k .

A_{jg} = Total de viagens atraídas; (estimadas pelos estudos de geração).

6. Exemplo de Aplicação

Distribuir o total de viagens com o motivo trabalho, produzidas pelos residentes de uma zona, segundo 4 zonas da área de pesquisa. (Figura 5.2).

Este problema exemplificará o processo de cálculo para a zona nº1 apenas. O mesmo raciocínio deve ser feito para as demais zonas para completar todo o cálculo.



Esquema de Zoneamento e Distribuição de Tempos.

Fig. 5.2

É produzido um total de 1.000 viagens na zona 1, e as zonas obedecem ao seguinte esquema:

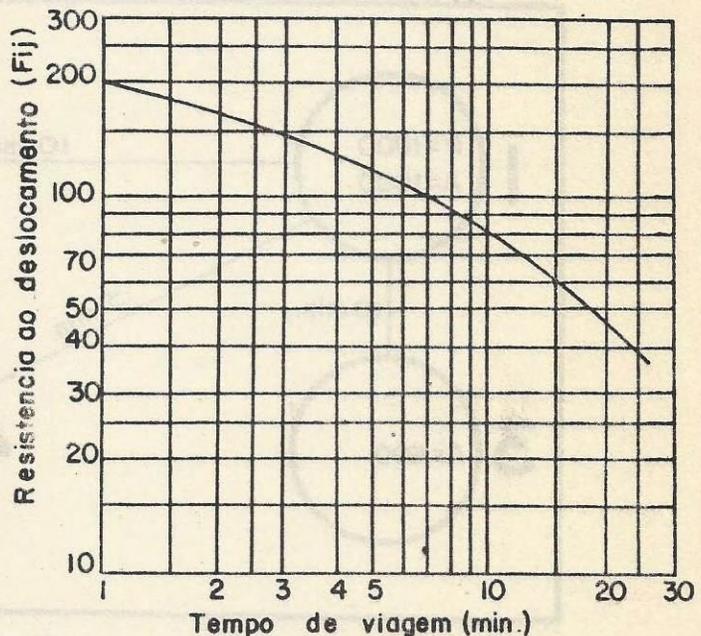
- zona 1, tem um tempo de viagem intrazonal de 7 minutos, e tem 1.000 viagens atraídas para ela das outras 4 zonas.
- zona 2, tem um tempo de viagem de 14 minutos da zona 1, e tem um total de 700 viagens atraídas.
- zona 3, 16 minutos, 6.000 viagens atraídas.
- zona 4, 20 minutos, 500 viagens atraídas.

Obs.: 1) Os fatores de ajustamento (K_{ij}), não foram usados neste problema simples.

2) O "tempo terminal" na zona 1, de origem é considerado igual a 2 minutos.

Usando a fórmula do modelo de gravidade apresentada e, como função distância o tempo de viagem, com a curva de calibração apresentada na Figura 5.3, a distribuição das viagens da zona 1 para as demais, é apresentada na tabela seguinte:

tempo de viagem (min)	Fij
1.0	200
7.0	100
11.0	80
14.0	68
16.0	61
17.0	58
20.0	49
21.0	47
25.0	39



Correlação: Resistência ao Deslocamento = f(tempo)

Fig.5.3

Fórmula a ser aplicada:

$$V_{i,j} = \frac{P_i \cdot A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij})}$$

ZONA	A _j	Tempo Terminal Dest.	Tempo Terminal Orig.	Tempo de percurso	T _{i,j}	F _{ij}	A _j ·F _{ij}	V _{i,j}
1	1000	2	2	3	7	1,00	1000	186
2	700	2	2	10	14	0,68	476	88
3	6000	4	2	10	16	0,61	3660	680
4	500	3	2	15	20	0,49	245	46
Σ=5381								

Esta tabela mostra que das 1.000 viagens produzidas pelos residentes na zona (1), 186 viagens permanecem em (1), 88 vão para a zona (2), 680 para a (3) e as 46 restantes, para a zona (4).

Com um raciocínio análogo faz-se a distribuição das viagens produzidas nas demais zonas e comparam-se os totais de viagens atraídas obtidas, com os totais estimados nos estudos de geração. Calcula-se um novo valor para as atrações e faz-se uma nova iteração até atingir a precisão desejada.

E. CONCLUSÕES

O melhor modo para avaliar a capacidade dos modelos de distribuição de viagens de fornecer a frequência de viagens, é fazer-se uma pesquisa na época devida e comparar com os resultados do modelo.

Em Washington, D.C. foram feitos estudos em 1948 e 1955 possibilitando uma análise comparativa dos modelos baseados nos fatores de crescimento.

Algumas conclusões detetadas foram:

- o modelo do fator de crescimento uniforme é pior do que os outros modelos, quando um razoável número de iterações são feitas nestes últimos.
- o modelo de Fratar é o que apresenta melhores resultados principalmente porque exige um menor número de iterações.

Numa comparação mais global dos diversos modelos apresentados nota-se que:

a. Modelos baseados no fator de crescimento:

- não produzem viagens no futuro entre um par de zonas onde atualmente a frequência de viagens é nula.
- não levam em conta modificações no uso do solo.
- em geral, são utilizados para previsões de poucos anos ou para viagens do tipo através.

b. Modelos do tipo gravitacional:

- são sensíveis à separação espacial entre as zonas (função distância).
- utilizam estudos de uso do solo.
- não requerem uma pesquisa O-D completa.
- consideram fatores sócio-econômicos das zonas.

Na maioria dos modelos a grande dificuldade refere-se à determinação dos parâmetros a serem utilizados. Atualmente os modelos de gravidade tem sido os mais usados pois são relativamente fáceis de serem manuseados com uma interpretação lógica das causas dos padrões de viagem. Isto, é um dado muito importante no planejamento de transportes.

MODELOS DE DIVISÃO MODAL DE VIAGENS

A. INTRODUÇÃO

Os estudos de Planejamento de Transportes urbanos exigem o conhecimento não só do número total de pessoas se deslocando entre cada par de zonas mas também por quais modos de transporte são feitas essas viagens.

A esta parte do estudo denomina-se Análise da Divisão Modal das Viagens.

A principal preocupação de um estudo desta natureza é, normalmente, a divisão das viagens por transporte coletivo e por transporte particular.

Antigamente os estudos eram baseados, nas viagens por transporte coletivo e por transporte particular, separadamente. Atualmente é feito o estudo para o total das viagens, sendo posteriormente feita a divisão modal das mesmas.

Uma justificativa para a atual metodologia é de que as demandas de viagens por cada modo podem se modificar com uma mudança nas facilidades de transporte disponíveis.

Como nas etapas anteriores ajusta-se um modelo que represente o padrão de viagens na área. Este modelo é elaborado de acordo com os dados coletados nas pesquisas de tráfego, de usos do solo, das facilidades de transporte e outras anteriormente realizadas.

IV OUTRAS

As correlações obtidas nos modelos de Divisão Modal usualmente são representadas por equações matemáticas de várias variáveis independentes, ou combinações de tabelas e curvas.

Podem-se distinguir tres tipos básicos de modelos para o estudo da divisão modal:

- Modelos de Geração Direta
- Modelos anteriores à distribuição das viagens
- Modelos posteriores à distribuição das viagens

B. MODELOS DE GERAÇÃO DIRETA

Estes modelos fazem a divisão modal das viagens concomitantemente com os estudos de geração, ou seja, a geração já é feita por modo de transporte.

O diagrama de um estudo de planejamento de transportes usando esta metodologia pode ser o mostrado na Figura 6.1.

Assim, procede-se como foi visto no Capítulo IV - Modelos de Geração de Viagens - sendo os modelos derivados separadamente para cada modo de transporte.

C. MODELOS ANTERIORES À DISTRIBUIÇÃO

Nestes modelos a divisão das viagens pelos diversos modos é feita logo após os estudos de geração. As viagens produzidas ou atraídas por uma zona, geralmente são divididas, na proporção fornecida pelo modelo, para o transporte coletivo e para o transporte particular.

Após feita a divisão das viagens é utilizado o fator de ocupação de automóveis (relação entre o número de viagens de pessoas por automóveis e o número de viagens de veículos) para determinar-se o total de viagens de veículos.

A seguir é feita a distribuição das viagens e a sua atribuição às rês respectivas. A metodologia utilizada está apresentada na Figura 6.2.

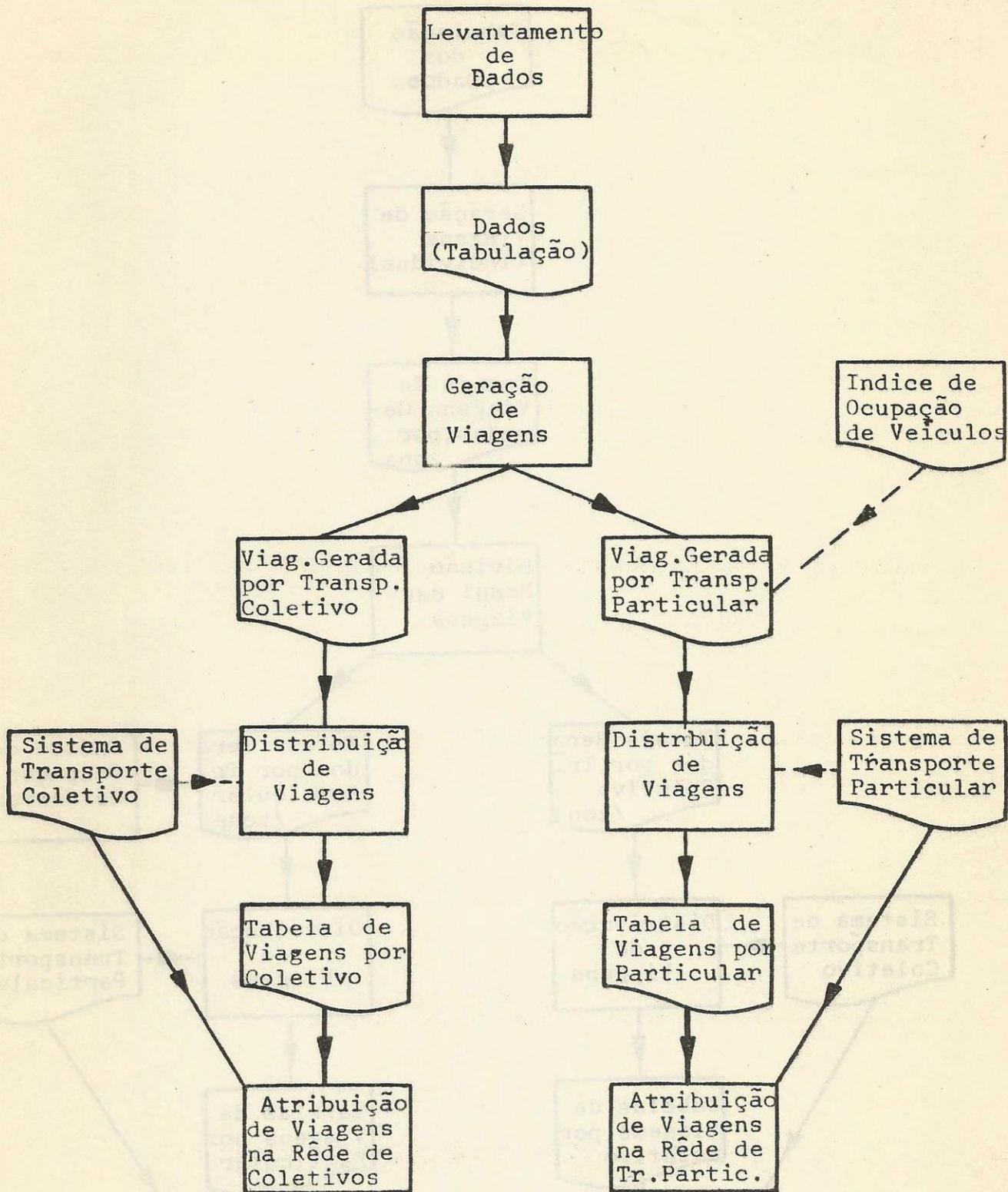


Fig. 6.1 - Metodologia de estudo utilizando Modelo de Geração Direta

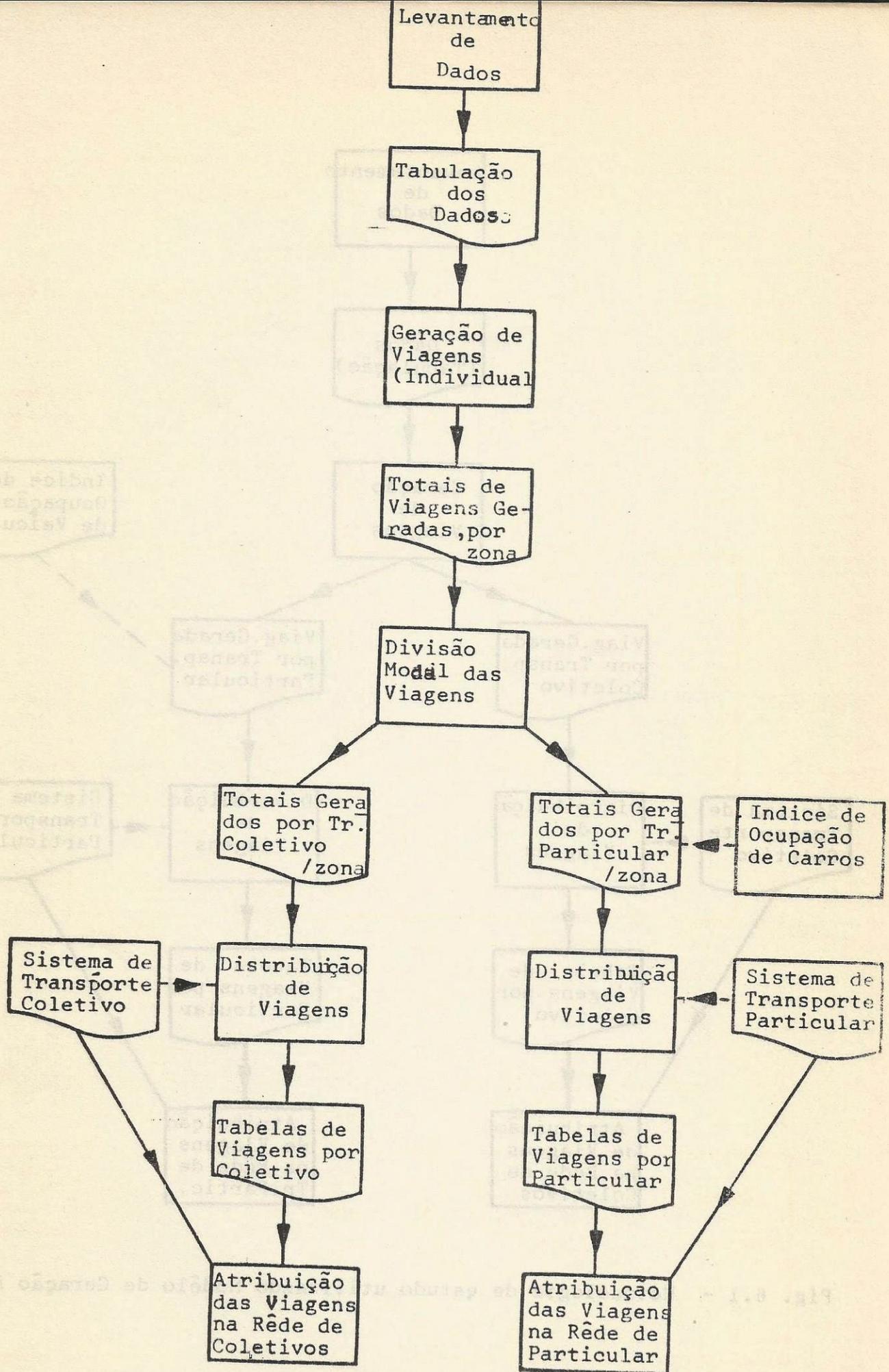
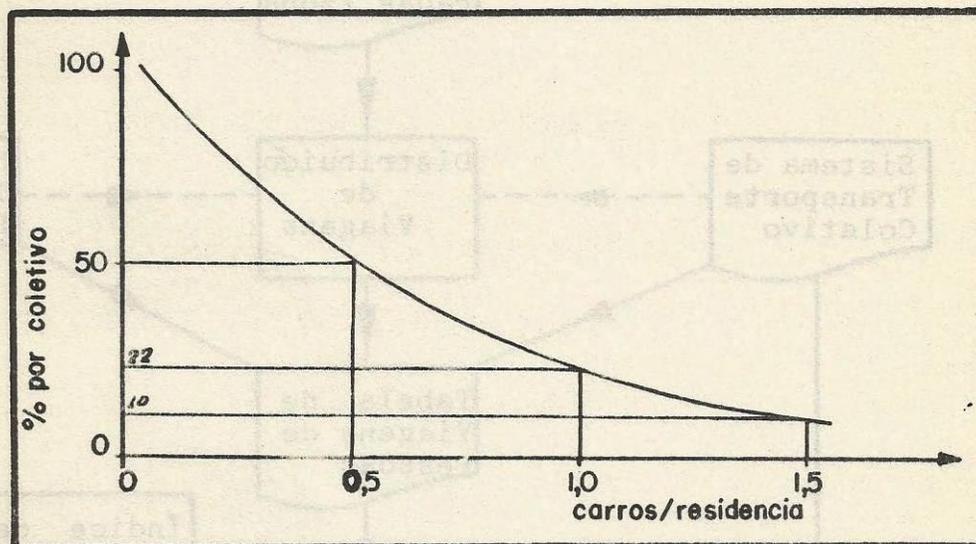


Fig. 6.2 - Metodologia de estudo com Modelo Anterior aos Modêlos de Distribuição.

Um exemplo simples deste modelo relaciona a porcentagem de viagens por transporte coletivo com o índice de propriedade de carros por residência nas zonas.

Desta maneira, utilizando-se de dados levantados em pesquisa, determina-se uma curva como a indicada na Figura 6.3.

Curvas deste tipo tem sido bastante utilizadas em estudos menos sofisticados. Ela indica que a divisão modal aumenta à medida que o número de carros por residência diminui, ou seja, as zonas são de nível de renda baixo.



Modelo Simplificado de Div. Modal

Fig. 6.3

Tendo-se o total de viagens produzidas por zona e o número médio de carros por residência pode-se estimar as viagens por cada modo de transporte. Por exemplo:

Zona	Total de Viagens	Carros p/ Residência	Divisão Modal	Total de Viagem	
				Coletivo	Particular
1	1000	1.0	22 %	220	780
2	3000	1.5	10 %	300	2700
3	4000	0.5	50 %	2200	2000

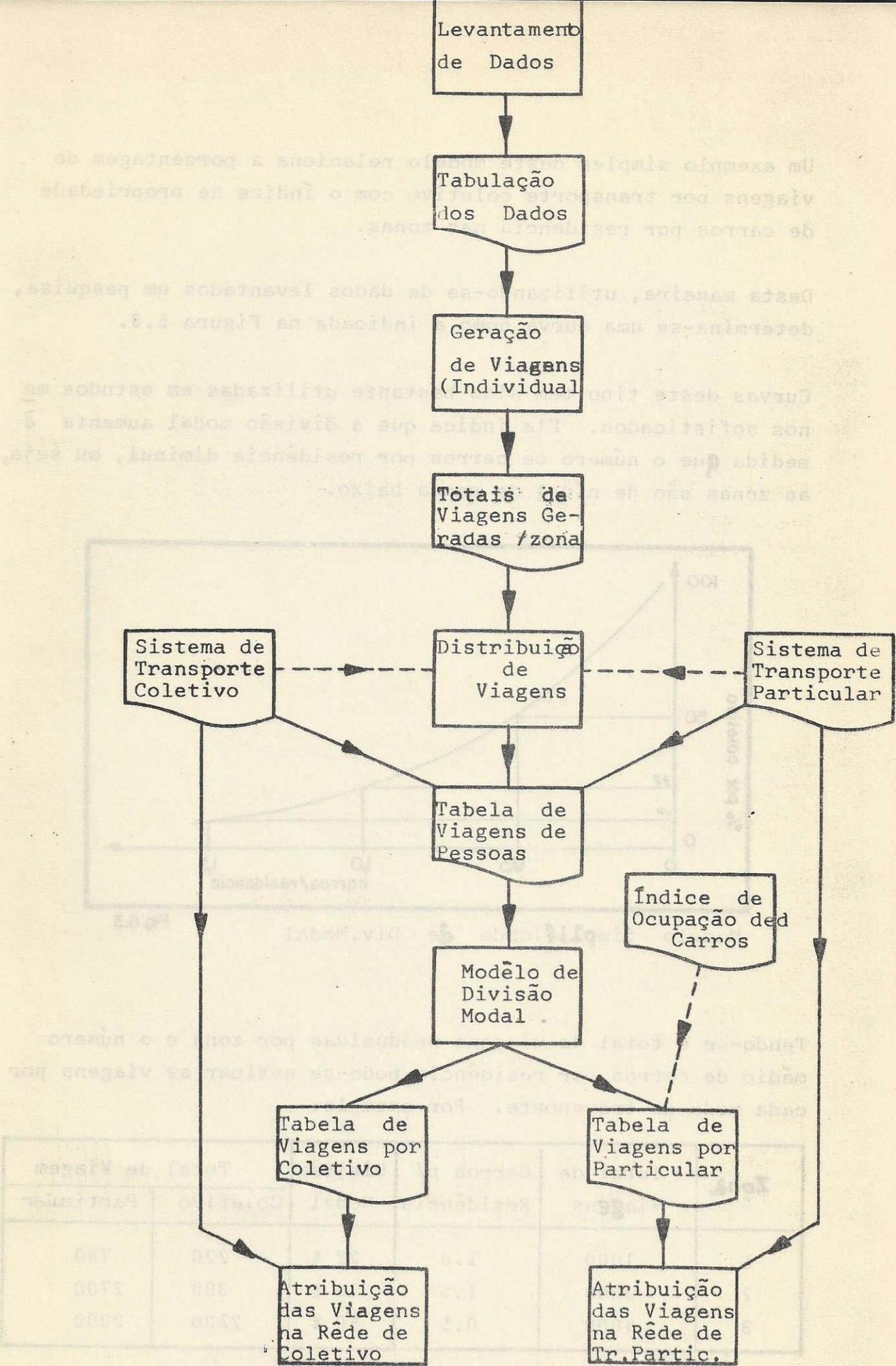


Fig. 6.4 - Metodologia de Estudo com Modêlo Posterior aos Modêlos de Distribuição

D. MODELOS POSTERIORES À DISTRIBUIÇÃO

Os modelos que seguem esta metodologia são os mais utilizados, principalmente nas grandes áreas urbanas.

A divisão das viagens é feita após os estudos de distribuição, podendo, neste caso, ser levado em conta características individuais de cada par de zonas.

Assim, seriam inicialmente gerados os totais de viagens de pessoas, feita a distribuição dessas viagens entre todas as zonas, e então calculadas as tabelas de viagens por cada modo de transporte, para a atribuição destas às respectivas redes de simulação.

O fluxograma da Figura 6.4. ilustra a metodologia utilizada neste estudo.

A seguir estão explicados sucintamente alguns modelos utilizados em diversos estudos já realizados.

1. Modelo de Zurich

Utilizou como critério para a divisão modal a distância entre as zonas, elaborando o gráfico apresentado na Figura 6.5.

Assim, tendo-se a tabela de totais de viagens de pessoas e a distância entre as zonas, pode-se calcular as tabelas pelos vários modos, como ilustrado abaixo:

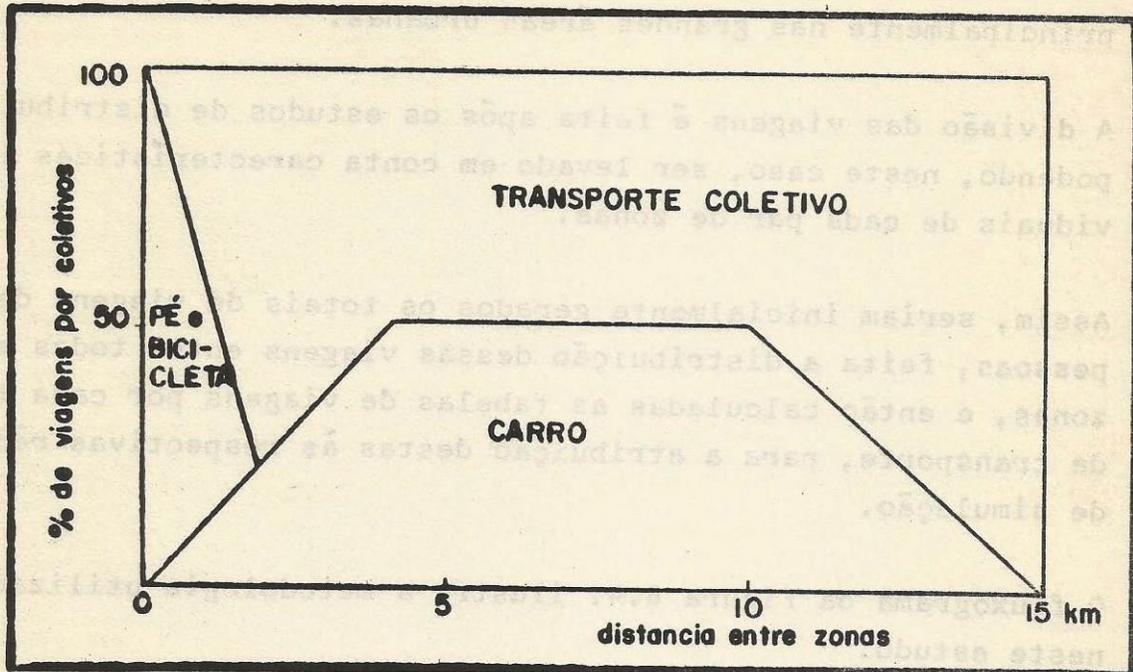
Tabela de viagens de
Pessoas

D	1	2	3
0			
1	-	200	100
2	300	-	80
3	50	100	-

Tabela de distância entre
Zonas (Km)

D	1	2	3
0			
1	-	10	5
2	2	-	4
3	15	8	-

Este modelo também exigiu um processo inicial de calibração baseado em dados de pesquisas.



Modelo de Zurich

Fig.6.5

Calcula-se então as tabelas de porcentagem, pelos diversos modos de viagem.

Tabela de Porcentagem por Transp. Coletivos

D \ D	0	1	2	3
0	-	-	-	-
1	-	-	50	50
2	15	-	-	40
3	40	50	-	-

Tabela de Porcentagem por Transp. Particular

D \ D	0	1	2	3
0	-	-	-	-
1	-	-	50	50
2	70	-	-	60
3	60	50	-	-

Multiplicando-se estas tabelas célula a célula, pela tabela de viagem de pessoas tem-se:

Viagem por Transp.
Coletivo

D	0	1	2	3
	0	1	2	3
1	-	100	50	
2	45	-	32	
3	20	50	-	

Viagem por Transp.
Particular

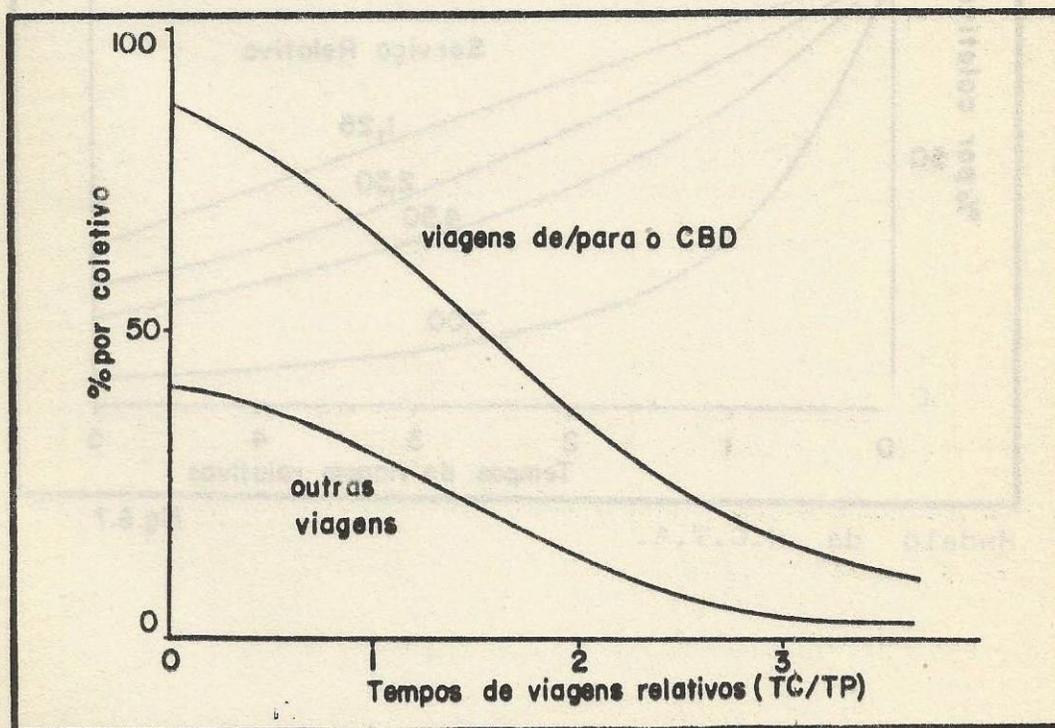
D	0	1	2	3
	0	1	2	3
1	-	100	50	
2	210	-	58	
3	30	50	-	

A tabela de viagem a pé e bicicleta pode ser deduzida por diferença entre a soma destas duas últimas com a tabela de viagens totais.

2. Modelo de São Francisco

Muitos modelos utilizaram a relação de tempos de viagens (transporte coletivo/transporte particular) como variável explicativa da divisão modal.

Na Figura 6.6 está indicada a curva do modelo utilizado em São Francisco.



Modelo de São Francisco

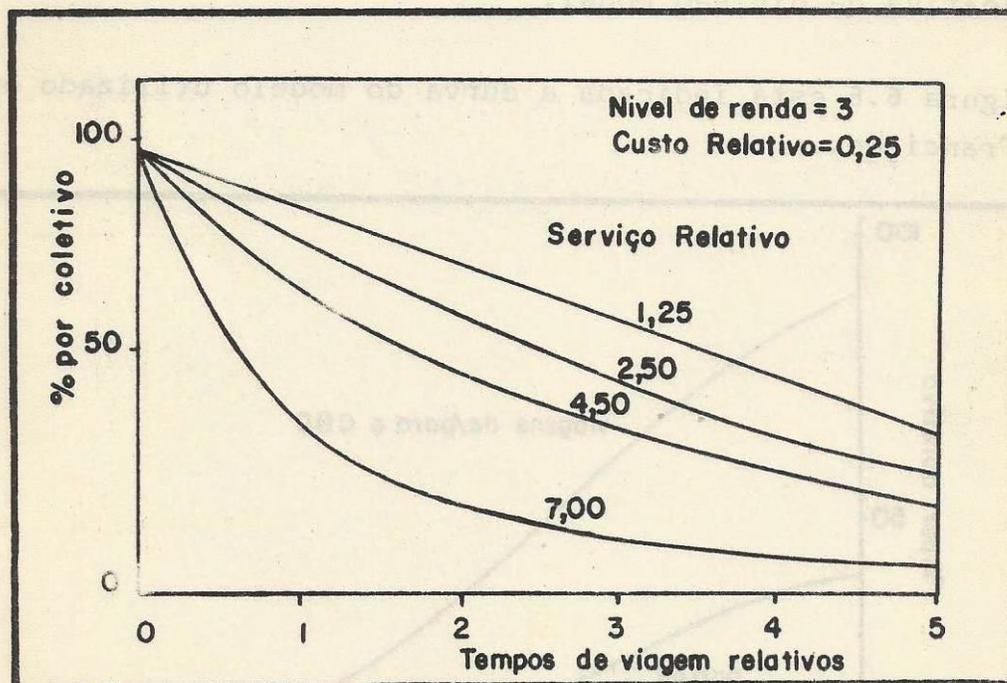
Fig. 6.6

3. Modelos da N.C.T.A.

Em ordem crescente de complexidade, pode-se citar o modelo desenvolvido pela N.C.T.A. ("National Capital Transportation Agency").

Neste modelo foram usados dois propósitos de viagens: trabalho e não trabalho.

Os dados foram desenvolvidos para a hora de pico da manhã. Para cada propósito as viagens foram estratificadas em quatro níveis de custos relativos (custo por transportes coletivos/custo por transporte particular); quatro níveis de "serviço relativo" e cinco níveis de renda. Todas estas variáveis foram correlacionadas com a relação dos tempos de viagens, resultando um conjunto de quarenta gráficos semelhantes ao mostrado na Figura 6.7.



Modelo da N.C.T.A.

Fig.6.7

Neste caso, "serviço relativo" é definido como sendo:

$$\text{"serviço relativo"} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{X_5 + X_6}$$

Onde: X_1 = Tempo de transferência entre veículos coletivos
 X_2 = Tempo de espera por um veículo coletivo
 X_3 = Tempo andando até um veículo coletivo
 X_4 = Tempo andando desde um veículo coletivo
 X_5 = Tempo de estacionamento do carro no destino
 X_6 = Tempo andando do estacionamento ao destino

Os tempos relativos de viagens englobam tempos de porta a porta (incluindo aqueles relacionados nas variáveis X_1 e X_6).

Os custos relativos levam em conta a tarifa (para os transportes coletivos) e os custos de combustível, manutenção, estacionamento (para os transportes particulares).

Como pode ser notado, a calibração de um modelo deste tipo requer uma quantidade de dados muito grande.

4. Modelo de Desutilidades

Como um último exemplo pode-se citar o chamado Modelo de Desutilidades.

Conceitualmente, este modelo procura identificar a diferença entre os fatores que envolvem a escolha do meio de transporte. A quantificação é feita através da conversão de todas as variáveis para uma mesma unidade (em geral, tempo).

As variáveis normalmente utilizadas são:

a) Para Transportes Coletivos

- X_1 = tempo andando até o transporte coletivo
- X_2 = tempo esperando o transporte coletivo
- X_3 = tarifa
- X_4 = tempo de viagem no transporte coletivo
- X_5 = número de transferências
- X_6 = tempo de espera em cada transferência
- X_7 = tempo andando do transporte coletivo até o destino

b) Para Transporte Particular

- X_8 = tempo andando até o carro
- X_9 = tempo de viagem
- X_{10} = custo de viagem
- X_{11} = custo de estacionamento
- X_{12} = tempo andando do carro até o destino

Assim, transformando-se os valores para uma mesma unidade, pode-se definir Desutilidade como:

$$DTC = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7$$

$$DTP = X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12}$$

onde: DTC = Desutilidade dos Transportes Coletivos

DTP = Desutilidade dos Transportes Particulares

Uma característica do modelo é que pode-se dar penalidades diferentes para os tempos de espera ou de viagem, já que eles são sentidos de maneira diferente pelos usuários (desconforto).

Assim, os tempos de espera e tempo andando podem ser multiplicados por 2,5, por exemplo, para representar o desconforto destas situações.

O modelo mais geral seria portanto:

$$DTC = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + fX_6 + gX_7$$

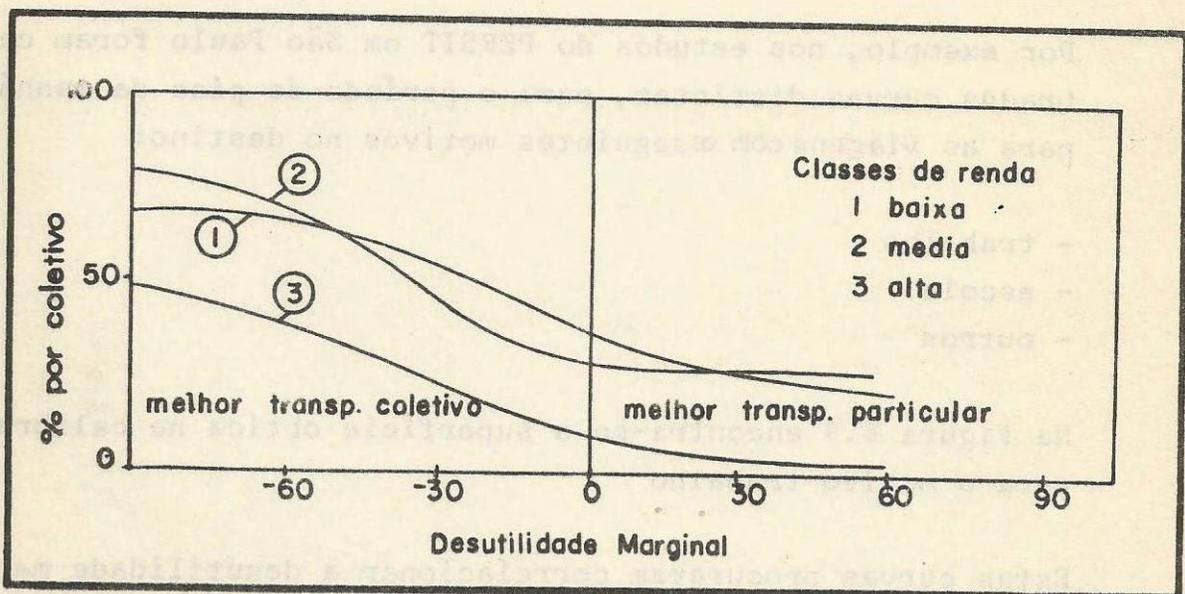
$$DTP = hX_8 + iX_9 + jX_{10} + kX_{11} + lX_{12}$$

Onde: a, ..., l são "pesos" ou penalidades a serem atribuídos às variáveis respectivas. Normalmente a variável utilizada nos modelos é a Desutilidade Marginal, ou seja:

$$DM = DTC - DTP$$

A calibração desse modelo consiste portanto na determinação para cada par de zonas, das desutilidades por Transporte Coletivo e Particular (por classe de renda, por exemplo) e determinando-se curvas como as indicadas na Figura 6.8.

Tal procedimento exige um estudo completo para a determinação de todos os fatores que influem na escolha do modo da viagem (variáveis) e qual a importância relativa de cada um deles, isto é, a determinação das penalidades.



Modelo de Desutilidade Marginal

Fig. 6.8

A principal dificuldade deste modelo é a determinação das variáveis (para cada par de zonas). Isto, no entanto, se tornou possível facilmente com o desenvolvimento de uma série de programas de computador desenvolvido pela HUD - ("Department of Housing and Urban Development") que propicia o cálculo dos tempos de espera, tempos de viagem, tempos de transferência, etc., automaticamente.

E. CALIBRAÇÃO DOS MODELOS

Como nas etapas anteriores, os modelos utilizados na análise da divisão modal das viagens necessitam de uma calibração, ou seja, o ajuste das curvas representativas do modelo, para que melhor representem a realidade a que se referem.

Cada estudo de planejamento de transportes utiliza o modelo que mais se adapte aos objetivos a serem atingidos. Definição das variáveis a serem utilizadas no modelo faz-se necessário ajustar uma família de curvas que representem as razões que envolvem a escolha, pelo usuário, do modo como ele realizará a viagem. Tal procedimento exige um estudo completo, em que se analisam de todos os fatores que influem na escolha do modo de viagem. São utilizados os dados levantados nas pesquisas de Origem e Destino e Socio-Econômica, e outros desenvolvidos a partir dos dados coletados junto a organizações como o IBGE, DEESP, etc.

Por exemplo, nos estudos do PERSIT em São Paulo foram calibradas curvas distintas, para o período de pico da manhã, para as viagens com as seguintes motivações no destino:

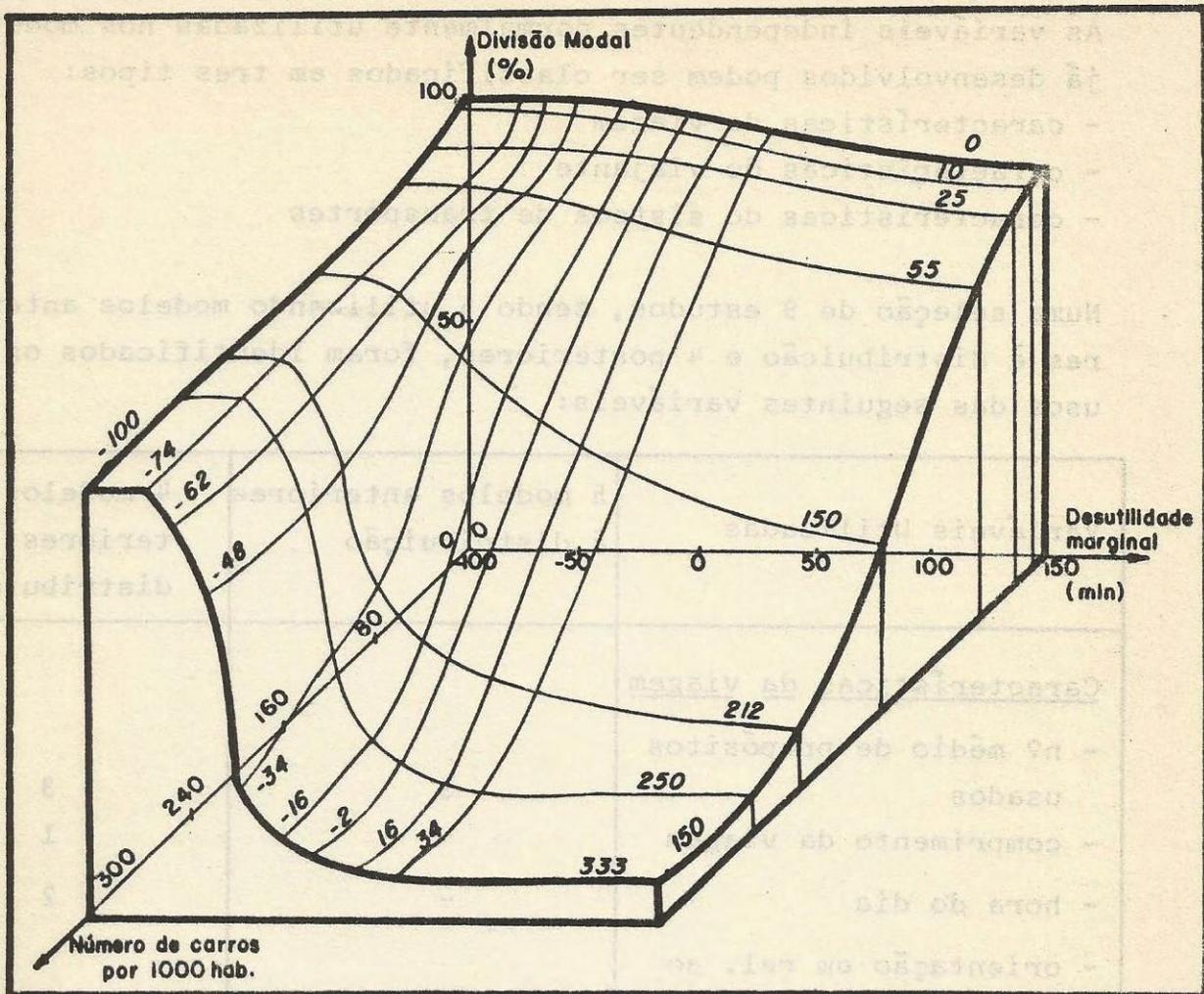
- trabalho
- escola
- outros

Na figura 6.9 encontra-se a superfície obtida na calibração para o motivo trabalho

Estas curvas procuraram correlacionar a desutilidade marginal entre cada par de zonas, o número de carros por habitante na zona de origem e a porcentagem das viagens feita por transporte coletivo.

F. COMENTÁRIOS

Como foi visto, não existe um único modelo de divisão modal que possa ser aplicado a qualquer área urbana.



Superfície "Calibrada" no Modelo de Desutilidades

Fig. 6.9

De maneira geral, há um consenso de que quanto maior a área urbana e quanto maior for o uso dos transportes coletivos, os modelos após a distribuição dão os melhores resultados.

Para pequenas áreas ou área onde os transportes coletivos são pouco utilizados pode-se adotar modelos antes da distribuição ou mesmo de geração direta.

A principal desvantagem dos modelos anteriores à distribuição é que não levam na devida conta mudanças significativas que possam ocorrer nos sistemas de transportes. E no entanto, estas mudanças tem influencia substancial no padrão de viagens da população, por modalidade utilizada.

Os modelos após a distribuição necessitam, em geral, maior volume de dados para sua calibração.

As variáveis independentes normalmente utilizadas nos modelos já desenvolvidos podem ser classificadas em tres tipos:

- características da viagem
- características do viajante
- características do sistema de transportes

Numa seleção de 9 estudos, sendo 5 utilizando modelos anteriores à distribuição e 4 posteriores, foram identificados os usos das seguintes variáveis:

Variáveis Utilizadas	5 modelos anteriores à distribuição	4 modelos posteriores à distribuição.
<u>Características da viagem</u>		
- nº médio de propósitos usados	3	3
- comprimento da viagem	-	1
- hora do dia	-	2
- orientação em rel. ao CBD	2	-
<u>Características do viajante</u>		
- Propriedade de carro	4	2
- Densidade residencial	2	1
- Renda	2	2
- Trabalhadores por residência	-	1
- Distância do CBD	1	-
- Densidade de empregos	-	1
<u>Características dos sistemas de transportes</u>		
- Tempo de viagem	-	4
- Custo de viagem	-	2
- Custo de estacionamento	-	3
- Acessibilidade	3	-

MODELOS DE ATRIBUIÇÃO DE VIAGENS

O total de viagens existentes em uma determinada rede é determinado pela soma de todas as viagens componentes da "árvore" entre essas zonas.

Para uma melhor compreensão do processo, supondo-se a árvore esquematizada na Figura 3.9 (pag. 39) e admitindo-se que existam um total de 50 viagens da zona 363 para a 362 e 100 viagens da zona 363 para a 358, ter-se-á:

A. GENERALIDADE

Carregamentos	Ligações
A atribuição das viagens em uma rede, tanto de transporte coletivo, como viária, ou "Spider", consiste no processo de se alojar os totais de viagens entre os pares de zona aos caminhos pré-determinados (árvores) para a realização dessas viagens.	
150	100
O processo de atribuição de viagens no planejamento de transportes tem como objetivos:	
- Determinação das deficiências do sistema existente.	
- Fornecer informações no desenvolvimento de um sistema de transportes futuro através de uma avaliação dos efeitos de melhorias e acréscimos no sistema existente.	
- Pesquisar as prioridades de construção, ao longo dos anos intermediários (entre o ano-base e o ano-meta), dos trechos do sistema de transportes proposto.	
- Executar testes sistemáticos das propostas de alternativas para o sistema de transportes.	
- Fornecer os volumes (de tráfego ou de passageiros) para o projeto dos diversos elementos do sistema.	

B. ATRIBUIÇÃO DAS TABELAS DE VIAGEM ÀS REDES

A idéia de como é feito o carregamento das redes é relativamente simples.

Deve-se ter o conjunto de todas as "árvores de mínima impedância" para uma determinada rede, e a tabela das viagens que serão atribuídas à mesma.

O total de viagens existentes entre um determinado par de zonas é alocado em todas as ligações componentes da "árvore" entre essas zonas.

Para uma melhor compreensão do processo, supondo-se a árvore esquematizada na Figura 3.9 (pag. 39) e admitindo-se que existam um total de 50 viagens da zona 363 para a 362 e 100 viagens da zona 363 para a 358, ter-se-á:

Ligação		Carregamentos		
Nó A	Nó B	363 para 362	363 para 358	Total
363	1.558	50	100	150
1.558	1.531	50	100	150
1.531	1.557	50	100	150
1.557	1.556	50	100	150
1.556	1.437	50	100	150
1.437	1.438	--	100	100
1.438	358	--	100	100
1.437	1.436	50	---	50
1.436	1.435	50	---	50
1.435	1.434	50	---	50
1.434	362	50	---	50

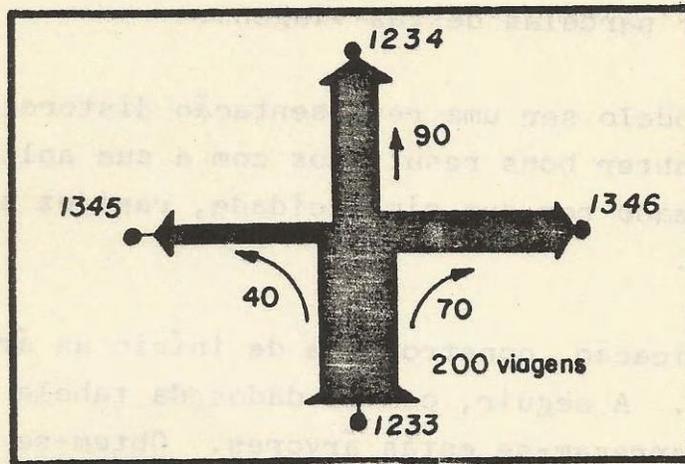
Tab. 7.1

Procedimento para o Carregamento da Rede

Com um raciocínio análogo é feito o carregamento das viagens originadas na zona 363 e destinadas a todas as demais zonas.

Repetindo-se o processo para todas as zonas da tabela de viagens acumulando-se em cada ligação as viagens correspondentes aos pares de zona cujas "árvores" a atravessam, ter-se-á o total de viagens que utiliza tal ligação, ou seja, o carregamento da ligação.

Pode-se determinar, além do total de viagens que atravessam uma ligação, qual o número de viagens que fazem cada um dos movimentos de conversão permitidos. Um exemplo do acima exposto está indicado na Figura 7.1.



Esquema de conversões

FIG.7.1

Também neste caso existem diferenças quanto aos resultados obtidos nos diversos tipos de redes - "Spider", Viária ou de Coletivos.

Nas redes Viária e "Spider" o carregamento fornece os totais de viagens que atravessam cada uma das ligações e os seus movimentos de conversão.

Na rede de transporte coletivo pode-se obter também os carregamentos em cada linha, em cada modo, o número de transferências entre os diversos modos, etc.

C. MODELOS DE ATRIBUIÇÃO

Estes modelos é que farão o carregamento das viagens nas redes e que fornecerão os dados necessários ao seu dimensionamento. Os critérios de atribuição diferem, quando os deslocamentos podem ser feitos em uma rede completa ou em ligações simples entre dois pontos. O primeiro tipo de carregamento é denominado de "problemas em rede", enquanto o segundo "problemas lineares".

1. Modelos de atribuição nos problemas em rede

- a. Modelo Tudo ou Nada - Este modelo admite que todas as viagens entre duas zonas, são feitas através do caminho de menor impedância, desprezando outros caminhos possíveis por onde poderiam passar parcelas destas viagens.

Apesar deste modelo ser uma representação distorcida da realidade, pode-se obter bons resultados com a sua aplicação. Ele é o mais utilizado por sua simplicidade, rapidez e por envolver menores custos.

Para a sua aplicação, constroem-se de início as árvores de todas as zonas. A seguir, com os dados da tabela de viagens interzonais, carregam-se estas árvores. Obtem-se assim os carregamentos em todas as ligações. Faz-se então, uma análise para verificar se os carregamentos não ultrapassam as capacidades estimadas para as mesmas. Se em algumas ligações eles forem maiores que as respectivas capacidades, faz-se uma diminuição das velocidades para representar o congestionamento. A mudança da velocidade em uma ligação pode implicar numa alteração no percurso de menor impedância entre duas zonas e portanto uma árvore diferente.

Logo é necessário refazer as árvores, carregá-las novamente e repetir o processo até se obter resultados satisfatórios.

O carregamento da rede de transporte coletivo também pode ser feito por esse método. Apenas com alguns detalhes para facilitar a sua posterior avaliação:

- 1º) O carregamento é feito para cada linha de transporte coletivo.
- 2º) Em uma ligação onde há diversas linhas de transportes coletivos, servindo o mesmo itinerário, opcionalmente o carregamento pode aparecer:
 - Na linha de maior frequência (menor intervalo).
 - Nas tres linhas de maior frequência igualmente dividido.
 - Nas tres linhas de maior frequência dividido proporcionalmente às frequências dessas linhas.

b. Modelo Tudo ou Nada com Restrição de Capacidade - É um processo iterativo, onde os volumes carregados nas ligações são comparados de uma maneira sistemática com as suas respectivas capacidades. Desta comparação resulta um ajuste nas velocidades das ligações, que tende a fazer com que o volume em cada uma delas seja igual à sua capacidade.

Inicialmente, constroem-se as árvores de mínimas impedâncias, atribue-se tráfego à elas e obtem-se o carregamento de toda a rede. O procedimento até aqui é o mesmo do processo "Tudo ou Nada".

A seguir, a rede carregada resultante é examinada Ligação por Ligação para se determinar a relação entre o volume atribuído e a sua capacidade prática, relação esta designada "relação volume-capacidade" e indicada por V/C.

Com esta relação aplica-se a equação mostrada abaixo determinada pelo "Bureau of Public Roads" (BPR), para o ajuste do tempo e consequentemente da velocidade.

$$T = T_0 * \left[1 + 0,15 \left(\frac{V}{C} \right)^4 \right] \quad (1)$$

Onde: T = Tempo ajustado, para o qual o volume V pode viajar na ligação.

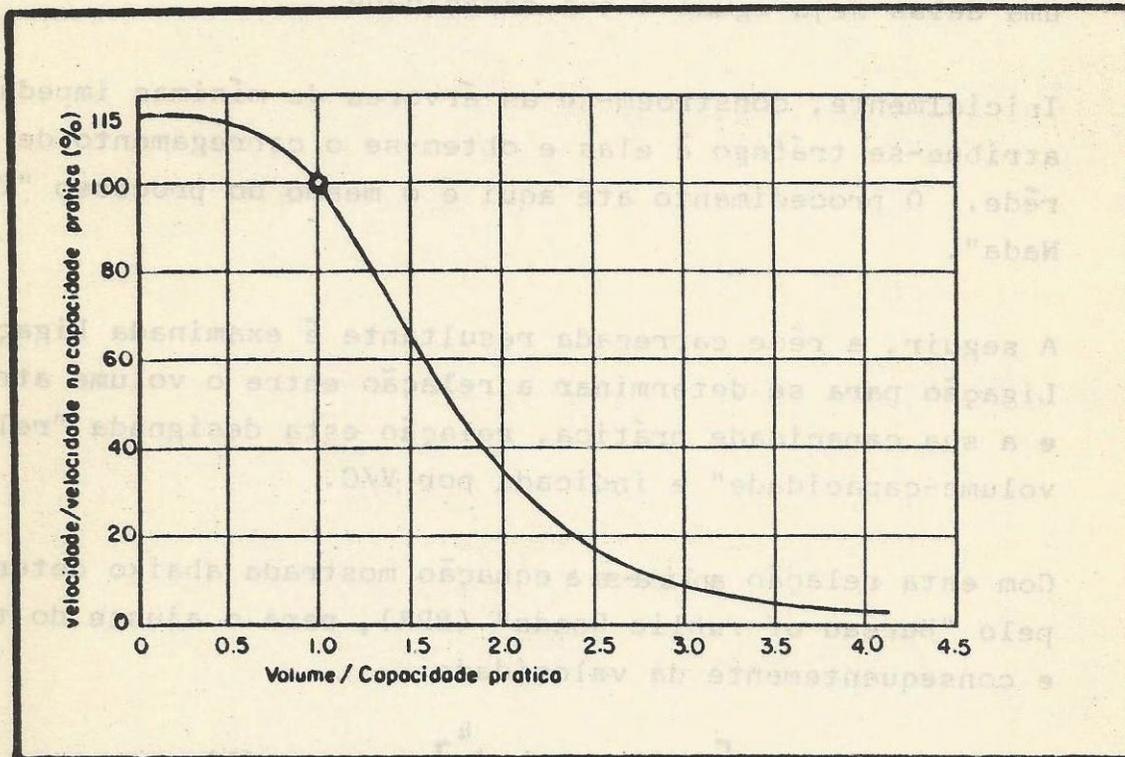
T_0 = Tempo de viagem para uma corrente de tráfego livre multiplicado por 0,87. (ajuste de escala).

A relação acima pode ser expressa graficamente, como mostra a figura 7.2.

No entanto, a aplicação direta da velocidade ajustada para uma atribuição de tráfego sucessiva, leva a uma oscilação muito grande nos volumes das ligações. Usa-se então a seguinte equação do "BPR"

$$T_a = 0,75 \cdot T_{\text{básico}} + 0,25 T \quad (2)$$

Onde: T_a = novo tempo que deve ser usado na atribuição
 T = tempo ajustado pela equação (1)
 $T_{bás.}$ = tempo resultante da velocidade adotada inicialmente.



Modelo com Restrição de Capacidade - BPR

FIG. 7.2

Com este novo tempo T_a , refaz-se o carregamento e repete-se o processo, tantas vezes quantas forem necessárias.

Este processo é bem mais preciso que o "Tudo ou Nada". No entanto, requer a determinação prévia das capacidades das ligações.

- c. Modêlo Probabilístico - Neste modelo considera-se que as viagens entre duas zonas se distribui entre múltiplos percursos, segundo uma curva Gaussiana. Assim seleciona-se todos os melhores caminhos cuja impedância se aproxime da menor, e faz-se o carregamento proporcional a cada um deles de acordo com os seus desvios em relação à média.

Este modelo acompanhado do Restrição de Capacidade é o que mais se aproxima da realidade, pois ele procura simular as condições

de escolha do usuário assim como respeita a capacidade das vias; no entanto são de aplicação mais difícil e mais onerosa.

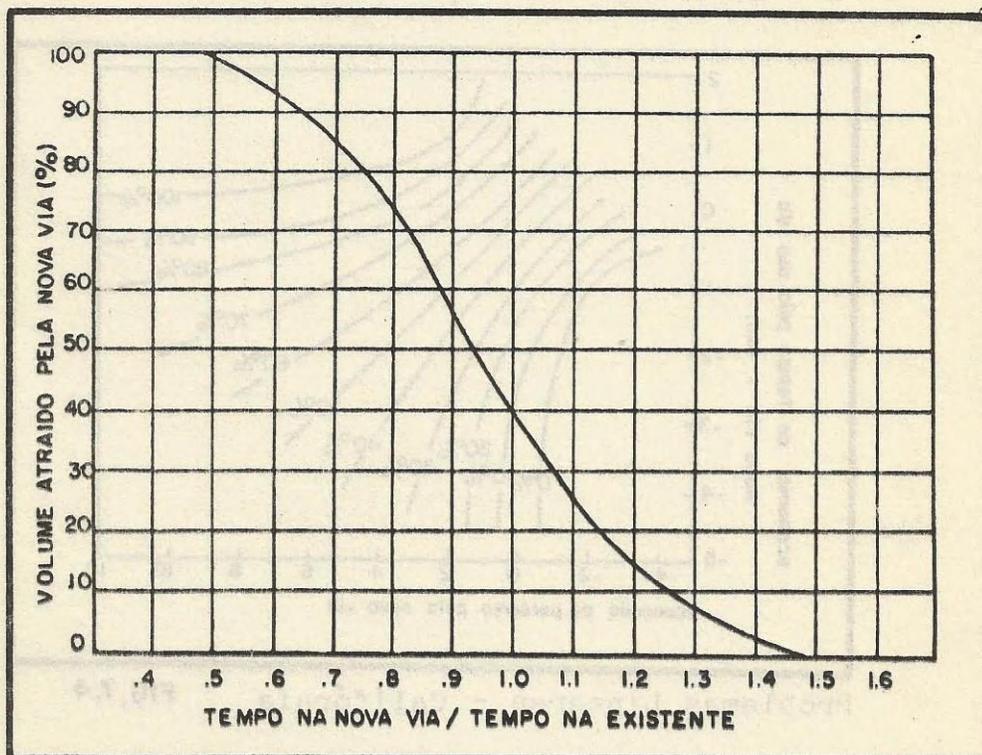
2. Problemas Lineares

Nos problemas lineares, tem-se apenas dois percursos diferentes para se atingir o destino. Neste caso os modelos de atribuições utilizados, são baseados na relação dos tempos gastos em cada uma das alternativas, fornecendo a porcentagem do tráfego atraído para uma via e a remanescente na outra.

Os modelos mais complexos levam em conta também as distâncias de viagens (reais e virtuais).

A seguir encontram-se alguns modelos utilizados nos diversos estudos.

- a. O Bureau of Public Roads - BPR, utiliza uma curva em forma de "S", (Figura 7.3), onde tem-se relação dos tempos x % de volume atraído pela nova via.



Problemas Lineares - Curva do "BPR"

FIG. 7.3

b. A AASHO utiliza também uma curva desse tipo, que obedece a seguinte equação:

$$p = \frac{1}{1 + R^6}$$

Onde: p = porcentagem utilizando a nova via

R = relação de tempo entre a nova via e a existente.

c. Na Califórnia também foram desenvolvidas curvas que indicam a porcentagem que utiliza uma nova via, em função das diferenças de distâncias, e tempo de viagem entre as alternativas.

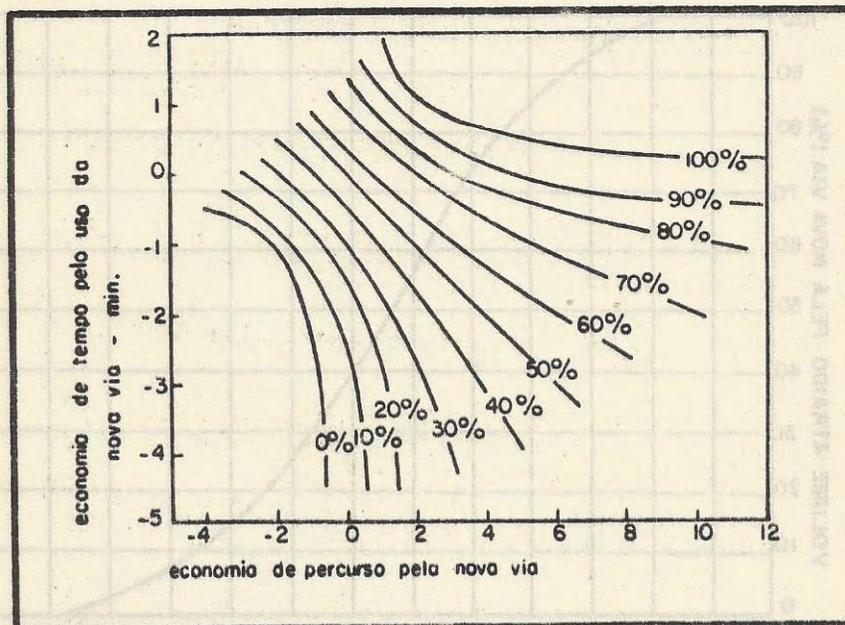
Essas curvas constituem uma família de hipérbolas, cuja equação matemática é: (Figura 7.4)

$$p = \frac{50 + 50 (d + 0,5t)}{(d - 0,5t)^2 + 4,5}$$

Onde: p = porcentagem que utiliza a nova via

d = diferença de distância (milhas)

t = diferença de tempo (minutos)



Problemas Lineares - Califórnia FIG.7.4

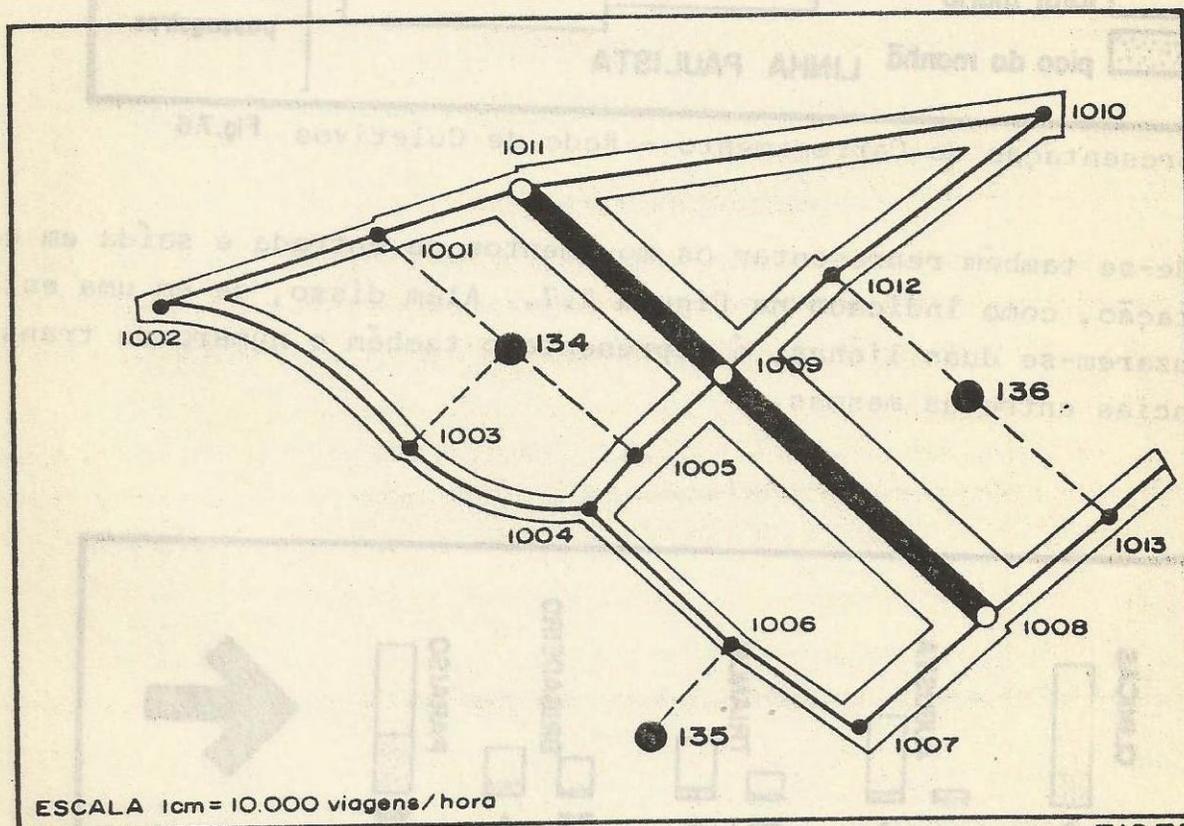
Estas curvas foram calibradas para dados próprios da Califórnia e portanto para sua utilização, há necessidade de fatores de correção.

D. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

Os resultados do processo de atribuição de viagens podem ser representados graficamente a fim de facilitar a análise do conjunto.

O carregamento de cada ligação é representado por um fluxograma desenhado sobre a própria rede, onde a largura da barra é proporcional ao volume de viagens que a atravessa.

Desse modo fica mais simples a visualização do fluxo de passageiros (ou veículos) que se utiliza do sistema de transporte em análise, conforme está indicado na Figura 7.5.

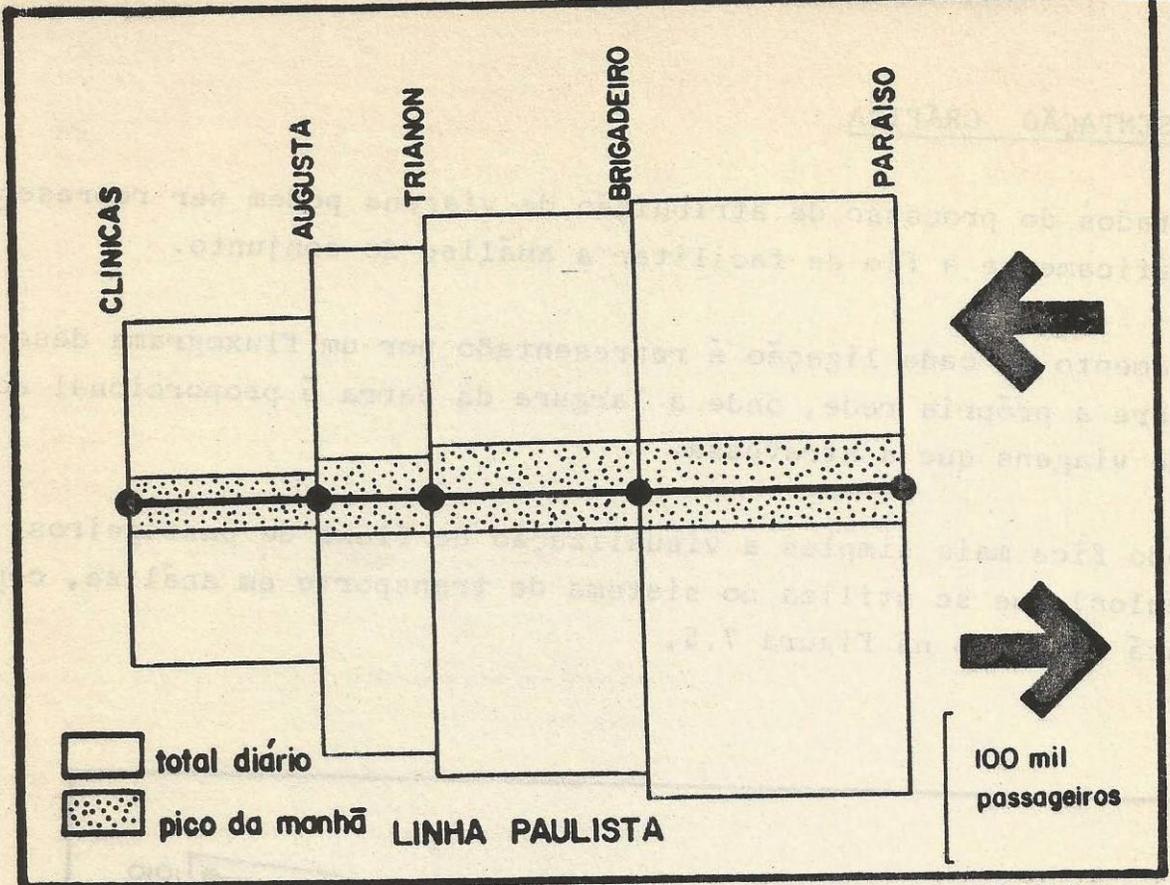


Representação Gráfica do Carregamento

FIG.7.5

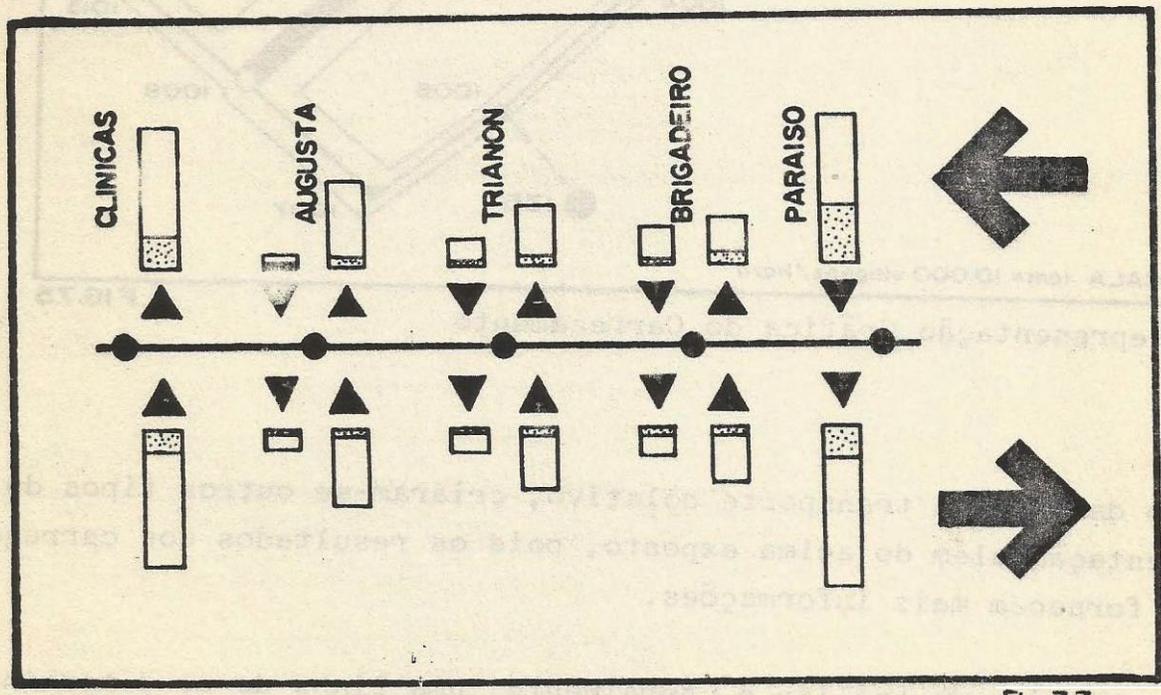
No caso da rede de transporte coletivo, criaram-se outros tipos de representação além do acima exposto, pois os resultados dos carregamentos fornecem mais informações.

Como o objetivo da análise é, geralmente, uma linha de um determinado meio de transporte, a representação é feita estação por estação, para a referida linha, Figura 7.6.



Representação do Carregamento - Rede de Coletivos Fig.7.6

Pode-se também representar os movimentos de entrada e saída em cada estação, como indicado na Figura 7.7. Além disso, se em uma estação cruzarem-se duas linhas, é representado também o número de transferências entre as mesmas.



Carregamento - Movimentos de Entradas e Saídas Fig. 7.7

E. CONCLUSÕES

O Carregamento das Rêdes é o dado mais valioso para o projetista das futuras "facilidades de transporte". Portanto ao ser analisado deve-se ter em mente todas as premissas admitidas ao longo do estudo.

Ao se estudar um trecho de uma dada rede, com seu carregamento, deve-se efetuar uma micro-análise, onde considera-se a representação discreta da malha e dos centróides no referido trecho.

De posse desses carregamentos já analisados pode-se obter:

- da "Spider-Net"

1. Diretrizes de um Sistema de Vias Expressas.
2. Diretrizes de um Sistema de Transporte Rápido de Massa.

- da "Réde Viária"

1. Volumes para dimensionamento das Vias Expressas e Vias Arteriais.
2. Movimentos e volumes nas interseções permitindo a escolha de seu tipo (diamante, direcional, trevo, sinalizada, etc.).

- da "Réde de Transporte Coletivo"

1. Volumes para dimensionamento das linhas de Metrô e subúrbios (número de trens, de carros, frequência horária).
2. Volumes para dimensionamento das estações (tamanho de plataformas, número de escadas rolantes).
3. Volumes para dimensionamento de Estações de Transferência entre os vários modos de transporte.
4. Volumes para dimensionamento (em termos de macro-análise) das linhas de Ônibus.

Além disso pode-se obter alguns índices gerais, tais como:

- total de viagens realizadas em cada modo.
- total de passageiros por quilômetro em cada uma das redes.
- total de passageiros por hora nas redes.
- tempo e distância média das viagens.
- distribuição das frequências de viagens, em função do tempo, distância, custo, etc..

A Metodologia apresentada no presente trabalho, compõe a estrutura básica do processo de Planejamento de um Sistema de Transportes, cujos resultados formam os pré-requisitos necessários para os estudos subsequentes, como:

- Análises Técnicas, Econômicas, Financeiras de Alternativas de um Sistema de Transportes.
- Estudos de Viabilidade.
- Elaboração dos Projetos Preliminares e Detalhados dos diversos elementos do Sistema em estudo.
- Estudos para a determinação dos Custos Operacionais do Sistema.

CAPITULO VIII

AVALIAÇÃO DE PROJETOS

A efetiva avaliação de um projeto quanto a prioridade de execução pressupõe a existência de um elenco de unidades alternativas de investimento. Cada unidade independente de investimento constitui um projeto a ser submetido aos critérios de escolha.

A eleição do melhor projeto depende dos critérios, estes por sua vez dependem dos objetivos. Não existe portanto um padrão único de avaliação. O projeto que proporciona maior lucro pode não ser o que permita maior economia de um recurso raro ou o que mais contribua para uma melhor distribuição de vantagens sociais.

A teoria economica tem discutido estes aspectos e não é propósito deste trabalho abordá-los; pretende-se somente apresentar os procedimentos usuais de avaliação de projetos de transporte urbano.

Estes critérios procuram ser isentos de subjetividade, não no sentido de que independam dos objetivos que os norteiam mas, significa que conduzidos por diferentes observadores forneçam sempre os mesmos resultados, desde que respeitados os princípios de avaliação utilizados.

O julgamento que norteia uma decisão pressupõe a comparação das vantagens e desvantagens decorrentes da ação cogitada. No caso de um investimento em transporte, consiste a avaliação na comparação dos efeitos positivos e negativos que sejam decorrentes.

Três perguntas, se apresentam então:

- Que custos e benefícios devem ser considerados na avaliação?
- Como quantificar e valorizar estes custos e benefícios?
- Que critérios empregar para compará-los?

A. CRITÉRIOS DE RENTABILIDADE

A rentabilidade de uma operação é positiva quando as receitas que produz são superiores às despesas necessárias. Um empresário que levante empréstimos para realização de um empreendimento espera que seu negócio propicie um lucro superior aos juros que deverá pagar pelo capital levantado.

Para ele a rentabilidade do investimento deve ser maior que o preço do capital. Sendo os gastos e receitas diferenciados no tempo, para comparação todos os valores devem ser atualizados utilizando a taxa de juros vigente.

A receita líquida atualizada é calculada como sendo:

$$R = \sum_0^t \frac{B_t}{(1+a)^t} - \sum_0^t \frac{C_t}{(1+a)^t} = B - C$$

Onde:

B_t = receitas no ano t

C_t = custo no ano t

a = taxa de juros

Sendo as receitas maiores que as despesas ($B > C$), o empresário escolherá a alternativa de investimento que proporcione maior retorno ($\max \frac{B - C}{C}$).

Como em geral trata-se de julgar um só investimento, a comparação de alternativas é feita indiretamente mediante a comparação com a rentabilidade média do setor em que atua

$$\left(\frac{B - C}{C} > r > a \right)$$

A taxa de retorno é definida como a taxa de desconto que torna nulo o valor da receita líquida no período de vida útil do projeto (valor de a para $R=0$, fórmula anteriormente apresentada).

RENTABILIDADE DO PATRIMONIO LÍQUIDO DE EMPRESAS

RAMO DE ATIVIDADE	RENTABILIDADE EM % A.A.
Indústria de Transformação	16
Construção Civil	20
Serviços de Utilidade Pública	12
Comércio e Transporte	19
Valor Médio	15

FONTE: "Análise Governamental de Projetos de Investimentos no Brasil" - IPEA-1972

Estes conceitos foram estendidos à avaliação de projetos públicos assemelhando os benefícios que proporcionam para a coletividade às receitas auferidas pelos empresários. Partindo deste esquema foram elaborados diversos critérios de rentabilidade que de modos diferentes comparam os efeitos favoráveis e desfavoráveis de um investimento.

1. Benefício Líquido Atualizado

Considerando dois investimentos cujos custos tenham a mesma ordem de grandeza, o critério de escolha é trivial. Interessa aquele que proporciona maior benefício atualizado ($B_1 > B_2$).

Para custos diferentes, a forma mais imediata de comparação consiste em trabalhar com o acréscimo de benefício em relação ao custo. ($B_1 - C_1 > B_2 - C_2 > 0$).

2. Relação Benefício/Custo

Supondo que pelo critério anterior as alternativas se equiparassem ($B_1 - C_1 = B_2 - C_2$), interessaria a que proporcionasse maior benefício ou exigisse menor custo.

Esta condição pode ser indicada pela relação Benefício/Custo ($B_1/C_1 > B_2/C_2 > 1$).

3. Taxa de Retorno

A combinação dos dois critérios é dada pelo método da taxa de retorno que relaciona os benefícios líquidos com os custos incorridos para auferi-los.

$$\frac{B_1 - C_1}{C_1} > \frac{B_2 - C_2}{C_2} > r$$

Como está indicado este critério é equivalente ao anterior. Na prática ele é empregado calculando a taxa de desconto que torna nula a receita líquida, ou ainda, indicada a taxa, em quantos anos se realiza o retorno do investimento.

4. Benefício Incremental

Neste critério são considerados os ganhos marginais de benefícios em relação a incrementos de custos

$$\frac{B_1 - B_2}{C_1 - C_2} > 1$$

Caso exista um grupo de projetos a ser analisado, eles são comparados dois a dois por ordem crescente de custo inicial escolhendo-se o de maior investimento entre os que apresentam a relação incremental maior que a unidade.

B. ITENS DE CUSTO

O custo total do transporte em um sistema, ou em um de seus componentes, é a soma dos seguintes custos:

- capital imobilizado
- custos de conservação
- custos de administração
- custos de operação (5)

Não é conveniente incluir como custos os efeitos desfavoráveis da implantação ou operação de um sistema. Estes valores são incluídos nos benefícios, como benefícios negativos. Esta providencia destina-se somente a tornar comparáveis os resultados de critérios de rentabilidade aplicados a projetos diferentes. Se o maléfico decorrente de um empreendimento for incluído ora nos custos ora nos benefícios, o cálculo da relação benefício custo, para o mesmo investimento, altera-se em cada caso.

C. TIPOS DE BENEFÍCIOS

Nos estudos de transporte costuma-se considerar os seguintes benefícios:

- redução dos custos de transporte
- redução dos tempos de viagem
- aumento da segurança do tráfego
- diminuição da poluição ambiental

A esta lista pode-se acrescentar outros efeitos de quantificação mais difícil tal como o aproveitamento de potencialidades naturais, aumento de eficiência das atividades econômicas e melhoria da qualidade de vida da população.

Quanto a dificuldade de mensuração, os efeitos podem ser classificados em tangíveis e intangíveis sendo que os benefícios tangíveis podem ser monetários por se expressar em termos de valor através do mercado e monetarizáveis que são convertidos artificialmente em valores expressos em cruzeiros.

Outra classificação dos efeitos refere-se a quem é beneficiado. Os benefícios podem reverter a antigos e novos usuários do serviço, como a não-usuários, constituídos por grupos da população, pela entidade operadora do sistema de transporte e ainda pelo poder público.

Benefícios monetários como redução dos custos operação e valorização de imóveis pode beneficiar, conforme as circunstâncias, aos usuários, ao prestador do serviço ou ao governo. A redução do número de acidentes e da poluição favorece a usuários, não-usuários e a economia como um todo.

No computo dos benefícios deve ser considerado quem deverá ser beneficiado e também deve-se ter o cuidado de que não ocorra a dupla contagem. Por exemplo, a economia de tempo responde por parte da valorização dos terrenos que por sua vez é a base de parte da arrecadação do imposto territorial. A soma dos tres efeitos superestimarã os benefícios. Note-se que impostos constituem uma transferência de um valor criado, sendo raras as ocasiões em que devam ser computados no conjunto geral das vantagens sociais decorrentes de um projeto.

D. EXEMPLO: ITENS DE UM ESTUDO DE METRO

1. Benefícios e Custos Diretos

- a) Investimento na aquisição de bens de raiz
- b) Custos de construção das instalações fixas
- c) Custos de manutenção em funcionamento das redes de serviços públicos
- d) Investimento para material rodante
- e) Custos de operação das instalações e material rodante
- f) Custos de manutenção das instalações e material rodante
- g) Custos anuais dos meios de transporte caso o metro não fosse implantado
- h) Custos anuais do tempo perdido caso o metro não fosse implantado

2. Benefícios Indiretos

- a) Economia de tempo para não usuários do metro
- b) Redução dos custos de conservação das vias públicas
- c) Desaceleração do ritmo de ampliação da rede de vias públicas
- d) Redução de custos para usuário de carros particulares
- e) Redução nos custos de acidentes
- f) Maior acessibilidade aos terrenos e sua valorização
- g) Redução do desconforto
- h) Malefícios dos desvios de tráfego devido a construção do metro

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. "URBAN TRANSPORTATION PLANNING PROCESS" - Bureau of Public Roads, 1972.
2. "ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA" - Civil Engineering and Building Construction Series, nº 37 , 1966 (K.R.Overgaard)
3. "GUIDELINES FOR TRIP GENERATION ANALYSES" - Bureau of Public Roads, 1967.
4. "CALIBRATING & TESTING A GRAVITY MODEL FOR ANY SIZE URBAN AREA" Bureau of Public Roads, 1968
5. "MODAL SPLIT - DOCUMENTATION OF NINE METHODS FOR ESTIMATING TRANSIT USAGE" - Bureau of Public Roads, 1966.
6. "MODAL SPLIT REVISED" - Bureau of Public Roads, 1969.
7. "TRAVEL FORECASTING" - Alan M. Voorhees & Associates, Inc., USA.
8. "1º SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL" - I.T.A., E.P.Ú.S.P.
9. "ESTUDO DE VIABILIDADE DO METRO-SP" - Hotchief, Montreal, Deconsult , 1968.
10. "PROGRAMA DE EXECUÇÃO DA REDE SIMULADA DE INTEGRAÇÃO DOS TRANSPORTES - PERSIT" , Relatórios Técnicos - PTR, Cia. do Metropolitano de São Paulo, 1973.