

# ССТ-УФРЪ

MODÉLO COMPUTACIONAL  
PARA ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

Marcos Antonio Zampieri Nunes

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
AVENIDA APRIGIO VELOSO, 882 - Cx. POSTAL 518  
CAMPINA GRANDE - PB  
BRASIL



N272m Nunes, Marcos Antonio Zampieri.  
Modelo computacional para alocação de tráfego / Marcos Antonio Zampieri Nunes. - Campina Grande, 1976.  
46 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1976.  
"Orientação : Prof. Dr. Yasunori Iida".  
Referências.

1. Tráfego - Organização e Controle. 2. Modelos Computacionais. 3. Tráfego - Alocação. 4. Dissertação - Ciências. I. Iida, Iassunori. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 656.01:519.6(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA


CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT

MODÉLO COMPUTACIONAL  
PARA ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

Marcos Antonio Zampieri Nunes

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PRO-  
GRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DO CENTRO DE CI-  
ÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS - (M.Sc.).

APROVADO POR:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. YASUNORI IIDA, Ph.D.  
- Presidente -

COMISSÃO:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. SOHEIL RANNEMAY RABBANY, M.Sc.

  
\_\_\_\_\_  
- JORCE DO CARMO RAMOS, M.Sc.  
DSB/TC - SUDENE

Campina Grande  
ESTADO DA PARAIBA - BRASIL

Novembro-1976



À meus Pais,  
e  
À Margarida.

**MODELO COMPUTACIONAL  
PARA ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO**

Dissertação de Mestrado  
por  
Marcos Antonio Zampieri Nunes

R E S U M O

O propósito dêsse estudo, é apresentar e desenvolver um modelo computacional para alocação de tráfego, de uso prático.

Em geral, os cálculos de alocação de tráfego, requerem, muito do uso da memória do computador, como também, muito tempo para serem realizados. Portanto, é muito importante, como saber salvar a necessária memória do computador e como tornar êsse processo mais simples.

Assim, essa dissertação mostra o Método da Divisão como uma aproximação para a alocação baseada no Princípio de Tempos Iguais de Viagem e também considera no Programa de computador, a matriz rota, a qual é mostrada geralmente em três dimensões, representada em duas dimensões.

COMPUTACIONAL MODEL  
FOR TRAFFIC ASSIGNMENT

M.Sc. Dissertation  
por  
Marcos Antonio Zampieri Nunes

A B S T R A C T

The purpose of this study is to present and develop a computational model of traffic assignment for practical use.

In general, traffic assignment calculations requires a lot of computer memory and also, much time of computation work. It is, therefore, very important to know how to save necessary computer memory and to make the process more simple.

Thus, this dissertation shows Division Method as an approximation for the Equal Travel Times Assignment Principle and also consider in the computer program, the route matrix, showed generally by three dimension, represented by two dimensions.

v

X

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

Ao Prof. Orientador, YASUNORI IIDA,  
pela assistência dedicada à conclusão desse trabalho.

Ao Prof. e Amigo, MAMORU HARUNA,  
pelo G.P.P.E.T.T.

Ao Amigo, LUIZ CARLOS MARCONDES,  
pelo incentivo.

Aos Diretores da ATECEL, ROBERTO  
BRAGA e NILSON FEITOSA, pelo apoio.

Aos Professores: JOSÉ SILVINO E  
HEBER FERREIRA, (Chefe do Deptº de Eng.Civil), pela atenção.

Aos Amigos, FERNANDO OLIVEIRA E  
HERCULES HERCUEGO, pelo auxílio.

## I N D I C E

<u>DEDICATÓRIA</u>	ii	
<u>RESUMO</u>	iii	
<u>AGRADECIMENTOS</u>	v	
CAPITULO I - <u>Introdução</u> .....		01
CAPITULO II - <u>Objetivo Dêsse Trabalho</u> .....		03
CAPITULO III - <u>Alocação de Tráfego</u> .....		05
3.1 - Propósitos (05)		
3.2 - História da Alocação de Tráfego (06)		
3.3 - Processo Geral da Alocação de Tráfego (08)		
3.4 - Princípios de Alocação de Tráfego (09)		
CAPITULO IV - <u>Princípio de Alocação de Tráfego</u> .....		12
4.1 - Introdução (12)		
4.2 - Princípio da Razão de Tempos Viagem (13)		
4.3 - Princípio dos Tempos Iguais de Viagem (16)		
4.4 - Princípio da Minimização do Tempo total de Viagem (19)		
4.5 - Conclusão (25)		
CAPITULO V - <u>Um Método de Aproximação para os Princípios de Alocação de Tráfego (Método da Divisão)</u> .....		26
5.1 - Introdução (26)		
5.2 - Aplicação do Método da Divisão para o Princípio da Razão de Tempos de Viagem (27)		
5.3 - Aplicação do Método da Divisão para o Princípio de Tempos Iguais de Viagem (28)		
5.4 - Aplicação do Método da Divisão para o Princípio da Minimização do Tempo total de Viagem (33).		
5.5 - Conclusão (33)		
CAPITULO VI - <u>Fluxograma do Modelo Computacional</u> .....		34
CAPITULO VII - <u>CONCLUSÃO FINAL</u> .....		38
SUGESTÕES PARA ESTUDOS ADICIONAIS - (40)		
BIBLIOGRAFIA - (41)		
ANEXO I (42)		
ANEXO II (43)		



## CAPITULO I

## I N T R O D U Ç Ã O

No Brasil, atualmente, enfrentam-se sérios problemas relacionados com o tráfego de veículos nas redes viárias de diversas cidades.

Se voltarmos um pouco no tempo, veremos que muitas cidades brasileiras, como também outras cidades em todo o mundo, começaram e continuaram a crescer, sem um planejamento que ordenasse esse fenômeno.

Quando da ascensão da indústria automobilística a partir da década passada, essas cidades eram de finidas por um sistema viário totalmente confuso e despreparado para receber a demanda de tráfego que começava a aumentar.

Houve então o choque entre o avanço da tecnologia denotada pelos veículos e cidades antigas com sistemas viários ineficientes.

Quem primeiro sofreu as consequências, foram as grandes cidades, mas hoje, diversas cidades de porte médio, já as enfrentam também.

Porisso, vê-se que é necessário, para cada cidade, um eficiente planejamento urbano de transporte

tes para vêr-se o comportamento atual dentro da rēde viária e assim, tentar resolver os pontos problemáticos, com melhoramentos ou construção de novas facilidades.

Se olharmos as características dos fluxos de tráfego em uma cidade, notaremos que ele é mesclado de veículos conduzindo passageiros e cargas. Portanto, é necessário oferecer aos usuários, um bom sistema viário para que, todos esses veículos locomovam-se sem problemas e com conforto e segurança.

Lógicamente, tudo isso sō pode ser conseguido, através de um eficiente planejamento urbano e não como se faz ainda em algumas cidades, ou seja, querer resolver os problemas que possam existir, sem aplicar técnicas adequadas para isso e sim, critérios pessoais de resolução.

Concluindo, podemos ver que com um planejamento urbano organizado, conseguiremos notar todas as deficiências de um sistema viário e ao mesmo tempo, teremos a forma de resolvê-las, como também, poderemos saber o que ocorrerá e a forma de solucionar problemas futuros dentro da rēde viária.

## CAPITULO II

## OBJETIVO DESSE TRABALHO

Esse trabalho tem por objetivo mostrar a aplicação prática, de um modelo computacional para a locação de tráfego, utilizando o Método da Divisão como uma aproximação à alocação baseada no Princípio de Tempos Iguais de Viagem, considerado para isso, um programa de computador apresentando matrizes rota em duas dimensões.

O modelo, pode ser melhor entendido, de acordo com o seguinte:

1. Princípio dos Tempos Iguais de Viagem, no qual baseia-se a alocação, consegue mostrar, quando aplicado à redes viárias urbanas, o comportamento atual do tráfego, observando que os motoristas conhecem perfeitamente todos os caminhos entre os pares OD.

2. O Método da Divisão, utilizado no cálculo da alocação apresenta resultados muito aproximados à solução exata, além de apresentar outras vantagens como, a sua simplicidade e rapidez.

3. Os cálculos são efetuados, através de computador, considerando matrizes rota bi-dimensionais. Sabe-se que normalmente, nos cálculos para alocação de tráfego, utiliza-se matrizes rota do tipo  $(I, J, K)$ , onde  $I$  representa o nó de origem,  $J$  representa o nó de destino e  $K$  representa o arco usado para fazer a viagem. O grande problema que surge quando do uso de matrizes rota tri-dimensionais nos cálculos, é que a capacidade da memória do computador é muito exigida, sendo que muitas vezes, ela será excedida. Por exemplo, se considerássemos uma matriz rota tri-dimensional  $(9, 8, 26)$ , ela ocuparia 7.488 espaços da memória do computador, enquanto se considerássemos a mesma matriz rota sendo bi-dimensional,  $(8, 26)$ , ela ocuparia apenas 832 espaços da memória. Com isso, podemos concluir que o uso de matrizes rota bi-dimensionais nos cálculos para alocação de tráfego, é muito vantajoso pois há uma grande economia da memória do computador, o tempo de cálculo é pequeno existindo daí economia também nos gastos para o tempo de utilização do computador e o importante, os resultados são tão exatos como quando do uso de matrizes rota tri-dimensionais.

## CAPITULO III

### ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

#### 3.1 - ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

A alocação de tráfego pode ser de finida como o processo de alocar-se a uma certa rede viária, um conjunto de viagens, dadas através de uma Tabela OD de Demanda de Tráfego.

Os propósitos da alocação de trá feço são como o seguinte:

1. Determinar as deficiências no sistema existente.

2. Auxiliar no desenvolvimento de um futuro sistema de transportes, através da avaliação dos efeitos de aperfeiçoamento e adições ao sistema existente.

3. Desenvolver prioridades de cons truções, para isso, alocando viagens previstas para anos inter-

mediários para o sistema de transporte proposto para esses anos.

4. Proporcionar testes sistemáticos para sistemas alternados propostos.

5. Proporcionar ao planejador os volumes de tráfego nas horas de projeto.

### 3.2 - HISTÓRIA DA ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

O que deu impeto para o desenvolvimento de técnicas de alocação de tráfego, foi o problema com que se defrontaram os primeiros planejadores de tráfego a alguns anos atrás, ou seja, quais seriam as rotas usadas pelos motoristas para fazerem suas viagens entre as diversas zonas de uma cidade, considerando-se as facilidades existentes.

Em 1.950, nos E.U.A., o Highway Research Board, publicou uma matéria, na qual mostrava como era tratada a alocação de tráfego naquela época. Podia-se notar que era muito grande a dificuldade para avaliar-se a escolha de rotas pelos motoristas como também, não era considerada nenhuma fórmula empírica e o cálculo analítico era baseado somente em teoria.

Earl Campbell do H.R.B., propôs uma curva 'S' ou Curva do Desvio, para a qual foi considerada a razão entre o tempo de viagem numa via expressa e o tempo de viagem no sistema de ruas existentes, para assim, mostrar o desvio de tráfego da rede de ruas existentes, para a via expressa proposta.

Para avaliar essas teorias, estudos foram feitos relacionando-se a escolha de rotas, com os fatores de tempo de viagem e distância e isso resultou em estudos empíricos que começaram daí a ser feitos. Com isso, a AASHO, de

desenvolveu uma Curva do Desvio, baseando-se na razão de tempos de viagem, como o parâmetro mais importante. Outras organizações também desenvolveram Curvas do Desvio, usando parâmetros tais como: tempo e distância, velocidade e distância, tempo salvo e tempo perdido, etc. Mas, estudos usando esses métodos tratavam em geral, de uma via expressa e rotas paralelas existentes e dessa forma, técnicas para analisar todo um sistema viário, foram desenvolvidas. O problema que surgiu daí, foi que o tempo de cálculo e o trabalho eram demasiados pois, eram feitos manualmente.

Quando do advento do computador eletrônico e de sua aplicação no campo dos transportes então daí, desenvolveu-se outras técnicas de alocação de tráfego, só que muito modestas ainda pois, requeriam que o engenheiro selecionasse as rotas a serem usadas entre cada par OD, de acordo com seu próprio critério. Dada a Tabela de Viagens OD e as Rotas Selecionadas, o computador apenas agregava esses dados, apresentando assim o resultado final.

Ao mesmo tempo em que esse fato ocorria no campo dos transportes, também o mesmo acontecia em outros campos, como em companhias telefônicas, que defrontaram-se como o problema de seleção de rotas para ligações telefônicas a longa distância e isso contribuiu muito para que estudos fossem feitos em ambas as partes para o desenvolvimento de técnicas de alocação.

Em 1.957, aconteceu o mais significativo no campo da alocação de tráfego, causado pela publicação de dois trabalhos, sendo um deles por Moore e intitulado "The Shortest Path Through a Maze" e o outro de Dantzing "The Shortest Route Problem".

Quase nesse tempo, procurava-se a solução para o problema da alocação de tráfego para a Área de Estudo de Transportes de Chicago e chegou-se a um programa computacional para achar-se os caminhos de menor tempo de viagem ou distância, dentro da rede viária, para ser usado em um computador médio. O problema resultante da aplicação desse método, foi que ele exigia grande uso da memória do computador e por isso, só

poderia-se empregá-lo para rēdes viárias pequenas. Pode-se dizer que, os resultados obtidos com essa tēcnica eram limitados, mas ela serviu de base para o desenvolvimento de outras, o que sucessivamente ocorre até hoje.

### 3.3 - PROCESSO GERAL DA ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

Deve-se dar ênfase inicialmente para o processo do planejamento de transportes e seu principal objetivo que é a determinação da forma futura da rēde de transportes e o volume de veiculos ou pessoas que usam qualquer parte dessa rēde.

Nēsse processo de planejamento de transportes, existem quatro fases a considerar:

1. Organização para o Estudo
2. Coleta e Análise dos Dados
3. Previsões, Formulações, Testes e a valiação do Plano
4. Implantação do Plano

A primeira fase tēcnica do processo, é o levantamento das condições existentes. Em seguida, procede-se à análise dos dados coletados, o que oferece uma quantidade de informações, baseando-se na qual, realiza-se a estimativa de crescimento da área de estudo. Depois disso, a estimativa do número de viagens futuras é feita, sendo que as viagens então são alocadas para a rēde viária assumida. Os resultados são então analisados, baseando-se no nível de serviço desejado mais as consequências sociais e econômicas do sistema assumido. Quase sem-



pre, uma revisão é necessária. A informação obtida durante essa alocação é então usada para modificar o sistema e outra alocação de viagens futuras é feita para a rede de transportes ajustada. Esse processo é repetido até que resultados satisfatórios tenham sido conseguidos.

As técnicas de alocação de tráfego, desenvolvidas para serem usadas com o auxílio de computadores, dão aos engenheiros e planejadores, os instrumentos necessários para testar redes viárias alternadas, para conveniência das cargas de transportes estimadas.

Deve ser visto que a alocação de tráfego, não toma o lugar do planejamento. Ela só possibilita ao planejador, melhor notar as áreas de grandes necessidades e para testar as consequências de vários planos possíveis.

A análise da alocação de tráfego, deve ser realizada, levando-se em conta as seguintes aplicações:

1. Estabelecimento da validade dos resultados da alocação.
2. Produzir sistematicamente dados manuseáveis para a avaliação.
3. Permitir avaliação de atuação interna no sistema.
4. Estabelecimento de avaliações comparativas com outros parâmetros para ajudar no planejamento, tendo em vista um sistema ótimo.
5. Permitir a avaliação e interpretação dos resultados para uso dos engenheiros.

### 3.4 - PRINCIPIOS DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

O elemento mais fundamental em qualquer tência de alocação de tráfego, é selecionar o critério que explica a escolha de uma rota entre um par OD, por um motorista, levando-se em conta o numero de alternativas possíveis que ele tem para escolher.

Wardrop(2) enunciou dois princípios que podiam ser usados para prever os caminhos possivelmente usados pelos motoristas, para viajar entre um par OD.

1. "Os tempos de viagem em tôdas as rotas atualmente usadas, são iguais, e menores do que aquela gasta por um motorista em qualquer rota não usada".

2. "O tempo médio de viagem, é mínimo".

Wardrop comparou êsses dois princípios, como a seguir: "O primeiro, é mais provável na prática, desde que pode ser assumido, que o tráfego irá tender a ficar numa situação de equilibrio, na qual, nenhum motorista pode reduzir seu tempo de viagem, se escolher uma nova rota. Já, o segundo princípio é o mais eficiente, no sentido de que êle minimiza as horas gastas pelos veículos para fazerem suas viagens."

Iida(1), por outro lado, salientou que Wardrop, deixou de considerar o Princípio de Razão de Tempos de Viagem, o qual em sua opinião é muito importante. Os principais enunciados por Iida, são:

1. Princípio da Razão de Tempos de Viagem

2. Princípio dos Tempos Iguais de Viagem

### 3. Princípio da Minimização do Tempo Total de Viagem.

A razão da enunciação do Princípio de Razão de Tempos de Viagem, deve-se ao fato que, êle mostra o critério de julgamento dos motoristas sôbre as rotas que vão usar para realizar suas viagens OD. Isso é mostrado, pelo coeficiente de razão de tempos de viagem ( $n$ ), sendo que nêsse caso, o comportamento atual do tráfego, pode ser melhor notado.

## CAPITULO IV

## PRINCIPIOS DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

4.1 - PRINCIPIOS DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

Até hoje diversos métodos de alocação de tráfego foram propostos e de acordo com suas características eles podem ser classificados dentro dos três princípios e enunciados por Iida (ver capítulo anterior).

Sabe-se que o tempo de viagem é uma função do volume de tráfego e deve-se levar em conta essa relação, no modelo de alocação de tráfego.

O modelo no qual essa relação é levada em conta, é chamado Modelo de Fluxo Dependente. Ao contrário disso, um modelo no qual, assume-se os tempos de viagens constantes, levando-se em conta o aumento ou diminuição do volume de tráfego, é chamado Modelo de Fluxo Independente. Esse modelo foi largamente utilizado por causa de sua simplicidade, mas atualmente raramente faz-se uso dele.

#### 4.2 - PRINCIPIO DA RAZÃO DE TEMPOS DE VIAGEM

Nesse princípio assume-se que os motoristas não sabem exatamente as condições de tráfego dos caminhos ou rotas da rede viária que estão percorrendo mas, a probabilidade deles escolherem rotas de menor tempo de viagem é maior do que a de escolherem rotas de maior tempo de viagem. Esse critério de julgamento dos motoristas, nêsse princípio, é representado por  $n$ , ou seja: **Coefficiente de Razão de Tempos de Viagem**.

Isso pode ser visto nas seguintes equações:

$$m_p^k = \frac{(T_p^k)^{-n}}{\sum_{p=1}^{\delta k} (T_p^k)^{-n}} \quad \begin{array}{l} (k = 1, 2, 3, \dots, g) \\ (p = 1, 2, 3, \dots, \delta k) \end{array} \quad (1)$$

onde:

$m_p^k$  = probabilidade de se escolher a rota p-ésima entre o par OD k-ésimo.

$T_p^k$  = tempo de viagem na rota p-ésima.

$n$  = coeficiente que mostra o grau de conhecimento dos motoristas sôbre as rotas existentes ou coeficiente de razão de tempos de viagem.

onde, temos  $g$  pares OD e existem  $\delta k$  rotas para o par OD k-ésimo, com volume de tráfego  $Q_k$ .

Assim sendo,

$$\sum_{p=1}^{\delta k} m_p^k = 1 \quad (k = 1, 2, \dots, g) \quad (2)$$

A demanda de tráfego na rota  $p$ -ésima do par OD  $k$ -ésimo pode ser obtido como a seguir:

$$\frac{X_p^k}{Q_k} = \frac{(T_p^k)^{-n}}{\sum_{p=1}^{\delta k} (T_p^k)^{-n}} = m_p^k \quad \begin{array}{l} (k=1, 2, \dots, g) \\ (p=1, 2, \dots, \delta k) \end{array} \quad (3)$$

As propriedades desse princípio podem ser sumarizadas como a seguir: Primeiramente nós temos de dar as rotas antes do cálculo da alocação, por causa da característica desse princípio, e também, dar um valor para o coeficiente  $n$ . O problema se resume em duas partes, ou seja, como assumir as rotas que serão dadas como sendo usadas pelos motoristas na rede viária e como se determinar o coeficiente  $n$  porque esses dois fatos têm grande influência no resultado final. As rotas, para o cálculo da alocação, devem ser dadas através da experiência do planejador de transportes, ou seja, temos de prestar atenção para todas as alternativas de caminhos entre um par OD e após isso, aceitar algumas das rotas que a nosso ver pareçam ser as melhores.

Quanto ao coeficiente  $n$ , a sua determinação é muito difícil, pois o seu valor a ser adotado numa alocação, dependerá de saber-se o grau de conhecimento ou critério de julgamento dos motoristas que estão percorrendo a rede viária em questão. Se o valor de  $n$  é baixo, isso indica que esses motoristas não conhecem as alternativas que têm a seu dispor para realizar suas viagens entre o par OD. Já, quando seu valor é grande, isso mostra que os motoristas conhecem muito bem as condições de tráfego das rotas.

A razão disso, pode ser considerada como o seguinte: se  $n$  é muito pequeno como nós podemos entender observando a equação (1), as rotas entre um par OD serão escolhidas em igual probabilidade, porque isso corresponde, nesse caso, que os motoristas não sabem o tempo de viagem nas rotas e portanto o tempo de viagem não é observado na escolha de

rotas. Ao contrário disso, um grande valor de  $n$  indica que o tempo de viagem mostra ser de grande valia na escolha de rotas e portanto, que nêsse caso, a demanda de tráfego se concentrará nas rotas menores.

Pela TABELA 4.1 abaixo, pode-se notar as diferenças entre os resultados, variando-se o valor de  $n$ , para certas demandas de tráfego.

TABELA 4.1

DEMANDA DE TRÁFEGO OD		Q <sub>1</sub> =2000		Q <sub>2</sub> =6000		Q <sub>3</sub> =5000		Q <sub>4</sub> =9000	
R O T A S		X <sub>1</sub> <sup>1</sup>	X <sub>2</sub> <sup>1</sup>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> <sup>3</sup>	X <sub>2</sub> <sup>3</sup>	X <sub>1</sub> <sup>4</sup>	X <sub>2</sub> <sup>4</sup>
n=1	DEMANDA DE TRÁFEGO	824	1.176	2.638	3.362	2708	2.292	3.576	5.424
	TEMPO DE VIAGEM	72.7	46.3	67.9	54.1	38.2	46.9	66.7	44.2
n=30	DEMANDA DE TRÁFEGO	19	1.981	2.292	3.708	3.291	1.709	2.395	6.605
	TEMPO DE VIAGEM	64.9	55.7	60.6	60.0	38.4	39.3	51.1	49.6

Ver Rede Viária (ANEXO I)

De acôrdo com a Tabela 4.1 acima quando o valor de  $n$  é pequeno, o tráfego é dividido nas rotas entre o par OD e os tempos de viagem são muito diferentes em cada rota. Quando o valor de  $n$  é grande, o tráfego concentra-se muito mais nas rotas que apresentam um tempo de viagem pequeno.

Concluindo-se, pode-se dizer, que o Princípio da Razão de Tempos de Viagem, levando-se em conta o problema de como dar-se as rotas para o cálculo de alocação e como determinar-se o coeficiente  $n$ , é bom para ser aplicado para viagens entre cidades. Nêsse caso, o numero de alternativas de rotas entre duas cidades é quase sempre pequeno e portanto torna-se mais facil como assumir as rotas que são dadas para a alocação. Pode ser dito também, que os motoristas, nessa condição não mudam suas rotas, em resposta ao tempo de viagem, tão sensivelmente como em viagens dentro de uma cidade.

#### 4.3 - PRINCIPIO DOS TEMPOS DE VIAGEM IGUAIS

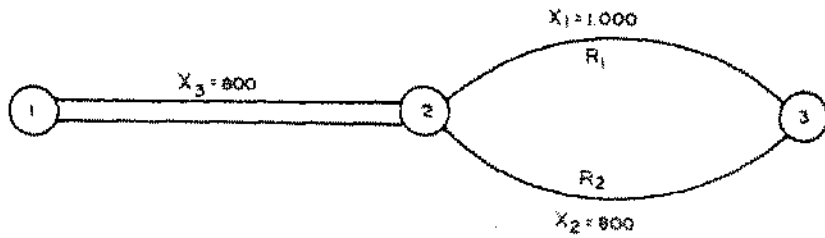
Esse principio, baseia-se no facto de que os motoristas conhecem perfeitamente as condições de tráfego das rotas existentes entre um par OD e sabem dessa forma qual a melhor rota para fazerem suas viagens. Nêsse principio assumimos que entre um par OD, os tempos de viagem nas rotas que estão sendo percorridas pelos motoristas são idênticos entre si e menores (ou iguais) aos tempos de viagem nas rotas não utilizadas por êles. Isso quer dizer que em relação ao Principio da Razão de Tempos de Viagem explicado na seção 2 dêste capitulo, nêsse caso, o coeficiente  $n$  é infinito, ou seja, o conhecimento dos motoristas quanto às rotas que irão usar para suas viagens, é muito grande.

Sabemos que numa cidade, as viagens feitas por cada motorista, repetem-se muitas vêzes e dessa forma êles tem um ótimo conhecimento sôbre quais caminhos usam para cada uma de suas viagens e isso mostra o porque do coeficiente  $n$ , nêsse principio, ser assumido como infinito.

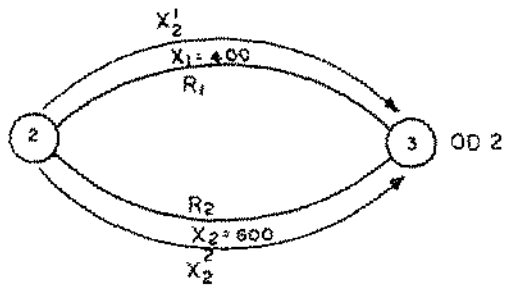
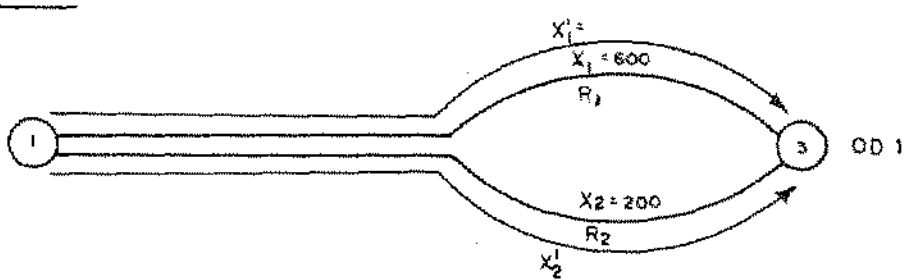
Quanto às propriedades dêsse principio, pode-se dizer que o conjunto de rotas usadas entre cada par OD e o conjunto de demandas de tráfego nos arcos de cada rota, as quais são determinadas pela soma de todas as demandas que utilizaram esses arcos, são determinados unicamente, mas, o conjunto de demandas de tráfego nas rotas entre cada par OD, não pode ser unicamente determinado. Isso mostra que a porcentagem de demanda de tráfego nos arcos e nas rotas entre cada par OD é livre.

Para melhor visualizar o porque do conjunto de demandas de tráfego nas rotas entre cada par OD, não pode ser unicamente determinado, consideramos no exemplo a seguir, viagens entre três nós de uma rede viária.

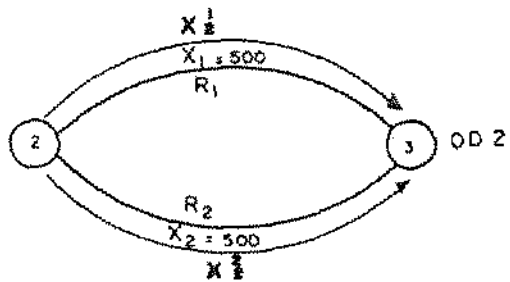
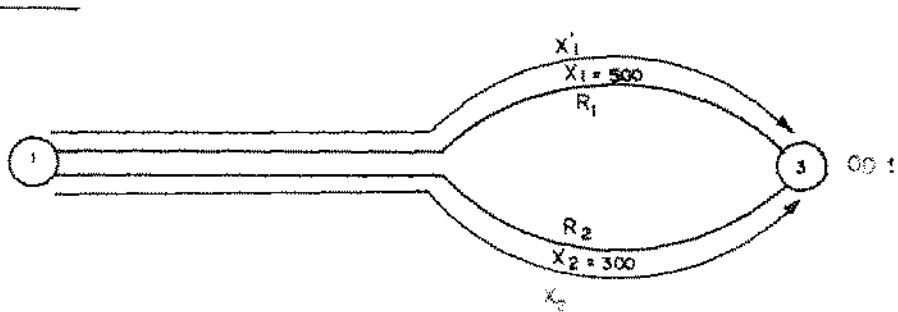




Caso 1



Caso 2



As demandas de tráfego mostradas nesse exemplo, podem ser vistas na TABELA 4.2 abaixo:

TABELA 4.2

NÓS	OD	CASO 1		CASO 2		VOLUME DE TRAFEGO
		DEMANDA TRAFEGO NAS ROTAS.	DEMANDA TRAFEGO NAS ROTAS.	DEMANDA TRAFEGO NAS ROTAS.	DEMANDA TRAFEGO NAS ROTAS.	
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	
1 - 3	1	600	200	500	300	800
2 - 3	2	400	600	500	500	1.000

De acordo com a equação da conservação OD (equação a qual mostra que a soma das demandas de tráfego nas rotas entre um par OD é igual ao volume de tráfego OD) nós temos:

CASO 1

$$\text{Para OD}_1 \quad Q_1 = x_1^1 + x_2^1 = 600 + 200 = 800$$

$$\text{Para OD}_2 \quad Q_2 = x_1^2 + x_2^2 = 400 + 600 = 1.000$$

CASO 2

$$\text{Para OD}_1 \quad Q_1 = x_1^2 + x_2^2 = 500 + 300 = 800$$

$$\text{Para OD}_2 \quad Q_2 = x_1^1 + x_2^2 = 500 + 500 = 1.000$$

Disso, nós podemos concluir que, não se pode determinar a demanda de tráfego para cada rota entre um par OD na alocação pelo Princípio de Tempos de Viagem Iguais.

mas, atualmente, de forma a tornar isso possível, podemos usar o Método da Divisão, o qual será explicado no próximo capítulo.

Concluindo, podemos dizer que a grande vantagem desse princípio, está no fato de sua simplicidade e também na rapidez do cálculo da alocação. Temos também de dizer que a aplicação desse princípio, deve ser geralmente para pequenas áreas (dentro de cidades), porque para grandes áreas (redes de rodovias), os resultados a serem obtidos, não corresponderão com o caso atual porque nêsse caso, o grau de conhecimento dos motoristas para a escolha de rotas, não será perfeito.

#### 4.4 - PRINCIPIO DA MINIMIZAÇÃO DO TEMPO TOTAL DE VIAGEM

Nêsse princípio, assume-se que os motoristas usam as rotas, de uma maneira tal que, a soma dos tempos de viagem de tôdas essas rotas entre cada par OD, vai representar um tempo total de viagem, mínimo. - Isso representa que os motoristas não podem escolher suas rotas ou, êles são forçados a usar algumas rotas, não considerando qual são as melhores para êles, mas a situação total na rêde, isso é, muitos motoristas não usar rotas que apresentam um grande tempo de viagem e ao mesmo tempo, outros motoristas usarão rotas de tempo de viagem pequeno, em benefício do sistema viário. Por causa disso, pode ser dito que êsse princípio não mostra o comportamento atual do tráfego.

No futuro, êsse princípio poderá ser válido para aplicação, como um auxiliar de um sistema de operação de uma rêde viária, para um sistema de contrôle de tráfego ser implementado, forçando os motoristas a usarem algumas rotas.

O exemplo mostrado na TABELA 4.3 a seguir, apresenta alguns resultados obtidos pela aplicação desse princípio, em comparação com os resultados obtidos com a apli

cação do Princípio de Tempos Iguais de Viagem, para um caso de uma demanda de tráfego igual a 2.400 entre um único par OD, considerando-se a utilização de quatro rotas:

TABELA 4.3

PRINCIPIO DA MINIMIZAÇÃO DO TEMPO TOTAL DE VIAGEM.	R O T A S				TEMPO TOTAL
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	
DEMANDA DE TRÁFEGO	666,19	713,82	719,34	361,18	52.173,13min.
TEMPO DE VIAGEM	20,45	20,90	22,30	24,45	
DEMANDA DE TRÁFEGO	800	900	700	-	53.280,00min.
TEMPO DE VIAGEM	22,2	22,2	22,2	23,0	

nêsse exemplo, deve ser visto que no caso da utilização do Princípio de Tempos Iguais de Viagem, os motoristas não usam a Rota 4, isto é, a rota que apresenta um grande tempo de viagem, porque eles escolheram suas rotas, baseando-se nos menores tempos de viagem. No caso do Princípio da Minimização do Tempo Total de Viagem, muitos motoristas utilizam a Rota 4, mesmo ela apresentando grande tempo de viagem e isso mostra então, que eles são forçados a utilizarem ela.

Deve-se concluir portanto, que atualmente, a aplicação desse princípio deve ser limitada para um tráfego o qual deve ser controlado, de uma forma que maximize a eficiência de um sistema, por exemplo, no controle do transporte de mercadorias em uma grande fábrica.

Vamos ver agora, algumas relações entre o Princípio da Minimização do Tempo Total de Viagem e o Princípio de Tempos Iguais de Viagem.

Nêsse caso, vamos explicar essas relações, assumindo um único par OD para simplicidade, mas no caso de múltiplos pares OD, essas relações poderão também ser facilmente entendidas.

O tempo total de viagem é representado por:

$$TT = \sum_{p=1}^{\delta} \phi(X_p) X_p \quad (4)$$

onde  $\phi(X_p)$  representa o tempo de viagem em cada rota e  $X_p$ , o volume de tráfego em cada rota e, com a somatória desses valores, em todos os  $q$  pares OD, nós iremos obter o tempo total de viagem, o qual será mínimo, sob as seguintes restrições:

$$X_p \geq 0, \quad (p = 1, 2, \dots, \phi) \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^{\delta} X_p = Q \quad (6)$$

isso é, nós devemos ter tráfego positivo em cada uma das rotas e, a soma de todas as demandas de tráfego deve ser igual à demanda de tráfego-OD.

Para resolver esse problema, a seguinte função lagrangiana é usada:

$$Z = \sum_{p=1}^{\delta} \phi(X_p) X_p + \lambda (Q - \sum_{p=1}^{\delta} X_p) \quad (7)$$

onde:

$\sum_{p=1}^{\delta} \phi(X_p) X_p$  - Representa o tempo total de viagem na rede.

$\lambda$  - É um coeficiente lagrangiano

$Q$  - É o volume de Tráfego OD

adicionalmente, nós temos de dizer que nessa Equação (7)  $\lambda(Q - \sum_{p=1}^{\delta} X_p)$ , tende a zero sob as restrições e assim, nós podemos obter o tempo total de viagem.

Da Teoria de Kuhn-Tucker, as condições necessárias e suficientes, podem ser obtidas como:

Condição Para Rota Usada

$$x_p > 0 \quad \frac{\partial z}{\partial x_p} = 0, \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{d}{d x_p} \{ \phi(x_p) x_p \} \quad (8)$$

Condição Para Rota Não Usada

$$x_p = 0, \quad \frac{\partial z}{\partial x_p} \leq 0, \quad \text{ou} \quad \lambda \leq \frac{d}{d x_p} \{ \phi(x_p) x_p \} \quad (9)$$

e adicionalmente,

$$\frac{\partial z}{\partial \lambda} = 0 \quad \text{ou} \quad Q = \sum_{p=1}^{\delta} x_p \quad (10)$$

onde a Equação (10) mostra a equação da conservação.

Vamos supor que  $t$  rotas entre um único par OD, são usadas e nós podemos obter a seguinte relação das equações (8) e (9):

$$\begin{aligned} T_t &= \frac{d}{d x_1} \{ \phi(x_1) x_1 \} = \frac{d}{d x_2} \{ \phi(x_2) x_2 \} = \dots = \frac{d}{d t} \{ \phi(x_t) x_t \} = \\ &= \lambda \leq \frac{d}{d x_t} \{ \phi(x_t) x_t \} \end{aligned} \quad (11)$$

onde  $t < \delta$  e  $t < t' < \delta$ .

o lado esquerdo da relação, mostra o tempo de viagem na rota usada igual  $T_t$ , e o lado direito, mostra o tempo de viagem na rota não usada.

Se pudermos considerar,

$$T_i = \frac{d}{d X_i} (\phi(X_i) X_i)$$

como o tempo de viagem assumido, nós podemos considerar que a relação (11) mostra o Princípio de Tempos Iguais de Viagem.

Assim, pode ser encontrado que a alocação pelo Princípio da Minimização do Tempo Total de Viagens, pode ser feita pelo método da alocação pelo Princípio de Tempos Iguais de Viagem quando a função da capacidade  $T=\phi(X)$ , fôr transformada para

$$T = \frac{d}{dt} \{\phi(X)X\}.$$

De outro lado, a alocação pelo Princípio de Tempos Iguais de Viagem, pode ser feita pelo método da alocação pelo Princípio de Minimização do Tempo Total de Viagem, quando a função da capacidade  $T=\phi(X)$ , fôr transformada para

$$T = \frac{1}{X} \left\{ \int_0^X \phi(X) dX \right\}$$

No caso da função da capacidade puder ser considerada como:

$$\phi_0(X) = a_0 X^n$$

então, os resultados pelos dois princípios serão iguais.

A função da capacidade pode ser geralmente representada como:

$$\phi(X) = a_0 X^n + a_1 X^{n-1} + \dots + a_{n-1} X + a_n \quad (12)$$

onde,  $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}, a_n$  são constantes e nêsse caso os resultados pelos dois principios serãõ diferentes.

Quando a demanda de tráfego nos arcos, aumenta, as soluções pelos dois principios aproximam-se e isso pode ser visto na seguinte equação:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\phi_0(X)}{\phi(X)} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{a_0 X^n}{a_0 X^n + a_1 X^{n-1} + \dots + a_{n-1} X + a_n} \quad (13)$$

$$= 1$$

O exemplo mostrado na TABELA 4.4, mostra uma comparação de resultados entre os dois principios, considerando o aumento dos volumes de tráfego OD.

TABELA 4.4

CASO	PRINCIPIO	$X_{12}$	$X_{23}$	$X_{34}$	$X_{45}$	$X_{56}$	$X_{16}$	$X_{36}$
1	T I	7.619	7.381	12.417	10.417	4.583	5.619	3.964
	M T T	11.396	3.603	10.599	8.599	6.401	9.397	2.004
2	T I	22.793	7.206	21.198	17.198	12.802	18.794	4.008
	M T T	22.842	7.158	20.911	16.911	13.089	18.842	4.248
3	T I	45.683	14.317	41.822	33.822	26.178	37.683	8.495
	M T T	45.731	14.269	41.534	33.534	26.466	37.731	8.735

Ver Rêde Viária (ANEXO I)

Consequentemente, nãõ podemos concluir que é possível aplicar-se o método da divisão como um método de aproximação para a alocação por tempos iguais de viagem para alocação pelo Principio de Minimização do Tempo Total de Viagem, mas a solução poderã não concordar, algumas vèzes, com a solução exata, como no caso da alocação pelo Principio de Tempos Iguais de Viagem.

#### 4.5 - CONCLUSÃO DO CAPITULO IV



Nesse Capítulo, foram apresentados os três Princípios de Alocação de Tráfego, os quais incluem a maioria dos métodos de alocação, atualmente utilizados no mundo.

Como foi visto, cada princípio, para a sua aplicação, sempre apresenta vantagens e desvantagens, observando-se suas características peculiares.

Deve ser bem salientado que, a aplicação de cada um desses três princípios, tem de ser feita, de uma maneira tal que corresponda com o atual comportamento do tráfego. Muitos métodos de alocação de tráfego foram já propostos e vários autores insistem que um ou outro são os melhores para serem utilizados. Não é verdade, porque ninguém até hoje tem um tal grande conhecimento para dizer que o melhor modelo é aquele, no qual, os resultados obtidos, concordam com os dados atuais.

Notando-se muito bem isso, portanto, é de muito mais importância, saber se o modelo pode explicar a lei básica do comportamento do tráfego do que, se os resultados concordam com os dados atuais observados.

Se o Princípio de Alocação de Tráfego, concorda com o comportamento do tráfego, logicamente, ela concordará com os dados atuais.

## CAPITULO V

UM MÉTODO DE APROXIMAÇÃO PARA OS  
PRINCIPIOS DE ALOCAÇÃO DE TRAFEGO5.1 - MÉTODO DA DIVISÃO OU MÉTODO DO INCREMENTO  
DE ALOCAÇÃO DE TRAFEGO.

Como um método de aproximação para os princípios de alocação de tráfego, entre todos os existentes, vamos tecer considerações sobre o Método da Divisão ou Método do Incremento de Alocação de Tráfego. A razão disso, está no fato desse Método apresentar muitas vantagens em sua utilização tais como:

1. O procedimento dos cálculos é muito simples.
2. A sua aplicação pode ser estendida a qualquer um dos três princípios de alocação de tráfego.
3. A exatidão dos resultados pode ser facilmente controlada, mudando-se o número de divisões, controlada conforme se queira durante os cálculos.

Os outros métodos existentes de alocação de tráfego, apresentam alguns problemas como: restrições às suas aplicações a um Princípio ou outro, requerem muito tempo para a realização dos cálculos e em muitos casos, o procedimento computacional é muito complicado.

O procedimento dos cálculos para o Método da Divisão, é como o seguinte: primeiramente, nós temos de dar a Tabela OD de Demanda de Tráfego para a rede viária que está sendo estudada. Depois disso, nós determinamos o número de divisões ( $m$ ), a ser aplicado para esta Tabela OD dada, de uma forma tal que, o volume de tráfego seja alocado pouco a pouco, para as rotas entre cada par OD em cada pequena Tabela OD dividida, para dessa forma, obter-se finalmente as soluções aproximadas. Se as soluções obtidas não forem julgadas boas, pode-se aumentar então, o número  $m$  de divisões sucessivamente, até chegar-se a soluções bem aproximadas.

Agora vamos ver a aplicação do Método da Divisão para cada um dos três Princípios de Alocação de Tráfego.

## 5.2 - APLICAÇÃO DO MÉTODO DA DIVISÃO PARA O PRINCÍPIO DE RAZÃO DE TEMPOS DE VIAGEM.

Como foi dito na seção 1 desse capítulo, para iniciar-se os cálculos pelo Método da Divisão, necessita-se primeiramente da Tabela OD de Demanda de Tráfego na rede viária e assim então, na próxima etapa ela é dividida em pequenas Tabelas OD, levando-se em conta o número de divisões assumido. Como um exemplo, se estivermos de posse de uma Tabela OD com Demanda de Tráfego total e assumirmos um número de divisões  $m = 50$ , isso representará que, para cada pequena Tabela OD dividida, será alocada uma demanda =  $10.000/50$  ou 200, em cada etapa. No início dos cálculos, supomos o tempo de viagem, conside-

rando uma situação de não existência de demanda de tráfego.

Na primeira Tabela OD, a demanda de tráfego é alocada, para as rotas dadas entre cada par OD, observando-se as razões de tempos de viagem de cada uma delas, obtendo-se assim do total alocado nessa primeira etapa, o volume de tráfego em cada uma dessas rotas usadas. O mesmo procedimento de cálculo é repetido até a m-ésima tabela OD dividida, chegando-se assim ao resultado final aproximado.

Na TABELA 5.1 (ver página seguinte), são comparados os resultados obtidos pela aplicação do Método da Divisão e pela aplicação do Relaxation Method ou Método da Interação (Método que pode ser aplicado para esse princípio mas é muito complicado e requer um longo tempo de computação, para o caso atual. Nessa tabela, pode-se notar que os resultados pelos dois diferentes métodos, apresentam pouca diferença, isto é, o Método da Divisão pode ser visto como um método de aproximação para a alocação pelo Princípio de Razão de Tempos de Viagem. Deve-se ver também, que os números de Divisões assumidos,  $m=5$ ,  $m=10$ ,  $m=100$ ,  $m=1000$ , mostram pequena diferença se seus resultados são comparados entre si.

Com isso, podemos concluir que o número de divisões, não tem grande influência sobre os resultados, quando utilizado para esse princípio. Portanto, nós não podemos obter a solução exata, mesmo se o número de divisões for grande mas, o Método da Divisão pode ser considerado como a aproximação para a alocação para o Princípio de Razão de Tempos de viagem.

### 5.3 - APLICAÇÃO DO MÉTODO DA DIVISÃO PARA O PRINCÍPIO DE TEMPOS IGUAIS DE VIAGEM

A aplicação do Método da Divisão para a alocação de tráfego baseada no Princípio de Tempos Iguais

TABELA 5.1

		DEMANDA DE TRAFEGO OD	Q <sub>1</sub> = 2000		Q <sub>2</sub> = 6000		Q <sub>3</sub> = 5000		Q <sub>4</sub> = 9000	
		R O T A S	X <sub>1</sub> <sup>1</sup>	X <sub>2</sub> <sup>1</sup>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> <sup>3</sup>	X <sub>2</sub> <sup>3</sup>	X <sub>1</sub> <sup>4</sup>	X <sub>2</sub> <sup>4</sup>
METODO ITERAÇÃO		DEMANDA DE TRAFEGO	386	1614	2371	3629	3075	1925	2680	6320
		TEMPO DE VIAGEM	67.8	53.5	62.8	58.5	38.3	41.4	55.7	48.3
Metodo Divisão	m=5	DEMANDA DE TRAFEGO	414	1586	2313	3687	3063	1937	2616	6384
		TEMPO DE VIAGEM	67.6	53.4	62.2	58.8	38.0	41.4	55.1	48.6
	m=10	DEMANDA DE TRAFEGO	412	1588	2325	3675	3053	1947	2605	6395
		TEMPO DE VIAGEM	67.6	53.4	62.2	58.8	38.0	41.1	55.1	48.6
	m=100	DEMANDA DE TRAFEGO	409	1591	2331	3669	3050	1950	2603	6397
		TEMPO DE VIAGEM	67.6	53.4	62.2	58.8	38.0	41.1	55.1	48.6
	m=1000	DEMANDA DE TRAFEGO	408	1592	2331	3669	3050	1950	2603	6397
		TEMPO DE VIAGEM	67.6	53.4	62.2	58.8	38.0	41.1	55.1	48.6

Ver Rede Viária (ANEXO I)

de Viagem, é como o seguinte: primeiramente é dada a Tabela OD com as demandas de tráfego na rede viária e é assumido um certo número de divisões, como explicado na seção 2 desse Capítulo. A diferença na aplicação para o Princípio de Tempos Iguais de Viagem, está no fato de que, em cada Tabela OD dividida, o tráfego é alocado para as rotas entre cada par OD, que apresentarem menor tempo de viagem, determinadas automaticamente pelo computador, sendo esses tempos de viagem, ajustados em cada etapa de alocação, até obter-se a solução aproximada.

Nas TABELAS 5.2 e 5.3, (ver página seguinte) podem ser vistas soluções pela aplicação do Método da Divisão para esse princípio.

Na TABELA 5.2, pode-se notar que o conjunto de rotas entre cada par OD é unicamente determinado através do Método da Divisão, e nesse caso nós temos de ver a grande influência que o número de divisões ( $m$ ), tem sobre a exatidão da solução. Devemos dizer também, que as demandas de tráfego nas rotas entre cada par OD, não são unicamente determinadas, como foi explicado na seção 3 do Capítulo 4. Nesse caso, porém, observando-se a característica do método da divisão, ou seja, as demandas de tráfego são alocadas pouco a pouco, então pode-se considerar o resultado como uma solução prática. Ainda na TABELA 5.2, observemos que nenhuma demanda de tráfego foi alocada para Rota  $X_1^1$  da OD 1 (OD 1 - 4) e a Rota  $X_3^2$  da OD 2 (OD 2-5) aparece pela primeira vez. Isso é porque as rotas, na alocação pelo Princípio de Razão de Tempos de Viagem, são dadas arbitrariamente, mas, pelo Princípio de Tempos Iguais de Viagem elas são determinadas automaticamente pelo computador, como citado anteriormente.

Na TABELA 5.3, é feita uma comparação entre os resultados pelo Método da Divisão e pelo Cut Method, os quais concordam inteiramente quando, para o Método da Divisão,  $m = 1.000$ .

TABELA 5.2

DEMANDA DE TRAFEGO OD		Q <sub>1</sub> = 2000		Q <sub>2</sub> = 600			Q <sub>3</sub> = 5000		Q <sub>4</sub> = 9000	
R O T A S		X <sub>1</sub> <sup>1</sup>	X <sub>2</sub> <sup>1</sup>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> <sup>3</sup>	X <sub>2</sub> <sup>3</sup>	X <sub>1</sub> <sup>4</sup>	X <sub>2</sub> <sup>4</sup>
m=10	DEMANDA DE TRAFEGO	-	2000	1800	3600	600	3500	1500	1800	7200
	TEMPO DE VIAGEM	(63.2)	56.5	57.8	61.9	59.1	37.3	38.6	48.5	51.2
m=100	DEMANDA DE TRAFEGO	-	2000	1800	3660	540	3750	1250	2250	6750
	TEMPO DE VIAGEM	(64.5)	56.0	60.1	60.4	60.8	38.3	39.0	50.4	50.0
m=1000	DEMANDA DE TRAFEGO	-	2000	1872	3558	570	3745	1255	2142	6858
	TEMPO DE VIAGEM	(64.6)	56.0	60.3	60.3	60.4	38.6	38.6	50.0	50.0

Ver Rede Viária (ANEXO I)

TABELA 5.3

		A R C O S							
		X <sub>12</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>34</sub>	X <sub>45</sub>	X <sub>56</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>36</sub>	
PRINCIPIO DE TEMPOS IGUAIS DE VIAGEM		DEMANDA DE TRAFEGO	7619	7381	12417	10417	4583	5619	3964
		TEMPO DE VIAGEM	16.7	10.4	28.9	21.0	21.8	21.8	28.3
Metodo Divisao	m=10	DEMANDA DE TRAFEGO	7300	7700	12800	10800	4200	5300	3900
		TEMPO DE VIAGEM	16.2	10.6	29.7	21.6	20.5	21.1	27.9
	m=100	DEMANDA DE TRAFEGO	7550	7450	12410	12410	4590	5550	4040
		TEMPO DE VIAGEM	16.6	10.4	28.9	21.0	21.8	21.7	28.6
	m=1000	DEMANDA DE TRAFEGO	7617	7383	12416	10416	4584	5617	3967
		TEMPO DE VIAGEM	16.7	10.4	28.9	21.0	21.8	21.8	28.3

Ver Rede Viaria (ANEXO I)

UNCG/BIOTECNIA/BO



#### 5.4 - APLICAÇÃO DO MÉTODO DA DIVISÃO PARA O PRINCÍPIO DA MINIMIZAÇÃO DO TEMPO TOTAL DE VIAGEM

A aplicação do Método da Divisão para o Princípio da Minimização do Tempo Total de Viagem, é possível quando, a função da capacidade ou tempo de viagem  $T = \phi(X)$  é transformado para  $T = d/dX\{ \phi(X)X \}$ , isto é, quando a alocação puder ser feita da mesma forma como para o Princípio de Tempos Iguais de Viagem, como explicado na Seção 4 do Capítulo 4.

Pode-se concluir portanto, que o Método da Divisão pode ser aplicado para esse princípio de acordo com o que foi salientado acima, mas, os resultados, da mesma forma que para o Princípio de Tempos Iguais de Viagem, estarão sujeitos algumas vezes, a não concordarem com a solução exata.

#### 5.5 - CONCLUSÃO DO CAPÍTULO V

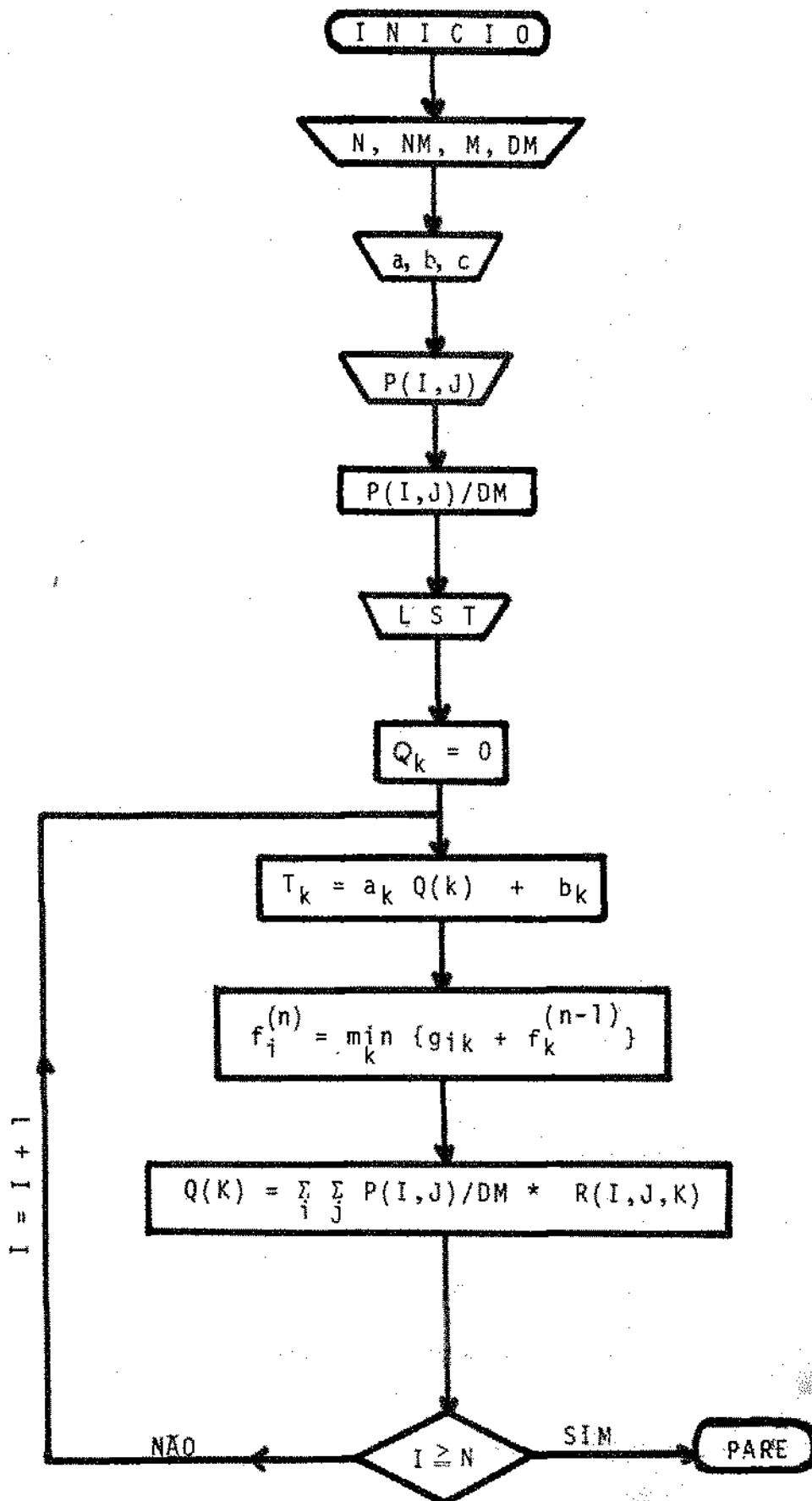
Como foi visto nesse Capítulo o Método da Divisão, pode ser aplicado a qualquer um dos três princípios de alocação de tráfego, como um método de aproximação.

Além da facilidade de utilização e rapidez no procedimento dos cálculos, esse método mostra-se muito capaz de, na maioria das vezes, apresentar soluções bastante aproximadas da solução exata, o que mostra então as vantagens de sua aplicação, em qualquer caso.

## CAPITULO VI

## FLUXOGRAMA DO MODELO COMPUTACIONAL

O Modelo Computacional utilizando matrizes rota bi-dimensionais, para a alocação de tráfego baseada no Princípio de Tempos Iguais de Viagem, aplicando-se o Método da Divisão como uma aproximação, pode ser vista através do seguinte fluxograma: (VER PAGINA SEGUINTE).



## ONDE:

- 1 - É apresentada a rede viária em estudo, sendo:  
N = número de arcos  
NN = número de nós  
M ou DM = número de divisões considerado.
- 2 - São dadas as constantes de cada arco, sendo:  
a = gradiente de curva (tempo de viagem/Demanda de Tráfego)min./carro/hora.  
b = tempo de viagem quando não existe nenhuma demanda de tráfego (minutos)  
C = capacidade de cada arco (carros/hora)
- 3 - É dada a tabela OD que representa as demandas de tráfego entre cada par OD, obtidos através de levantamento no campo.
- 4 - A tabela OD dada, é dividida em pequenas tabelas OD, observando-se o número de divisões, m ou DM:
- 5 - É dada a matriz LST, ou seja, a matriz que mostra o número do arco usado na viagem entre dois nós adjacentes.
- 6 - Determina-se os tempos de viagem em cada arco de rede viária, considerando uma situação de não existência de fluxo.
- 7 - Levando-se em conta os menores tempos de viagem, determina-se então, a menor ou menores rotas entre cada par OD.
- 8 - Tendo-se já determinado as menores rotas entre cada par OD, aloca-se a elas, os volumes de tráfego de cada tabela OD dividida, de acordo com a etapa de cálculo.

- 9 - É realizado a soma de todas as demandas de tráfego em cada arco usado para as viagens OD, utilizando as menores rotas.
- 10 - De acordo com as demandas de tráfego que utilizam cada arco para suas viagens OD, faz-se então o ajuste dos tempos de viagem.
- 11 - Se o número de iterações for  $\geq$  do que o número de divisão assumido então, encerra-se os cálculos e a apresenta-se os resultados, mas se não o for, parte-se para nova iteração até que o número dessas se já  $\geq$  do que o número de divisões considerado.

## CAPITULO VII

## CONCLUSÃO FINAL

Através do que foi exposto neste trabalho, podemos concluir o seguinte:

1. O processo computacional para alocação de tráfego, utilizando matrizes bi-dimensionais, de acordo com as vantagens oferecidas com sua aplicação é de uso muito prático.

2. O Método da Divisão como método de aproximação para a alocação baseada no Princípio de Tempos Iguais de Viagem mostra-se muito eficiente pela aproximação mostrada nos resultados obtidos, em relação a solução exata; como também, as vantagens de sua aplicação são muito grandes.

3. A alocação baseada no Princípio de Tempos Iguais de Viagem, quando aplicada a redes viárias urbanas, apresenta muitas vezes resultados que correspondem com o caso atual.

O Método da Divisão, como uma aproximação para a alocação de Tráfego baseada no Princípio de Tempos Iguais de Viagem, vem sendo usado atualmente, como também outros métodos semelhantes, em alguns países mas dentre as pessoas que o utilizam, poucas sabem explicar a sua relação com os tempos iguais de viagem, ao que Iida(1), conseguiu dar a necessária clareza, como pode ser notado em partes deste trabalho.

## SUGESTÕES PARA ESTUDOS ADICIONAIS

### 1 - COMO MODIFICAR-SE A REDE VIÁRIA

Sabemos que com a utilização de um programa de computador com matrizes rota em duas dimensões, há uma grande economia da memória do computador mas, para redes viárias muito extensas, a capacidade da memória será excedida, devido ao grande número de arcos e nós.

Portanto, deve-se investigar, uma boa forma, de reduzir-se uma rede viária, nêsse caso, levando-se em conta, como será dada a função capacidade e a qualidade e validade dos resultados obtidos.

### 2 - COMO DEVE-SE PROCEDER QUANDO OCORRER O "DESAPARECIMENTO DE UMA ROTA EXISTENTE" AO SE USAR O MÉTODO DA DIVISÃO COMO APROXIMAÇÃO À ALOCAÇÃO BASEADA NO PRINCÍPIO DE TEMPOS IGUAIS DE VIAGEM.

Esse é um fato que raramente ocorre quando da aplicação do Método da Divisão para êsse princípio, mas devemos estar preparados quando isso acontecer, o que pode ser notado, observando-se os resultados apresentados ao final do Processo de alocação. Se êsses resultados não se apresentarem dentro de uma boa aproximação à solução exata, mesmo com um número de divisões muito grande, isso mostra que ocorreu o "desaparecimento de uma rota existente" durante os cálculos. Esse fato ocorre quando de um aumento muito grande do volume de tráfego em um arco da rede viária. Portanto, o Método da Divisão não pode ser usado como um método de aproximação, nêsse caso.

Propomos então, a realização de estudos que levem a um método de aproximação possível de ser aplicado quando dessa ocorrência.

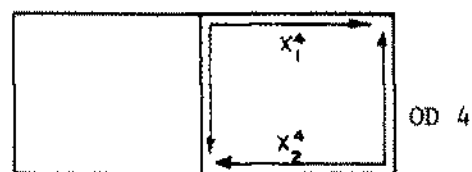
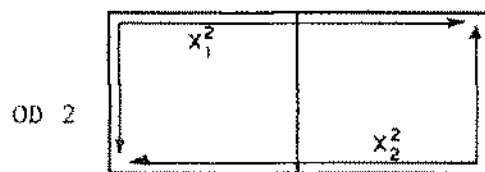
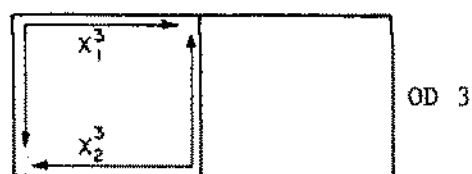
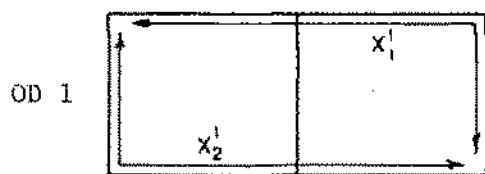
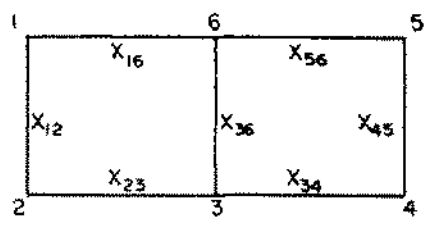


B I B L I O G R A F I A

- (1) - Iida, Yasunori, "FUNDAMENTALS STUDIES ON FLOWS OF TRAFFIC ENGINEERING", PhD Thesis, Present to Kyoto University, 1972 JAPAN.
- (2) - Wardrop, J.G., "SOME THEORITICAL ASPECTS OF ROAD TRAFFIC RESEARCH", Institution of Civil Engineers, London, Part II, Vol. 1, -1952, England.
- (3) - Hutchinson, B.G., "PRINCIPLES OF URBAN TRANSPORT SYSTEMS PLANNING", Scripta Book Co., 1974, U.S.A.
- (4) - Potts, Renfrey B.; Oliver, Robert M., "FLOWS in Transportation Networks", Academic Press, Vol.90, 1972, U.S.A.
- (5) - U.S. Department of Transportation, "URBAN TRANSPORTATION PLANNING - General Information", 1.972, U.S.A.

ANEXO I

Rede Viária

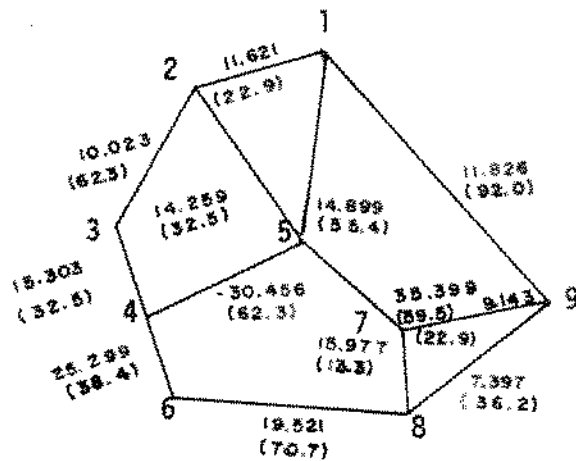


Constantes dos Arcos

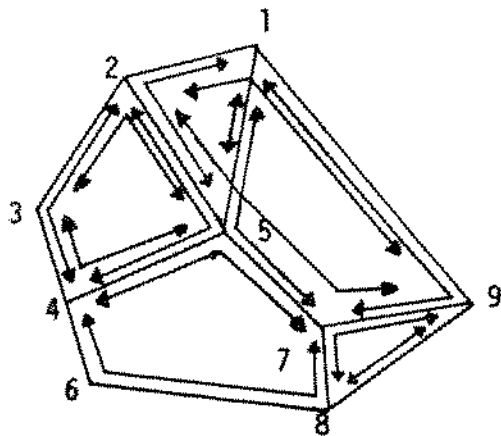
ARCO	$a(x10^{-2} \text{min/car.})$	$b(\text{min.})$
1 - 2	1,540	5
2 - 3	0,860	4
3 - 4	1.848	6
4 - 5	1.540	5
5 - 6	3.220	7
1 - 6	2.464	8
3 - 6	4.600	10

ANEXO II

Resultados obtidos com aplicação do Modelo computacional para a alocação de tráfego, mostrado nesse trabalho, para uma rede viária hipotética.



Rêde viária  
(com as demandas de tráfego e tempos de viagem nos arcos)



Rêde viária que mostra o padrão de tempos de viagem

TABELA OD DE DEMANDA DE TRAFEGO

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	3216.0	1752.0	2628.0	4993.2	1312.8	4555.2	2802.0	5956.8
2	3216.0	0.0	1314.0	4028.4	2190.0	6218.4	4730.4	1051.2	4028.4
3	1752.0	1314.0	0.0	788.4	3766.8	1138.8	1489.2	1927.2	2626.8
4	2628.0	4028.4	788.4	0.0	7620.0	700.8	2277.6	2890.8	3591.6
5	4993.2	2190.0	3766.8	7620.0	0.0	6481.2	8320.8	5518.8	4844.4
6	1312.8	6218.4	1138.8	700.8	6481.2	0.0	3328.8	4292.4	2452.8
7	4555.2	4730.4	1489.2	2277.6	8320.8	3328.8	0.0	963.6	1576.8
8	2802.0	1051.2	1927.2	2890.8	5518.8	4292.4	963.6	0.0	2628.0
9	5956.8	4028.4	2626.8	3591.6	4844.4	2452.8	1576.8	2628.0	0.0

CONSTANTES DOS ARCOS

ARCOS	A(M/CAR)	B(M)
1	0.001540	5.00
2	0.001540	5.00
3	0.005410	8.00
4	0.005410	8.00
5	0.001860	4.00
6	0.001860	4.00
7	0.001390	3.00
8	0.001390	3.00
9	0.003080	10.00
10	0.003080	10.00
11	0.003940	7.00
12	0.003940	7.00
13	0.006760	12.00
14	0.006760	12.00
15	0.003260	7.00
16	0.003260	7.00
17	0.001720	8.00
18	0.001720	8.00
19	0.006760	6.00
20	0.006760	6.00
21	0.000640	3.00
22	0.000640	3.00
23	0.001840	6.00
24	0.001840	6.00
25	0.001540	5.00
26	0.001540	5.00

Comparação dos resultados obtidos através do Modelo computacional com os resultados obtidos pelo Cut Method, (por lida), sendo que no Modelo, foi considerado  $M = 1000$  e  $M = 100$ .

OD	Cut Method		M = 1000		M = 100	
	Demanda de Trafego	Tempo de Viagem	Demanda de Trafego	Tempo de Viagem	Demanda de Trafego	Tempo de Viagem
1 - 2	11.621	22.9	11.614	22.9	11.658	22.9
2 - 1	11.621	22.9	11.614	22.9	11.658	22.9
1 - 5	14.844	55.4	14.838	55.4	14.802	55.4
5 - 1	14.844	55.4	14.838	55.4	14.802	55.4
1 - 9	11.826	92.0	11.823	92.0	11.785	92.0
9 - 1	11.826	92.0	11.823	92.0	11.785	92.0
2 - 5	14.259	32.5	14.256	32.5	14.351	32.5
5 - 2	14.259	32.5	14.256	32.5	14.351	32.5
2 - 3	10.023	62.3	10.021	62.3	10.124	62.3
3 - 2	10.023	62.3	10.021	62.3	10.124	62.3
3 - 4	15.303	32.5	15.304	32.5	15.351	32.5
4 - 3	15.303	32.5	15.304	32.5	15.351	32.5
4 - 6	25.299	38.4	25.290	38.3	25.312	38.2
6 - 4	25.299	38.4	25.290	38.3	25.312	38.2
4 - 5	30.456	62.2	30.444	62.2	30.521	62.2
5 - 4	30.456	62.2	30.444	62.2	30.521	62.2
5 - 7	35.399	59.5	35.385	59.5	35.355	59.5
7 - 5	35.399	59.5	35.385	59.5	35.355	59.5
6 - 8	19.521	70.1	19.513	70.7	19.621	71.2
8 - 6	19.521	70.1	19.513	70.7	19.621	71.2
7 - 8	15.977	13.3	15.968	13.3	15.985	13.3
8 - 7	15.977	13.3	15.968	13.3	15.985	13.3
7 - 9	9.143	22.9	9.148	22.9	9.211	22.9
9 - 7	9.143	22.9	9.148	22.9	9.211	22.9
8 - 9	7.397	36.2	7.396	36.2	7.420	36.2
9 - 8	7.397	36.2	7.396	36.2	7.420	36.2