

+ UMA AVALIAÇÃO DE MODELOS GRAVITACIONAIS

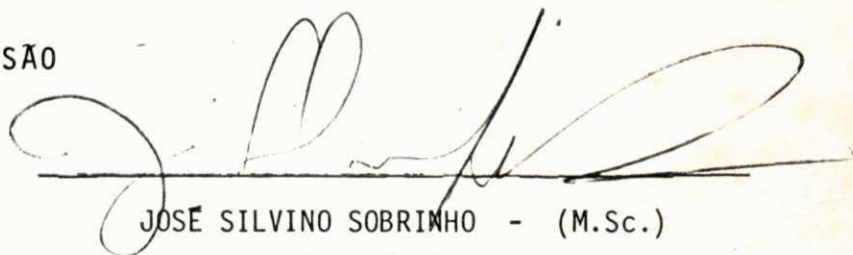
JONAS PEREIRA DE ANDRADE

Engenheiro Civil

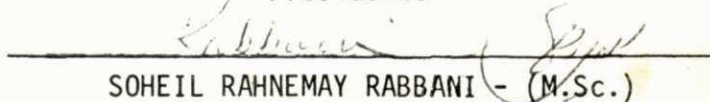
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

Aprovada por:

COMISSÃO


JOSE SILVINO SOBRINHO - (M.Sc.)

-Presidente-


SOHEIL RAHNEMAY RABBANI - (M.Sc.)

-Examinador Interno-


MARCOS ANTONIO ZAMPIERI NUNES - (M.Sc.)

-Examinador Externo-

CAMPINA GRANDE

ESTADO DA PARAIBA-BRASIL

MARÇO - 1978



A553a Andrade, Jonas Pereira de.
Uma avaliação de modelos gravitacionais / Jonas Pereira de Andrade. - Campina Grande, 1978.
95 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1978.
"Orientação : Prof. M.Sc. José Silvino Sobrinho".
Referências.

1. Transportes - Planejamento. 2. Transporte - Problemas. 3. Modelos Gravitacionais. 4. Dissertação - Ciências. I. Silvino Sobrinho, José. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 656.07(043)

À memória de meu pai

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Professor José Silvino Sobrinho, Profes sor Titular do CCT/UEPB, pelo incentivo, assistência e ori entação prestadas, tanto durante o curso como na elabora ção deste trabalho.

Ao Professor Orlando Cavalcanti Gomes, Vice-Reitor da UEPB, em exercício, por ter permitido o afasta mento do autor para efetivação deste curso.

Ao Professor Serafim Rodriguez Martinez, Prô-Reitor para Assuntos Administrativos da UEPB, pelo es tímulo e apoio administrativo dispensados para a realiza ção do presente estudo.

À equipe do Núcleo de Treinamento e Pesqui sa em Transportes pela colaboração financeira e material emprestados durante esta pesquisa.

UMA AVALIAÇÃO DE MODELOS GRAVITACIONAIS

Dissertação de Mestrado

por

Jonas Pereira de Andrade

R e s u m o

Na previsão de demanda futura de viagens do processo de planejamento de transportes existe uma gama de modelos de estimativas de distribuição de viagens.

Três dos gravitacionais mais usados são apresentados nesta dissertação. Com os dados de uma pesquisa domiciliar de Campina Grande-Pb., eles são calibrados por programas de computador e os resultados analisados através de indicadores de avaliação tomados com base no erro padrão da estimativa.

As conclusões definem o modelo gravitacional de menor dispersão, conseqüentemente o de melhor ajustamento aos dados observados.

AN EVALUATION OF GRAVITY MODELS

M.Sc. Dissertation

by

A b s t r a c t

In future trips demand forecasting of transport planning process there is a set of models of estimating trip distribution.

Three among the gravity models more used are presented in this dissertation. With home-interview data in Campina Grande-Pb, they are calibrated by computer programs and the results analyzed through evaluation indicators taken with basis on standard error of estimate.

The conclusions define the gravity models of less dispersion, consequently that of best adjustment to the observed data.

I N D I C E

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	
1.1 - Considerações Gerais	01
1.2 - Objetivo da Pesquisa	02
CAPÍTULO 2 - MODELOS DE GRAVIDADE	
2.1 - Conceituação	04
2.2 - Modelo do BPR (Bureau of Public Roads)	10
2.3 - Modelo de Entropia	15
2.4 - Modelo Gravitacional Modificado	23
2.5 - Indicadores para a Avaliação	28
CAPÍTULO 3 - CALIBRAÇÃO DOS MODELOS	
3.1 - Processo de Coleta	31
3.2 - Dados Levantados	32
3.3 - Aplicação dos Dados aos Modelos	34
3.4 - Avaliação dos Resultados	35
3.4.1. Erro na Estimativa de Geração	35
3.4.2. Erro na Estimativa de Atração	37
3.4.3. Erro na Estimativa de Frequência de Viagem	38
3.4.4. Erro na Estimativa Total	39
3.5 - Conclusões	40
3.6 - Análise Crítica aos Modelos	42
3.7 - Sugestões para Pesquisas Posteriores	45
APÊNDICE A	77
BIBLIOGRAFIA	94

LISTA DAS TABELAS

1 - Menor erro total com o expoente α e o número de iterações correspondentes obtidos pelos modelos para os diversos custos de viagens	47
2 - Erros totais segundo o valor de α e o número de iterações para o modelo de entropia	48
3 - Erros totais para os α ótimos segundo o número de iterações	49
4 - Matriz origem/destino observada - Indústria	50
5 - Matriz origem/destino observada - Comércio	50
6 - Matriz origem/destino observada - Público	51
7 - Matriz origem/destino observada - Residência	51
8 - Matriz origem/destino observada - Diversos	52
9 - Matriz origem/destino calculada - Indústria	53
10 - Matriz origem/destino calculada - Comércio	53
11 - Matriz origem/destino calculada - Público	54
12 - Matriz origem/destino calculada - Residência	54
13 - Matriz origem/destino calculada - Diversos	55
14 - Matriz dos tempos de viagens interzonais em minutos	56
15 - Matriz das distâncias de viagens interzonais em metros	56
16 - Matriz das linhas de desejos interzonais em metros	57
17 - Relação dos erros segundo a origem - Indústria	58

18 - Relação dos erros segundo o destino - Indústria	58
19 - Relação dos erros segundo a origem - Comércio	59
20 - Relação dos erros segundo o destino - Comércio	59
21 - Relação dos erros segundo a origem - Público	60
22 - Relação dos erros segundo o destino - Público	60
23 - Relação dos erros segundo a origem - Residência	61
24 - Relação dos erros segundo o destino - Residência	61
25 - Relação dos erros segundo a origem - Diversos	62
26 - Relação dos erros segundo a destino - Diversos	62
27 - Relação dos erros segundo os custos de viagens - Indústria	63
28 - Relação dos erros segundo os custos de viagens- Comércio	64
29 - Relação dos erros segundo os custos de viagens - Público	65
30 - Relação dos erros segundo os custos de viagens - Residência	66
31 - Relação dos erros segundo os custos de viagens - Diversos	67
32 - Matriz da relação viagens observadas/viagens calculadas - Indústria	68
33 - Matriz da relação viagens observadas/viagens calculadas - Comércio	68
34 - Matriz da relação viagens observadas/viagens calculadas - Público	69
35 - Matriz da relação viagens observadas/viagens calculadas - Residência	69
36 - Matriz da relação viagens observadas/viagens calculadas - Diversos	70

LISTA DAS FIGURAS

- | | |
|--|----|
| 1 - Erro total em função do número de iterações e de α - Indústria | 70 |
| 2 - Erro total em função do número de iterações e de α - Comércio | 71 |
| 3 - Erro total em função do número de iterações e de α - Público | 72 |
| 4 - Erro total em função do número de iterações e de α - Residência | 73 |
| 5 - Erro total em função do número de iterações e de α - Diversos | 74 |
| 6 - Fluxograma do modelo do BPR | 75 |
| 7 - Fluxograma do modelo de entropia | 76 |
| 8 - Fluxograma do modelo modificado | 77 |

CAPÍTULO I

I N T R O D U Ç Ã O

1.1 - Considerações Gerais

Transportar pessoas e mercadorias com segurança, conforto, conveniência, rapidez e economia é a principal meta do planejamento de transportes. Planejamento assim emanado da necessidade de se equacionar os problemas de transportes a fim de melhor estudá-los e solucioná-los como forma de contribuir para o bem estar da comunidade.

Basicamente, os problemas de transportes urbanos brotaram da crescente demanda de viagens pela população urbana¹. Por sua vez, esta demanda é função principalmente dos fatores sociais e econômicos da própria população.

O estudo dos transportes urbanos envolve uma série de etapas, o que o constitui um processo, chamado de processo de planejamento de transportes. No estágio de previsão da demanda, mais precisamente na estimativa da distribuição de viagens, está inserido o tema que este trabalho pretende focalizar: Modelos de Distribuição de Viagens.

Como é preciso determinar a quantidade de viagens que se originam em cada zona de tráfego, é, igualmente importante, obter a estimativa de suas direções e ainda encontrar as origens daquelas que se destinam a uma determinada zona.

Modelos matemáticos foram construídos tentando solucionar este problema.

Existem duas categorias principais de modelos. Os que projetam o movimento de viagens através de fatores de crescimento, dos quais o devido a Fratar é o mais conhecido e os modelos de simulação ou sintéticos que, com base no padrão de viagens observado e nas características sócio-econômicas da região, projetam a distribuição de viagens para o futuro. Estes constituem os modelos mais usados.

A análise de tres modelos gravitacionais constitui o ponto central desta dissertação.

No capítulo II apresenta-se uma descrição completa dos modelos usados, bem como os indicadores para a avaliação. Enquanto no capítulo III procura-se mostrar o processo de coleta e análise dos dados, procede-se a calibração dos modelos com os dados e a avaliação dos resultados e apresentam-se as conclusões finais e as sugestões para novas pesquisas.

Finalmente, no apêndice A constam as instruções para o uso dos programas com suas respectivas listagens do computador.

1.2 - Objetivo da Pesquisa

Avaliar os modelos gravitacionais do B.P.R. (Bureau of Public Roads), de entropia e o modificado, objetivando encontrar o mais bem ajustado à situação real de uma cidade

de porte médio brasileira é o objetivo fundamental deste trabalho. Em sua calibração os modelos foram alimentados com os dados de uma pesquisa domiciliar realizada em Campina Grande-Pb, no ano de 1974.

CAPÍTULO II

MODELOS DE GRAVIDADE

2.1 - Conceituação

Primitivamente estes modelos foram concebidos com base na lei da gravidade newtoniana de 1686. Sua premissa básica no uso em estudos de transportes é que as viagens emanadas de uma determinada zona i se distribuem a todas as outras zonas, conforme as oportunidades de atração efetivamente oferecidas aos passageiros². A atração é uma função associada diretamente ao desenvolvimento do uso do solo e inversamente à distância (tempo ou custo de viagem, congestionamento, etc) entre as zonas de origem e de destino.

Em termos matemáticos os modelos de gravidade são, de um modo geral expresso como segue:

$$V_{ij} = O_i \frac{\frac{D_j}{d_{ij}^\alpha}}{\frac{D_1}{d_{i1}^\alpha} + \frac{D_2}{d_{i2}^\alpha} + \dots + \frac{D_n}{d_{in}^\alpha}} \quad (1)$$

onde:

V_{ij} , viagens entre as zonas i e j ($j = 1, 2, 3, 4, \dots, n$);

O_i , viagens produzidas na zona i , assim obtidas:

$$O_i = \sum_{j=1}^n V_{ij};$$

D_j , força de atração da zona j . Depende das características da zona e do propósito da viagem. Pode ser população, viagens atraídas, número de empregos, etc;

d_{ij} , distância, tempo ou custo de viagens entre i e j ;

α , expoente da distância;

n , número de zonas.

Enquanto D_j , força de atração da zona j , é uma função da grandeza e do tipo do desenvolvimento do uso da terra, d_{ij} é a resistência dada através da distância, tempo ou custo de viagens entre as zonas i e j . Vê-se pois, que os modelos de gravidade distribuem as viagens de uma zona qualquer a todas as outras com base nas viagens geradas naquela zona, força de atração das demais e resistência ao deslocamento entre elas. O expoente α representa a maior ou menor resistência que a separação entre as zonas oferece à realização das viagens.

Assim, encontradas as variáveis independentes, tais como força de atração por zona, distância interzonal e

seu expoente, além das viagens geradas, o modelo pode ser usado. Tem-se, ainda, que aplicá-lo segundo alguns propósitos previamente selecionados. Estes propósitos tem grande influência sobre o modelo, mais precisamente na determinação do expoente α . A distância interzonal pode ser uma medida de campo determinada percorrendo-se de centroide a centroide ou uma medida das linhas de desejos, também entre os centroides de cada zona. Já o valor do expoente α é obtido experimentalmente uma vez que varia com o propósito da viagem e com a área urbana em estudo e seu valor deve ser tal que minimize a diferença entre os resultados obtidos com a aplicação do modelo e os observados em pesquisa.

Considerando o denominador como uma constante de proporcionalidade, a equação (1) pode ser reescrita em sua forma mais usada.

$$v_{ij} = o_i \frac{d_j f_{ij}}{\sum_j d_j f_{ij}} \quad (2)$$

onde:

v_{ij} , viagens atuais entre as zonas i e j ;

o_i , viagens atuais com origem em i ;

d_j , viagens atuais com destino a j ;

f_{ij} , alguma função da separação espacial d_{ij} entre as zonas e normalmente chamada de função fator tempo de viagem.

Os modelos de gravidade, quando de sua aplicação exigem que sejam satisfeitas as duas restrições em forma de equações de normalização ou de fins de viagens, abaixo:

$$o_i = \sum_j v_{ij} \quad (3)$$

$$d_j = \sum_i v_{ij} \quad (4)$$

A equação (2) apresenta uma forma do modelo que satisfaz, de princípio, a primeira equação de normalização mas que necessariamente não satisfará a segunda equação como se demonstra a seguir.

Fazendo na equação (2)

$$b_{ij} = \frac{d_j f_{ij}}{\sum_j d_j f_{ij}}$$

Aplicando o somatório vem:

$$\sum_j b_{ij} = \sum_j \frac{d_j f_{ij}}{\sum_j d_j f_{ij}} = \frac{\sum_j d_j f_{ij}}{\sum_j d_j f_{ij}} = 1$$

Logo de 2

$$\sum_j v_{ij} = \sum_j o_i b_{ij} = o_i \sum_j b_{ij}$$

$$\sum_j v_{ij} = o_i$$

A segunda restrição do modelo, na maioria de suas aplicações, é atendida por um processo iterativo, tal como:

$$D_j^k = d_j \frac{D_j^{k-1}}{\sum_j V_{ij}^k} \quad (5)$$

onde:

D_j^k , viagens atraídas (corrigidas) pela zona j , na iteração k que será substituído na equação (2), na iteração seguinte.

A partir das equações 2, 3, 4 e 5 pode-se obter uma estimativa do padrão atual de viagens e compará-lo com o observado. Por conseguinte, se é possível sintetizar um padrão de tráfego para hoje, por modelos matemáticos, será igualmente possível, pelas mesmas técnicas, prever um padrão para o futuro³.

Tem-se pois no futuro:

$$V_{ij} = O_i \frac{D_j F_{ij}}{\sum_j D_j F_{ij}} \quad (6)$$

onde:

V_{ij} , viagens futuras entre as zonas i e j ;

O_i , viagens futuras com origem na zona i ;

D_j , viagens futuras atraídas pela zona j ;

F_{ij} , alguma função da separação espacial d_{ij} entre as zonas e normalmente chamada função fator tempo de viagens.

A dificuldade no uso da equação (6) consiste na calibração, isto é, na determinação da natureza da função que relaciona F_{ij} a uma medida da separação espacial d_{ij} . O tempo de viagem é geralmente usado nos modelos de gravidade.

Contudo, o modelo gravitacional até o presente mostrado é revestido de muita simplicidade, segundo tem comprovado a maioria dos estudiosos em suas experiências. Por isso não tem condições de refletir a realidade. O ponto mais frágil porém, reside no fato de se supor constante o expoente da distância α para toda área urbana, principalmente para previsões muito distantes.

Na prática se observa que isto é verdade a partir de uma dada distância, que α diminui para curtas distâncias e que volta a aumentar a partir de uma certa distância. Na realidade o que ocorre é que até uma dada distância o número de viagens é crescente e como o expoente tem que se ajustar a esta variação real, que se produz por motivos distintos da sensação subjetiva da utilidade do indivíduo, resulta assim em modificação no valor de α^4 .

Para corrigir as falhas detectadas no modelo representado na equação (1), várias foram as fórmulas estabelecidas em estudos de áreas urbanas que, apresentam ca-

racterísticas particulares em função da área e dos objetivos para os quais foram determinadas.

A seguir serão apresentadas tres destas fórmulas.

2.2 - Modelo do BPR (Bureau of Public Roads)

O B.P.R. desenvolveu uma técnica para calibração do modelo de gravidade que é a mais usada atualmente. O objetivo do processo é estabelecer uma relação entre f_{ij} e d_{ij} . Juntamente com as equações (2) e (5) esta função é usada para satisfazer as restrições impostas pelas equações (3) e (4). O tempo de viagem entre as zonas é usado como medida de separação espacial.

A expressão matemática deste modelo tem a forma seguinte:

$$V_{ij} = \frac{o_i \cdot d_j \cdot F_{ij} \cdot k_{ij}}{\sum_j d_j \cdot F_{ij} \cdot k_{ij}} \quad (7)$$

onde:

F_{ij} , uma função do tempo de viagem t_{ij} geralmente $F_{ij} = \frac{1}{t_{ij}^\alpha}$, α determinado experimentalmente;

k_{ij} , fator de ajustamento entre as zonas, que permite a influência no modelo de fatores sócio-econômicos;

Os fatores de ajustamento k_{ij} são determinados pela expressão:

$$k_{ij} = r_{ij} \frac{(1 - x_i)}{1 - x_i r_{ij}} \quad (8)$$

onde:

$$r_{ij} = \frac{v_{ij}}{v_{ij}}$$

$$x_i = \frac{v_{ij}}{o_i}$$

O algoritmo para calibração deste modelo, compreende as etapas seguintes:

1. obter o_i e d_j da matriz O/D observada na pesquisa;
2. obter tempos de viagem t_{ij} entre cada par de zonas;
3. calcular a distribuição de frequência de viagens observadas;
4. calcular a percentagem da distribuição - frequência de viagens observadas;
5. calcular $F_{ij} = 1/t_{ij}^\alpha$ supondo um valor inicial para α ;

6. calcular a matriz O/D de V_{ij} pela aplicação da equação (7) considerando $k_{ij} = 1$, inicialmente para todo par ij ;
7. calcular percentagem em relação ao total da distribuição de viagens calculadas;
8. comparar as percentagens calculadas com as observadas;
9. se a diferença entre elas estiver dentro de uma faixa de $\pm 3\%$ o modelo está calibrado, se não corrigir as viagens atraídas pela equação (5). Na 1ª. iteração $d_j^1 = d_j$. Voltar para a etapa 6;
10. se a diferença entre a percentagem calculada numa iteração k não diferir muito da calculada na iteração $k-1$ e ambas não se aproximarem da percentagem observada, aplicar um acelerador de convergência na função fator tempo F_{ij} como segue:

$$F'_{ij} = F_{ij} \frac{OD\%}{GM\%} \quad (9)$$

onde:

F'_{ij} = função fator tempo a ser usada na próxima iteração;

OD% = percentagem em relação ao total das viagens observadas para um dado tempo de viagem;

GM% = percentagem em relação ao total das viagens calculadas para um dado tempo de viagem e voltar a etapa 6;

14. se persistir a diferença maior que 3% entre percentagens observadas e calculadas, mudar o valor do expoente α .
15. após obter a matriz distribuída atendendo todas as restrições calculam-se os valores para k_{ij} pela equação (8).

Calculados os valores de F_{ij} e k_{ij} que melhor se ajustem aos dados observados em pesquisa, o modelo pode ser usado para o ano horizonte, impondo aqueles valores constantes ao longo do tempo.

O algoritmo visto acima pode ser melhor entendido pelo fluxograma da figura 6.

Discussão sobre a calibração do modelo:

Dois critérios devem ser satisfeitos na calibração descrita acima para o ano base:

1. a aproximação da distribuição de frequência de viagens calculadas para as observadas;
2. as restrições das equações de normalização.

O fato de se considerar constante a função fator tempo F_{ij} ao longo dos anos quando de sua aplicação

constitui o ponto mais fraco do modelo, além da analogia que faz entre uma lei física e o comportamento social humano. Alguns autores tem demonstrado que esta suposição não é válida para muitas áreas urbanas onde ocorrem variações significativas. Embora a calibração para as condições do ano base seja possível, para o ano de projeção a situação não é tão fácil.

O procedimento normal usado na prática é supor que a função calibrada para o ano base permanece constante em todo período de planejamento.

Por outro lado, a correção das viagens atraídas cobre algumas deficiências no cálculo de F_{ij} .

Sabe-se que os modelos gravitacionais são sensíveis as variações no comportamento sócio-econômico da área, contudo é quase impossível prever com exatidão este padrão futuro, apesar do uso dos fatores do ajustamento k_{ij} .

Apesar disto o modelo é de fácil compreensão e considera o propósito da viagem como fator influente, além da competição que existe entre os vários usos da terra⁵. As mudanças nos tempos de viagem são também reconhecidas. Sua aplicação não exige uma pesquisa domiciliar completa, por isso é economicamente viável.

2.3 - Modelo de Entropia

Dos modelos de distribuição de tráfego usados em planejamento de transportes o gravitacional utilizando o conceito de entropia é um dos mais comumente usados.

Pela relação:

$$p_{ij} = \frac{v_{ij}}{v} \quad (10)$$

onde:

v = total de viagens em toda área;

p_{ij} = probabilidade de ocorrerem as viagens v_{ij} entre i e j .

Em termos de valores adimensionais de p_{ij} é importante conceituar a entropia de rede.

De (10) tem-se as restrições:

$$0 < p_{ij} < 1 \quad (11)$$

$$\sum_i \sum_j p_{ij} = 1 \quad (12)$$

A entropia de rede é então definida como:

$$H = - \sum_i \sum_j p_{ij} \ln p_{ij} \quad (13)$$

Tomando apenas um termo do somatório de (13) po de-se escrever:

$$- p_{ij} \ln p_{ij} = 0 \text{ para } p_{ij} = 0, 1 \quad (14)$$

$$- p_{ij} \ln p_{ij} > 0 \text{ para } 0 < p_{ij} < 1 \quad (15)$$

Derivando p_{ij} duas vezes segue:

$$\frac{d}{dp_{ij}} (-p_{ij} \ln p_{ij}) = - \ln p_{ij} - 1$$

$$\frac{d^2}{dp_{ij}^2} (-p_{ij} \ln p_{ij}) = - \frac{1}{p_{ij}}$$

Assim:

$$\text{Max } (- p_{ij} \ln p_{ij}) = e^{-1} \text{ para } p_{ij} = e^{-1} \quad (16)$$

$$- p_{ij} \ln p_{ij} \text{ é côncavo para } 0 < p_{ij} < 1 \quad (17)$$

Os modelos de distribuição são baseados no princípio de que uma distribuição de equilíbrio maximiza a entropia.

Supondo que nada é conhecido acerca da distribuição de viagens para uma matriz de origem-destino O/D com n origens e n destinos, o modelo de entropia é obtido pela maximização da entropia na equação (13) sujeita às restrições da equação (12). Para isso deve se fazer uso do multiplicador de Lagrange v e definir uma função Lagrangeana.

$$\mathcal{L}(p_{ij}, v) = - \sum p_{ij} \ln p_{ij} - v \sum (p_{ij} - 1) \quad (18)$$

cujos valores extremos são:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial p_{ij}} = - \ln p_{ij} - 1 - v = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial v} = - \sum p_{ij} + 1 = 0 \quad (20)$$

que dão p_{ij}^* como valores de equilíbrio e solução única.

$$p_{ij}^* = 1/n.n \quad (21)$$

e H^* máximo.

$$H^* = H_{\max} = \ln (n.n) \quad (22)$$

vê-se que (21) satisfaz (10) e é positivo.

A maximização da entropia da rede está assim ilustrada. Portanto ela distribui eventualmente as viagens através da rede e o resultado esperado é que as viagens são todas iguais e independentes de qualquer zona.

Se C_{ij} é o custo de uma viagem gerada por i e atraída por j , o custo total das viagens em toda a área será:

$$C = \sum_{ij} v_{ij} C_{ij} \quad (23)$$

O custo médio de viagem seria dado por:

$$c = \sum_{ij} p_{ij} \cdot C_{ij} \quad (24)$$

O que se pretende é:

$$\max. H = \sum_{ij} p_{ij} \ln p_{ij} \quad (25)$$

sujeito a:

$$\sum_j p_{ij} = U_i = o_i/v \quad (26)$$

$$\sum_i p_{ij} = V_j = dj/v \quad (27)$$

$$\sum_i \sum_j p_{ij} = 1 \quad (28)$$

$$\sum_i \sum_j p_{ij} C_{ij} = c \quad (29)$$

O modelo de gravidade que utiliza o princípio da entropia descrito acima processa uma distribuição completa da frequência de viagens, para ajustá-las.

Por simplicidade toma-se $p(t)$ como sendo a percentagem dentro de um intervalo t , isto é, $t < C_{ij} < t + \Delta t$, onde Δt é um incremento do tempo escolhido arbitrariamente.

Pode assim escrever:

$$p(t) = \sum' p_{ij} \quad (30)$$

Este somatório abrange os valores de C_{ij} dentro do intervalo Δt .

Para cada valor de t um multiplicador de Lagrange $Y(t)$ é definido, numa generalização da equação 18.

A função Lagrangeana torna-se:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = (p_{ij}, \lambda_i, \mu_j, v, y(t)) = & - \sum_{ij} p_{ij} \ln p_{ij} - \\
 & - \sum_i \lambda_i (\sum_j p_{ij} - v_i) - \sum_j \mu_j (\sum_i p_{ij} - v_j) - \\
 & - v (\sum_{ij} p_{ij} - 1) - \sum_t y(t) (\sum_{ij} p_{ij} - p(t))
 \end{aligned} \quad (31)$$

As derivadas parciais correspondentes a cada variável são:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial p_{ij}} = - \ln p_{ij} - 1 - \lambda_i - \mu_j - v - y(t) \quad (32)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_i} = - \sum_j p_{ij} + \mu_i \quad (33)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mu_j} = - \sum_i p_{ij} + v_j \quad (34)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial v} = - \sum_{ij} p_{ij} + 1 \quad (35)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial y(t)} = - \sum_j p_{ij} + p(t) \quad (36)$$

Igualando a zero para obter os valores extremos tem-se:

Valor ótimo para p_{ij} .

$$p_{ij}^* = e^{(1 - \lambda_i - \mu_j - v - y(t))} \quad (37)$$

e as demais sendo:

$$u_i = e^{(-1 - \lambda_i - \nu)} \cdot \sum_j e^{(-\mu_j - y(t))} \quad (38)$$

$$v_j = e^{(-1 - \mu_j - \nu)} \cdot \sum_i e^{(-\lambda_i - y(t))} \quad (39)$$

$$l = e^{(-1 - \nu)} \cdot \sum_{ij} e^{(-\lambda_i - \mu_j - y(t))} \quad (40)$$

$$c = e^{(-1 - \nu)} \cdot \sum_{ij} c_{ij} e^{(-\lambda_i - \mu_j - y(t))} \quad (41)$$

Não é possível eliminar os multiplicadores e obter uma expressão explícita para p_{ij}^* . Assim um processo iterativo ou de calibração do modelo é usado.

A equação 37 pode ser reescrita na forma:

$$p_{ij} = x_i w_{ij} y_j \quad (42)$$

$$\text{onde: } w_{ij} = e^{-y(t)} \quad (43)$$

e

$$\sum_j x_i w_{ij} y_j = u_i \quad (44)$$

$$\sum_i x_i w_{ij} y_j = v_j \quad (45)$$

$$\sum_i x_i w_{ij} y_j = p(t) \quad (46)$$

Por analogia com a Lei de Newton a função W pode ser definida como $\frac{1}{t^\alpha}$, onde.

$$W = \frac{1}{t^\alpha} = t^{-\alpha} = e^{-y(t)} \quad (47)$$

Aplicando logarítmo tem-se:

$$-\alpha \ln t = -y(t) \therefore y(t) = \alpha \ln t \quad (48)$$

O processo iterativo para encontrar x_i , w_{ij} , e y_j obedece ao seguinte algoritmo.

1. atribuir um valor inicial para α e calcular w_{ij} por (48) e (43);

2. atribuir valores iniciais para y_j^1 (por exemplo $y_j^1 = v_j$);

3. calcular $x_i^1 = u_i \left[\sum_j w_{ij} y_j^1 \right]^{-1}$ por (44)

4. calcular $p_{ij}^1 = u_i^1 \cdot w_{ij} \cdot y_j$ por (42)

5. calcular $y_j^2 = v_j \left[\sum_i w_{ij} u_i \right]^{-1}$ por 45 e voltar para 3.

6. numa iteração k tem-se

$$y_j^k = v_j \left[\sum_i x_i^{k-1} w_{ij} \right]^{-1} \quad (49)$$

$$x_i^k = u_i \left[\sum_j y_j^k w_{ij} \right]^{-1} \quad (50)$$

$$p_{ij}^k = x_i^k w_{ij} y_j^k \quad (51)$$

7. o processo para quando:

$$\max \left[\left| p_{ij}^k - p_{ij}^{k-1} \right| \right] < \delta \quad (52)$$

sendo δ um valor previamente fixado.

8. se não conseguir satisfazer 52, incrementar α e voltar a etapa 1.

Este modelo de distribuição satisfaz as equações de restrições e seus elementos são positivos, embora não sejam necessariamente inteiros.

O fluxograma para o algoritmo acima esta apresentado na figura 7.

É conveniente mostrar a relação que existe entre este modelo e o desenvolvido pelo BPR, visto na seção anterior.

Para aquele modelo tem-se:

$$v_{ij}^k = o_i F_{ij} d_j^k K_{ij} \left[\sum_j F_{ij} K_{ij} d_j^k \right]^{-1} \quad (53)$$

$$d_j^1 = d_j \quad (54)$$

$$d_j^k = d_j d_j^{k-1} \left[\sum_i v_{ij}^{k-1} \right]^{-1} \quad (55)$$

Para este modelo define-se:

$$v_{ij}^k = v p_{ij}^k \quad (56)$$

$$F_{ij} K_{ij} = v w_{ij} \quad (57)$$

$$d_j^k = y_j^k \quad (58)$$

$$o_i \left[\sum_j F_{ij} K_{ij} d_j^k \right]^{-1} = x_i^k \quad (59)$$

Assim:

$$p_{ij}^k = x_i^k w_{ij} y_j^k \quad (60)$$

com

$$x_i^k = u_i \left[\sum_j w_{ij} y_j^k \right]^{-1} \quad (61)$$

Da equação 59 vem:

$$y_j^k = v_j y_j^{(k-1)} \left[\sum_i v_i^{k-1} w_{ij} y_j^{k-1} \right]^{-1} =$$

$$y_j^k = v_j \left[\sum_i v_i^{k-1} w_{ij} \right]^{-1} \quad (62)$$

As equações (61) e (62) são precisamente iguais as (49) e (50), respectivamente.

2.4 - Modelo Gravitacional Modificado

Aqui é apresentada uma técnica que substitui a calibração dos modelos gravitacionais expressos na forma:

$$v_{ij} = \alpha_i o_i \beta_j d_j K_{ij} \quad (63)$$

$$o_i = \sum_j v_{ij} \quad (64)$$

$$d_j = \sum_i v_{ij} \quad (65)$$

Substituindo o valor de v_{ij} da equação (63) na (64) vem:

$$o_i = \sum_j \alpha_i o_i \beta_j d_j K_{ij}$$

$$o_i = \alpha_i o_i \sum_j \beta_j d_j K_{ij}$$

Donde:

$$\alpha_i = 1 / \sum_j \beta_j d_j K_{ij} \quad (66)$$

De modo análogo

$$\beta_j = 1 / \sum_i \alpha_i o_i K_{ij} \quad (67)$$

Supor um conjunto inicial de valores (geralmente 1) para todo K_{ij} é o procedimento geral usado. Estes valores são usados na fórmula (63) para obter a primeira aproximação v_{ij}^1 para as viagens que são então comparadas com as obtidas numa pesquisa, v_{ij} . A seguir uma correção é aplicada nos valores de K_{ij} , na forma abaixo:

$$K_{ij}^1 = K_{ij} \frac{v_{ij}}{v_{ij}^1} \quad (68)$$

onde: K_{ij}^1 é o novo conjunto de fatores a ser usado na próxima iteração.

Considerando, além dos K_{ij}^1 , também unitários os valores de β_j^0 , para todo j e seguindo matematicamente as etapas acima descritas para a calibração do modelo, com a aplicação da equação (66) obtém-se:

$$\alpha_i^1 = \frac{1}{\sum_j 1 \cdot d_{j \cdot 1}}$$

$$\alpha_i^1 = 1/v \quad (69)$$

Substituindo (69) em (67) vem:

$$\beta_j^1 = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{v} \cdot o_i \cdot 1}$$

$$\beta_j^1 = 1 \quad (70)$$

Aplicando as equações (69) e (70) em (63) vem:

$$v_{ij}^1 = \frac{1}{v} \cdot o_i \cdot 1 \cdot d_j \cdot 1$$

$$v_{ij}^1 = \frac{o_i d_j}{v} \quad (71)$$

Compara-se agora os valores de v_{ij}^1 com v_{ij} .

Se a diferença for significativa corrige-se os valores de K_{ij} pela expressão (68).

$$K_{ij}^2 = 1 \cdot \frac{v_{ij}}{o_i d_j / v}$$

$$K_{ij}^2 = \frac{v_{ij} \cdot v}{o_i \cdot d_j} \quad (72)$$

onde os K_{ij}^2 são os fatores a serem usados na próxima iteração.

$$\alpha_i^2 = \frac{1}{\sum_j 1 \cdot d_j \cdot \frac{v_{ij} \cdot v}{o_i d_j}}$$

$$\alpha_i^2 = 1/v$$

$$\beta_j^2 = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{v} \cdot o_i \cdot \frac{v_{ij} \cdot v}{o_i \cdot d_j}}$$

$$\beta_j^2 = 1$$

Aplicando estes valores em (63) dá:

$$v_{ij}^2 = \frac{1}{v} \cdot o_i \cdot 1 \cdot d_j \cdot \frac{v_{ij} \cdot v}{o_i \cdot d_j}$$

$$v_{ij}^2 = v_{ij} \quad (73)$$

O que reproduz exatamente a situação observada em pesquisa.

Não existe assim, calibração a ser feita.

Na primeira aplicação do modelo com dados observados, isto é, quando se consideram todos os $K_{ij} = 1$ e todos os $\beta_j = 1$, obtem-se a equação 71 que é a mais simples forma do modelo gravitacional, conhecido como modelo de proporcionalidade. Este modelo reflete uma situação onde o tempo de viagem não afeta as decisões onde as pessoas residem nem considera a distribuição geográfica das zonas na área.

Para a estimativa futura da distribuição de viagens pelo modelo gravitacional modificado exige-se o cálculo de K_{ij} pela equação (72) alimentada com os dados de pesquisa e as viagens futuras atraídas e geradas por cada zona. O algoritmo abaixo descreve as etapas da aplicação do modelo bem como a ilustração do fluxograma da figura 8.

1. calcular K_{ij} pela equação (72);
2. atribuir valores iniciais para β_j ;
3. calcular α_i em (66),
4. calcular β_j com (67);
5. calcular α_i com o novo β_j da etapa 4;
6. calcular β_j com o novo α_i da etapa 5;
7. comparar os últimos valores de α_i e β_j ;

8. se houver diferença significativa voltar para a etapa 5; se não, calcular V_{ij} pela equação 63.

A desvantagem deste modelo está em considerar os valores de K_{ij} , ao longo dos anos, como constantes.

2.5 - Indicadores para a Avaliação

Os dados de uma pesquisa domiciliar realizada em 1974, em Campina Grande foram tomados como base para aplicação e análise dos modelos. Na comparação dos resultados foi usado como medida de dispersão, o erro padrão da estimativa, dado pela expressão:

$$EPEO_i = \sqrt{\sum_j \frac{(VC_{ij} - VO_{ij})^2}{N}} \quad (74)$$

$$EPED_j = \sqrt{\sum_i \frac{(VC_{ij} - VO_{ij})^2}{N}} \quad (75)$$

$$EPET_k = \sqrt{\sum_l \frac{(VC_{ij} - VO_{ij})^2}{L}} \quad (76)$$

$$ETOTAL = \sqrt{\sum_{ij} \frac{(VC_{ij} - VO_{ij})^2}{N^2}} \quad (77)$$

VO_{ij} , número de viagens observadas em pesquisa de i para j ;

- VC_{ij} , número de viagens calculadas pelo modelo, de i para j ;
- $EPEO_i$, erro padrão da estimativa do número das viagens com origem em i ;
- $EPED_j$, erro padrão da estimativa para todas as viagens com destino em j ;
- $EPET_k$, erro padrão da estimativa para todas as viagens com um custo k ;
- $ETOTAL$, erro padrão da estimativa para todas as viagens;
- N , número de zonas;
- L , número de pares de zona ij , com o custo $C(i,j)$.
- K , número de custos de viagens diferentes.

Portanto cada elemento de matriz O/D observada é comparado com o seu respectivo da O/D calculada. Essas diferenças são acumuladas ora por linha - $EPEO_i$, ora por coluna - $EPED_j$, ora por custo de viagem dando $EPET_k$ e finalmente todos os elementos são comparados, fornecendo o erro total $ETOTAL$.

O erro padrão da estimativa como usado acima, dá uma boa base para comparação entre o valor real observado e o calculado. Pois, embora os modelos satisfaçam as equações de normalização eles podem distribuir as viagens diferentemente das observadas.

Assim a avaliação dos resultados é processada:

- a) considerando as viagens que se originam em cada zona e se destinam a todas as outras e comparando os valores observados com os calculados para cada zona de origem e para cada modelo;
- b) considerando as viagens que se destinam a cada zona e se originam de todas as outras e comparando os valores observados com os calculados para cada zona de destino e para cada modelo;
- c) considerando as viagens que tem o mesmo custo e efetuando a comparação entre os valores observados e calculados para cada modelo;
- d) considerando finalmente todas as viagens das matrizes observadas e calculadas.

CAPÍTULO III

CALIBRAÇÃO DOS MODELOS

3.1 - Processo de Coleta de Dados

Na pesquisa de campo foram assumidos que:

- a) segundo a agregação das áreas de características idênticas, a cidade estava dividida em 12 zonas para fins de estudos de tráfego;
- b) a amostragem para as entrevistas foi tomada em torno de 1 para cada 12 residências, por zona, enquanto Bruton recomenda para uma população de 150 a 300 mil habitantes tomar o mínimo de 1/35 e o máximo de 1/10;
- c) a escolha das residências a serem entrevistadas foi efetuada tomando-se 8% das residências de características similares;
- d) em cada residência entrevistada, todas as pessoas com idade superior a 5 anos foram convidadas a fornecerem informações para o preenchimento do formulário de dados de viagens, enquanto que apenas uma (geralmente o

- responsável) respondeu ao formulário sobre as condições sócio-econômicas da família;
- e) a entrevista consistiu em saber os dados das viagens realizadas no dia anterior ao da pesquisa e foi procedida para os dias normais da semana, segunda a sexta-feira. Não houve repetição de entrevista na mesma residência em outro dia da semana e o padrão de viagens nela verificado se supôs repetido nos demais dias;
- f) os dados para a alimentação da função fator tempo de viagem tais como tempo de viagem e distância interzonal foram obtidos através de um levantamento em campo percorrendo-se de centroide a centroide de todas as zonas, ao passo que as linhas de desejo foram extraídas do mapa de zoneamento da cidade.

3.2 - Dados Levantados

Dos formulários preenchidos no campo retiraram-se cerca de 20%, distribuídos por zona e por dia da semana, que constituíram finalmente os dados usados neste trabalho.

O coeficiente de expansão dos dados, considerando a amostra da amostra foi determinado dividindo-se a

população da cidade pela população da amostra, obtendo - se assim um coeficiente de expansão $E = 46$. A população total naquele ano foi estimada com base numa série histórica e utilizando análise de regressão polinomial que forneceu a seguinte equação:

$$Y = 33806,03 + 3619,59(X-1940) + 24,98(X-1940)^2$$

onde:

X = o ano para o qual se deseja determinar a população.

Y = população

Enquanto a população da amostra foi extraída dos dados sócio-econômicos.

Os dados utilizados foram perfurados em cartões e gravados em fita no computador IBM 370/145. Um programa lê os dados de viagem da fita, obtém uma matriz origem/destino O/D geral e a separa em 5 matrizes conforme os propósitos das viagens: indústria, comércio, público, residência e diversos. Foram desprezadas as viagens intrazonais e aquelas cujo modo era a pé. As viagens assim obtidas foram multiplicadas pelo fator de expansão para reproduzirem a situação real do universo. A divisão em matrizes por propósitos deve ao fato de que os modelos gravitacionais reconhecem o propósito com um fator de influência em suas aplicações.

3.3 - Aplicação dos Dados aos Modelos

Tres forças de resistência espacial entre os pares de zonas foram estabelecidas:

- tempo de viagem - TV
- distância de viagem - DV
- linha de desejo - LD

Para cada uma delas pesquisou-se o valor do expoente α por propósitos e para cada modelo, que fornecesse o menor erro total. As tabelas 1, 2 e 3 e as figuras 1, 2, 3, 4 e 5 ilustram os resultados.

Partindo-se de um intervalo arbitrário (-3, 3) e com um incremento de 1 verificou-se que o valor do erro total diminuía até certo ponto (diferente para cada propósito) e depois aumentava. No ponto de erro mínimo tomava-se outro intervalo, agora bem menor e com um incremento dez vezes menor voltava-se a encontrar um valor mais preciso para α . E assim se procedeu até se chegar a valores com precisão de centésimo. Esta foi a metodologia empregada na pesquisa do α corresponde ao erro mínimo.

Os programas de computador IBM 370/145, usados para a calibração dos modelos, constam do anexo B.

Uma vez encontrados os valores de α que melhor se ajustam aos dados, os mesmos programas foram utilizados para o cálculo das matrizes calibradas, bem como das percentagens de frequência de viagens.

3.4 - Avaliação dos Resultados

As matrizes O/D para cada propósito definido no item 3.2, extraídas dos dados observados em pesquisa, constituem as tabelas 4, 5, 6, 7 e 8. Enquanto as respectivas matrizes O/D calculadas pelos modelos figuram nas tabelas 9, 10, 11, 12 e 13.

Já as matrizes de custos interzonais de viagens estão assim apresentadas:

- tabela 14 - tempo de viagem - TV
- tabela 15 - distância de viagem - DV
- tabela 16 - linha de desejo - LD

A análise dos resultados basear-se-á nos indicadores para a avaliação descritos no item 2.2.

3.4.1 - Erro na Estimativa de Geração

Comparando o número de viagens com origem numa zona e destino nas demais, por cada propósito e para os três custos considerados, os modelos mostraram os erros que as tabelas 17, 19, 21, 23 e 25 apresentam. Nelas vê-se que os menores erros $EPEO_i$ foram obtidos pelo modelo de entropia, a seguir mostrados:

indústria	-	421,15	para TV e $\alpha =$	- 0,80
comércio	-	1114,08	para DV e $\alpha =$	0,27
público	-	1177,96	para TV e $\alpha =$	- 0,12
residência	-	1959,72	para DV e $\alpha =$	- 0,08
diversos	-	488,25	para DV e $\alpha =$	- 0,18

Além disso a comparação dos erros por zona de origem apresenta a seguinte distribuição:

- indústria - em 7 zonas o erro de TV é menor que o de DV e em 5 zonas menor que o de LD.
- comércio - em 8 zonas o erro de DV é menor que o de TV e em 5 zonas menor que o de LD.
- público - em 6 zonas o erro de TV é menor que o de DV e em 5 zonas menor que o de LD.
- residência - em 10 zonas o erro de DV é menor que o de TV e em 5 zonas menor que o de LD.
- Diversos - em 7 zonas o erro de DV é menor que o de TV e em 10 zonas menor que o de LD.

Ao analisar os resultados dos modelos tomando-se como base o erro padrão da estimativa das viagens que

se originam em cada zona observa-se que o modelo de maximização da entropia oferece menores erros, conseqüentemente melhor resultado.

3.4.2 - Erro na Estimativa de Atração

Quando se comparou o número de viagens que se destinam a uma zona, partindo das outras, por cada propósito, para os três custos e para os modelos obteve-se os erros constantes das tabelas 18, 20, 22, 24 e 26 que dão para o modelo de entropia a distribuição abaixo:

Indústria	- 341,58	- para TV e	= - 0,80
Comércio	- 1054,73	- para DV e	= 0,27
Público	- 1065,80	- para TV e	= -0,12
Residência	- 2132,24	- para DV e	= 0,08
Diversos	- 464,33	- para DV e	= -0,18

A quantidade de vezes que um custo de viagem é menor que os demais comparando-se por zona de destino é:

- Indústria - em 7 zonas o erro de TV é menor que o de DV e em 6 zonas menor que o de LD.
- Comércio - em 8 zonas o erro de DV é menor que o de TV e em 10 zonas menor que o de LD.

- Público - em 8 zonas o erro de TV é menor que o de DV e em 7 zonas menor que o de LD.
- Residência - em 7 zonas o erro de DV é menor que o de TV e em 7 zonas menor que o de LD.
- Diversos - em 6 zonas o erro de DV é menor que o de TV e em 10 zonas menor que o de LD.

A julgar por estes dados também fornecidos pelo modelo de entropia, já que a diferença de erros para o BPR é acentuada, nota-se que aquele modelo também oferece melhores resultados.

3.4.3 - Erro na Estimativa de Frequência de Viagem

Os erros obtidos quando se comparou o número de viagens por cada propósito, para os três custos considerando-se a distribuição de viagens segundo seus custos e para os modelos constam das Tabelas 27, 28, 29, 30 e 31. Delas pode-se deduzir que para:

- Indústria - o erro de BPR é menor do que o de entropia para TV em apenas 2 dos 15; para DV em 8 dos 21 e para LD em apenas 1 dos 12;

- Comércio - o erro do BPR é menor do que o de entropia para TV em 3 dos 15; para DV em apenas 1 dos 21 e para LD em 1 dos 12;
- Público - o erro do BPR é menor do que o de entropia para TV em 4 dos 15; para DV em 9 dos 21 e para LD em 4 dos 12;
- Residência - o erro do BPR é menor do que o de entropia para TV em 1 dos 15; para DV em 3 dos 21 e para LD em 2 dos 12;
- Diversos - o erro do BPR é menor do que o de entropia para TV em 5 dos 15; para DV em 10 dos 21 e para LD em 6 dos 12.

Além do número maior de erros superiores o modelo do BPR também apresentou uma soma total de erros maior nos diversos custos e para todos os propósitos do que o modelo de entropia como podem ser vistos nas tabelas acima.

Dentro de cada modelo a comparação não pode ser examinada entre custos de viagens porque estes tem classificações diferentes, além da heterogeneidade de unidades.

3.4.4 - Erro na Estimativa Total

Aqui as matrizes observadas e calculadas foram comparadas elemento a elemento e um erro total foi obtido conforme mostra a Tabela 1. Pode-se observar que os meno -

res erros também foram fornecidos pelo modelo de entropia e segundo o custo de viagens são:

Indústria - 42,4229 para TV e $\alpha = -0,80$

Comércio - 103,1686 para DV e $\alpha = 0,27$

Público - 112,8669 para TV e $\alpha = -0,12$

Residência- 195,3887 para DV e $\alpha = 0,08$

Diversos - 43,8676 para DV e $\alpha = -0,18$

Logo, por esta medida de dispersão também o modelo de entropia oferece melhor resultado.

Além dos erros acima descritos procurou-se determinar uma relação entre as viagens observadas e calculadas, elemento a elemento, para todos os propósitos. As Tabelas 32, 33, 34, 35 e 36 apresentam os resultados. O intuito é mostrar quão próximo as viagens calculadas estão das observadas, traduzido pela aproximação da unidade dos elementos destas matrizes.

3.5 - Conclusões

O ponto crítico na aplicação dos modelos gravitacionais é a identificação de uma função custo de viagem que reproduza a distribuição observada. Isto pode ser verificado pelo volume de cálculo exigido para a obtenção das tabelas 1, 2 e 3, através do qual se pesquisou aquela função.

Os indicadores para avaliação conduziram a escolha do melhor modelo pelo menor erro para o de entropia. Neste modelo os custos correspondentes foram tempo de viagem para os propósitos de indústria e público e distância de viagem para comércio, residência e diversos.

Uma série de condicionantes envolvem a simples realização de uma viagem, tais como propósito, custos, condições financeiras, etc., que são analisados antes de se tomar a decisão. Assim, para o propósito trabalho, por exemplo, além de ter que realizar-se, o faz em determinadas horas e locais previamente fixados. O que não ocorre com as viagens que se destinam a recreação, visitas, compras, etc., que tanto possuem maior flexibilidade de horário como maior número de oportunidades.

Deve-se notar que as variáveis explicativas usadas nos modelos aqui calibrados não são suficientes para reunir todos os condicionantes de uma viagem. Contudo, a separação das viagens por propósitos, a escolha de um custo mais real e de um expoente α bem ajustado, constituem a tentativa que se faz na busca de uma distribuição mais condizente com a realidade.

E isto pode ser percebido pelo que ofereceram os resultados. Para os propósitos indústria e público o melhor custo foi o tempo de viagem. Na verdade, este custo representa menor valor relativo para aqueles propósitos. Por outro lado, para os propósitos comércio, residência e di

versos, o custo que menor discrepância deu foi a distância de viagem. A explicação para este fato é que uma viagem com destino a zona industrial embora tenha que percorrer uma distância grande consome um tempo pequeno em relação as outras zonas, pela pouca resistência oferecida, enquanto que uma viagem à zona comercial cuja distância em relação as demais é pequena requer bem mais tempo devido ao congestionamento.

O expoente α é uma outra característica da resistência a realização de uma viagem. O menor valor encontrado (-0,80) corresponde ao propósito indústria, exatamente porque estas viagens além de serem em horas de não pico, suas zonas oferecem boa acessibilidade e cujo propósito força a sua realização.

Já o contrário ocorre com o propósito comércio que evidenciou o maior α (0,27), justificado pelo fato da maioria destas viagens serem realizadas em horas de pico e com destino ao centro comercial por conseguinte com maior resistência a sua efetivação.

3.6 - Análise Crítica aos Modelos

Os modelos desenvolvidos neste estudo pertencem a um conjunto de métodos e técnicas que emergiu dos grandes estudos de transportes metropolitanos iniciados nos E.U.A. na década de 50, abrangendo principalmente as seguintes atividades:

- a) análise, projeção e previsão de demanda;
- b) modelagem do fluxo de tráfego em redes;
- c) avaliação de soluções alternativas, tanto a nível de projeto como a nível de sistema.

Tais métodos e técnicas que constituíram a fase clássica do processo de planejamento de transportes urbanos nos EUA foram transferidos para outros países sempre envolvendo grandes levantamentos de dados, não eram e não são aplicáveis a situações de crescimento populacional e urbanização rápidos, muito menos a casos onde dados sócio-econômicos e de tráfego quase inexistem⁸.

Além disso, mesmo nos países desenvolvidos, inúmeras outras deficiências tem sido evidenciadas, na maioria dos modelos usados na atividade (a) acima, nos últimos anos. Nela há uma crença na possibilidade de modelagem separada de quatro etapas supostamente distintas, que seriam as seguintes: geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de tráfego a redes futuras.

A agregação de viajantes de comportamentos completamente distintos na tentativa de se encontrar um viajante tipo médio tem se constituído num grave erro nas projeções de demanda, o que as torna irrealis⁹.

Em particular, nos modelos de gravidade a distribuição de viagens é baseada na atividade da zona de destino e na resistência entre os extremos de viagem. Admitir constante esta resistência determinada na calibração para

as condições atuais, ao longo do horizonte de projeto é abstrair-se de qualquer mudança sócio-econômica da área, é fugir da realidade, principalmente quando o horizonte é grande. Por outro lado as viagens futuras geradas e atraídas pelas zonas são obtidas pela projeção de variáveis sócio-econômicas através das técnicas de estimativas estatísticas. Além disso, aqueles modelos projetam a distribuição de viagens de tal forma que a distribuição de frequência de viagens calculadas seja aproximadamente a mesma das viagens observadas.

Como se vê os modelos agregados de previsão de demanda padecem de inúmeras deficiências, tanto em suas aplicações como em suas estruturas, pois eles não incluem as variáveis políticas de transportes.

Em consequência da insatisfação pública e também dos técnicos surgiu, na presente década, uma nova abordagem para este assunto, segundo o Professor Autran⁸. "A fase neo-clássica, cuja principal característica é uma nova conceituação de avaliação".

Nesta nova metodologia o evento viagem é o efeito cujas causas se pretende investigar. O homem, mais precisamente o viajante é o elemento que liga causa a efeito. Portanto, o novo modelo que prevê as consequências das mudanças dos sistemas de transporte estuda as causas do comportamento do viajante. Este ao decidir que viagem fará, onde e quando irá, qual rota e modo escolherá, o faz baseado em suas necessidades, suas características financeiras, suas

suas ocupações, etc., levando-se em conta as diferentes alternativas oferecidas, ou seja, tempo de viagem, custos e nível de serviço.

Estas características tornam o modelo comportamental. Ele representa as decisões que o consumidor toma quando diante da escolha de alternativas e tenta descrever a relação causal entre as características do sistema de transporte e sócio-econômicas por um lado e o viajante por outro¹⁰. Resumindo, pelo princípio, cessou a causa cessa o efeito, pode-se prevê os efeitos das mudanças futuras do sistema de transporte pela explicação das causas.

Assim, os modelos desagregados podem incluir variáveis de política de transportes, implicam em despesas de levantamento de dados bem menores que os tradicionais e possuem maior valor explicativo e por conseguinte científico.

3.7 - Sugestões para Pesquisas Posterior

- Quando se dispuser dos dados de uma nova pesquisa em Campina Grande, aplicar o modelo de entropia com os parâmetros aqui determinados e verificar quão próximo da realidade ele está.
- Desenvolver outros modelos como o de análise

de regressão linear, o de programação linear, o eletrostático, e de Fractal e comparar os resultados com os aqui encontrados.

- Aplicar os modelos desenvolvidos neste trabalho a dados de outras cidades de características similares as de Campina Grande para verificar se o melhor modelo corresponde ao que aqui se encontrou.

TABELA 1 - Menor erro total com o expoente α e o número de iterações correspondentes obtidos pelos modelos para os diversos custos de viagens.

CUSTOS	PROPÓSITO	M O D E L O S					
		B			E N T R O P I A		
		ETOTAL	α	Nº IT	ETOTAL	α	Nº IT
TEMPO DE VIAGEM	INDÚSTRIA	73,6655	- 1,14	7	42,4229 *	- 0,80	5
	COMÉRCIO	617,4761	- 0,35	2	112,7284	0,00	3
	PÚBLICO	190,4515	- 0,20	6	112,8669 *	- 0,12	3
	RESIDÊNCIA	838,5393	0,15	2	361,0947	0,10	4
	DIVERSOS	95,8976	0,09	6	45,3117	- 0,39	3
DISTÂNCIA DE VIAGEM	INDÚSTRIA	73,3392	- 0,18	6	46,2292	- 0,27	3
	COMÉRCIO	617,8130	- 0,03	2	103,1686 *	0,27	3
	PÚBLICO	190,9833	- 0,09	6	113,0257	- 0,70	3
	RESIDÊNCIA	841,3694	- 0,17	3	195,3887 *	0,08	3
	DIVERSOS	96,5927	0,27	6	43,8676 *	- 0,18	3
Linha de Desejo	INDÚSTRIA	71,1048	- 0,20	5	44,6872	- 0,52	3
	COMÉRCIO	620,9238	- 0,13	5	139,7741	1,05	3
	PÚBLICO	189,0909	- 0,80	6	125,8834	0,53	3
	RESIDÊNCIA	841,4504	- 0,19	5	244,7326	0,67	3
	DIVERSOS	95,4776	0,0	4	53,4173	1,01	3

(*) Menores valores

TABELA 2 - Erros totais segundo o valor de α e o número de iterações para o modelo de entropia

α	PROPÓSITO	NÚMERO DE ITERAÇÕES						
		1	2	3	4	5	6	7
-3,0	INDÚSTRIA	96,3804	63,3090	52,1684	49,0202	48,0535	47,6931	47,5325
	COMÉRCIO	531,2180	452,5989	436,2996	430,3799	428,0142	427,0244	
	PÚBLICO	224,5248	181,3640	174,2157	173,0032	172,7988	172,7715	
	RESIDÊNCIA	1193,1000	786,5381	731,7549	716,7947	712,8979	711,9746	
	DIVERSOS	134,5936	103,1280	97,4753	96,5436	96,4577	96,4691	96,5166
-2,0	INDÚSTRIA	71,4170	47,9859	45,3162	44,8555	44,7266	44,6777	
	COMÉRCIO	396,8860	353,4475	345,6165	343,2607	342,4399		
	PÚBLICO	177,5560	151,7330	149,4428	149,1631	149,1223		
	RESIDÊNCIA	877,3904	583,2317	560,7654	557,3103	556,8376		
	DIVERSOS	96,2051	78,9936	77,8040	77,6673	77,6430		
-1,0	INDÚSTRIA	47,9273	42,2451	42,3932	42,4820	42,5171		
	COMÉRCIO	223,6024	208,4807	207,4841				
	PÚBLICO	121,0343	122,4774	122,4709	122,4923			
	RESIDÊNCIA	487,1731	339,1162	335,2778	335,0181			
	DIVERSOS	57,2255	53,4510	53,2915				
0,0	INDÚSTRIA	46,5769	45,4985	45,3026	45,0775			
	COMÉRCIO	109,8166	107,8217	107,7261				
	PÚBLICO	113,7485	112,9109	112,5468				
	RESIDÊNCIA	198,8952	196,6632	196,4797				
	DIVERSOS	45,7551	44,2350	44,1211				
1,0	INDÚSTRIA	54,5819	53,1255	53,2094	53,2620			
	COMÉRCIO	168,5397	119,2892	117,6463	117,4508			
	PÚBLICO	130,6472	126,8250	127,0665	127,0944			
	RESIDÊNCIA	393,5479	242,8116	237,6916	237,1156			
	DIVERSOS	64,1680	52,0158	51,0997	50,9610			
2,0	INDÚSTRIA	64,0258	61,8904	61,9982	62,0701			
	COMÉRCIO	333,3466	161,0832	152,1516	151,0542	150,8447		
	PÚBLICO	163,8272	144,2669	144,0369	144,0823			
	RESIDÊNCIA	676,7607	349,3232	309,0376	303,0457	301,8245		
	DIVERSOS	93,4311	64,9612	60,5393	59,5005	59,2272		
3,0	INDÚSTRIA	71,6849	68,7644	68,9335	69,0803	69,1421		
	COMÉRCIO	500,9253	222,2141	191,9754	189,7748	189,1105		
	PÚBLICO	195,3294	160,9944	158,1672	158,0349	158,0521		
	RESIDÊNCIA	891,0642	495,7830	387,2815	366,5923	361,4995	360,0471	
	DIVERSOS	118,0114	61,2732	71,1145	57,5051	66,2971	65,8220	65,7175

TABELA 3 - Erros totais para os α ótimos segundo o número de iterações

PROPÓSITO	α ÓTIMO	CUSTO	NÚMERO DE ITERAÇÕES				
			1	2	3	4	5
INDÚSTRIA	-0,80	T.V.	45,4967	42,6828	42,6424	42,5361	42,4224
COMÉRCIO	0,27	D.V.	107,1541	103,1686	103,1667		
PÚBLICO	-0,12	T.V.	113,3214	112,9347	112,8669		
RESIDÊNCIA	0,08	D.V.	198,3873	195,4559	195,3887		
DIVERSOS	-0,18	D.V.	45,0416	43,9447	43,8676		

TABELA 4 - Matriz origem/destino observada - Indústria

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	0	0	46	92	0	46	0	0	0	138	92	414
2	46	0	0	0	46	0	0	0	0	0	322	92	506
3	0	92	0	46	46	0	0	0	0	0	322	0	506
4	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	138	0	184
5	46	138	0	92	0	0	92	0	0	46	92	0	506
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	460	0	0	0	0	0	230	92	782
8	0	0	0	0	46	0	0	0	46	0	92	0	184
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	460	0	460
10	0	138	0	46	92	0	0	0	0	0	276	0	552
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	92	0	0	0	0	0	0	0	92
D(J)	92	368	0	230	920	0	138	0	46	46	2070	276	4186

TABELA 5 - Matriz origem/destino observada - Comércio

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	322	138	368	1472	0	46	46	0	46	46	184	2668
2	368	0	138	598	2484	0	46	0	0	0	184	184	4002
3	644	46	0	690	2116	0	0	184	0	0	138	46	3864
4	874	0	184	0	2990	0	322	230	0	46	0	92	4738
5	368	184	230	460	0	92	368	460	46	230	138	0	2576
6	322	0	0	138	1104	0	46	0	0	0	138	0	1748
7	276	138	138	598	2346	92	0	46	0	0	138	0	3772
8	644	0	138	460	3036	0	46	0	46	46	92	46	4554
9	276	92	92	276	2806	0	0	230	0	0	0	46	3818
10	506	184	92	230	2208	92	0	92	0	0	46	0	3450
11	0	0	0	46	46	0	0	0	0	0	0	0	92
12	230	92	0	276	782	0	0	46	0	0	0	0	1426
D(J)	4508	1050	1150	4140	21390	276	874	1334	92	368	920	598	36708

TABELA 6 - Matriz origem/destino observada - Público

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	184	0	0	506	0	92	92	0	92	0	46	1012
2	184	0	0	0	690	0	92	0	0	92	0	46	1104
3	92	230	0	0	368	0	46	92	0	46	0	0	874
4	920	506	0	0	644	0	0	322	184	92	0	92	2760
5	460	92	0	46	0	46	874	322	0	0	46	138	2024
6	230	0	0	92	460	0	0	46	0	0	0	0	828
7	184	0	0	46	644	46	0	92	0	46	0	368	1426
8	230	184	0	0	92	0	276	0	0	46	46	138	1012
9	276	0	0	0	920	0	0	0	0	0	0	0	1196
10	644	138	0	230	322	92	46	184	46	0	0	0	1702
11	46	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	92
12	0	0	0	0	138	0	0	0	0	138	0	0	276
D(J)	3266	1334	0	414	4784	184	1426	1150	230	598	92	828	14306

TABELA 7 - Matriz origem/destino observada - Residência

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	598	990	1840	736	414	552	1012	598	1058	0	138	7912
2	552	0	276	506	368	0	46	138	184	506	0	92	2668
3	92	322	0	184	184	0	184	184	92	92	0	0	1334
4	460	552	1012	0	506	460	506	598	460	368	0	276	5198
5	1656	3956	2208	3680	0	1564	4092	2944	864	2990	0	1058	27922
6	0	0	0	46	184	0	276	92	0	184	0	0	782
7	138	138	46	230	874	0	0	322	0	138	0	0	1886
8	276	32	138	644	506	92	276	0	184	322	0	138	2668
9	0	0	0	184	93	0	46	0	0	46	0	0	368
10	46	138	46	230	276	0	46	138	138	0	46	138	1242
11	46	460	414	138	276	138	276	184	368	552	0	0	2852
12	460	368	0	184	184	0	460	414	46	46	0	0	2162
D(J)	3726	6624	5106	7866	4186	2668	6670	6026	5934	6302	46	1840	56994

TABELA 8 - Matriz origem/destino observada - Diversos

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	46	46	92	184	0	92	46	0	46	0	0	552
2	92	0	92	0	506	0	0	46	0	46	92	0	874
3	46	46	0	184	184	0	0	0	0	0	0	0	460
4	184	0	46	0	552	46	46	92	0	0	0	46	1012
5	230	138	138	0	0	46	92	276	46	92	0	138	1196
6	46	0	0	184	46	0	0	92	0	0	0	0	368
7	0	92	46	0	460	0	0	92	92	0	0	0	782
8	46	92	46	0	276	0	0	0	0	46	0	184	690
9	46	92	0	46	230	0	46	46	0	92	0	46	644
10	0	46	0	92	322	0	0	92	0	0	0	138	690
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	46	92	0	46	92	0	0	0	0	276
D(J)	690	552	414	644	2852	92	322	874	138	322	92	552	7544

TABELA 9 - Matriz origem/destino calculada - Indústria

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	59	0	20	109	0	6	0	2	0	218	0	414
2	17	0	0	17	112	0	7	0	7	9	327	10	506
3	7	26	0	23	146	0	9	0	0	6	275	14	506
4	4	10	0	0	52	0	3	0	1	2	108	3	184
5	45	157	0	114	0	0	74	0	19	0	0	97	506
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	7	27	0	22	217	0	0	0	7	11	393	98	782
8	4	17	0	11	109	0	13	0	5	7	0	18	184
9	4	43	0	12	89	0	11	0	0	9	277	15	460
10	3	26	0	9	63	0	8	0	4	0	418	21	552
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	3	0	3	23	0	8	0	1	2	51	0	92
D(J)	92	368	0	231	920	0	139	0	46	46	2068	276	4186

TABELA 10 - Matriz origem/destino calculada - Comércio

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	68	110	350	1741	23	80	121	9	37	76	53	2668
2	368	0	139	511	2475	31	106	163	9	40	92	68	4002
3	535	125	0	379	2335	23	99	154	10	45	95	64	3864
4	584	158	130	0	3229	40	133	207	14	33	124	86	4738
5	678	179	187	755	0	38	150	239	17	74	155	104	2575
6	225	58	48	238	2964	0	47	67	5	21	45	30	1748
7	476	116	121	474	2288	28	0	115	8	36	75	35	3772
8	553	138	145	568	2815	31	89	10	10	40	100	65	4554
9	461	84	113	452	2345	26	75	114	0	29	70	49	3818
10	444	88	110	235	2259	25	73	105	7	0	61	43	3450
11	10	2	3	11	358	1	2	3	0	7	0	1	92
12	174	42	44	170	877	10	20	47	3	12	27	0	1426
D(J)	4508	1058	1150	4143	21386	276	874	1335	92	358	920	598	36708

TABELA 11 - Matriz origem/destino calculada - Público

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	144	0	46	538	16	131	104	22	0	11	0	1012
2	287	0	0	35	416	13	103	82	20	80	9	59	1104
3	188	74	0	27	323	10	80	63	0	56	7	46	874
4	633	238	0	0	1018	33	256	198	42	174	21	147	2760
5	755	292	0	105	0	42	333	257	53	0	0	187	2024
6	179	70	0	27	334	0	86	64	13	0	7	48	828
7	313	124	0	45	566	19	0	120	25	102	11	101	1426
8	225	88	0	31	395	13	108	0	18	74	0	60	1012
9	244	111	0	35	423	14	115	95	0	84	9	66	1196
10	365	163	0	52	624	20	173	140	31	0	15	109	1702
11	20	8	0	3	32	1	8	7	1	7	0	5	92
12	57	22	0	8	104	3	33	21	5	21	2	0	276
D(J)	3266	1334	0	414	4783	184	1426	1151	230	598	92	828	14306

TABELA 12 - Matriz origem/destino calculada - Residência

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	858	722	1136	1083	368	939	845	809	888	6	258	7912
2	189	0	253	415	394	133	332	301	263	295	2	91	2668
3	103	164	0	185	190	59	159	145	136	149	1	43	1334
4	409	677	468	0	800	268	672	611	576	528	5	184	5198
5	2128	3500	2595	4374	0	314	3470	3176	3039	3336	24	966	27922
6	55	92	63	113	103	0	90	80	76	84	1	24	782
7	149	239	177	296	279	93	0	198	190	209	2	54	1886
8	206	333	248	414	395	127	305	0	265	287	2	86	2668
9	29	43	34	56	55	18	43	39	0	39	0	12	368
10	101	152	119	167	194	62	150	133	123	0	1	40	1242
11	199	314	239	396	387	127	300	281	255	272	0	82	2852
12	158	253	168	314	302	99	211	217	202	216	2	0	2162
D(J)	3727	6625	5106	7866	4182	2668	6671	6026	5934	6303	46	1840	56994

TABELA 13 - Matriz origem/destino calculada - Diversos

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	O(I)
1	0	49	27	49	268	6	22	61	9	20	6	35	552
2	93	0	43	74	402	10	35	96	18	37	10	56	874
3	37	31	0	45	213	6	19	50	8	17	5	29	460
4	94	74	63	0	465	11	41	113	17	57	11	66	1012
5	185	147	107	171	0	25	83	223	33	73	21	128	1196
6	29	24	20	28	169	0	14	39	6	13	4	22	368
7	62	52	38	62	339	8	0	97	14	31	9	70	782
8	63	52	37	61	328	9	35	0	14	32	8	51	690
9	51	51	32	51	265	7	28	78	0	29	7	45	644
10	53	52	33	80	280	7	29	84	14	0	8	50	690
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	23	20	14	23	123	3	16	33	5	13	3	0	276
D(J)	690	552	414	644	2852	92	322	874	138	322	92	552	7544

TABELA 14 - Matriz dos tempos de viagens interzonais em minutos

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	4	3	3	6	8	5	9	0	7	0
2	1	0	5	5	4	7	9	6	3	4	6	11
3	4	5	0	5	4	5	9	6	0	10	10	10
4	3	5	5	0	5	5	10	8	12	13	11	12
5	3	4	4	5	0	3	5	4	8	0	0	7
6	6	7	5	5	3	0	5	5	9	0	4	8
7	8	9	9	10	5	5	0	4	8	9	13	2
8	5	6	6	8	4	5	4	0	4	5	0	6
9	9	3	10	12	8	9	8	4	0	6	11	10
10	10	4	11	13	9	10	9	5	6	0	5	5
11	7	6	11	11	10	14	13	10	11	5	0	15
12	10	11	11	12	7	8	2	6	10	5	15	0

TABELA 15 - Matriz das distâncias de viagens interzonais em metros

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	000	500	3000	1400	900	1700	3700	1900	4300	3600	5200	5200
2	500	000	3000	2400	1400	2400	4300	2400	1700	1900	4500	5700
3	3000	3000	000	1200	1700	1200	5200	3000	5200	4500	7600	6900
4	1400	2400	1200	000	1900	3000	5200	3000	5700	500	6900	6900
5	900	1400	1700	1900	000	900	3000	1900	4300	3600	5900	5000
6	1700	2400	1200	3000	900	000	4400	1900	4400	3700	6900	5900
7	3700	4300	5200	5200	3000	4400	000	1900	4500	3900	6100	1400
8	1900	2400	3000	3000	1900	1900	1900	000	2400	1700	5200	3900
9	4300	1700	5200	5700	4300	4400	4500	2400	000	2400	6100	6100
10	3600	1900	4500	500	3600	3700	3900	1700	2400	000	3600	3600
11	5000	4500	7600	6900	5900	6900	6100	5200	6100	3600	000	7600
12	5200	5700	6900	6900	5000	5900	1400	3900	6100	3600	7600	000

TABELA 16 - Matriz das Linhas de desejos interzonais em metros

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	500	1000	2000	1500	1000	1500	2500	1500	2500	1500	4500	4000
2	1000	500	2500	1500	2000	2500	3500	2500	3000	1500	3500	5000
3	2000	2500	500	1500	1500	1500	2500	3000	4500	3000	5500	5500
4	1500	1500	1500	500	1500	2000	3000	3000	4000	3000	5000	5500
5	1000	2000	1500	1500	500	1000	1500	2000	3000	2500	5000	4000
6	1500	2500	1500	2000	1000	500	1000	2500	3500	3000	6000	4000
7	2500	3500	2500	3000	1500	1000	500	2000	3000	3000	6000	3500
8	1500	2500	3000	3000	2000	2500	2000	500	1500	1500	4500	3000
9	2500	3000	4500	4000	3000	3500	3000	1500	500	1500	4000	3000
10	1500	1500	3000	3000	2500	3000	3000	1500	1500	500	3000	4000
11	4500	3500	5500	5000	5000	6000	6000	4500	4000	3000	500	6000
12	4000	5000	5500	5500	4000	4000	3500	3000	3000	4000	6000	500

TABELA 17 - Relação dos erros segundo a origem - Indústria

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	%	TV $\alpha=-1,14$	DV $\alpha=-0,18$	LD $\alpha=-0,20$	TV $\alpha=-0,80$	DV $\alpha=-0,27$	LD $\alpha=-0,52$
1	414	9,89	69,75	65,21	61,94	40,71	30,72	30,50
2	506	12,09	79,53	93,66	92,09	31,79	40,52	38,95
3	506	12,09	87,07	85,41	84,14	37,78	42,51	35,75
4	184	4,39	33,09	31,11	29,17	11,17	16,09	17,47
5	506	12,09	74,82	64,51	87,89	41,56	70,95	74,63
6	0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
7	782	18,68	133,20	141,71	125,24	85,18	92,69	91,67
8	184	4,39	24,70	29,29	29,58	34,48	14,46	14,51
9	460	10,99	107,16	101,10	101,06	64,40	75,65	63,74
10	552	13,19	97,99	87,72	75,63	49,55	28,74	31,22
11	0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00
12	92	2,20	14,81	15,48	14,37	24,53	24,72	26,68
TOTAL	4186	100,00	722,12	715,20	701,11	421,15	436,68	425,12

TABELA 18 - Relação dos erros segundo o destino - Indústria

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	%	TV $\alpha=-1,14$	DV $\alpha=-0,18$	LD $\alpha=-0,20$	TV $\alpha=-0,80$	DV $\alpha=-0,27$	LD $\alpha=-0,52$
1	92	2,20	10,22	11,15	10,19	8,57	13,57	15,97
2	368	8,79	48,30	50,18	44,26	44,56	45,43	52,49
3	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	230	5,49	29,87	26,63	24,76	18,74	22,99	26,38
5	920	21,98	121,27	119,47	113,97	87,96	94,92	101,19
6	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	138	3,30	21,49	22,69	16,25	14,56	23,80	29,68
8	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	46	1,10	5,40	6,16	5,45	13,41	13,54	13,50
10	46	1,10	4,91	5,92	4,97	14,35	12,03	13,04
11	2070	49,45	215,22	212,81	208,96	93,49	109,25	86,83
12	276	6,59	33,41	32,32	32,02	45,94	33,86	35,28
TOTAL	4186	100,00	490,09	467,33	460,83	341,58	369,43	374,36

TABELA 19 - Relação dos erros segundo a origem - Comércio

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	%	TV $\alpha = -0,35$	DV $\alpha = -0,03$	LD $\alpha = -0,13$	TV $\alpha = 0,00$	DV $\alpha = 0,27$	LD $\alpha = 1,05$
1	2668	7,67	533,18	531,37	532,17	141,81	116,55	102,21
2	4002	10,90	764,42	739,85	767,24	80,49	71,94	135,52
3	3964	10,53	705,52	714,34	719,50	122,16	121,62	116,00
4	4738	12,91	949,20	945,67	930,92	126,53	135,71	111,20
5	2576	7,02	319,68	323,11	319,32	198,02	163,04	294,12
6	1748	4,76	299,51	314,16	309,63	55,60	70,18	101,96
7	3772	10,28	674,78	693,51	712,50	81,70	79,10	191,69
8	4554	12,41	830,24	847,78	862,81	74,48	88,02	107,86
9	3818	10,40	701,50	890,08	729,82	175,12	159,10	149,24
10	3450	9,40	642,36	631,51	574,76	81,99	48,39	100,63
11	92	0,25	17,39	16,94	18,33	11,24	11,27	12,00
12	1426	3,88	257,72	260,65	239,07	51,28	49,16	44,57
TOTAL	36708	100,38	6695,50	6908,97	6716,07	1202,42	1114,08	1467,00

TABELA 20 - Relação dos erros segundo o destino - Comércio

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	%	TV $\alpha = -0,35$	DV $\alpha = -0,03$	LD $\alpha = -0,13$	TV $\alpha = 0,00$	DV $\alpha = 0,27$	LD $\alpha = 1,05$
1	4508	12,28	436,43	437,73	439,05	182,32	155,71	176,41
2	1058	2,88	105,90	103,47	103,75	97,19	104,26	107,66
3	1150	3,13	111,86	112,22	112,46	27,80	29,94	48,97
4	4140	11,28	406,92	403,40	399,00	154,60	150,27	179,25
5	21390	58,27	2038,87	2041,01	2052,64	218,41	198,24	346,02
6	276	0,75	26,26	26,40	26,42	36,59	37,55	42,93
7	874	2,38	87,23	85,49	86,58	97,51	95,98	109,17
8	1334	3,63	133,22	130,49	131,01	89,12	93,50	115,09
9	92	0,25	9,24	9,00	9,09	14,31	15,11	17,44
10	368	1,00	37,05	35,88	35,30	74,96	50,79	55,96
11	920	2,51	87,23	85,47	88,63	83,94	61,46	60,68
12	598	1,63	58,72	57,08	57,61	76,00	61,92	57,86
TOTAL	36708	99,99	3538,93	3527,64	3541,58	1152,75	1054,73	1317,44

TABELA 21 - Relação dos erros segundo a origem - Público

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	%	TV $\alpha = -0,20$	DV $\alpha = -0,09$	LD $\alpha = -0,80$	TV $\alpha = -0,12$	DV $\alpha = -0,70$	LD $\alpha = 0,53$
1	1012	7,07	154,16	148,75	143,33	38,36	26,49	76,12
2	1104	7,72	166,10	159,35	159,52	91,15	113,83	85,37
3	874	6,11	121,40	128,54	125,11	59,10	56,13	65,51
4	2760	19,29	379,05	366,17	385,95	179,83	190,29	175,21
5	2024	14,15	266,58	248,40	248,44	190,46	215,12	246,25
6	828	5,79	112,53	115,79	112,71	57,63	41,47	77,32
7	1426	9,97	211,65	241,84	211,97	98,57	65,80	132,77
8	1012	7,07	140,84	130,99	146,95	105,97	102,31	108,01
9	1196	8,36	174,88	187,54	170,40	159,07	177,07	142,61
10	1702	11,97	211,86	227,18	215,64	139,27	137,71	153,39
11	92	0,64	12,82	15,37	14,48	16,97	17,69	17,85
12	276	1,93	38,18	42,38	42,03	41,71	49,21	44,98
TOTAL	14306	100,07	1990,05	2012,30	1976,53	1177,96	1193,12	1325,29

TABELA 22 - Relação dos erros segundo o destino - Público

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	%	TV $\alpha = -0,20$	DV $\alpha = -0,09$	LD $\alpha = -0,80$	TV $\alpha = -0,12$	DV $\alpha = -0,70$	LD $\alpha = 0,53$
1	3266	22,83	346,91	352,98	343,21	154,62	194,06	150,03
2	1334	9,32	143,23	137,59	144,51	122,30	131,60	128,32
3	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
4	414	2,89	46,05	43,85	43,43	61,64	37,52	58,51
5	4784	33,44	489,55	478,09	485,94	235,95	237,86	276,18
6	184	1,29	19,29	23,54	18,79	25,64	26,29	26,44
7	1426	9,97	154,48	178,05	158,26	189,39	194,09	227,23
8	1150	8,04	116,13	131,29	121,65	57,45	72,16	58,38
9	230	1,61	25,92	28,23	24,56	45,68	47,08	42,73
10	598	4,18	70,96	67,56	60,00	58,32	75,42	60,07
11	92	0,64	10,29	11,78	10,10	21,15	16,69	16,07
12	828	5,79	92,83	93,22	88,66	93,66	64,40	100,28
TOTAL	14306	100,00	1517,64	1546,18	1499,11	1065,80	1097,17	1144,24

TABELA 23 - Relação dos erros segundo a origem - Residência

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	%	TV $\alpha = 0,15$	DV $\alpha = -0,17$	LD $\alpha = -0,19$	TV $\alpha = 0,10$	DV $\alpha = 0,08$	LD $\alpha = 0,67$
1	7912	13,88	772,47	759,50	762,81	443,38	290,07	328,15
2	2668	4,68	259,26	260,45	264,79	164,56	162,81	207,30
3	1334	2,34	129,81	128,79	131,59	111,45	56,24	63,17
4	5198	9,12	500,09	504,12	501,37	394,02	206,84	244,05
5	27922	48,99	2696,91	2709,96	2708,59	1006,81	435,15	599,61
6	782	1,37	74,94	74,73	74,65	94,16	80,72	93,34
7	1886	3,31	182,17	185,00	186,73	232,78	194,42	230,46
8	2668	4,68	259,20	260,76	261,24	168,97	112,98	130,34
9	368	0,65	35,83	35,95	36,97	48,03	44,02	43,07
10	1242	2,18	120,44	120,26	119,48	59,55	61,99	76,13
11	2852	5,00	263,57	264,10	271,44	124,52	147,75	173,38
12	2162	3,79	205,78	205,60	203,34	216,28	166,73	168,74
TOTAL	56994	99,99	5500,47	5509,22	5522,82	3064,51	1959,72	2201,74

TABELA 24 - Relação dos erros segundo o destino - Residência

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	%	TV $\alpha = 0,15$	DV $\alpha = -0,17$	LD $\alpha = -0,19$	TV $\alpha = 0,10$	DV $\alpha = 0,08$	LD $\alpha = 0,67$
1	3726	6,54	652,05	627,60	638,99	268,27	200,76	187,19
2	6624	11,62	1063,03	1071,47	1130,12	153,73	189,16	150,79
3	5106	8,96	822,32	794,61	825,07	295,56	225,69	217,55
4	7866	13,80	1337,31	1328,47	1317,31	403,88	309,78	261,51
5	4186	7,34	453,55	454,50	442,35	257,11	226,34	460,20
6	2668	4,68	433,31	397,87	408,40	93,91	110,42	164,08
7	6670	11,70	1079,98	1071,58	1117,32	209,98	233,28	407,69
8	6026	10,57	989,26	977,78	1013,35	196,23	120,80	143,23
9	5934	10,41	913,83	947,93	943,11	175,84	262,36	228,06
10	6302	11,06	978,27	1048,39	879,79	1005,70	169,62	249,82
11	46	0,08	7,36	7,56	8,01	13,95	15,00	15,23
12	1840	3,23	295,51	299,53	306,03	92,76	68,27	71,84
TOTAL	56994	99,99	9025,80	9027,29	9029,85	3166,92	2132,24	2557,19

TABELA 25 - Relação dos erros segundo a origem - Diversos

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	ϵ	$TV \alpha = -0,09$	$DV \alpha = 0,27$	$LD \alpha = 0,00$	$TV \alpha = -0,39$	$DV \alpha = -0,18$	$LD \alpha = 1,01$
1	552	7,32	83,31	77,23	73,26	40,15	36,77	29,02
2	874	11,58	122,82	146,64	139,16	50,82	52,13	54,94
3	460	6,10	70,65	63,46	65,36	45,68	45,11	52,65
4	1012	13,41	156,85	144,66	149,79	44,15	47,55	68,20
5	1196	15,85	120,39	122,32	125,11	64,08	61,13	49,95
6	368	4,89	49,95	53,58	46,28	62,00	61,13	49,95
7	782	10,37	121,67	121,14	106,38	57,92	54,92	76,02
8	690	9,15	89,97	94,56	108,56	48,13	47,95	53,95
9	644	8,54	88,82	91,21	83,50	23,04	27,96	40,66
10	690	9,15	95,40	89,24	90,97	33,89	35,29	39,99
11	0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	276	3,66	43,16	41,58	42,50	23,96	24,21	28,71
TOTAL	7544	100,02	1032,99	1046,12	1030,87	495,82	488,25	581,81

TABELA 26 - Relação dos erros segundo o destino - Diversos

Z O N A	DADOS OBSERVADOS		B	P	R	ENTROPIA		
	VIAGENS	ϵ	$TV \alpha = -0,09$	$DV \alpha = 0,27$	$LD \alpha = 0,00$	$TV \alpha = -0,39$	$DV \alpha = -0,18$	$LD \alpha = 1,01$
1	690	9,15	75,24	73,40	69,32	45,35	38,77	57,86
2	552	7,32	59,21	67,35	64,45	32,96	30,95	27,56
3	414	5,49	48,22	46,40	46,29	21,88	23,84	30,54
4	644	8,54	72,91	71,23	68,80	89,05	85,72	82,15
5	2852	37,80	280,32	281,37	279,04	79,05	72,38	110,55
6	92	1,22	9,71	11,24	9,37	12,30	13,10	15,41
7	322	4,27	36,64	39,14	33,66	28,35	28,91	31,18
8	874	11,58	87,85	91,65	96,37	32,51	36,34	49,92
9	138	1,83	14,95	16,74	14,59	25,14	24,86	25,32
10	322	4,27	35,95	33,47	33,48	40,36	29,15	34,69
11	92	1,22	12,32	12,41	14,03	24,04	25,27	26,22
12	552	7,32	64,41	63,48	60,48	53,52	55,04	63,25
TOTAL	7544	100,01	799,73	807,88	789,88	484,51	464,33	554,65

TABELA 27 - Relação dos erros segundo os custos de viagens - Indústria

TEMPO DE VIAGEM (min.)					DISTÂNCIA DE VIAGEM (m.)					LINHA DE DESEJO (m.)				
CUSTO	%		ERRO		CUSTO	%		ERRO		CUSTO	%		ERRO	
	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA		B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA		B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA
1	0,98	1,76	23,13	50,12	500	1,94	2,71	25,56	29,56	500	0,00	8,99	0,00	57,19
2	2,18	2,44	54,67	12,12	900	3,36	3,23	60,33	18,61	1000	3,66	4,07	35,50	57,19
3	4,83	5,43	45,70	20,08	1200	0,76	0,78	15,98	6,62	1500	21,25	14,17	68,95	60,22
4	9,68	13,97	49,20	44,78	1400	7,44	7,54	74,33	50,61	2000	4,90	4,17	37,49	34,95
5	26,32	23,38	98,67	57,05	1700	1,12	4,67	11,38	36,61	2500	6,21	4,68	36,48	20,11
6	6,83	8,88	66,17	8,40	1900	7,46	4,82	41,95	30,24	3000	8,31	11,44	38,32	21,99
7	6,43	8,15	85,39	55,38	2400	1,07	1,81	6,35	18,13	3500	11,03	9,07	111,61	32,03
8	1,54	3,62	11,42	31,65	3000	12,70	6,70	101,13	81,33	4000	13,86	9,09	104,33	66,43
9	3,62	3,23	23,29	14,64	3600	10,77	10,65	102,47	20,10	4500	6,64	9,86	83,29	20,30
10	8,79	8,20	58,12	19,19	3700	0,87	0,73	12,86	17,70	5000	9,49	7,74	122,28	58,51
11	21,18	9,49	138,71	71,82	3900	0,00	0,97	0,00	12,39	5500	6,97	6,91	103,67	33,28
12	0,00	0,51	0,00	8,10	4300	0,00	4,92	0,00	50,10	6000	7,69	9,81	119,19	56,21
13	7,62	9,74	142,83	75,86	4400	0,00	0,00	0,00	0,00					
14	0,00	0,00	0,00	0,00	4500	8,00	6,90	118,28	28,34					
15	0,00	1,21	0,00	33,85	5000	2,52	1,46	47,87	46,40					
					5200	7,34	8,46	60,44	27,39					
					5700	2,01	1,44	25,31	32,99					
					5900	3,60	7,23	75,42	105,24					
					6100	17,90	15,33	204,73	114,90					
					6900	3,00	3,13	31,88	20,98					
					7600	7,63	6,50	139,04	54,53					
TOTALS	100,00	100,01	793,30	503,04		99,99	99,98	1155,31	802,77		100,01	100,00	861,11	486,49

TABELA 2E - Relação dos erros segundo os custos de viagens - Comércio

CUSTO	TEMPO DE VIAGEM (min.)				DISTÂNCIA DE VIAGEM (m.)				LINHA DE DESEJO (m.)					
	%		ERRO		%		ERRO		%		ERRO			
	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA		
1	1,02	1,50	227,58	181,77	500	2,64	1,93	301,88	127,01	500	0,00	3,58	0,00	268,43
2	0,14	0,25	226,59	48,53	900	9,86	9,32	1102,19	218,34	1000	11,44	8,61	792,13	147,88
3	12,20	13,14	802,07	225,50	1200	1,86	1,58	237,20	159,02	1500	36,20	29,62	916,89	167,40
4	25,54	25,91	1196,39	118,56	1400	10,05	9,92	1048,95	119,72	2000	19,01	19,48	1236,98	144,85
5	24,97	25,40	802,27	111,96	1700	8,39	8,19	848,42	85,96	2500	9,36	12,75	487,19	143,99
6	3,08	2,98	120,74	72,34	1900	22,10	22,16	1262,78	151,77	3000	14,76	15,35	515,40	103,48
7	3,07	3,14	351,83	62,71	2400	3,20	3,32	175,57	99,07	3500	0,92	1,30	52,87	57,55
8	10,56	9,96	780,62	182,12	3000	12,31	12,81	707,65	88,77	4000	4,27	5,05	253,14	82,56
9	9,01	8,39	636,37	76,82	3600	7,48	7,98	758,98	64,22	4500	0,56	0,99	46,65	31,51
10	5,14	4,34	162,64	85,53	3700	1,53	1,64	228,78	107,36	5000	1,43	1,25	101,59	77,40
11	1,88	1,46	69,12	80,25	3900	0,65	0,60	61,47	41,73	5500	1,42	1,48	106,85	47,10
12	1,96	1,84	243,14	94,15	4300	8,09	8,32	956,03	204,83	6000	0,61	0,55	56,28	30,61
13	1,51	1,56	208,64	80,37	4400	0,27	0,29	27,91	34,67					
14	0,13	0,00	33,91	0,64	4500	0,91	0,91	69,09	52,39					
15	0,09	0,12	22,43	30,33	5000	2,65	2,70	503,46	81,50					
					5200	3,51	3,70	163,00	86,82					
					5700	1,50	1,57	221,22	108,41					
					5900	0,64	0,69	77,22	19,07					
					6100	0,62	0,54	53,18	38,43					
					6900	1,41	1,49	82,72	69,41					
					7600	0,34	0,34	46,96	25,41					
TOTAIS	100,00	99,99	5704,54	1441,58		100,01	100,00	8934,66	1983,91		99,98	100,01	4566,27	1302,76

TABELA 29 - Relação dos erros segundo os custos de viagens - Público

CUSTO	TEMPO DE VIAGEM (min.)				DISTÂNCIA DE VIAGEM (min.)				LINHA DE DESEJO (m.)					
	%		ERRO		CUSTO	%		ERRO		CUSTO	%		ERRO	
	B P R	ENTROPIA	E P R	ENTROPIA		B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA		B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA
1	2,65	2,01	207,43	80,79	500	4,25	7,37	163,77	160,39	500	0,00	6,14	0,00	149,18
2	2,13	0,94	165,59	188,91	900	9,47	13,36	388,88	206,29	1000	12,62	10,12	306,71	105,90
3	15,88	17,33	383,93	157,60	1200	0,00	0,40	0,00	21,43	1500	37,59	29,30	315,66	172,11
4	16,76	17,21	224,70	132,19	1400	12,79	11,88	412,38	184,08	2000	12,69	12,19	237,35	156,99
5	25,55	23,35	275,05	148,33	1700	5,91	6,90	146,26	67,19	2500	9,93	15,66	145,56	124,73
6	4,65	4,49	80,35	52,28	1900	14,81	18,40	276,97	154,93	3000	15,54	15,36	141,16	125,47
7	2,11	2,82	65,20	40,39	2400	4,91	4,72	92,26	113,82	3500	3,68	3,17	97,11	123,33
8	10,52	9,37	222,10	175,91	3000	16,18	9,40	304,95	183,65	4000	5,54	4,51	89,87	56,22
9	7,16	10,54	144,41	107,77	3600	9,40	7,08	265,75	164,80	4500	0,79	0,42	22,64	20,46
10	7,79	6,73	138,78	110,60	3700	2,67	2,60	122,70	51,53	5000	0,87	1,19	26,02	24,99
11	0,68	0,81	12,57	11,69	3900	2,21	2,28	99,65	88,12	5500	0,75	1,72	32,29	41,48
12	1,59	1,62	73,92	78,22	4300	8,67	5,60	272,39	227,98	6000	0,00	0,22	0,00	6,36
13	2,34	1,72	112,68	97,24	4400	0,45	0,68	23,05	34,96					
14	0,00	0,01	0,00	1,02	4500	0,43	1,51	16,27	64,37					
15	0,00	0,05	0,00	3,82	5000	2,73	1,53	148,83	37,47					
					5200	1,75	3,03	40,65	68,37					
					5700	1,73	0,76	65,22	77,35					
					5900	0,60	0,52	24,84	26,01					
					6100	0,00	0,76	0,00	29,59					
					6900	1,04	1,12	33,75	13,95					
					7600	0,00	0,09	0,00	3,90					
TOTALS	100,01	100,20	2106,71	1386,76		100,00	99,99	2871,57	1980,18		100,00	100,00	1414,39	1117,22

TABELA 30 - Relação dos erros segundo os custos de viagens - Residência

CUSTO	TEMPO DE VIAGEM (min.)				DISTÂNCIA DE VIAGEM (m.)				LINHA DE DESEJO (m.)					
	%		E R R O		%		E R R O		%		E R R O			
	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA		
1	2,32	1,89	787,29	385,32	500	2,73	3,06	467,80	239,16	500	0,00	4,29	0,00	424,24
2	0,67	0,36	218,89	206,79	900	7,88	8,12	1327,81	320,93	1000	10,24	7,94	1006,37	246,25
3	11,99	12,88	1105,11	401,29	1200	1,28	1,36	240,01	275,51	1500	34,52	28,10	1267,35	327,36
4	21,84	24,16	1473,31	260,02	1400	9,90	10,01	1519,19	358,55	2000	17,01	16,23	1610,61	158,49
5	24,83	27,19	1151,58	336,79	1700	6,78	6,90	926,11	143,34	2500	10,23	13,92	731,08	249,36
6	3,80	3,47	211,50	115,55	1900	19,20	19,22	1608,02	246,72	3000	15,29	15,52	668,20	189,70
7	2,86	3,36	420,03	122,19	2400	4,30	4,24	315,18	119,68	3500	2,05	2,40	187,68	187,38
8	9,33	10,09	1001,29	247,15	3000	12,89	11,91	1060,81	263,11	4000	5,63	5,16	382,73	137,44
9	9,47	4,80	951,44	188,04	3500	9,07	8,85	1265,57	186,11	4500	0,66	1,30	87,67	95,22
10	3,88	3,93	304,53	132,88	3700	2,23	2,16	490,82	202,25	5000	1,96	2,06	246,72	128,96
11	2,90	2,15	180,63	131,62	3900	1,15	1,16	171,17	119,60	5500	1,55	1,99	177,66	141,30
12	1,87	1,48	324,93	94,54	4300	8,04	7,90	1311,97	369,54	6000	0,87	1,09	133,96	50,01
13	1,89	3,93	345,62	578,70	4400	0,50	0,49	77,36	111,25					
14	0,20	0,17	78,29	30,93	4500	1,44	1,43	170,45	105,00					
15	0,15	0,14	59,74	60,14	5000	2,61	2,97	601,18	123,74					
					5200	3,92	3,82	274,71	123,41					
					5700	1,77	1,72	328,07	103,37					
					5900	0,97	0,94	206,65	76,05					
					6100	1,30	1,35	173,83	79,36					
					6900	2,27	2,20	212,67	127,15					
					7600	0,57	0,57	128,51	96,55					
TOTALS	100,00	100,00	6614,18	3292,95		100,00	99,98	12877,92	3790,38		100,01	100,00	6502,23	2336,71

TABELA 31 - Relação dos erros segundos os custos de viagens - Diversos

TEMPO DE VIAGEM (min.)					DISTÂNCIA DE VIAGEM (m.)					LINHA DE DESEJO (m.)				
CUSTO	%		ERRO		CUSTO	%		ERRO		CUSTO	%		ERRO	
	B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA		B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA		B P R	ENTROPIA	B P R	ENTROPIA
1	1,81	2,43	71,40	22,53	500	3,20	3,70	62,10	29,27	500	0,00	4,31	0,00	66,54
2	0,91	1,46	40,33	65,76	900	7,73	8,59	164,55	78,78	1000	8,60	6,89	108,91	50,56
3	11,35	12,34	134,66	70,06	1200	2,78	1,78	61,18	70,51	1500	32,40	23,72	132,63	72,20
4	22,08	24,75	156,77	42,35	1400	13,41	10,34	227,16	66,30	2000	20,38	17,38	210,83	63,99
5	28,17	25,49	141,59	69,79	1700	7,17	7,16	86,14	23,04	2500	11,64	14,67	82,85	40,93
6	8,86	5,36	65,95	54,28	1900	19,50	20,92	175,14	62,54	3000	14,66	17,78	62,92	55,19
7	4,01	3,96	78,16	14,79	2400	4,07	6,13	36,50	45,87	3500	3,22	2,90	39,56	41,05
8	8,08	7,69	96,54	43,02	3000	13,98	11,40	131,65	64,73	4000	7,47	6,90	65,22	38,13
9	8,62	7,12	91,39	28,71	3600	6,84	6,53	103,66	41,38	4500	0,00	0,99	0,00	20,19
10	2,33	4,06	13,93	25,40	3700	1,21	1,39	28,90	47,44	5000	0,00	1,71	0,00	32,12
11	0,00	1,75	0,00	20,95	3900	3,49	1,93	71,37	75,46	5500	1,63	2,50	27,43	27,95
12	2,33	1,96	50,46	16,94	4300	6,14	5,91	121,03	26,87	6000	0,00	0,25	0,00	5,06
13	1,44	1,59	34,79	34,83	4400	0,00	0,46	0,00	9,16					
14	0,00	0,00	0,00	0,00	4500	2,81	1,36	40,78	49,21					
15	0,00	0,05	0,00	2,77	5000	3,37	3,39	104,03	18,18					
					5200	1,24	3,60	10,33	25,55					
					5700	0,76	1,91	15,94	31,06					
					5900	0,00	0,60	0,00	15,11					
					6100	0,86	0,88	18,01	5,25					
					6900	1,45	1,96	20,34	16,35					
					7600	0,00	0,11	0,00	2,96					
TOTAIS		100,00	976,05	512,18		100,01	100,01	1478,51	805,02		100,00	100,00	730,36	513,91

TABELA 32 - Matriz da relação viagem observada/viagem calculada - Indústria

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,000	0,000	0,000	2,171	0,850	0,000	7,258	0,000	0,000	0,000	0,636	0,000
2	2,588	0,000	0,000	0,000	0,408	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,999	8,359
3	0,000	3,373	0,000	1,951	0,320	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,178	0,000
4	1,016	0,000	0,000	0,000	0,913	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,302	0,000
5	0,000	0,880	0,000	0,812	0,000	0,000	1,238	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,000	2,158	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,587	0,947
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,431	0,000	0,000	0,000	8,834	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,685	0,000
10	0,000	4,903	0,000	4,853	1,416	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,672	0,000
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,000	0,000	3,963	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

TABELA 33 - Matriz da relação viagem observada/viagem calculada - Comércio

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,000	4,708	1,252	1,051	0,846	0,000	0,572	0,380	0,000	1,232	0,607	3,481
2	0,998	0,000	0,992	1,170	1,004	0,000	0,435	0,000	0,000	0,000	1,999	2,691
3	1,204	0,367	0,000	1,820	0,907	0,000	0,000	1,191	0,000	0,000	1,455	0,714
4	1,496	0,000	1,411	0,000	0,927	0,000	2,410	1,109	0,000	1,386	0,000	1,064
5	0,543	1,028	1,228	0,611	0,000	2,427	2,443	1,920	2,665	3,109	0,888	0,000
6	1,430	0,000	0,000	0,579	1,145	0,000	0,985	0,000	0,000	0,000	3,044	0,000
7	0,580	1,189	1,137	1,262	1,026	3,299	0,000	0,401	0,000	0,000	1,836	0,000
8	1,164	0,000	0,948	0,809	1,079	0,000	0,518	0,000	4,676	1,142	0,918	0,712
9	0,598	1,094	0,815	0,611	1,197	0,000	0,000	2,021	0,000	0,000	0,000	0,944
10	1,139	2,102	0,838	0,972	0,978	3,677	0,000	0,878	0,000	0,000	0,751	0,000
11	0,000	0,000	0,000	4,297	0,800	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	1,319	2,198	0,000	1,615	0,891	0,000	0,000	0,987	0,000	0,000	0,000	0,000

TABELA 34 - Matriz da relação viagem observada/viagem calculada - Público

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,000	1,281	0,000	0,000	0,940	0,000	0,703	0,853	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,640	0,000	0,000	0,000	1,658	0,000	0,890	0,000	0,000	1,149	0,000	0,778
3	0,488	3,129	0,000	0,000	1,141	0,000	0,574	1,454	0,000	0,827	0,000	0,000
4	1,454	2,125	0,000	0,000	0,633	0,000	0,000	1,627	4,350	0,527	0,000	0,626
5	0,609	0,315	0,000	0,439	0,000	1,090	2,629	1,254	0,000	0,000	0,000	0,737
6	1,283	0,000	0,000	3,408	1,381	0,000	0,000	0,713	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,587	0,000	0,000	1,023	1,136	2,483	0,000	0,768	0,000	0,453	0,000	3,627
8	1,023	2,091	0,000	0,000	0,233	0,000	2,554	0,000	0,000	0,622	0,000	2,288
9	1,132	0,000	0,000	0,000	2,176	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	1,762	0,845	0,000	4,407	0,509	4,504	0,266	1,316	1,499	0,000	0,000	0,000
11	2,338	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,826	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,000	0,000	1,344	0,000	0,000	0,000	0,000	6,709	0,000	0,000

TABELA 35 - Matriz da relação viagem observada/viagem calculada - Residência

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,000	0,697	1,337	1,620	0,680	1,125	0,588	1,197	0,739	1,192	0,000	0,535
2	2,918	0,000	1,091	1,219	0,937	0,000	0,138	0,458	0,700	1,713	0,000	1,012
3	0,892	1,967	0,000	0,992	0,977	0,000	1,154	1,270	0,678	0,616	0,000	0,000
4	1,126	0,815	2,163	0,000	0,632	1,715	0,753	0,979	0,798	0,697	0,000	1,503
5	0,778	1,130	0,851	0,841	0,000	1,190	1,154	0,927	1,271	0,896	0,000	1,096
6	0,000	0,000	0,000	0,404	1,803	0,000	3,075	1,155	0,000	2,194	0,000	0,000
7	0,929	0,578	0,260	0,778	3,129	0,000	0,000	1,626	0,000	0,659	0,000	0,000
8	1,339	0,276	0,557	1,555	1,284	0,723	0,904	0,000	0,695	1,123	0,000	1,597
9	0,000	0,000	0,000	3,218	1,667	0,000	1,072	0,000	0,000	1,190	0,000	0,000
10	0,456	0,907	0,386	1,379	1,431	0,000	0,306	1,033	1,121	0,000	46,193	3,458
11	0,231	1,455	1,732	0,348	0,714	1,092	0,920	0,654	1,441	2,025	0,000	0,000
12	2,905	1,453	0,000	0,587	0,610	0,000	2,179	1,903	0,228	0,213	0,000	0,000

TABELA 36 - Matriz da relação viagem observada/viagem calculada - Diversos

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,000	0,939	1,727	1,850	0,689	0,000	4,171	0,749	0,000	2,283	0,000	0,000
2	0,991	0,000	2,115	0,000	1,257	0,000	0,000	0,478	0,000	1,246	9,408	0,000
3	1,255	1,456	0,000	4,041	0,868	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	1,956	0,000	0,735	0,000	1,187	4,117	1,113	0,816	0,000	0,000	0,000	0,695
5	1,241	0,935	1,290	0,000	0,000	1,821	1,108	1,239	1,391	1,259	0,000	1,082
6	1,579	0,000	0,000	6,640	0,270	0,000	0,000	2,344	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	1,758	1,211	0,000	1,359	0,000	0,000	0,951	6,460	0,000	0,000	0,000
8	0,734	1,776	1,231	0,000	0,843	0,000	0,000	0,000	0,000	1,422	0,000	3,564
9	0,905	1,777	0,000	0,904	0,867	0,000	1,640	0,593	0,000	3,222	0,000	1,028
10	0,000	0,891	0,000	1,146	1,155	0,000	0,000	1,095	0,000	0,000	0,000	2,757
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,000	1,985	0,756	0,000	2,820	2,746	0,000	0,000	0,000	0,000

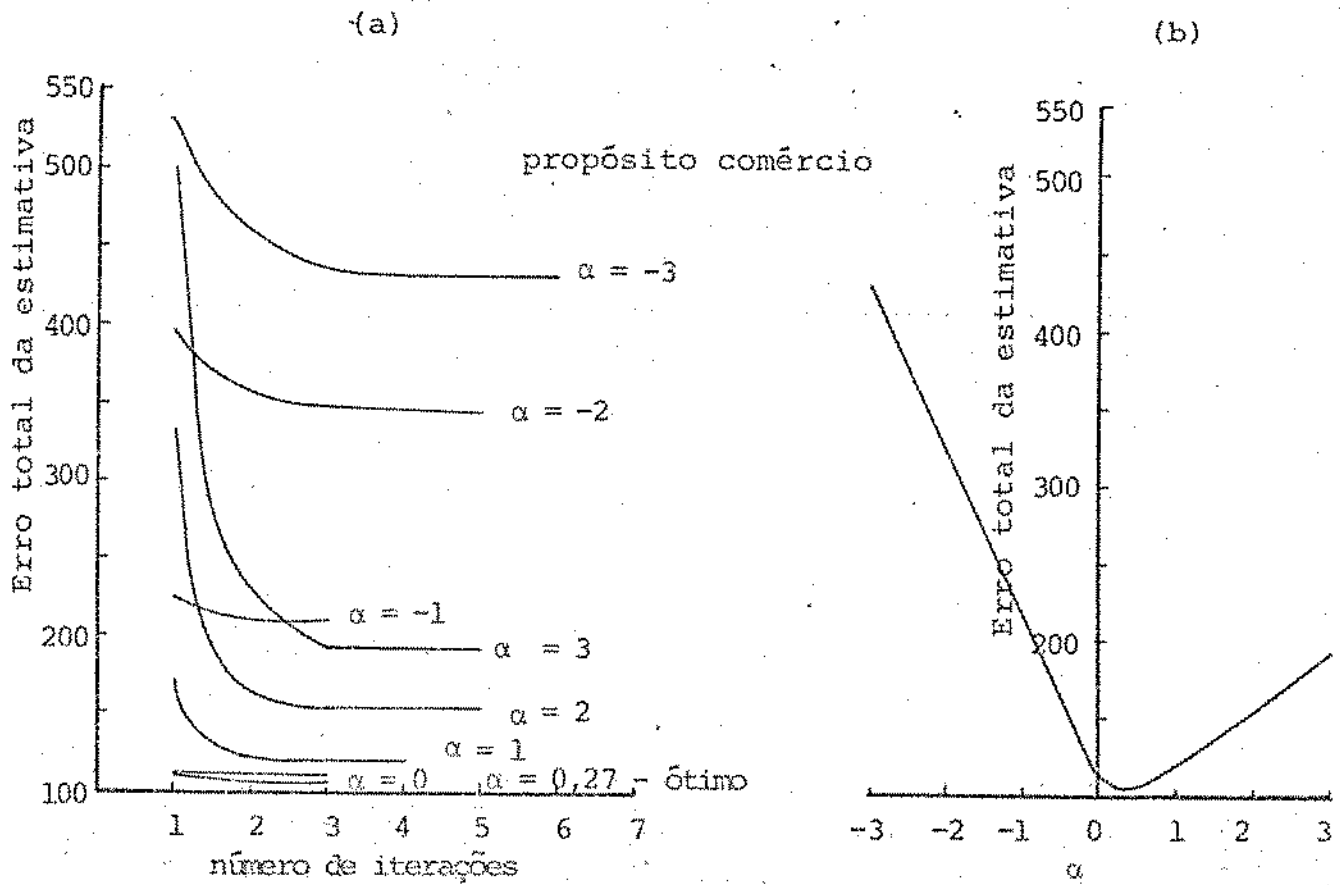


FIGURA 2 - Erro total em função do número de iterações e de α

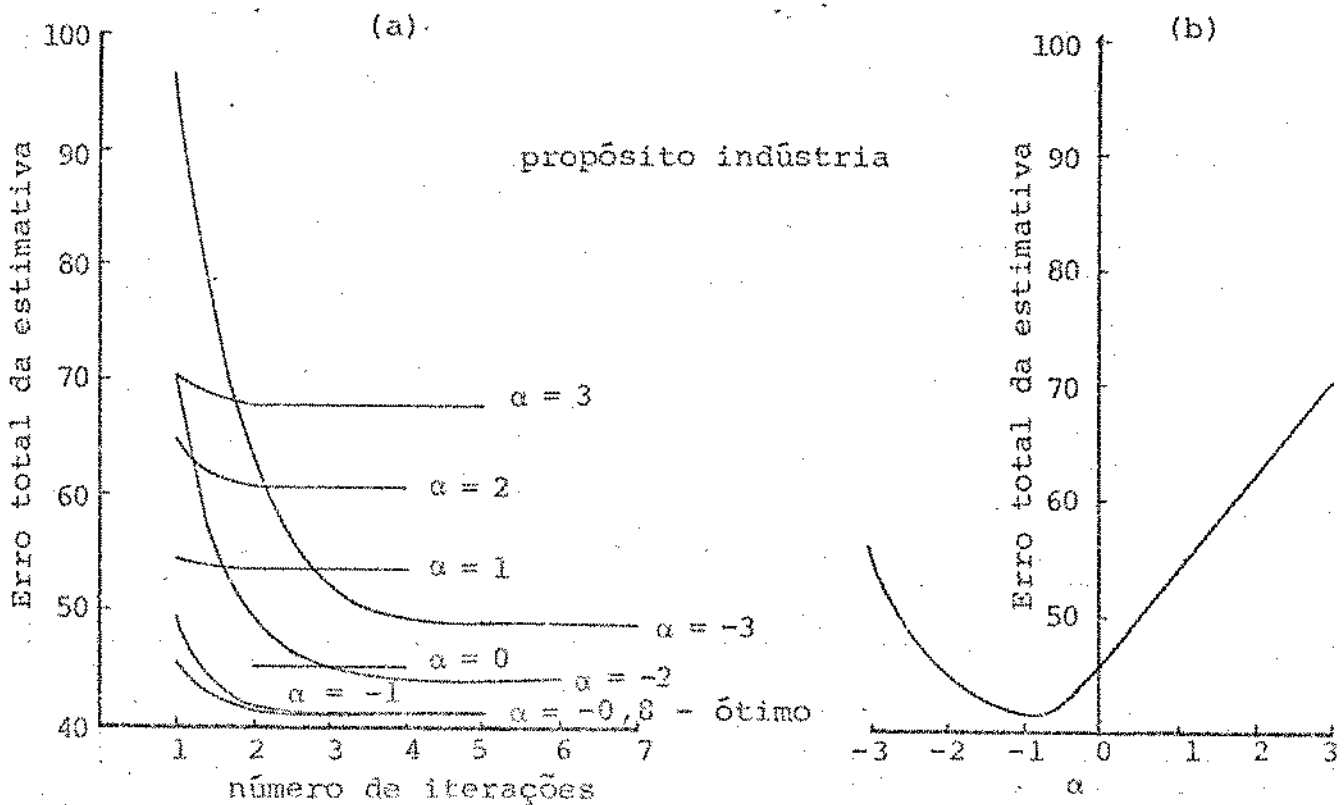


FIGURA 1 - Erro total em função do número de iterações e de α

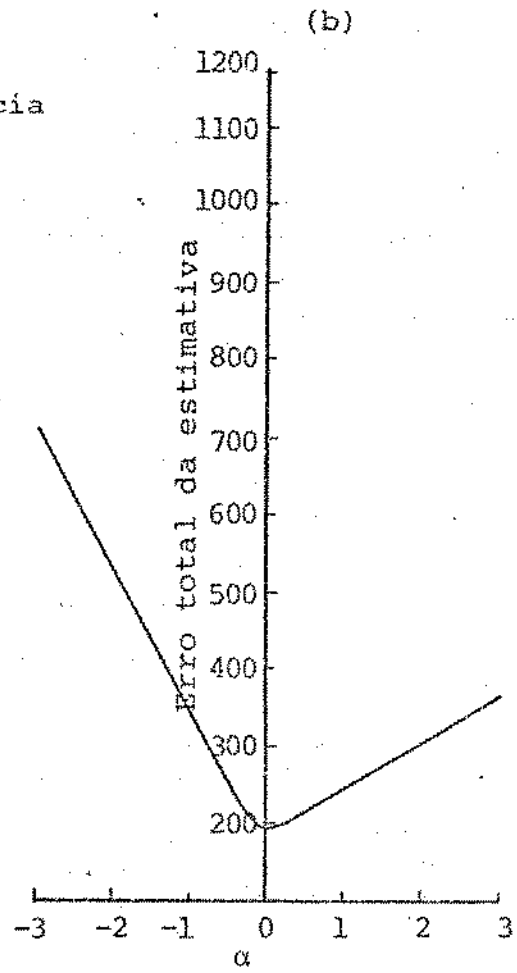
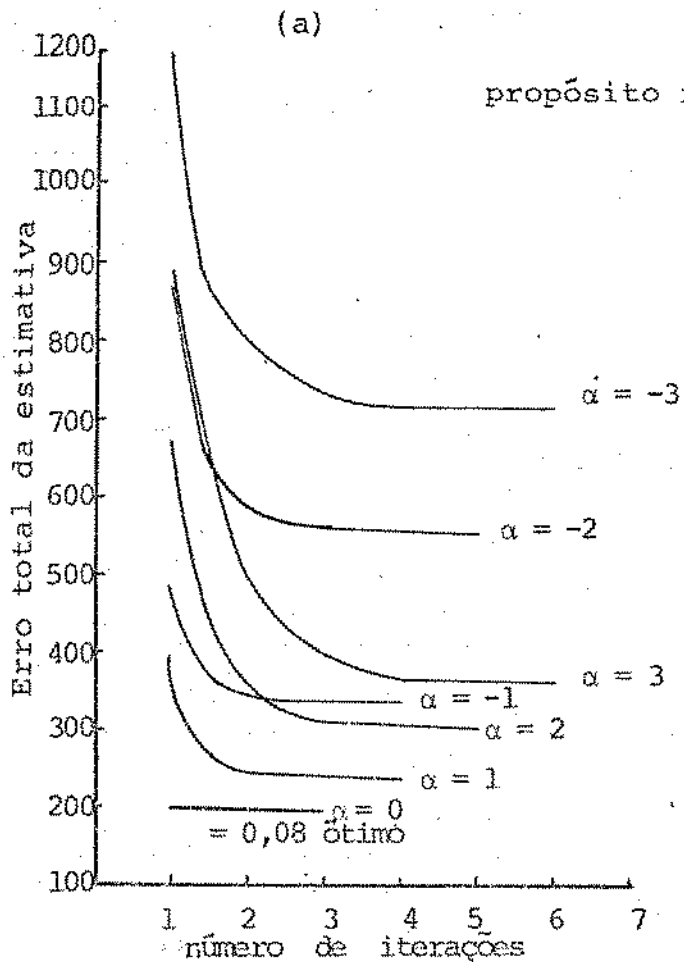


FIGURA 4 - Erro total em função do número de iterações e de α

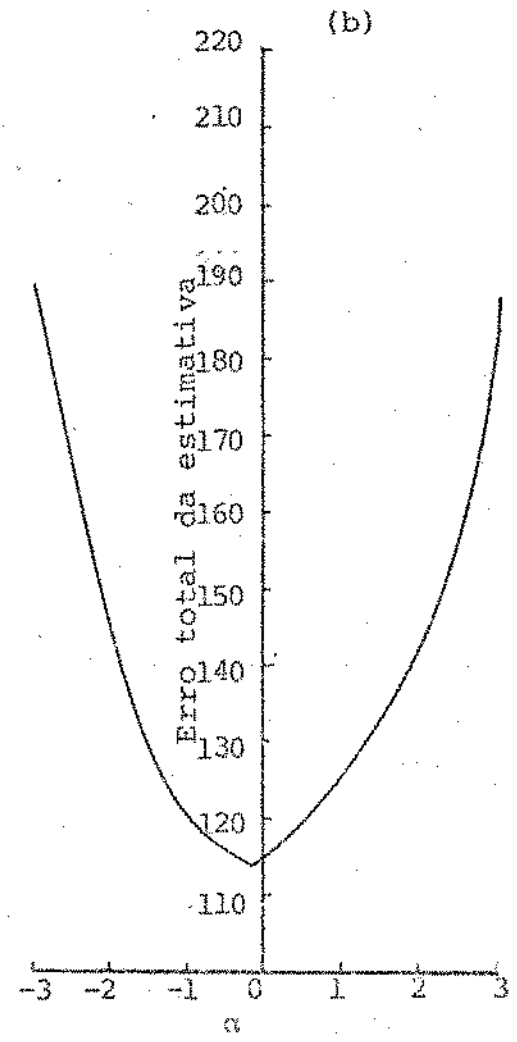
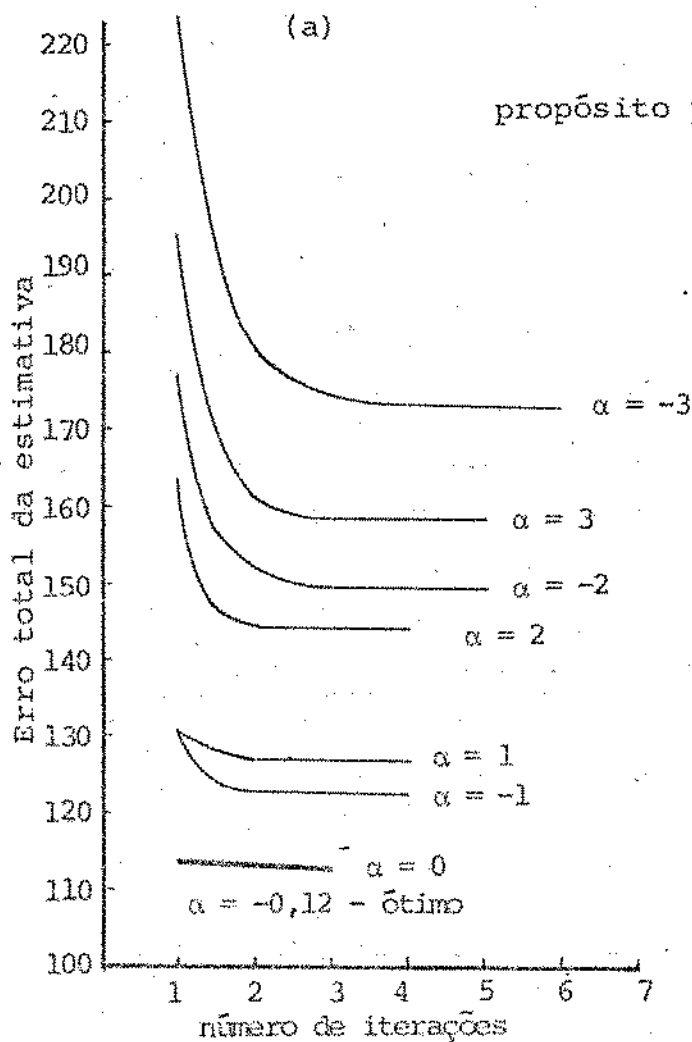


FIGURA 3 - Erro total em função do número de iterações e de α

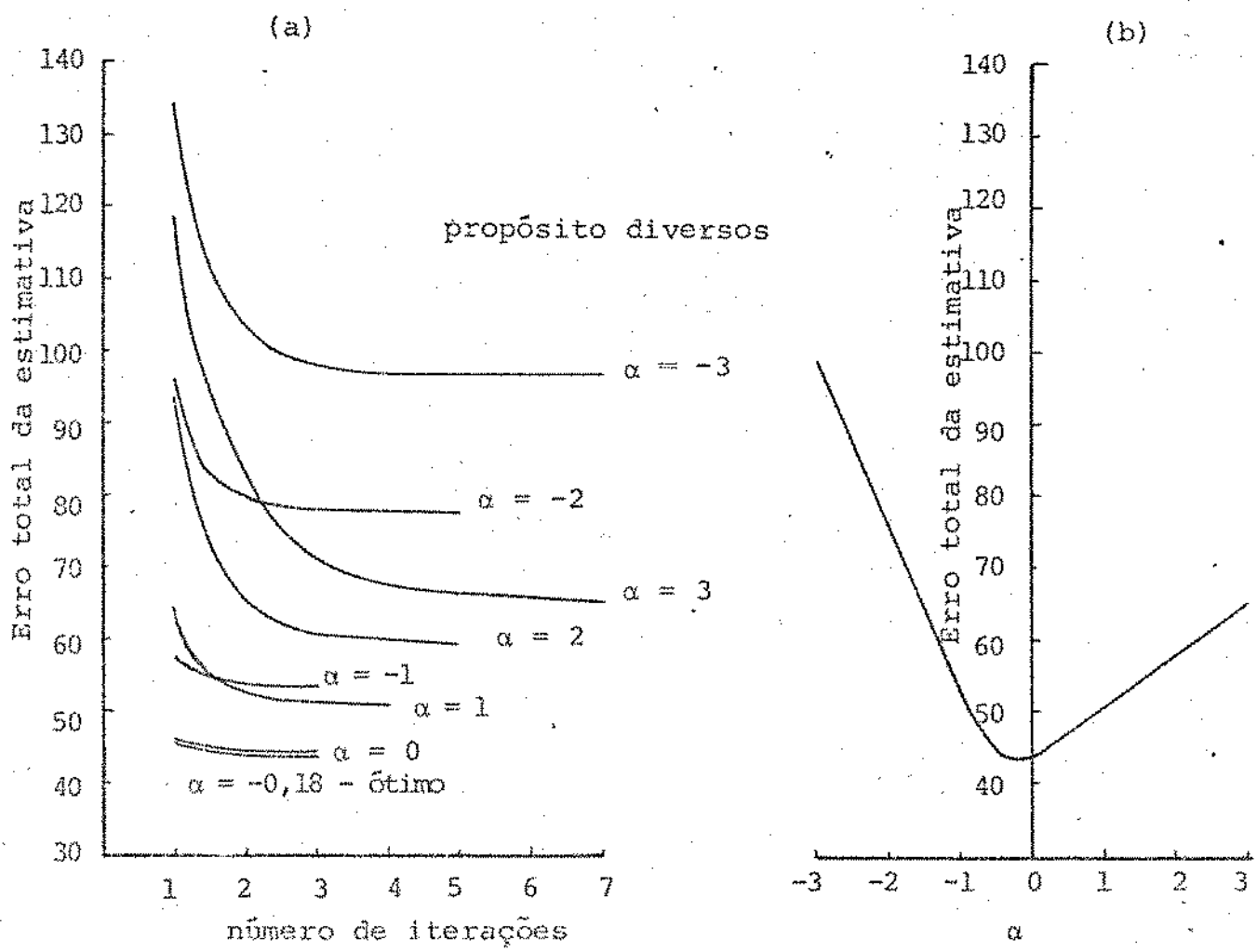


FIGURA 5 - Erro Total em Função do Número de Iterações e de α

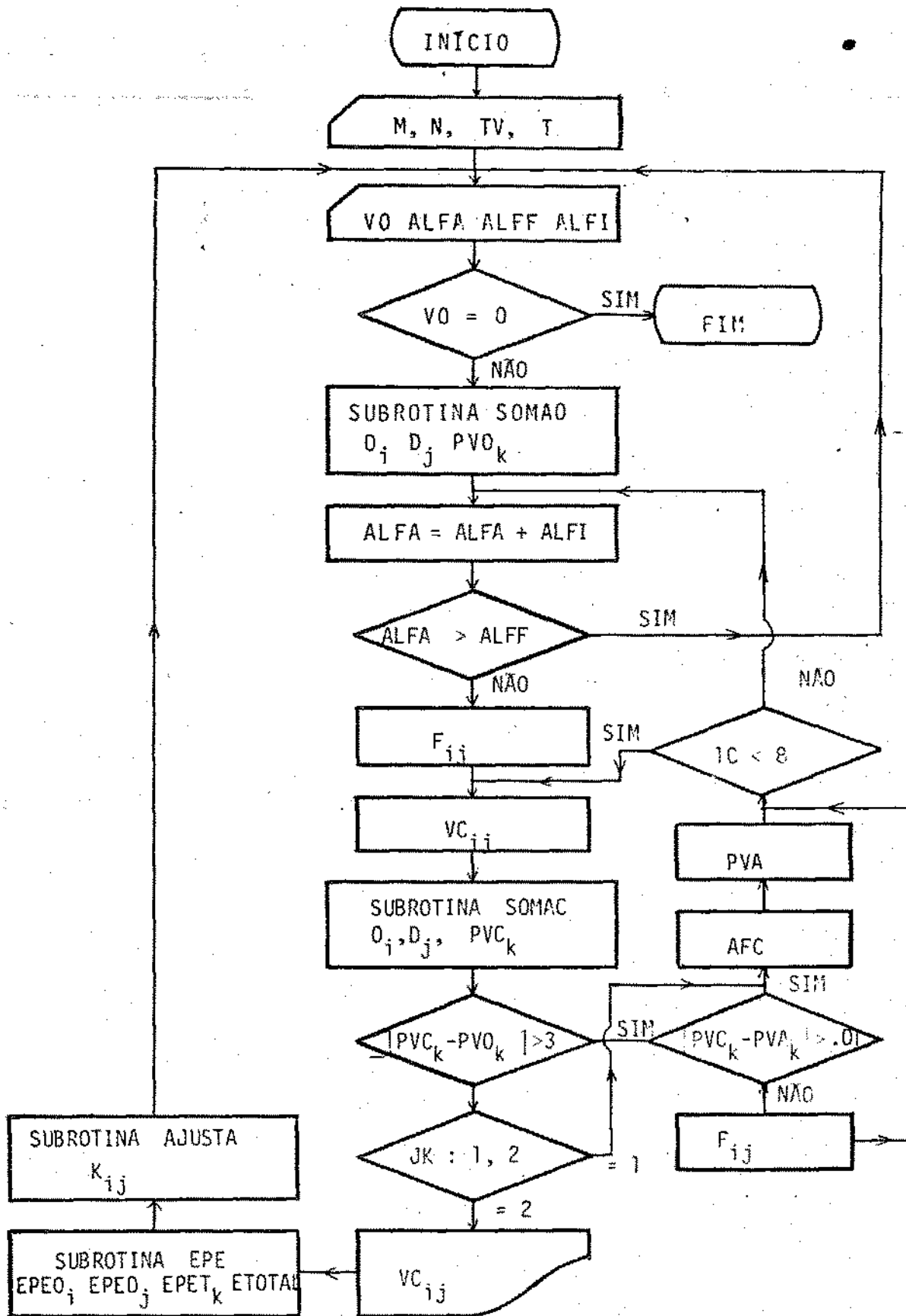


FIGURA 6 - Fluxograma para o modelo do BPR

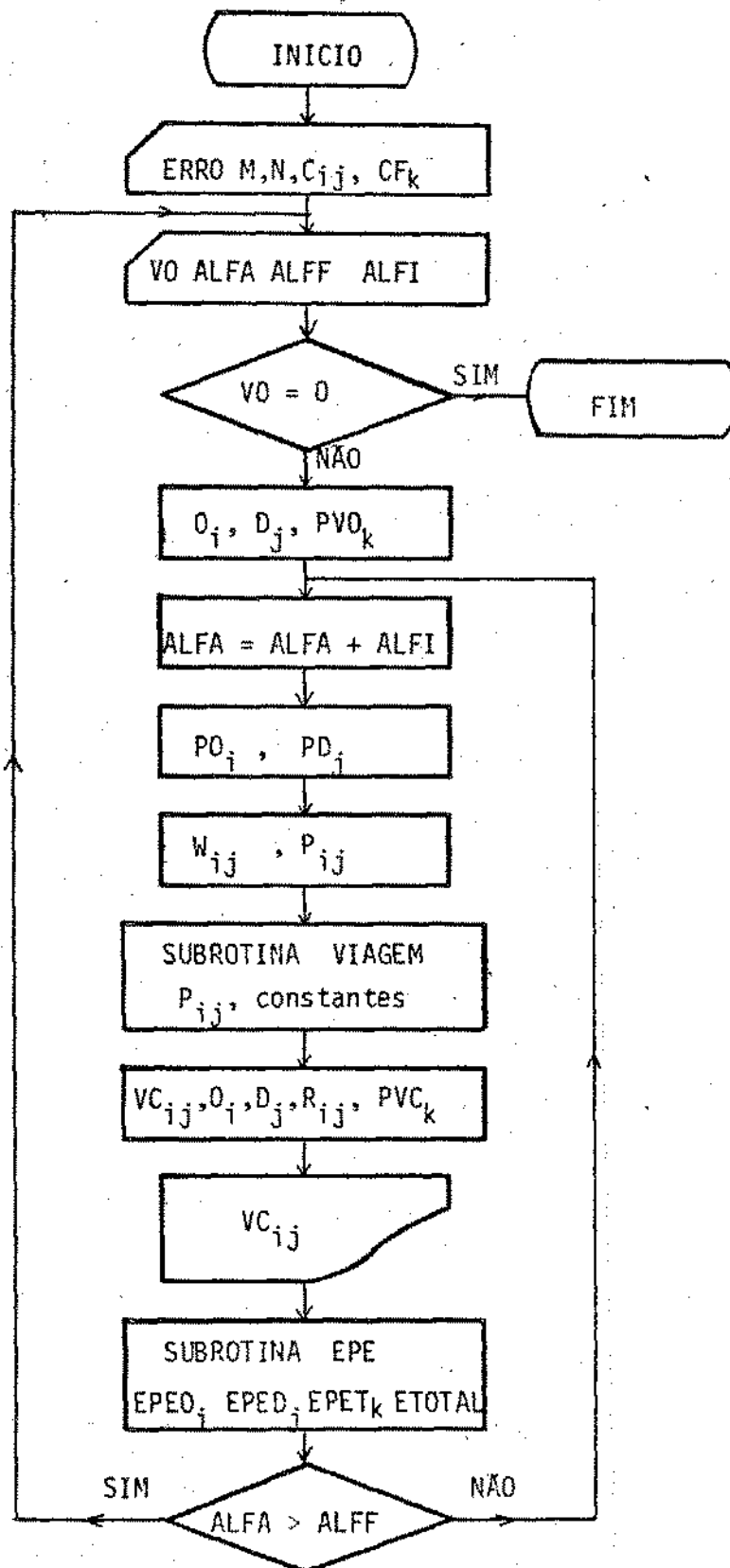


FIGURA 7 - Fluxograma para o modelo de entropia

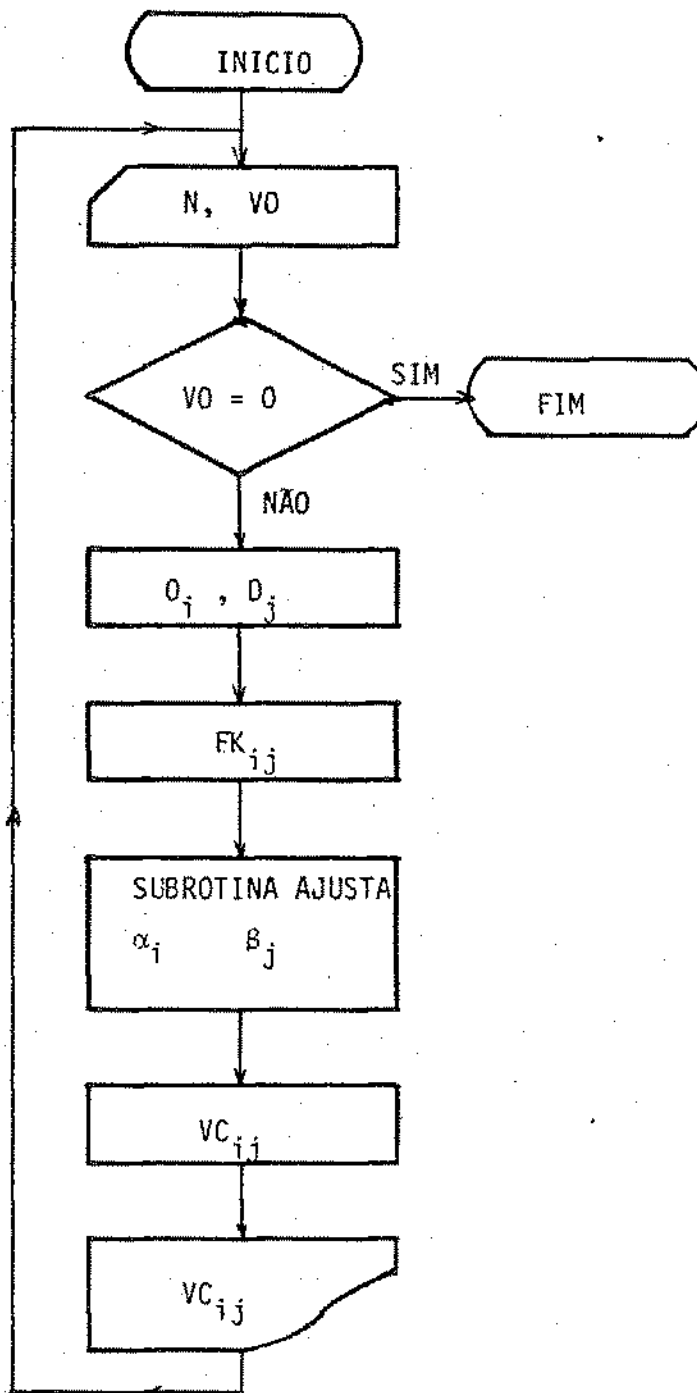


FIGURA 8 - Fluxograma para o modelo gravitacional modificado

APÊNDICE A

Ilustrações para o uso dos programas de computador.

Os programas de computador desenvolvidos para a calibração dos modelos de gravidade aqui apresentados, cujas listagens constam deste Apêndice foram processados num computador 370/145 da IBM. A sua alimentação varia quando se muda o custo de viagem e o intervalo e o incremento do expoente α . A seguir se descreve as informações necessárias para cada modelo.

a) Método 1 - BPR

Neste programa os dados de entradas em sua ordem de colocação são:

- M, número de elementos do vetor custo de viagem e N, dimensão da matriz O/D observada, ambos num só cartão e no formato 2I5;
- Os elementos de uma matriz custo de viagem lidos por linha no formato NI5, onde N é um número que indica quantos elementos numa linha tem a matriz;
- Os elementos do vetor custo de viagem também lidos no formato do item anterior;
- A matriz O/D observada ainda no formato anterior;

- Os valores de α inicial e final, bem como o incremento que se deseja, no formato 3 F10.3.

O programa processa os cálculos para todos os α dentro do intervalo desejado. Ao final do último α ele volta a ler, se houver, outra matriz observada com o respectivo α e efetua os cálculos. Quando não houver mais O/D a ler ele pára.

Como dados de saída tem-se a impressão de:

- dados de entrada;
- função resistência de viagem;
- matriz O/D calculada em cada iteração com as respectivas viagens geradas e atraídas por cada zona naquela iteração;
- percentagens de viagens calculadas;
- atração futura corrigida;
- número de iterações e a matriz O/D calculada final.
- erros $EPEO_i$, $EPED_j$, $EPET_k$ e $ETOTAL$;
- fatores de ajustamento K_{ij} .

b) Método 2 - Entropia

Neste programa os mesmos dados do método 1 são lidos mais o erro δ . Porém os formatos aqui são diferentes. Assim, tem-se a leitura de:

- δ , M e N no formato F6.4, 215;

- matriz custo de viagem no formato N12F5.1
- vetor custo de viagem no mesmo formato anterior;
- matriz O/D observada no formato NF5.0;
- valores de α inicial e final e o incremento.

A ordem de processamento dos dados é idêntica a do método anterior e como saída imprime:

- os dados lidos acima;
- percentagens de viagens observadas;
- função resistência de viagem;
- percentagens de viagem calculada e o número da iteração;
- matriz O/D calculada final;
- erros $EPEO_i$, $EPED_j$, $EPET_k$ e ETOTAL.

c) Método 3 - Modificado

Os únicos dados de alimentação deste programa são:

- N dimensão da matriz O/D, no formato I5;
- elementos da matriz O/D observada, no formato NI5.

Após proceder os cálculos este programa fornece como dados de saída:

- dados de entrada;
- fatores de resistência interzonais;

- número da iteração e os valores de α e β ;
- matriz O/D calculada final, com os respectivos números de viagens geradas e atraídas por cada zona.

```

$JOB          METODO-1, TIME=30, PAGE=5=1000
INTEGER VO, TV, T, GA, AA
COMMON VO(15,15), TV(15,15), T(25), GA(15), AA(15), PVO(25),
1F(15,15), VC(15,15), CF(15), AF(15), PVC(25), PK(15,15), N, N
2,TT, TTT, X(15), R(15,15), AFC(15), PVAL(5), KK(25), EPED(15),
3EPED(15), ETOTAL, EPB(125)
READ(5,10) M, N, ((TV(I,J),J=1,N),I=1,N), T(I),I=1,M)
10 FORMAT(215,/, (1215))
1 READ(5,8,END=1001) ((VO(I,J),J=1,N),I=1,N)
8 FORMAT(1215)
READ(5,2) ALFA, ALFF, ALFI
2 FORMAT(3F10.3)
CALL SOMAC
DO 5 J = 1,M
5 KK(J) = J
WRITE(6,11) (KK(J),J=1,N)
11 FORMAT('1',21X,'MATRIZ ORIGEM-DESTINO OBSERVADA',//,5X,1215,3X,'01
11)',//)
DO 12 I = 1,N
12 WRITE(6,13) I, (VO(I,J),J=1,N), GA(I)
13 FORMAT(15,1X,1215,16,/)
WRITE(6,14) (AA(J),J=1,N)
14 FORMAT(2X,'0(J)',1215)
WRITE(6,15) (KK(J),J=1,N)
15 FORMAT(//,24X,'MATRIZ DOS CUSTOS DE VIAGENS',//,5X,1215,/)
DO 16 I = 1,N
16 WRITE(6,13) I, (TV(I,J),J=1,N)
WRITE(6,17) (T(J),J=1,M), (PVO(J),J=1,M)
17 FORMAT('1', 'CUSTOS',/,14,2016,/, ' OBS',//,21F6.2)
18 ALFA = ALFA + ALFI
IF(ALFA.GT.ALFF) GO TO 1
JK = 0
IC = 1
WRITE(6,27) ALFA
27 FORMAT(//,5X,'ALFA =',F6.2)
C CALCULO DA FUNCAO FATOR TEMPO
DO 20 I = 1,N
F(I,I) = 0.
GF(I) = GA(I)
AF(I) = AA(I)
AFC(I) = AA(I)
DO 20 J = 1,N
IF(TV(I,J).EQ.0) GO TO 20
F(I,J) = 1. / (TV(I,J)**ALFA)
20 CONTINUE
19 WRITE(6,21) (KK(J),J=1,N)
21 FORMAT(//,28X,'FUNCAO FATOR TEMPO',//,4X,1216,/)
DO 22 I = 1,N
22 WRITE(6,23) I, (F(I,J),J=1,N)
23 FORMAT(15,1X,1216,3)
C OBTENCAO DA O/D CALCULADA
25 DO 40 I = 1,N
DO 40 J = 1,N
S = 0.
DO 30 K = 1,N
30 S = S + AFC(K) * F(I,K)
40 VC(I,J) = GF(I) * AFC(J) * F(I,J) / S
CALL SOMAC
WRITE(6,43) IC, (KK(J),J=1,N)
43 FORMAT(//,15X,'MATRIZ ORIGEM-DESTINO CALCULADA NA ITERACAO',I3,//,

```

```

15X,12I6,3X,'O(I)',/)
DO 44 I = 1,N
44 WRITE(6,46) I, (VC(I,J),J=1,N), GF(I)
   WRITE(6,47) (AF(J),J=1,N)
   WRITE(6,48) (T(J),J=1,M), (PVC(J),J=1,M)
48 FORMAT(/,1X,'CUSTOS',/,14,20I6,/,1X,' CAL',/,21F6.2)
   DO 50 K = 1,M
   IF(ABS(PVC(K) - PVO(K)).GT.3) GO TO 55
50 CONTINUE
   JK = JK + 1
   GO TO (59,70),JK
55 DO 58 K = 1,M
   IF(ABS(PVC(K)-PVA(K)).GT..01) GO TO 59
58 CONTINUE
   DO 56 I = 1,N
   DO 56 J = 1,N
   DO 56 K = 1,M
   IF(VC(I,J).EQ.0.) GO TO 56
   IF(TV(I,J).EQ.T(K)) F(I,J) = F(I,J) * PVO(K) / PVC(K)
56 CONTINUE
   IC = IC + 1
   IF(IC.EQ.8) GO TO 18
   GO TO 25
59 DO 60 J = 1,N
   IF(AF(J).EQ.0) GO TO 60
   AFC(J) = AA(J) * AFC(J) / AF(J)
60 CONTINUE
   DO 61 J = 1,M
61 PVA(J) = PVC(J)
   WRITE(6,65) (AFC(J),J=1,N)
65 FORMAT(/,1X,'D(J)C',12F6.1)
   IC = IC + 1
   IF(IC.EQ.8) GO TO 18
   GO TO 25
70 WRITE(6,75) IC
75 FORMAT(/,5X,'NUMERO DE ITERACOES = ',15,/)
   WRITE(6,80) (KK(J),J=1,N)
80 FORMAT(/,20X,'MATRIZ ORIGEM DESTINO DISTRIBUIDA',/,3X,12I6,3X,'O
1(I)',/)
   DO 85 I = 1,N
85 WRITE(6,46) I, (VC(I,J),J=1,N), GF(I)
46 FORMAT(15,1X,12F6.1,F8.1)
   WRITE(6,47) (AF(J),J=1,N)
47 FORMAT(/,2X,'D(J)',12F6.1)
   CALL EPE
C   CALCULO DOS ERROS TOTAIS
   ETO = 0.
   ETD = 0.
   DO 280 I = 1,N
   ETO = ETO + EPEU(I)
   ETD = ETD + EPEU(I)
280 CONTINUE
   ETT = 0.
   DO 290 I = 1,M
   ETT = ETT + EPEI(I)
290 CONTINUE
   WRITE(6,300) (KK(I),I=1,M), (EPEU(I),I=1,N), ETO, (EPEU(I),I=1,N),
* ETD, (EPEI(I),I=1,M), ETT, ETOTAL
300 FORMAT(/,4X,15I7,7X,'TOTAL',/,1X,6I7,/,1X,'EPEU=',12F7.2,21X,F10.2
1,/,1X,'EPEU=',12F7.2,21X,F10.2,/,1X,'EPEI=',15F7.2,/,6F7.2,62X,F10

```

```

2.2,/,97X,'ETOTAL' =',F10.4)
CALL AJUSTA
WRITE(6,90) (KK(J),J=1,N)
90 FORMAT(//,26X,'FAItores DE AJUSTAMENTO',//,4X,12I6,/)
DO 95 I = 1,N
95 WRITE(6,23) I, (FK(I,J),J=1,N)
IF(ALFA.LE.5.) GO TO 18
GO TO 1
100 STOP
END
SUBROUTINE SOMAO
C SUBROTINA PARA CALCULAR AS VIAGENS GERADAS E ATRAIDAS DA O/D
C OBSERVADA. CALCULA TAMBEM AS PERCENTAGENS DAS FREQUENCIAS DE
C VIAGENS OBSERVADAS
INTEGER VO, TV, T, GA, AA
COMMON VO(15,15), TV(15,15), T(25), GA(15), AA(15), PVD(25),
IF(15,15), VC(15,15), GF(15), AF(15), PVC(25), FK(15,15), M, N
2,TT, TTT, X(15), R(15,15), AFC(15), PVA(25), KK(25), EPEO(15),
3EPEU(15), ETOTAL, EPET(25)
DO 5 I = 1,M
5 PVO(I) = 0.
DO 10 I = 1,N
GA(I) = 0
10 AA(I) = 0
TT = 0.
DO 30 I = 1,N
S1 = 0.
S2 = 0.
DO 20 J = 1,N
S1 = S1 + VO(I,J)
S2 = S2 + VO(J,I)
20 CONTINUE
GA(I) = S1
AA(I) = S2
30 TT = TT + GA(I)
DO 60 K = 1,M
DO 50 I = 1,N
DO 50 J = 1,N
IF(TV(I,J).EQ.T(K)) PVO(K) = PVO(K) + VO(I,J) / TT * 100
50 CONTINUE
PVA(K) = PVD(K)
60 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE SOMAC
C SUBROTINA PARA CALCULAR AS VIAGENS GERADAS E ATRAIDAS DA O/D
C CALCULADA. CALCULA TAMBEM AS PERCENTAGENS DAS FREQUENCIAS DE
C VIAGENS CALCULADAS.
INTEGER VO, TV, T, GA, AA
COMMON VO(15,15), TV(15,15), T(25), GA(15), AA(15), PVD(25),
IF(15,15), VC(15,15), GF(15), AF(15), PVC(25), FK(15,15), M, N
2,TT, TTT, X(15), R(15,15), AFC(15), PVA(25), KK(25), EPEO(15),
3EPEU(15), ETOTAL, EPET(25)
DO 5 I = 1,M
5 PVC(I) = 0.
DO 10 I = 1,N
GF(I) = 0.
10 AF(I) = 0.
TTT = 0.
DO 30 I = 1,N

```

```

S1 = 0.
S2 = 0.
DO 20 J = 1,N
S1 = S1 + VC(I,J)
S2 = S2 + VC(J,I)
20 CONTINUE
GF(I) = S1
AF(I) = S2
30 TTT = TTT + GF(I)
DO 60 K = 1,M
DO 50 I = 1,N
DO 50 J = 1,N
IF(IV(I,J).EQ.T(K)) PVC(K) = PVC(K) + VC(I,J) / TTT* 100
50 CONTINUE
60 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE AJUSTA -
C SUBROTINA PARA CALCULAR OS FATORES DE AJUSTAMENTOS K
INTEGER VO, TV, T, GA, AA
COMMON VO(15,15), TV(15,15), T(25), GA(15), AA(15), PVO(25),
IF(15,15), VC(15,15), GF(15), AF(15), PVC(25), FK(15,15), M, N
2,TT, TIT, X(15), R(15,15), AFC(15), PVA(25), KK(25), EPEQ(15),
3EPEQ(15), ETOTAL, LPEQ(25)
DO 10 I = 1,N
DO 10 J = 1,N
FK(I,J) = 0.
R(I,J) = 0.
10 X(I) = 0.
DO 20 I = 1,N
DO 20 J = 1,N
IF(VC(I,J).EQ.0.) GO TO 20
R(I,J) = VO(I,J) / VC(I,J)
X(I) = VO(I,J) / GA(I)
FK(I,J) = R(I,J) * ((1-X(I)) / (1-X(I) + R(I,J)))
20 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE EPE
COMMON VO(15,15), TV(15,15), T(25), GA(15), AA(15), PVO(25),
IF(15,15), VC(15,15), GF(15), AF(15), PVC(25), FK(15,15), M, N
2,TT, TIT, X(15), R(15,15), AFC(15), PVA(25), KK(25), EPEQ(15),
3EPEQ(15), ETOTAL, EPEI(25)
ETOTAL = 0.
DO 250 I = 1,N
SOMA = 0.
DO 240 J = 1,N
SOMA = SOMA + (VC(I,J) - VO(I,J)) ** 2
240 CONTINUE
S = SOMA / N
EPEQ(I) = SQRT(S)
ETOTAL = ETOTAL + SOMA
250 CONTINUE
ETOTAL = ETOTAL / (N**2)
ETOTAL = SQRT(ETOTAL)
DO 270 J = 1,N
SOMA = 0.
DO 260 I = 1,N
SOMA = SOMA + (VC(I,J) - VO(I,J)) ** 2
260 CONTINUE

```

270 S = SOMA / N
EPED(J) = SQRT(S)
270 CONTINUE
DO 276 K = 1, M
L = 0
S = 0.
DO 275 I = 1, N
DO 274 J = 1, N
IF (TV(I, J) .NE. T(K)) GO TO 274
S = S + (VC(I, J) - VO(I, J)) ** 2
L = L + 1
274 CONTINUE
275 CONTINUE
S = S / L
EPET(K) = SQRT(S)
276 CONTINUE
RETURN
END
\$ENTRY

```

$JOB          METODO-2,TIME=10,PAGES=200
COMMON ERRO, N, D(15), D(15), C(15,15), T, PU(15), PU(15), W(15,15
1), P(15,15), Y(15), X(15), PA(15,15), VC(15,15), VO(15,15), IC,
2EPEO(15), EPED(15), ETDAL, EPET(25), CF(25), M, KK(25), R(15,15),
3PVD(25), PVC(25)
C-----ESTE PROGRAMA PROCESSA A CALIBRACAO DO MODELO DE GRAVIDADE,
C      PELO MODELO DE MAXIMIZACAO DA ENTROPIA
C-----LEITURA DE DADOS
      READ(5,10) ERRO, M, N
10  FORMAT(F6.4,2I5)
      READ(5,15) ((C(I,J),J=1,N),I=1,N)
15  FORMAT(12F5.1)
      READ(5,15) (CF(I),I=1,M)
18  READ(5,20,END=500) ((VO(I,J),J=1,N),I=1,N)
20  FORMAT(12F5.0)
      READ(5,17) ALFA, ALFF, ALFI
17  FORMAT(3F10.3)
      DO 21 I = 1,M
          PVD(I) = 0.
          PVC(I) = 0.
21  KK(I) = I
C-----IMPRESSAO DOS DADOS
      T = 0.
      DO 23 I = 1,N
          S1 = 0.
          S2 = 0.
          DO 22 J = 1,N
              S1 = S1 + VO(I,J)
              S2 = S2 + VO(J,I)
22  CONTINUE
          O(I) = S1
          D(I) = S2
          T = T + O(I)
23  CONTINUE
          DO 6 K = 1,M
              DO 6 I = 1,N
                  DO 6 J = 1,N
                      IF(C(I,J).EQ.CF(K)) PVD(K) = PVD(K) + VO(I,J)*100/T
6  CONTINUE
          WRITE(6,24) ERRO
24  FORMAT('1',5X,'ERRO ADMITIDO =',F6.4)
          WRITE(6,25) (KK(I),I=1,N)
25  FORMAT('//,21X,'MATRIZ ORIGEM-DESTINO OBSERVADA',/,5X,12I5,3X,'0(1)
* ',/)
          DO 26 I = 1,N
26  WRITE(6,27) I, (VO(I,J),J=1,N), O(I)
27  FORMAT(15,1X,12F5.0,F6.0)
          WRITE(6,28) (D(J),J=1,N)
28  FORMAT(2X,'D(I) ',12F5.0)
          WRITE(6,29) (KK(I),I=1,N)
29  FORMAT('//,21X,'MATRIZ DOS CUSTOS DE VIAGENS',/,5X,12I5,/)
          DO 30 I = 1,N
30  WRITE(6,27) I, (C(I,J),J=1,N)
          WRITE(6,32) (CF(J),J=1,M), (PVD(J),J=1,M)
32  FORMAT('//,1X,'CUSTOS',/,F4.0,14F6.0,/,1X,' OBS',/,15F6.2)
C-----CALCULO DAS PERCENTAGENS NA GERACAO E NA ATRACAO
19  ALFA = ALFA + ALFI
      WRITE(6,31) ALFA
31  FORMAT('1', 'PARA ALFA = ',F7.3)
      DO 45 I = 1,N

```



```

DO 45 J = 1,N
R(I,J) = 0.
45 W(I,J) = 0.
DO 40 K = 1,N
PO(K) = D(K) / T
40 PD(K) = D(K) / I
C-----CALCULO DA FUNCAO RESISTENCIA
DO 50 I = 1,N
DO 50 J = 1,N
IF(C(I,J).EQ.0.) GO TO 50
W(I,J) = EXP(ALFA*ALOG(C(I,J)))
50 CONTINUE
WRITE(6,51) (KK(I),I=1,N)
51 FORMAT(/,21X,'FUNCAO RESISTENCIA DE VIAGENS',/,4X,1219,/)
DO 52 I = 1,N
52 WRITE(6,53) I, (W(I,J),J=1,N)
53 FORMAT(15,1X,12F8.4)
C-----CHAMA SUBROTINA PARA CALCULAR PERCENTAGENS DE VIAGENS
CALL VIAGEM
DO 220 I = 1,N
DO 220 J = 1,N
220 VC(I,J) = P(I,J) * I
T = 0.
DO 222 I = 1,N
S1 = 0.
S2 = 0.
DO 221 J = 1,N
S1 = S1 + VC(I,J)
S2 = S2 + VC(J,I)
IF(VC(I,J).EQ.0.) GO TO 221
R(I,J) = VC(I,J) / VC(I,J)
221 CONTINUE
O(I) = S1
D(I) = S2
T = T + O(I)
222 CONTINUE
DO 228 K = 1,N
DO 228 I = 1,N
DO 228 J = 1,N
IF(C(I,J).EQ.CP(K)) PVC(K) = PVC(K) + VC(I,J)*100/T
228 CONTINUE
DO 299 I = 1,N
299 WRITE(6,112) I, (R(I,J),J=1,N)
WRITE(6,110) IC, (KK(I),I=1,N)
110 FORMAT(/,21X,'PERCENTAGENS CALCULADAS NA ITERACAO',/2,/,4X,1216,/,
*)
DO 111 I = 1,N
111 WRITE(6,112) I, (P(I,J),J=1,N)
112 FORMAT(15,1X,12F6.3)
WRITE(6,223) (KK(I),I=1,N)
223 FORMAT(/,21X,'TABELA DE ORIGEM DESTINO DISTRIBUIDA',/,5X,1216,3X,'OI
*I)',/)
DO 224 I = 1,N
224 WRITE(6,225) I, (VC(I,J),J=1,N), D(I)
225 FORMAT(15,12F6.1,F8.1)
WRITE(6,226) (D(J),J=1,N)
226 FORMAT(/,2X,'D(J)',1216.1)
WRITE(6,227) (C(I,J),J=1,M), (PVC(J),J=1,M)
227 FORMAT(/,1X,'CUSTOS',/,14.0,14F6.0,/,1X,' CUM',/,15F6.2)
CALL EPE

```

```

C   CALCULO DOS ERROS TOTAIS
   ETO = 0.
   ETD = 0.
   DO 280 I = 1,N
   ETO = ETO + EPET(I)
   ETD = ETD + EPED(I)
280 CONTINUE
   ETT = 0.
   DO 290 I = 1,M
   ETT = ETT + EPET(I)
290 CONTINUE
   WRTI(6,300) (KX(I),I=1,M), (EPED(I),I=1,N), ETO, (EPED(I),I=1,N),
   * ETD, (EPET(I),I=1,M), ETT, ETOTAL
300 FORMAT(/,4X,15I7,7X,'ETOTAL',/,1X,'EPED=',12F7.2,21X,F10.2,/,1X,'EP
   TED=',12F7.2,21X,F10.2,/,1X,'EPET=',15F7.2,F10.2,/,101X,'ETOTAL = ',
   2,F10.4)
   IF(ALFA.LT.ALFP) GO TO 19
   GO TO 18
500 STOP
   END
   SUBROUTINE VIAGEM
   COMMON ERRO, N, D(15), D(15), C(15,15), T, PD(15), PD(15), S(15,15
   1), P(15,15), Y(15), X(15), PA(15,15), VC(15,15), VO(15,15), IC,
   ZEPED(15), EPED(15), ETOTAL, EPET(25), GF(25), M, KK(25), R(15,15),
   3PVO(25), PVC(25)
   IC = 0
C----ATRIBUI PD(J) A Y(J) COMO PRIMEIRA APROXIMACAO
   DO 60 J = 1,N
60  Y(J) = PD(J)
C----CALCULA PRIMEIRA APROXIMACAO PARA X(I)
   DO 70 I = 1,N
   SOMA = 0.
   DO 80 J = 1,N
   SOMA = SOMA + W(I,J) * Y(J)
80  CONTINUE
   X(I) = PD(I) / SOMA
70  CONTINUE
C----CALCULA A PRIMEIRA APROXIMACAO PARA AS PERCENTAGENS DE VIAGENS
   IC = 1
   DO 100 I = 1,N
   DO 90 J = 1,N
   P(I,J) = X(I) * W(I,J) * Y(J)
90  PA(I,J) = P(I,J)
100 CONTINUE
   DO 220 I = 1,N
   DO 220 J = 1,N
220 VC(I,J) = P(I,J) * T
   CALL EPE
   WRTI(6,230) IC, T, ICIAL
230 FORMAT(IX,'ITERACAO',15,5X,'ETOTAL =',F10.4)
C----CALCULA A SEGUNDA APROXIMACAO PARA Y(J)
115 IC = IC + 1
   DO 130 J = 1,N
   SOMA = 0.
   DO 120 I = 1,N
   SOMA = SOMA + W(I,J) * X(I)
120 CONTINUE
   Y(J) = PD(J) / SOMA
130 CONTINUE
C----CALCULA A SEGUNDA APROXIMACAO PARA X(I)

```

```

DO 150 I = 1,N
SOMA = 0.
DO 140 J = 1,N
SOMA = SOMA + W(I,J) * Y(J)
140 CONTINUE
X(I) = PO(I) / SOMA
150 CONTINUE
C-----CALCULA A SEGUNDA APROXIMACAO PARA AS PERCENTAGENS DE VIAGENS
DO 170 I = 1,N
DO 160 J = 1,N
P(I,J) = X(I) * W(I,J) * Y(J)
160 CONTINUE
170 CONTINUE
DO 225 I = 1,N
DO 225 J = 1,N
225 VC(I,J) = P(I,J) * T
CALL EPE
WRITE(6,230) IC, ETOTAL
C-----TESTA A DIFERENCA ENTRE AS PERCENTAGENS COM O ERRO.
DO 180 I = 1,N
DO 180 J = 1,N
IF(ABS(P(I,J) - PA(I,J)).GT.ERRO) GO TO 190
180 CONTINUE
RETURN
190 DO 200 I = 1,N
DO 200 J = 1,N
200 PA(I,J) = P(I,J)
GO TO 115
END
SUBROUTINE EPE
COMMON ERRO, N, D(15), D(15), C(15,15), T, PO(15), PU(15), W(15,15),
P(15,15), Y(15), X(15), PA(15,15), VC(15,15), VO(15,15), IC,
ZEPEO(15), EPED(15), ETOTAL, EPET(25), CF(25), M, KK(25), R(15,15),
BPVC(25), PVC(25)
ETOTAL = 0.
S = 0.
DO 250 I = 1,N
S1 = 0.
S2 = 0.
DO 240 J = 1,N
S1 = S1 + (VC(I,J) - VO(I,J)) ** 2
S2 = S2 + (VC(J,I) - VO(J,I)) ** 2
S = S + (VC(I,J) - VO(I,J)) ** 2
240 CONTINUE
S3 = S1 / N
EPEO(I) = SQRT(S3)
S4 = S2 / N
EPED(I) = SQRT(S4)
250 CONTINUE
S = S / (N**2)
ETOTAL = SQRT(S)
DO 280 K = 1,M
L = 0
S = 0.
DO 270 I = 1,N
DO 260 J = 1,N
IF(C(I,J).NE.CF(K)) GO TO 260
S = S + (VC(I,J) - VO(I,J)) ** 2
L = L + 1
260 CONTINUE

```

```
270 CONTINUE  
S = S/L  
EPET(K) = SQRT(S)  
280 CONTINUE  
RETURN  
END
```

\$ENTRY

```

$JOB          METODO-3. LINE=10, PAGES=50
C             ESTE PROGRAMA CALCULA A DISTRIBUICAO DE VIAGENS PELO METODO
C             GRAVITACIONAL MODIFICADO
COMMON ALFA(15), REIA(15), FK(15,15), VO(15,15), N, TT, O(15),
*D(15), VC(15,15), ALF(15), BET(15), KK(15)
INTEGER VO, O, D
C             LEITURA DAS VARIAVEIS
1  READ(5,10,END=100) N, ((VO(I,J),J=1,N),I=1,N)
10  FORMAT(15,/, (12I5))
DO 15 I = 1,N
15  KK(I) = I
    TT = 0
    DO 17 I = 1,N
    S1 = 0
    S2 = 0
    DO 16 J = 1,N
    S1 = S1 + VO(I,J)
    S2 = S2 + VO(J,I)
16  CONTINUE
    O(I) = S1
    D(I) = S2
    TT = TT + O(I)
17  CONTINUE
C             IMPRESSAO DOS DADOS
WRITE(6,20) (KK(I),I=1,N)
20  FORMAT(1,21X, 'MATRIZ ORIGEM-DESTINO OBSERVADA', //, 5X, 12I5, 3X, 'O(
*I)', //)
DO 25 I = 1,N
25  WRITE(6,30) I, (VO(I,J),J=1,N), O(I)
30  FORMAT(15,1X,12I5,16,/)
WRITE(6,35) (O(J),J=1,N)
35  FORMAT(/,2X, 'D(J)', 12I5)
C             CALCULO DOS FATORES DE RESISTENCIA ENTRE AS ZONAS
DO 40 I = 1,N
DO 40 J = 1,N
FK(I,J) = 0.
IF(O(I).EQ.0.OR.D(J).EQ.0) GO TO 40
FK(I,J) = TT * VO(I,J) / (O(I) * D(J))
40  CONTINUE
WRITE(6,45) (KK(I),I=1,N)
45  FORMAT(//,31X, 'FATORES DE RESISTENCIA ENTRE AS ZONAS', //, 3X, 12I10,
*/)
DO 50 I = 1,N
50  WRITE(6,55) I, (FK(I,J),J=1,N)
55  FORMAT(15,12F10.6,/)
CALL AJUSTA
DO 60 I = 1,N
DO 60 J = 1,N
60  VC(I,J) = ALFA(I) * O(I) * BETA(J) * D(J) * FK(I,J)
    TT = 0
    DO 70 I = 1,N
    S1 = 0
    S2 = 0
    DO 65 J = 1,N
    S1 = S1 + VC(I,J)
    S2 = S2 + VC(J,I)
65  CONTINUE
    O(I) = S1
    D(I) = S2
    TT = TT + O(I)

```

```

70 CONTINUE
WRITE(6,75) (XK(I), I=1,N)
75 FORMAT(//,31X,'MATRIZ ORIGEM-DESTINO DISTRIBUIDA',//,5X,12I7,5X,'0
*(I)',/)
DO 80 I = 1,N
80 WRITE(6,85) I, (VC(I,J), J=1,N), D(I)
85 FORMAT(15,2X,12F7.1,19)
WRITE(6,90) (D(J), J=1,N)
90 FORMAT(//,1X,'D(J)',2X,12I7)
GO TO 1
100 STOP
END
SUBROUTINE AJUSTA
C CALCULA POR ITERACOES, OS VALORES DE ALFA(I) E BETA(J)
COMMON ALFA(15), BETA(15), FK(15,15), VO(15,15), N, IT, O(15),
*D(15), VC(15,15), ALF(15), BET(15), XK(15)
INTEGER VO, O, N
C PRIMEIRA APROXIMACAO - TODO BETA = 1.
IC = 1
DO 10 I = 1,N
10 BETA(I) = 1.
C CALCULO DA PRIMEIRA APROXIMACAO PARA ALFA
DO 30 I = 1,N
SOMA = 0.
DO 30 J = 1,N
SOMA = SOMA + BETA(J) * D(J) * FK(I,J)
20 CONTINUE
ALFA(I) = 0.
IF(SOMA.EQ.0.) GO TO 30
ALFA(I) = 1 / SOMA
30 CONTINUE
WRITE(6,40) IC, (ALFA(I), I=1,N), (BETA(J), J=1,N)
40 FORMAT(//,5X,'ITERACAO = ',12,//,5X,'ALFA(I) = ',12F9.5,//,5X,'BET
*A(J) = ',12F9.5,/)
IC = IC + 1
35 DO 50 J = 1,N
BET(J) = BETA(J)
SOMA = 0
DO 45 I = 1,N
SOMA = SOMA + ALFA(I) * D(I) * FK(I,J)
45 CONTINUE
BETA(J) = 0.
IF(SOMA.EQ.0.) GO TO 50
BETA(J) = 1 / SOMA
50 CONTINUE
C CALCULO DA 2. APROXIMACAO DE ALFA(I)
DO 70 I = 1,N
ALF(I) = ALFA(I)
SOMA = 0
DO 60 J = 1,N
SOMA = SOMA + BETA(J) * D(J) * FK(I,J)
60 CONTINUE
ALFA(I) = 0.
IF(SOMA.EQ.0.) GO TO 70
ALFA(I) = 1 / SOMA
70 CONTINUE
WRITE(6,40) IC, (ALFA(I), I=1,N), (BETA(J), J=1,N)
DO 80 K = 1,N
IF(ABS(BETA(K)-BET(K)).GT..00001.OR.ABS(ALFA(K)-ALF(K)).GT..00001)
1 GO TO 35

```

80 CONTINUE
RETURN
END
\$ENTRY

B I B L I O G R A F I A

- 1 - Walter Y. Oi and Paul W. Shuldiner, An Analysis of Urban Travel Demands, Northwestern University Press, (1972), 188.
- 2 - B. G. Hutchinson, Principles of Urban Transport Systems Planning, McGraw-Hill Book Company, (1974), 7, 82 - 99.
- 3 - Brian V. Martin, Frederick W. Memmott III and Alexander J. Bone, Principles and Techniques of Predicting Future Demand for Urban Area Transportation, MIT, Report nº 3, (1974), 138-146.
- 4 - Javier Valero Calvete, Transportes Urbanos, Dossat, S.A (1970), 140-146.
- 5 - M. J. Bruton, Introduction to Transportation Planning, Hutchinson Technical Education, (1971), 46, 107-112.
- 6 - Karsten G. Baass, A Method to Substitute Calibration in Gravity Models, Traffic Engineering & Control, 15 816, (1974).
- 7 - Howard C. Lawson and John A. Dearing, A Comparison of Four Work Trip Distribution Models, Journal of the Highway Division, Proc. Amer. Soc. Civil Eng., 93, 1 25 (1967).
- 8 - Luiz Flavio Autran M. Gomes, Inovações Metodológicas Regentes no Processo de Planejamento de Transportes, Revista Brasileira de Estradas de Rodagens, 11, 98,99 (1976).

- 9 - José Silvino Sobrinho, Uma Metodologia para Estimativa de Demanda de Viagens, PUC, (1976), 13-21.
- 10 - Thomas A. Domencich and Daniel Mcfadden, Urban Travel Demand - A Behavioral Analysis, North-Holland, (1975), 1-5.