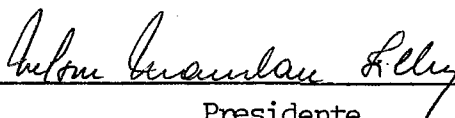


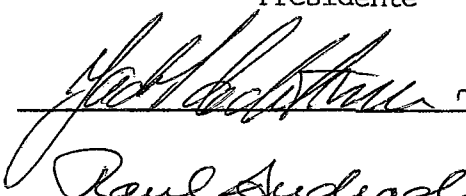
LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL


Hermann Gonçalves Marx

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

Aprovada por:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

RIO DE JANEIRO  
ESTADO DA GUANABARA - BRASIL  
DEZEMBRO DE 1974

II - R E S U M O

Este trabalho teve por objetivo a otimização do sistema de distribuição de combustível de aviação para todo o Brasil.

A abordagem é de um problema simples de transporte. Casos opcionais, com a utilização de teoria de programação inteira, foram levantados e estudados.

O interesse paralelo deste trabalho é apresentar a nível didático, um trabalho extremamente real.

Chama-se a atenção para as análises dos out puts, por ser matéria de pouca divulgação.

Hermann G. Marx

III ABSTRACT

This paper dealt with the optimization of the distribution of aviation gas for the whole of Brasil.

The approach is that of a transportation problem. Some exceptional cases were studied using integer programming.

Another feature of this paper is that it presents at an accessible level the application of the mathematical theory to a concrete industrial problem.

We call attention to the output analysis since this aspect has not been much explored in the literature.

IV - I N D I C E

Introdução	pg 1
Capítulo 1 : O MODELO	
1.1	Considerações iniciais pg 7
1.2	Componentes do sistema pg 8
1.3	Escolha do modelo-justificativa pg 13
1.4	Simbologia e coeficientes pg 20
1.5	Estrutura e coeficientes pg 26
1.6	Comentarios pg 27
Capítulo 2 : DESENVOLVIMENTO ANALITICO	
2.1	Procedimento matematico pg 29
2.2	Programa para computadores pg 33
Capítulo 3 : OBTENÇÃO DE DADOS	
3.1	Códigos pg 46
3.2	Preço do produto colocado na base pg 47
3.3	Custo de operação da base pg 48
3.4	Custo de frete total pg 50
3.5	Produção das bases pg 52
3.6	Demanda dos aeroportos pg 55
Capítulo 4 : RESOLUÇÃO COMPUTACIONAL	
4.1	Introdução pg 59
4.2	Sequencia de experimentos pg 61
4.3	Quadro tecnico pg 63
4.4	Aplicação da programação 0-1 pg 64

## Capítulo 5 : ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1	Mapas geograficos com distribuição obtidas	pg 67
5.2	O porque da sequencia de experimentos	pg 76
5.3	Comparações entre rede otima, caso b e caso c	pg 78
5.4	Análise dos "mapas" do computador	pg 80
5.5	Análise de sensibilidade	pg 82

## Capítulo 6 : COMPARAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO

6.1	Comparação	pg 85
6.2	Implementação - indicações	pg 86

Apendice I	pg 87
Anexo I	pg 93
Anexo II	pg 102
Bibliografia	pg 108

I N T R O D U Ç Ã O

A distribuição de querosene de aviação (AVJET) aos aeroportos e fregueses de todo Brasil, vem sofrendo algumas modificações: por imposições da companhia abastecedora estatal, ou por variação de demanda (novos contratos com companhias de aviação, etc.), etc...

Se torna imperativo, portanto, um estudo que nos forneça subsídios suficientes para a adoção de uma política ótima de distribuição, com base não só na "obrigatoriedade" da existência do produto nos PAA (posto de abastecimento de aeroporto) como outrossim em imposições econômicas associadas.

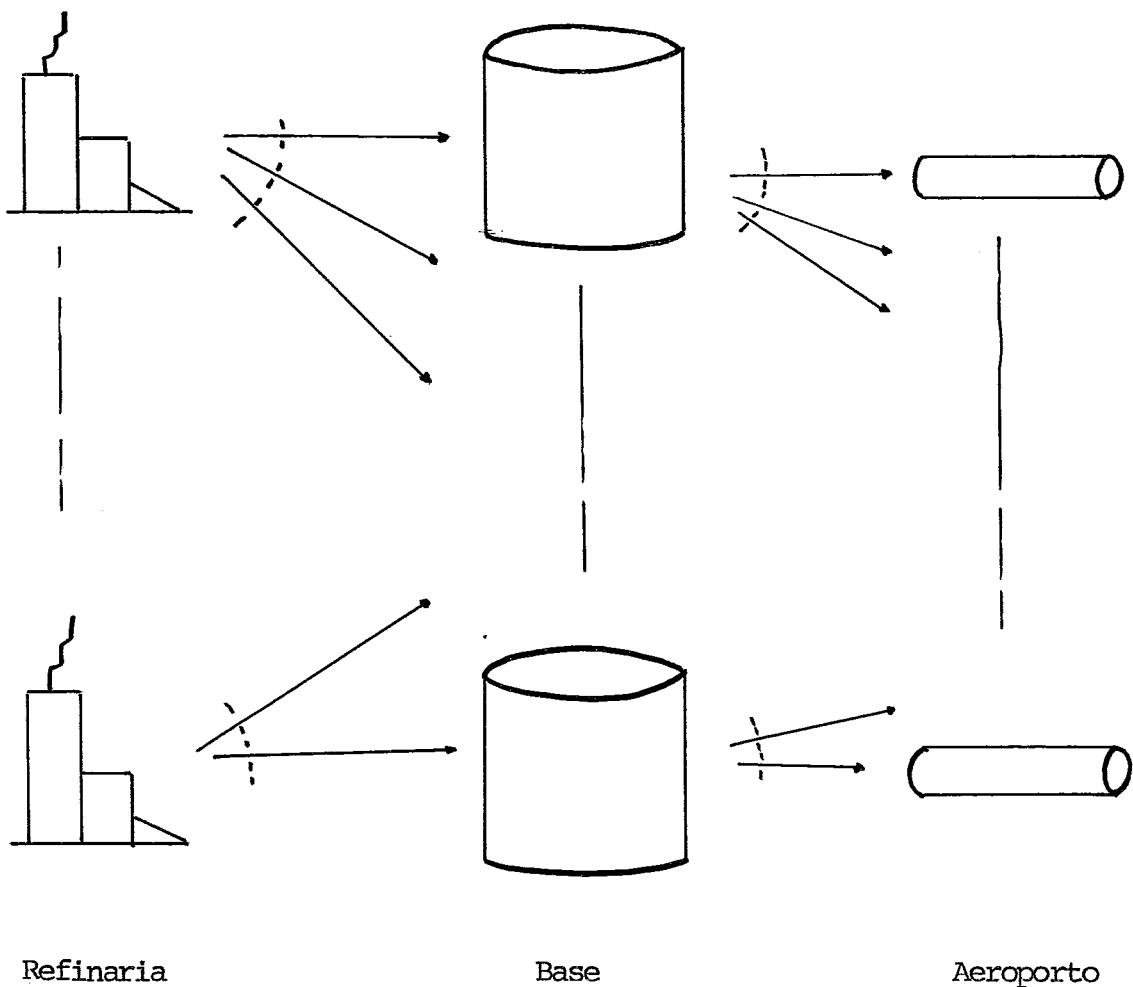
Vale reafirmar que os resultados aqui apresentados serão somente um instrumento do qual dispõe o administrador para uma "tomada de decisão" quanto à política a ser adotada.

Este estudo foi feito com base nos valores atuais (valores de janeiro a julho de 1974) o que, entretanto, não o torna estático. O que se recomenda é a atualização dos dados aqui utilizados e uma nova "rodada" do modelo toda vez que esses dados tiverem variações sensíveis (ver análise de sensibilidade) ou houverem novos componentes a acrescentar (nova base, novo aeroporto, etc.).

É portanto, objetivo deste trabalho, determinar as áreas de influência de cada base (depósito) ou seja o esquema geral de suprimento.

Antes de tratarmos do modelo a ser usado, se faz necessário uma visão do conjunto que iremos tratar.

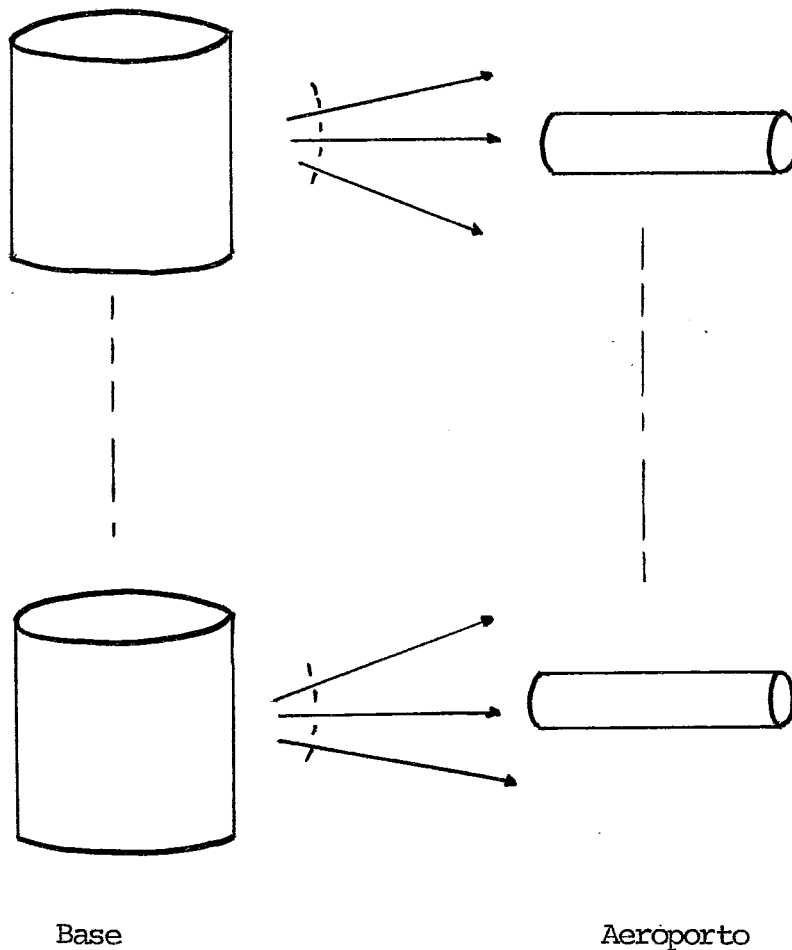
O nosso "conjunto universo" é o seguinte:



O sub conjunto, sobre o qual trabalharemos é base-aeroporto.

Não nos irá preocupar o complemento refinaria-base ou mesmo com um esquema totalmente modificado, o nosso resultado não ficará alterado, pois, independentemente de qual refinaria o produz, o produto é colocado nas bases ao mesmo preço, cabendo unicamente à Petrobrás o onus respectivos.

O nosso objetivo é, então, otimizar a rede.





POLÍTICAS ALTERNATIVAS

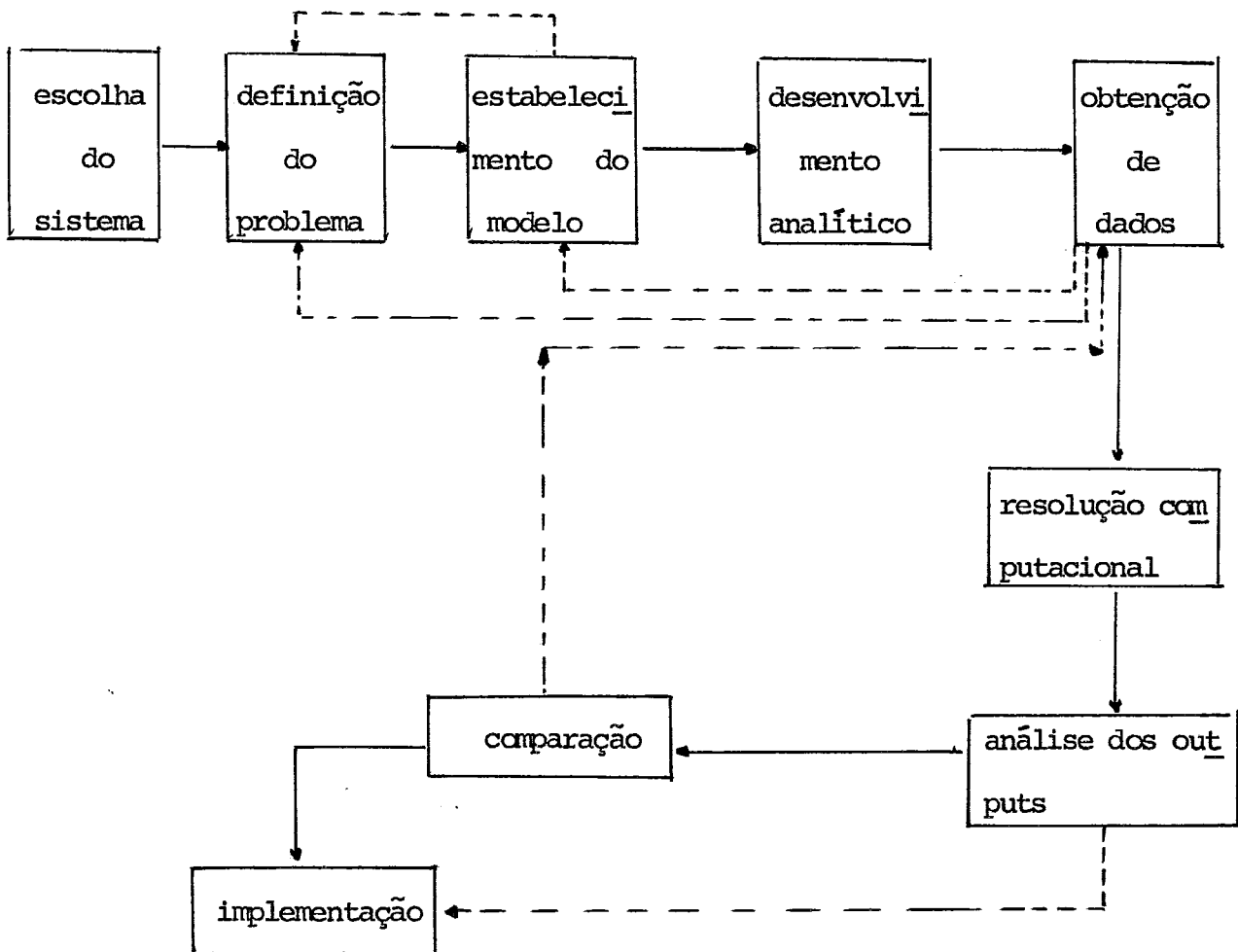
Para que obtivéssemos indicações, as mais econômicas, quanto ao esquema de distribuição para situações esporádicas, simulamos alguns casos, no nosso modelo.

É interessante notar que em geral (a menos de um experimento) trabalhamos com valores médios. Isso sugere, claramente, que quando em algum aeroporto ou base houver uma variação repentina e brusca da demanda, o responsável pela região deverá atuar mais diretamente, até que a situação se normalise (exemplo: fins de semana mais prolongados, etc.).

DIAGRAMA DE DESENVOLVIMENTO

Para um melhor acompanhamento deste projeto, em particular, e desenvolvimento de quaisquer outros projetos em P.O, sugerimos a seguinte sequência de atividades.

Obs.: Não faremos maiores comentários a respeito do diagrama abaixo, pois estes seriam longos e não são de interesse maior neste projeto.



## Capítulo 1

### O MODELO

- 1.1 Considerações iniciais
- 1.2 Componentes do sistema
- 1.3 Escolha do modelo - justificativa
  - 1.3.1 Variáveis do modelo
  - 1.3.2 Restrições
  - 1.3.3 Função objetivo
- 1.4 Simbologia e coeficientes
- 1.5 Estrutura do modelo
- 1.6 Comentários

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O sistema que nos propomos a estudar, faz, indubitavelmente, parte de um sistema maior. Essa dependência é sentida especialmente quando se estuda a viabilidade econômica. Se por exemplo, fossemos investir na construção ou ampliação de uma base que movimentasse somente AVJET teríamos um custo  $x$ . Se, no entanto, essa base movimentasse produtos, além de AVJET, em geral o custo seria  $y < x$  (considerando-se pessoal, etc.).

O modelo matemático propõe, guardadas limitações de informação, computacional ou mesmo matemática, representar o que está acontecendo com o sistema.

Não consideraremos variações de preço Duty Free, pois que, a maior parte do produto consumido por aqueles que tem direito a Duty Free é entregue pela Petrobrás.

É de grande importância, ficarmos alertas ao fato que muitos dos dados necessários para nosso modelo podem estar sujeitos a erro. Isso não irá tirar o mérito das soluções obtidas, mas sim obriga-nos a realizar novo experimento quando esses valores forem fornecidos com maior precisão.

## 1.2 COMPONENTES DO SISTEMA

Inicialmente analisaremos todos os itens que compõem o sistema em estudo.

Alocaremos os itens em três grupos: Bases, transporte, PAA.

### 1.2.1 Base

I. "Produção" - é a quantidade de capacidade de movimentação do produto pela base.

i) quando a base é ligada à refinaria por oleoduto e há bombeamento direto, a base tem alta capacidade de movimentação;

ii) quando a base é abastecida por carro-tanque ou navio-tanque e está distante da refinaria, tem uma baixa capacidade de movimentação.

Em ambos os casos a quantidade de produção estará diretamente relacionada com o estoque utilizável da base e inversamente com o tempo entre chegadas do produto.

II. "Estoque Utilizável" - é a tancagem operacional da base. Esse valor gira em torno dos 84% da tancagem total.

III. "Custo do Produto colocado na Base" - é o preço que a companhia paga à Petrobrás. Esse valor é fixo e independente da base, ou da refinaria que a supre.

IV. "Custo de Recebimento" - é o custo variável diretamente com o número de recebimentos (nº de papeis, mão-de-obra, etc.).

V. "Remuneração de Capital Investido em Estoque em Transito" -  
- custo do produto em estoque em transito, tanto em transferência como em distribuição direta.

Uma análise numérica comparativa com frete é feita abaixo.

Temos : Remuneração de Capital Investido em estoque em transito = REM

$$\text{REM} = \text{preço} \times \frac{\text{dias}}{30} \times 0,02$$

Admitindo : Tempo máximo de viagem = 5 dias

Custo/litro do AVJET = 0,5 Cr\$/l

Caminhão (maior capacidade) = 30.000 l

$$\text{REM} = 30.000 \times 0,5 \times \frac{5}{30} \times 0,02 = \text{Cr\$ } 1.6$$

considerando que em 5 dias um caminhão pode percorrer 2.500.

Admitamos um frete médio de Cr\$ 400,00.

Portanto o REM calculado representa 0,4% do frete.

VI. "Custo de Transferência" - somente em BIP temos a ocorrência de transferência do produto vindo de Santos ou Paulínia. Em virtude disso calcularemos o preço do produto colocado em BIP ao invés de entrar-se com o valor da transferência.

VII. "Remuneração de Capital Investido em Estoque na Base" -

- é um valor que em m<sup>3</sup> não deverá ter uma grande variação de base para base. É entretanto, comparado com custo operacional de base, uma percentagem muito pequena o que nos indica, imediatamente, que não deverá ser utilizado.

VIII. "Custo de Operação" - é um item de obtenção muito difícil, sem erro, pois nada existe calculado até o momento.

O que temos é o valor de taxa cobrada a Congêneres ou paga a eles.

### 1.2.2 Transporte

I. "Frete Unitário" - como iremos otimizar um esquema de distribuição, devemos considerar todos os fretes unitários. Isso se torna mais facilmente realizável pelo fato que o transporte é todo feito por terceiros. A companhia não possui nenhum caminhão próprio fazendo o transporte base-aeroporto. Portanto para a companhia, em linhas gerais, o frete unitário é independente do volume transportado. Isso por que o transportador normalmente só trafega com o caminhão totalmente cheio, e para isso possui caminhões de tamanhos diversos.

II. "Distância Base - PAA" - é a distância entre cada base e cada aeroporto. Para obtenção de todo o grafo iremos usar as menores distâncias rodoviárias para cada rota ou eventualmente uma distância maior porém toda em asfalto, etc.



III. "Tempo de Percurso" - é de difícil obtenção pois para cada tipo de estrada temos uma velocidade média, e nem todos os caminhos estão sendo, atualmente utilizados.

### 1.2.3 PAA

I. "Demanda" - existe um cadastro de vendas por unidade (base ou PAA).

Os dados arquivados são originados das faturas. Isso fará com que incorramos em erros se tentamos tirar diretamente a média das vendas.

Uma análise mais detalhada se fará necessária.

II. "Estoque Utilizável" - é a tancagem operacional do aeroporto.

estoque utilizável = tancagem máxima + volume dos caminhões -  
- lastro - segurança superior

onde:

lastro = volume não utilizado, onde há decantação de água ou depósito de sujeira.

segurança superior

or = tancagem não utilizada na parte superior do tanque, por questões de segurança.

III. "Demanda dos Fregueses" - quantidades retiradas pelos fregueses diretamente das bases. Encontram-se arquivados, os valores, nas fitas de vendas (vide 1.2.3/I)

### 1.3 ESCOLHA DO MODELO

O problema de transporte ou distribuição é um caso típico de otimização linear de redes. Trata-se de um problema de estratégia onde se procura alocar quantidades, e seleccionar rotas.

As nossas componentes são ou podem ser consideradas com variação linear, sem erros significativos.

Matematicamente falando, uma relação linear tem a forma:

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = b^1$$

Apresentamos a seguir uma descrição matemática de um problema clássico de transporte.

Convém lembrar que o conceito de eficiência, que é o desejo no nosso problema de transporte, está ligado ao conceito de minimização.

O modelo fica:

$$(1) \text{ minimizar } Z(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a restrições

$$(2) \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \quad \text{para } i=1, 2, \dots, m \text{ (oferta)}$$

$$(3) \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j \quad \text{para } j=1, 2, \dots, n \text{ (demanda)}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo } i, j$$

Isso significa que temos m pontos de oferta sendo que cada ponto produz no máximo  $S_i$ , e temos n pontos de demanda sendo que cada ponto de demanda  $D_j$ .

(1) é a "função objetivo" ou o objetivo do problema.

Uma montagem tabular muito útil vem a seguir:

$c_{11}$ $x_{11}$	$c_{12}$ $x_{12}$	$c_{13}$ $x_{13}$	....	$c_{1n}$ $x_{1n}$
$c_{21}$ $x_{21}$			....	$c_{2n}$ $x_{2n}$
.	.	.	....	.
.	.	.	....	.
.	.	.	....	.
$c_{m1}$ $x_{m1}$	$c_{m2}$ $x_{m2}$	$c_{m3}$ $x_{m3}$	....	$c_{mn}$ $x_{mn}$

Para que o modelo possua soluções viáveis é necessário que

$$\sum_{i=1}^m S_i \geq \sum_{j=1}^n D_j$$

ou seja, que a oferta ou disponibilidade total seja maior ou

no mínimo igual ao total da demanda. No modelo acima  $x_{ij}$  é a quantidade transportada do ponto  $i$  de oferta ao ponto  $j$  de demanda, e  $c_{ij}$  é o custo total unitário, associado a esse transporte.

Pelo que vimos, a utilização para o nosso problema, de um modelo de programação linear em redes é plenamente justificável (cada componente será agora mostrada em maior detalhe). Além disso a disponibilidade do LPS contribuiu para a escolha de um modelo linear.

Diante de um modelo de transporte e face a experiência adquirida podemos seleccionar quais variáveis, restrições e função objetivo farão parte do nosso modelo.

### 1.3.1 Variáveis

$QB_{km}$  = quantidade que sai da base  $k$  para o aeroporto  $m$

onde:

$k \in \{ \text{bases que movimentam AVJET} \}$  e

$m \in \{ \text{aeroportos servidos pela companhia} \}$

ambos conjuntos são finitos para cada período de tempo considerado.

### 1.3.2 Restrições

É óbvio assinalarmos a não negatividade das variáveis  $QB_{km}$ , isto é:

$$(1) \quad QB_{km} \geq 0$$

Na realidade poderíamos fazer  $QB_{km} \geq$  (capacidade volumétrica menor de transporte) ou seja admitir que caminhão algum saia com o tanque não totalmente cheio. Isso, porém, implicaria em grande dificuldade matemática de representação pois para cada base teríamos um valor diferente para diferentes períodos de tempo. Uma adaptação as disponibilidades de cada base deverá ser feita pelo próprio pessoal da base.

#### I. "Restrições de Oferta" ou "relativas à base"

Produção - na restrição abaixo o volume que sai da base ( $B_k$ ) deverá assumir valor não negativo e não superior à oferta cujo valor é:

$$EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k$$

onde:

$EU_k$  = estoque utilizável na base k.

$TC_k$  = tempo entre chegadas do produto à base k.

$DF_k$  = demanda do freguês que retira o produto diretamente à base k.

As restrições serão:

$$(2) \sum_m QB_{km} \leq EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k$$

$$p/k = 1, \dots, l$$

Podemos no entanto subdividi-las

$$(3) \sum_m QB_{km} = B_k$$

$$(4) B_k \leq EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k$$

Sabendo ainda que:

$$(5) B_k \geq 0$$

## II. "Restrições de fluxo de transporte"

Não consideraremos restrições alguma dos fluxos. Isso porque em geral podemos requisitar, à companhia transportadora, a alocação de mais caminhões a uma base ou menos a outra. Na realidade existem ou podem existir alguns problemas como um transportador se negar a levar o produto a determinado lugar, etc. Esses devem ser resolvidos diretamente pelo pessoal da base mesmo alterando o frete. Isso porém não deve ser o normal.

Pode-se, porém, remeter os resultados do sistema proposto para uma apreciação de cada base e se houver alguma dificuldade de aplicação, no

que concerne a transporte, essa será considerada no modelo realizando-se novo experimento. A restrição seria:

$$(6) \quad QB_{\underline{k}, \underline{m}} \leq S \quad (\text{quantidade que sai da base } \underline{k} \text{ para } \text{aeropo} \\ \text{porto } \underline{m} \text{ é menor que um valor } S).$$

o que implica em:

$$(7) \quad B_{\underline{k}} \leq W \quad (\text{quantidade que sai da base } \underline{k} \text{ é menor que} \\ W).$$

### III. "Restrições de Demanda" ou "relativas ao PAA"

Trata-se de uma restrição de igualdade, pois a limitação de estoque é crítica, ou seja, não existe a flexibilidade de, uma chegada de produto maior que a tancagem existente, ser armazenada. Portanto:

$$(8) \quad \sum_k QB_{km} = DMA_m \quad p/m = 1, \dots, J$$

onde:

$$DMA_m = \text{demanda do aeroporto } m$$

#### 1.3.3 Função Objetivo

Como já foi dito em 1.3 o conceito de eficiência está ligado ao de minimização. Assim também como o preço do produto é controlado pelo CNP



e fixo para todo Brasil, o nosso objetivo será minimização de custos.

Chamaremos FOQUE a variável que se quer minimizar. Nossa função objetivo será:

$$(9) \text{ minimizar FOQUE} = \sum_m \sum_k C_{k,m} Q_{k,m}$$

onde  $C_{k,m}$  = custo total unitário para levar o produto da base k ao aeroporto m

#### 1.4 SIMBOLOGIA UTILIZADA - COEFICIENTES

##### I. Coeficientes

O custo total  $C_{k,m}$  pode ser expresso por:

$$(10) C_{k,m} = CPB_k + COB_k + CFT_{k,m}$$

Olhando-se sob o prisma matricial teremos duas matrizes  $k \times m$  ( $C_{k,m}$  e  $CFT_{k,m}$ ) e duas matrizes colunas ( $CPB_k$ ,  $COB_k$ ).

No entanto as  $CPB_k$  e  $COB_k$  podem ser escritas como matrizes  $k \times m$  pois é isso com que realmente estamos operando. Assim:

$CPB_k =$

$$\begin{bmatrix} CPB_1 & CPB_1 & \dots & CPB_1 \\ CPB_2 & CPB_2 & \dots & CPB_2 \\ CPB_3 & CPB_3 & \dots & CPB_3 \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ CPB_L & CPB_L & \dots & CPB_L \end{bmatrix}$$

m colunas

$COB_k =$

$$\begin{bmatrix} COB_1 & COB_1 & \dots & COB_1 \\ COB_2 & COB_2 & \dots & COB_2 \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ COB_L & COB_L & \dots & COB_L \end{bmatrix}$$

m colunas

Podemos então escrever

$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & \dots & C_{1,J} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & \dots & C_{2,J} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ C_{L,1} & C_{L,2} & \dots & C_{L,J} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CPB_1 & \dots & CPB_1 \\ CPB_2 & \dots & CPB_2 \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ CPB_L & \dots & CPB_L \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \text{COB}_1 & \dots & \text{COB}_1 \\ \text{COB}_2 & \dots & \text{COB}_2 \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ \text{COB}_L & \dots & \text{COB}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{CFT}_{1,1} & \text{CFT}_{1,2} & \dots & \text{CFT}_{1,J} \\ \text{CFT}_{1,2} & \text{CFT}_{2,2} & \dots & \text{CFT}_{2,5} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \text{CFT}_{L,1} & \text{CFT}_{L,2} & \dots & \text{CFT}_{L,J} \end{bmatrix}$$

Este procedimento apesar de, aparentemente, ser óbvio, se fez necessário acrescentar, para evitar que venham a acontecer problemas devido a um programa de Fortran, que desconsidere a construção acima.

i) Custo do produto colocado na base ( $\text{CPB}_k$ ).

O produto colocado em qualquer base e oriundo de qualquer refinaria, tem o mesmo preço para a companhia.

Os custos pelas eventuais necessidades de abastecimento de uma base, por uma refinaria que não a normal, correm por conta da Petrobrás.

Pela aplicação do modelo de transporte, resolvemos eliminar o "ponto intermediário" (BIP) e calcular, manualmente, o preço do produto colocado nesta base.

Portanto:

$$CPB_{Ipiranga} = CPB_k + CT_{k, Ipiranga}$$

Onde:

$CT_{k, Ipiranga}$  = custo de transferência da base k para base de Ipiranga.

ii) Custo operacional da base ( $COB_k$ )

Dois custos podem ser considerados:

- custo direto de operação
- custo total de operação

As duas formas são corretas, dentro de certos limites que não convém discutirmos neste trabalho.

No entanto, os custos diretos são de difícil e demorada obtenção, e não poderão dentro das circunstâncias atuais vir isentos de erros.

Não se possui também os valores do custo total de operação (custo de manuseio) para AVJET, porém devido as características semelhantes de manuseio de AVJET e, querosene ou gasolina super, usaremos os valores relativos aos dois últimos produtos.

Para bases não próprias em que a companhia trabalha, temos u ma taxa, por movimentação ou espaço cedido, preestabelecida.

iii) Custo frete total de base k ao PAA m ( $CFT_{k,m}$ )

Foi decidido usar o frete total e não, frete unitário e distância, por que, mesmo para a mesma base não se usou o mesmo frete unitário. Se chegar-se a conclusão que a indicação de um único frete unitário por base é o mais indicado aí então, poderemos desprezar o input frete total e trabalhar-mos com os outros dois itens.

Em termos matriciais o que existe é:

$$\begin{bmatrix} CFT_{1,1} & CFT_{1,2} & \dots & CFT_{1,J} \\ CFT_{2,1} & CFT_{2,2} & \dots & CFT_{2,J} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ CFT_{L,1} & CFT_{L,2} & \dots & CFT_{L,J} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} FU_{1,1} & FU_{1,2} & \dots & FU_{1,J} \\ FU_{2,1} & FU_{2,2} & \dots & FU_{2,J} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ FU_{L,1} & FU_{L,2} & & FU_{L,J} \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} D_{1,1} & D_{1,2} & \dots & D_{1,J} \\ D_{2,1} & D_{2,2} & \dots & D_{2,J} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ D_{L,1} & D_{L,2} & \dots & D_{L,J} \end{bmatrix}^T$$

frete total = frete unitário x distância (matriz trans-  
porte)

Portanto, teremos uma economia de tempo de computador e qual-  
quer alteração em  $FU_{k,m}$  não implicará numa nova execução do programa, mas sim  
um cálculo manual e uma alteração em um cartão de entrada.

1.5 ESTRUTURA - MONTAGEM DO MODELO

O nosso modelo completo fica:

$$(9) \text{ minimizar } FOQE = \sum_{k=1}^L \sum_{m=1}^J C_{k,m} \cdot QB_{k,m}$$

sujeito a restrições

$$(3) \sum_{m=1}^J QB_{k,m} = B_k \quad p/k = 1, \dots, L$$

equação de oferta.

$$(4) B_k \leq EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k$$

$$(5) B_k \geq 0$$

$$(8) \sum_{k=1}^L QB_{k,m} = DMA_m \quad p/m = 1, \dots, J$$

equação de demanda

$$(1) QB_{k,m} \geq 0$$

Devemos notar que as equações de oferta e demanda são restrições de igualdade o que diferencia o nosso modelo do padrão. No nosso caso já temos, indiretamente:

$$\sum_k B_k = \sum_m DMA_m$$

## 1.6 COMENTÁRIOS

Faremos, com base no modelo descrito, vários experimentos. Isso porque os dados podem vir com margem de erro grande e também porque é interessante termos várias soluções alternativas para diversos casos.

A sequência de experimentos que iremos realizar é apresentada abaixo.

Todos os modelos são obtidos a partir de (9) (3) (4) (5)  
(8) (1).

### 1º Experimento:

Não há restrição de produção, a menos de Manaus face a inacessibilidade desta base por via terrestre.

### 2º Experimento:

Modelo completo

Cada experimento compreenderá vários casos.

Quanto a comparação entre os diferentes experimentos ( diferentes casos) apresentaremos uma tabela no item "comparação".



Capítulo 2

DESENVOLVIMENTO ANALÍTICO

- 2.1 Procedimento matemático
  - 2.1.1 Programação linear
  - 2.1.2 Programação inteira
  
- 2.2 Programa para computadores

## 2.1 PROCEDIMENTO MATEMÁTICO

### 2.1.1 Programação Linear

Basicamente, trata-se de uma adaptação do algoritmo simplex revisado a um problema de transporte.

Recordemos que o problema é: Um produto deve ser enviado em quantidades  $B_k$  de cada um dos  $I$  pontos de oferta e recebido em quantidades  $DMA_m$  por cada um dos  $J$  pontos de demanda.

O problema inicial é achar uma solução básica viável.

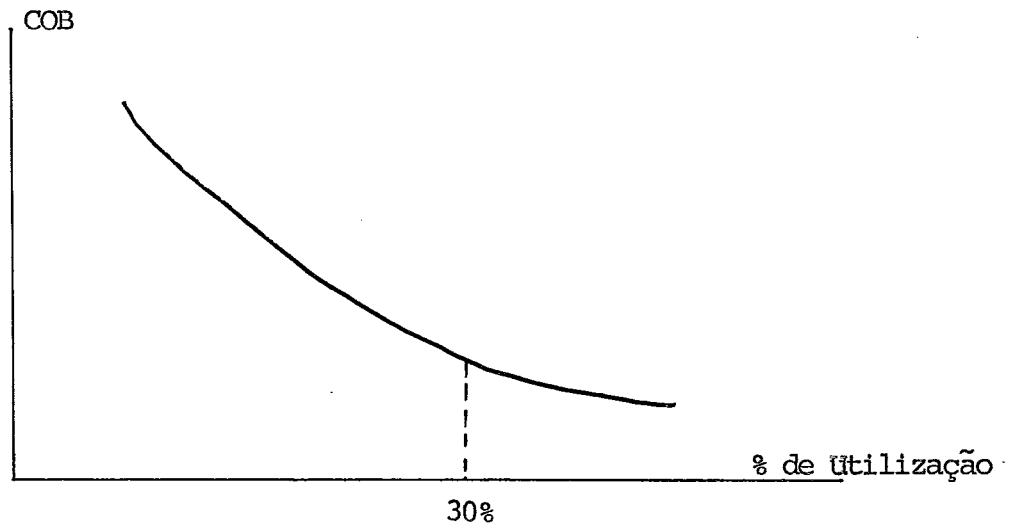
O LPS(2.2) realiza a operação de achar uma solução inicial. Esta é a parte de computo mais demorada.

Após termos essa primeira alocação viável aplica-se (pelo LPS) o simplex revisado para obtermos finalmente os valores ótimos.

Não entraremos em detalhes sobre o algoritmo simplex por ser este procedimento matemático amplamente divulgado em qualquer livro de pesquisa operacional.

### 2.1.2 Programação Inteira

Uma parte de todo problema de transporte é saber quais pontos de oferta deverão continuar existindo ou não. Por exemplo, poderemos supor que para uma utilização de 30%, ou menos, da capacidade de armazenamento de um ponto de oferta, os custos passem a ser tão elevados (problema de economia de escala) que não seja conveniente continuar operando nesse ponto.



Poderemos ainda supor que, por questões político-administrativas, seja conveniente não utilizar um depósito qualquer.

Quando acontecem esses problemas, se faz necessária a utilização de um modelo derivado do modelo de programação linear. Serão introduzidas, neste novo modelo, variáveis de decisão cujos valores serão: "sim" ou "não", ou matematicamente falando 0 ou 1.

O modelo para programação inteira 0-1 é o seguinte:

$$\text{minimizar } \sum_{k=1}^L \sum_{m=1}^J C_{km} \cdot QB_{km} + \sum_{k=1}^L P_k \cdot Z_k$$

$$\text{sujeito a } \sum_{k=1}^L QB_{km} = DMA_m \quad p/m = 0,1, \dots, J$$

$$\sum_{m=0,1}^J QB_{km} = B_k \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

$$(i) \quad 0 \leq Y_k \leq 1 \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

$$QB_{km} \geq 0 \quad p/m = 0,1, \dots, J$$

$$B_k \geq 0 \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

$$(ii) \quad B_k \leq Y_k \left( EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k \right) \cdot M \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

$$(iii) \quad 0,3 Y_k \left( EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k \right) - B_k \leq 0 \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

onde

$$Y_k = \begin{cases} -1 & \text{se a base operar acima de 30\% de sua capacidade} \\ -0 & \text{se a base não operar} \end{cases}$$

$$Z_k = 1 - Y_k \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

A segunda porção da função objetivo apresenta a somatória das penalidades ou custos a que está sujeita a função objetivo, se as bases que deveriam ser fechadas continuarem funcionando com movimentação  $B_k$ .

Como não tínhamos disponível nenhum algoritmo de programação inteira mas somente o LPS, procedemos da seguinte maneira:

- i) Obtivemos a solução do modelo sem restrição de utilização da base ou não.
- ii) As bases que tiveram movimentação abaixo de 30% de sua capacidade máxima foram eliminadas e nova solução encontrada.  
Isso foi feito para cada base separadamente.
- iii) Não colocamos as penalidades  $P_k$  na função objetivo.

Esses valores  $P_k$  são de difícil obtenção e portanto só devem ser usados após os resultados isentos dessas penalidades, para comparação de custos.

#### Observação:

Nota-se pelo comportamento da curva de custos operacionais que se fosse permitida a movimentação de 30% ou menos da capacidade de movimentação total, teremos um problema de programação não linear o que certamente, face a dificuldade de obtenção precisa dessa curva, dificultaria a obtenção de uma solução ótima.

Num problema um pouco mais completo poderíamos estudar a solução ótima, supondo a necessidade de construção de mais um ponto de oferta, ou seja: Suponhamos que  $\sum_{k=1}^L B_k < \sum_{m=1}^J DMA_m$  então precisaríamos construir uma nova base com custos de investimentos  $CI_k$  e custos de transporte (custo total)  $C_{k,m}$ . Assim nossa nova função objetivo seria:

$$\begin{aligned} \text{minimizar} \quad & \sum_{k=1}^L \sum_{m=1}^J C_{k,m} \cdot QB_{k,m} \cdot + \sum_{k=1}^L P_k \cdot Z_k + \sum_{k=1}^{L+N} CI_k \cdot \\ & \cdot W_k + \sum_{k=L}^{L+N} \sum_{m=1}^J C_{k,m} \cdot QB_{k,m} \cdot W_k \end{aligned}$$

onde  $W_k = 1$  se a base for construída.  
0 caso contrário.

## 2.2 PROGRAMA PARA COMPUTADORES

Foi em 1952 que o primeiro algoritmo para resolução de problemas de programação linear foi implantado em um computador digital.

Hoje em dia, temos porém, vários algoritmos implantados em quase todos os tipos de computadores.

Para resolução do nosso problema de transporte utilizou-se o programa LPS (Linear Programming System) em um IBM 360/30, 64K.

A seguir apresentamos o LPS.

O procedimento para introdução de um problema de programação linear pelo LPS é o seguinte:

INPUT - Lê os dados de entrada (matriz e limites) e guarda o problema no disco. A matriz descreve as relações lineares entre as diversas variáveis e com a função objetivo.

Obs.: A matriz pode conter alternadas funções objetivos. O grupo de limites pode conter alternados limites.

SUMMARY - Apresenta uma listagem completa de linhas e colunas e o número de elementos em cada uma.

MOVE - Lê especificações ou nome. Por exemplo: lê o nome dos limites e da função objetivo que será maximizada ou minimizada.

OPTIMIZA - Computa o máximo ou mínimo valor da função objetivo conforme o problema dado.

TITLE - Providencia cabeçários para as páginas de out-put.

LPSOLUTION - Prepara o relatório da solução com os valores de função objetivo, limites, etc...

END - Termina uma corrida.

A figura abaixo mostra como é a sequência de cartões para se obter uma corrida do LPS a fim de (por ex. :) minimizar custos.

```
END  
LP SOLUTION  
OPTIMIZE  
ENDATA  
BOUNDS ...  
MINIMIZE  
MOVE  
ENDATA
```

Matriz com custos, variaveis, função ob- jetivo, <u>li</u> mites
---

```
INPUT
```



Adiante, apresentaremos nossa seqüência de instruções inclusive com geração em disco.

### ANÁLISE POSOPTIMAL - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Este procedimento é usado para determinar os efeitos da mudança de limites, ou valores das variáveis, sobre a solução ótima.

LP ANALYSIS - Determina os efeitos das variações de limites, custos, variáveis, etc...

Apresenta: 1 - O custo por mudança de uma unidade nas variáveis.

2 - A variação permitida aos custos sem que o valor da variável altere-se, e, o valor que a variável deve assumir se o custo tiver uma variação maior que a permitida.

LP PARAMÉTRICO - Investiga o efeito dessas mudanças em problemas de inteiros.

### ALTERAÇÃO DE DADOS

Esse procedimento evita um input de uma nova matriz. Mantém a solução do problema original em disco e então modifica os valores desejados e

continua a resolução.

MODIFY - Lê os valores a serem alterados. Essas alterações são temporárias e não modificam o problema original.

São esses os principais itens que utilizaremos. Existem porém uma série de outros de grande utilidade que podem ser visto no manual da IBM.

### 2.2.1 Capacidade do LPS

Para o uso em um 64K.

O LPS pode processar um problema com 1.500 linhas.

A seguir uma tabela, exemplo do número de trilhas de um disco 2311 necessárias para armazenagem do input e solução em função do número de linhas e colunas.

<u>Linhas</u>	<u>Colunas</u>	<u>Nº de não zeros por coluna</u>	<u>Número de trabalho</u>	
			<u>input</u>	<u>solução</u>
100	200	6	9	24-31
100	200	12	15	33-62
250	500	10	32	75-150
700	1.000	5	44	127-178

O máximo número de trilhas que dispomos em um 64K é 1995-2311 (1140 - 2314).

### Tempo de processamento

A seguir apresentamos uma tabela com tempo estimado de processamento.

Nº de linhas	Nº de colunas	Tempo (em horas) estimado ( sem fornecer solução inicial)		
50	75	.1	-	.4
100	150	.15	-	.6
200	250	.25	-	1.
300	400	.5	-	1.75
500	600	1.5	-	3.5
1.000	1.200	4.	-	8.
1.500	2.000	8.	-	15.

#### 2.2.2 Entrada do problema

Falamos a respeito de linhas e colunas cujo conceito é a qui definido.

$$\text{Seja } RV = CV_1 + CV_2 + CV_3 + \dots + CV_n$$

Chamamos de RV (variável à esquerda) de "variável linha" e CV (variável não à esquerda) de "variável coluna". Pode ocorrer de "variável linha" aparecer no lado direito, porém, não "variável coluna" do lado esquerdo.

Nota : Não pode existir:

$RV_1 + RV_2$  do lado esquerdo

RV em duas ou mais equações

RV com coeficientes diferente de 1

A seguir, apresentamos os campos para cada tipo de cartão de entrada.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
NAME														HERMANN																								

nomeia o file

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
				Q	B	0	1	0	1					F	Ø	Q	E								C	0	1	0	1										
				Q	B	0	1	0	2					F	Ø	Q	E								C	0	1	0	2										
				:										:										:															
				Q	B	0	2	0	1					F	Ø	Q	E								C	0	2	0	1										
				Q	B	0	2	0	2					F	Ø	Q	E								C	0	2	0	2										
				:										:										:															
				Q	B	0	3	0	1					F	Ø	Q	E								C	0	3	0	1										
				:										:										:															
				:										:										:															
				Q	B	(1)								F	Ø	Q	E								C	(1)	(J)												

definem  $FØQE = \sum_{k=01}^L \sum_{m=01}^J C_{k,m} QB_{k,m}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
				Q	B	0	1	0	1					D	M	A	0	1										1	.	0									
				Q	B	0	2	0	1					D	M	A	0	1											1	.	0								
				:										:													:												
				Q	B	(1)	0	1						D	M	A	0	1											1	.	0								
				Q	B	0	1	0	2					D	M	A	0	2											1	.	0								
				:										:													:												
				:										:												:													
				Q	B	0	1	(J)						D	M	A	(J)												1	.	0								
				:										:												:													
				Q	B	(1)	(J)							D	M	A	(J)												1	.	0								

definem  $\sum_{k=01}^L QB_{k,m} = DMA_m \quad p/m= 01, \dots, J$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39			
				Q	B	0	1	0	1					B	0	1												1	.	0											
				Q	B	0	1	0	2					B	0	1												1	.	0											
				⋮										⋮														⋮													
				Q	B	0	1	(J)						B	0	1												1	.	0											
				Q	B	0	2	0	1					B	0	2												1	.	0											
				⋮										⋮														⋮													
				⋮										⋮														⋮													
				Q	B	(1)	(J)							B	(1)													1	.	0											

$$\sum_{m \neq 01}^J QB_{k,m} = B_k \quad p/k = 01, \dots, L$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
	L	B		H	E	R	M	A	N	N				Q	B	0	1	0	1									0	.	0										
	⋮			⋮										⋮														⋮												
	L	B		H	E	R	M	A	N	N				Q	B	0	1	(J)										0	.	0										
	⋮			⋮										⋮														⋮												
	⋮			⋮										⋮														⋮												
	L	B		H	E	R	M	A	N	N				Q	B	(1)	(J)											0	.	0										

$$QB_{k,m} \geq 0$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
	L	B		H	E	R	M	A	N	N				B	0	1												0	.	0										
	⋮			⋮										⋮														⋮												
	⋮			⋮										⋮														⋮												
	⋮			⋮										⋮														⋮												
	L	B		H	E	R	M	A	N	N				B	(1)													0	.	0										

$$B_k \geq 0$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39			
U	B		H	E	R	M	A	N	N						B	O	L								*	*	*	*	*	*	*	*									
U	B		H	E	R	M	A	N	N						B	(	L)									*	*	*	*	*	*	*									

$B_k$  .....  $p/k = 01, \dots, L$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39			
F	X		H	E	R	M	A	N	N						D	M	A	O	L							*	*	*	*	*	*	*									
F	X		H	E	R	M	A	N	N						D	M	A	(	j	)						*	*	*	*	*	*	*									

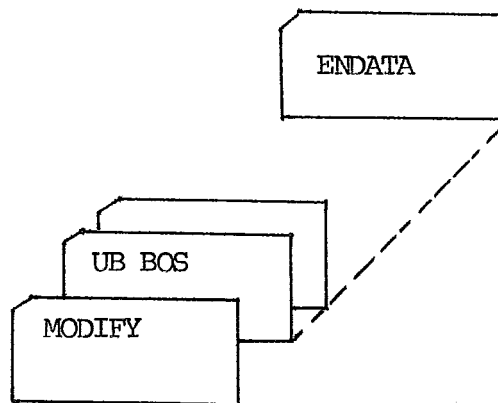
$DMA_m = \dots$   $p/m = 01, \dots, J$

Essa forma de entrada do modelo é padrão para o LPS. Temos ainda a possibilidade de inserir um cartão que indica uma variável livre.

### 2.2.3 Entrada da Programação 0.1

Como não tínhamos necessidade de usar penalidades e também investimentos, <sup>podemos</sup> podemos introduzir a inteiro 0-1 usando somente o cartão MODIFY.

Poderíamos fazer um programa Fortran que lê-se os resultados, compara-se, e entra-se com cartões MODIFY. Isto porém em se tratando de um problema com poucas fontes torna-se mais dispendioso que uma análise manual. Optamos pela última e após a análise, introduzimos o "grupo" de cartões Modify, como segue.





#### 2.2.4 Análise do Out-Put

Seria interessante saber-se quais as possibilidades de análise da saída do LPS. Porém por comodidade do leitor que já está com o nosso problema "quente" na cabeça, analisaremos o out-put do nosso trabalho. Isso porém será feito no capítulo "Análise dos Resultados".

#### 2.2.5 Comentários

Nada falamos a respeito de cartões controle e muito menos do programa gerador de dados.

Todos os detalhes, cremos, podem ser vistos e entendidos na apresentação anexa da listagem do trabalho.

Foi usado o fortran básico e os cartões de controle necessários ao LPS e ao DOS.

## Capítulo 3

### OBTENÇÃO DE DADOS

- 3.1 Códigos
- 3.2 Preço do produto colocado na base
- 3.3 Custo de Operação da base
- 3.4 Custo de Frete Total
- 3.5 Produção das bases
- 3.6 Demanda dos aeroportos

3.1 CÓDIGOS

Em face a utilização do LPS usaremos por facilidades o código abaixo. Foram clasificados alguns aeroportos e bases que só trabalham com AVGAS e não com AVJET. Isso deverá ser considerado para que futuros trabalhos nos venham a confundir o leitor e usuário.

CÓDIGO

<u>Base</u>	<u>Cia</u>	<u>LPS</u>	<u>Aeroporto</u>	<u>Cia</u>	<u>LPS</u>
Manaus	-	01	Ponta Pelade	5625	01
Miramar	5958	02	Val de Cans	5635	02
Itagui	-	03	Carolina	5631	03
Mucuripi	5959	04	Pinto Martins	5624	04
Recife	5912	05	Teresina	5630	05
Salvador	5960	06	Guararapes	5620	06
B.Horizonte	5913	07	Palmares	5622	07
Ilha do Gov.	5932	08	Dois de Julho	5615	08
Ipiranga	5936	09	Ilheus	5621	09
Santos	5979	10	B.J. da Lapa	5612	10
Paulínea	5966	11	Pampulha	5623	11
Esteio	5924	12	Brasilia	5663	12
Anápolis	5903	13	Galão	5617	13
C. Grande	5917	14	S.Dumont	5629	14
			Jacarepagua	5651	15
			Campo dos Afons.	-	16
			Goiaberas	5618	17
			S.J.dos Campos	5674	18

	<u>CÓDIGO</u>	
<u>Aeroporto</u>	<u>Cia</u>	<u>LPS</u>
Congonhas	5665	19
Afonso Pena	5660	20
Viracopos	5679	21
Uberaba	5676	22
Goiania	5668	23
P.Nacional	5673	24
Cuiabá		25
Londrina	5671	26
Pirassinunga	5672	27
S.J.do Rio Preto	5675	28
Salgado Filho	5627	29
Itajai	5638	30
Florianopolis	5669	31
Erechim	5616	32
S.Maria	5680	33
Gravatá	5619	34
Foz do Iguaçu	5667	35
Fregues S.Luiz	5632	36
Fregues C.Grande	5664	37

### 3.2 PREÇO DO PRODUTO COLOCADO NA BASE

Sabe-se que o preço faturado pela Petrobrás , é de Cr\$ 0,507/litro.

Não consideraremos o produto com Duty Free.

Esse preço é o mesmo para todas as bases, a menos de BIP. Em Ipiranga (BIP) temos que acrescentar o custo de transferência por caminhão-tanque, custo este não ressarcido pela Petrobrás.

temos :

Transferência Paulínea - BIP - Cr\$ 25,43/m<sup>3</sup>

Transferência Santos - BIP - Cr\$ 25,00/m<sup>3</sup>

Passaremos portanto (como realmente acontece) a definir o custo do produto colocado na base de Ipiranga como

$$CPB_{BIB} = 0,507 \times 1000 + 25,00 = 507,00 + 25,00 = \text{Cr\$ } 532,00/\text{m}^3$$

Para as demais bases o custo será Cr\$ 507,00/m<sup>3</sup>

ou seja :  $CPB_{kEK} = \text{Cr\$ } 507,00$

onde  $Z = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12$

\* Temos porém em algumas bases um valor diferente para o produto colocado, devido a custos de bombeamento. Esses custos porém, achamos mais interessante coloca-los em  $COB_k$ .

### 3.3. CUSTO DE OPERAÇÃO DA BASE

São esses, os valores cuja obtenção precisa é a mais difícil.

Sugere-se um estudo mais aprofundado para obtenção real dos mesmos.

Para o nosso problema, em particular, não havia muita necessidade de uma precisão grande, porém para futuros estudos isto certamente será imprescindível.

Com a utilização do relatório de despesas e receitas das bases (CARE) construiu-se varios gráficos, na tentativa de descobrir alguma relação que nos fosse útil na determinação desses custos.

Os gráficos construidos foram :

- custo de movimentação x movimentação
- despesa de manuzeio x despesa de administração
- custo de movimentação x despesa de manuzeio
- despesa de manuzeio x total de despesas

em todos despresamos os custos e as movimentações com terceiros.

Como não se obteve algum resultado positivo para comparação e relação decidiu-se retirar os valores do projeto "Tarifas". Utilizamos os valores relativos a coluna "Despesa de Manuzeio" e ao grupo 23 (quando não existia grupo 23 trabalhou-se com o grupo 21), pela semelhança de operações, etc. Em bases de companhias congeneres onde operamos, foi usado como custo operacional e valor da taxa de operação paga áquelas.

A seguir apresentamos o quadro resultante da nossa pesquisa.

NOTA : 1) Tanto CARE como "Tarifas" os valores foram do 1º semestre de 74.

Entretanto as taxas pagas foram retiradas de tabelas elaboradas em 1973, para vigencia 1974, no primeiro semestre.

<u>BASE</u>	<u>COBk</u>
Cr\$/m3	
01 Manaus	4,20
02 Miramar	4,10
03 Itagui	3,90
04 Mucuripi	9,14
05 Recife	9,24
06 Salvador	3,38
07 B. Horizonte	1,82
08 I. Governador	2,93
09 Ipiranga	6,45
10 Santos	6,54
11 Paulinea	2,00
12 Esteio	2,43

O valor de COB para Miramar foi obtido por aproximação.  
 - já estão considerados custos de bombeamento.

### 3.4 CUSTO DE FRETE TOTAL

O levantamento desses custos foi trabalhoso e extremamente demorado.

Inicialmente possuíamos o frete total para um número reduzido de rotas, dados estes já em utilização para rotas atualmente utilizadas.

#### 3.4.1 "Matriz de Distancias"

A primeira providencia foi construir uma matriz de distancia (ver 1.4 i i i )

As distancias foram obtidas por somatória de distancias pequenas, do mapa rodoviario da revista quatro rodas.

O estado de cada rota foi verificado em mapas oficiais fornecidos pelo DNER.

Para rotas iniciando ou findando em Manaus considerou-se distancia  $\infty$  (anexo 1).

### 3.4.2 "Frete unitarios"

Não existe um único frete unitário para cada base. Isso nos obrigou a escolher "fretes unitários" por base por direção seguida.

De algumas bases para algumas direções, não possuíamos nenhuma indicação do frete.

Um outro fato que deve ser ressaltado é que, de posse da matriz de distancia, com a indicação do trecho de cada rota sem asfalto, acrescentamos percentagens variadas, porém estudadas, para o cálculo do frete.

Não convém discutirmos isso em detalhes pois, como cada caso foi visto separadamente, isso iria nos tomar muito tempo desnecessariamente.

### 3.4.3 " Frete Total "

Não chegamos a construir uma matriz de frete unitário pois achamos mais simples montar diretamente a matriz final de frete.

Para cada caso fizemos :

- ou 1) um frete já utilizado
- 2) uma regra de tres com um frete já conhecido
- 3) uma inversão de direção da rota.

Para rotas começando ou terminando em Manaus, consideramos o valor 999.99 para representar  $\infty$



3.5 PRODUÇÃO DAS BASES

Como já falou-se em 1.3.2 o limite de Bk será dado por  $EU_k \cdot \frac{1}{TCK} - DF_k$

Sabe-se que a armazenagem que se possui é a seguinte:

<u>BASE</u>	<u>TANQUE</u> (m3 )	<u>ARQUEAÇÃO</u> (m3 )	<u>SEGURANÇA</u> (m3 )	<u>OPERACIONAL</u> EUK ( m3 )
Manaus	-----	-----	-----	800
Miramar	1200	1207	1146	1112
Itagui	-----	-----	-----	200
Mucuripi	1300	1307	1241	1203
Recife	3000	2978	2829	2744
Salvador	1150 (em construção)			= 1058
B.Horizon.	(direto da Petrobras) não tem limite			
I. Governador	9000	8623	8191	(7945-500)= 7445
Ipiranga	1200	1205	1144	1109
Santos	6265	6238	5900	5196
Paulinea	1575 (dobrarã até final do ano)			1449
Esteio	2400	2356	2238	2171

-Obtenção do tempo entre chegadas -

Foi feito em conjunto com outro trabalho ( e por isso não é aqui apresentado) um levantamento de duas fitas de movimentação de produto que nos dão data de chegada, volume chegado do produto e volume de saída.

Da listagem que se obteve apresenta movimentação utilizamos os dados de janeiro 74 a julho.

Esta listagem foi obtida por uso do Mark IV do qual faremos.

Após seleção manual dos valores que deveriam ser considerados obtivemos os seguintes números para Tck.

Tempo (dias)      Tempo (dias)      Tempo (dias )

BASE	MÍNIMO	MÉDIO	MAXIMO
Manaus	4	7	28
Miramar	2	16	41
Itagui	2	16	41
Mucuripi	6	28	37
Recife	4	25	38
Salvador	1	5	15
B.Horizonte	5	20	42
Ilha Governador	2	11	19
Ipiranga	1	6	21
Santos	1	4	25
Paulinea	1	5	15
Esteio	4	15	28

De algumas bases não possuímos o tempo entre chegadas.

Isso nos obrigou a utilizar os mesmos valores de outras bases com característica semelhante. Assim

Itagui ←———— Miramar  
 Manaus ←———— Esteio  
 Salvador ←———— Paulinea

A demanda por fregues foi obtida de um levantamento por Mark IV (o mesmo para DMAm , de que falaremos adiante( de fitas de venda de fevereiro a maio de 1974).

Da listagem obtida foram extraídos os dados de  $DF_k$  .

	<u>BASE</u>	<u>DFk (m3/semana)</u>
02	Miramar	10,50
04	Mucuripi	21,90
08	Ilha Governador	0,67
09	Ipiranga	37,50

De posse de todos esses valores calculamos os valores limites de produção de cada base.

<u>BASE</u>	<u>Limites Superiores (m3/semana)</u>		
	<u>MÍNIMO</u>	<u>MÉDIO</u>	<u>MAXIMO</u>
01 Manaus	201.00	800.00	1400.00
02 Miramar	191.00	473.50	3892.00
03 Itagui	35.00	87.50	700.00
04 Mucuripi	227.00	279.00	1403.00
05 Recife	504.00	763.00	4802.00
06 Salvador	493.00	1477.00	7406.00
07 B.Horizonte			
08 I. Governador	2744.00	4739.00	26061.00
09 Ipiranga	371.00	1295.00	7763.00
10 Santos	1456.00	9096.00	36.372.00
11 Paulinea	735.00	2205.00	11.025.00
12 Esteio	546.00	1015.00	3801.00

Devemos notar que o limite superior máximo, médio e mínimo correspondem a menor, média e maior frequência de chegada do produto nas bases.

O leitor deve estar, certamente, desorientado quanto ao porque do m3/semana.

Escolheu-se trabalhar com semana como unidade de tempo pois :

- 1) Nenhuma tempo entre entradas do produto nas bases chega a 1 mes e tão pouco a 1 dia.
- 2) Por experiência adquirida, e por análise do comportamento da demanda, feita sobre a listagem do Mark IV sobre fita de vendas.

### 3.6 DEMANDA DOS AEROPORTOS

Os valores de demanda dos aeroportos foi obtido (assim como  $DF_k$ ) através da listagem, out put de um programa de Mark IV sobre as fitas (de vendas de fevereiro março, abril, maio de 1974).

NOTA : Sobre Mark IV faremos no Anexo II

Inicialmente usando normalmente Mark IV obtivemos um mapeamento das vendas, o qual tornava uma análise comportacional da demanda, muito demorada.

Com a utilização, porém, de um "campo temporário" conseguimos um resultado bem mais aceitavel e de mais facil observação (vide anexo II).

Após exaustiva analise chegou-se a conclusão que a demanda, apesar de diariamente ter grande variação, semanalmente se mantinha razoavelmente estável, ao ponto de se poder facilmente representa-la por um valor médio.

Os valores obtidos médios para as demandas dos aeroportos são :

	<u>AEROPORTO</u>	<u>DMAm (m3/semana)</u>
01	Ponta Pelada*	600.00
02	Val de Cans	359.52
03	Carolina	15.92
04	Pinto Martins	185.55
05	Terezina	56.71
06	Guararapes	534.05
07	Maceio+Marimbondo	5.17
08	Dois de Julho	247.81
09	Ilheus	30.50
10	B.J.da Lapa	8.67
11	Pampulha	29.38
12	Brazilia	633,53
13	Galeão	4006.60
14	Santos Dumont	227.24
15	Jacarepagua	0.00
16	Campos dos Afonsos	0.00
17	Goiaberas	93.57
18	S.J.dos Campos	13.79
19	Congonhas	1342.56
20	Afonso Pena	103.68
21	Viracopos	477.97
22	Uberaba	18.52
23	Goiania	9.55
24	Porto Nacional	12.62
25	Varzea Grande	3.78
26	Londrina	24.34
27	Pirassinunga	67.92
28	S.José do Rio Preto	0.00
29	Salgado Filho	509.52
30	Itajai	43.79
31	Florianopolis	87.76
32	Erechim	0.00
33	Santa Maria	0.00

AEROPORTODMAm (m3/semana)

34	Gravatá	0.00
35	Foz do Iguaçu	89.96

\*O valor 600.00 já é resultado de um novo contrato de fornecimento, assinado pela companhia.

- Limites inferiores -

Usamos, para as variáveis, a não negatividade como fator de limitação inferior

ou seja

$$B_K \geq 0 \quad Q_{B_{km}} \geq 0 \quad p/k = 1, \dots, L$$

$$p/m = 1, \dots, J$$

No entanto poderíamos utilizar o valor, de volume, do reboque de menor capacidade como limite inferior; e melhor ainda, alocando os caminhões em cada base e dando então os limites. Isso não só é extremamente trabalhoso como, em se tratando de semana, não influenciável.

## Capítulo 4

### RESOLUÇÃO COMPUTACIONAL

- 4.1 Introdução
- 4.2 Sequência de experimentos
- 4.3 Quadro Técnico
- 4.4 Aplicação da programação 0-1

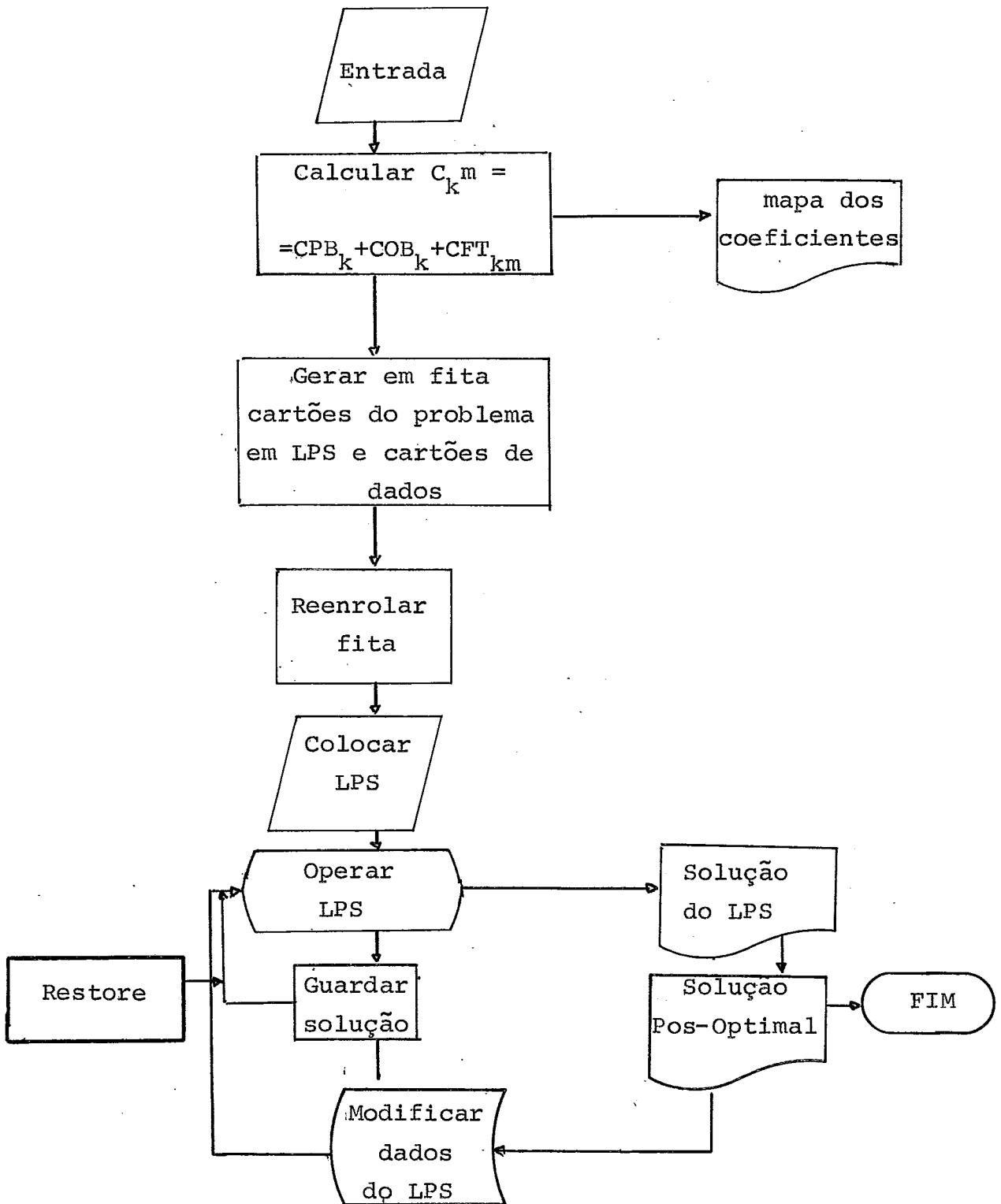
#### 4.1 INTRODUÇÃO

O que se fez e já se torna comum pela facilidade que oferece, foi a geração dos dados e cartões necessários ao LPS.

Essa geração foi feita em Fontran básico.

Em geral o programa era o seguinte :





Para usarmos a geração do problema, modificamos a forma do modelo ficando este :

$$\text{minimizar} \quad \text{FOQE} = \sum_{k=01}^L \sum_{m=01}^J C_{k.m} \cdot \text{QB}_{k.m}$$

sujeito a

$$1) \text{DMA}_m = \text{VDM}_m \quad (\text{VDM}_m = \text{valor da demanda})$$

$$2) \sum_{k=01}^L \text{QB}_{k.m} = \text{DMA}_m \quad p/m= 0,1 \dots \dots \dots , J$$

$$3) B_k = \sum_{m=01}^J \text{QB}_{km} \quad p/k= 0,1 \dots \dots \dots , L$$

$$4) B_k \leq \text{VLD}_k \quad (\text{VLD}_k = \text{valor limite})$$

$$5) \text{QB}_{k.m} \geq 0$$

$$6) B_k \geq 0$$

#### 4.2 SEQUENCIA DE EXPERIMENTOS

Realizamos varios experimentos com o modelo acima (vide 1.6) . Cada experimento é composto de "casos". Cada caso designaremos com uma letra. A sequência é a seguinte (referenciada ao modelo acima.

- Experimento 1 -

Caso a :- não há restrição de produção a menos de  
Manaus

-Custo de Operação das bases, COB= 1.0 para

todas as bases

-Frete - resultado de primeira matriz construída. (matriz construída usando frete unitário por base, igual para todas as direções)

Caso b: -Não há restrição de produção a menos de Manaus

-Custos operacionais das bases COB =1.0 para todas as bases

-Frete - matriz definitiva

Caso c: -Não há restrição de produção a menos de Manaus

-Custos operacionais calculados por base

-Frete - matriz definitiva

- Experimento 2 -

Caso d: -Modêlo completo usando valores médios

Caso e: -Modêlo completo

-Limites superiores para  $B_k$  com  $k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

são os mínimos.

Caso f: -modêlo completo

-fechou-se simultaneamente os pontos de oferta Santos e Belo Horizonte

\* } Caso g: -modêlo completo

-fechou-se Paulínea

Caso h: -modêlo completo

-fechou-se simultaneamente Paulínea e Santos

\* ver programação O-1 (4.4)

## 4.3

QUADRO TÉCNICO

Uma apresentação de detalhes técnicos quanto a fase de computação poderá ser útil ao leitor.

Caso	a	b	c	d	e	f	g	h
bytes memoria	20D6	20D6	20D6	21B2	"	"	"	"
compilação (MIN)	0.56	0.56	0.56	1.00	"	"	"	"
linhas	48	48	48	48	"	"	"	"
variaveis	468	468	468	468	"	"	"	"
elemento coluna	1260	1260	1260	1260	"	"	"	"
limites inferiores	467	467	467	467	"	"	"	"
limites superiores	36	36	36	47	"	"	"	"
nº de	108	108	116	113	+40	+57	113+18	+19
tempo de processo (h)	0.43.92	0.44.02	0.44.14	d+e+f=	1.39.34		d+g+h=	1.35.00

|-----| 1º experimento -----|
|-----| 2º experimento -----|

Outro ponto interessante é : como interage o LPS ou seja o quanto se aproxima o LPS da solução ótima diante do número de interações; e como determina o LPS o fim das interações.

Com o gráfico de valor da função objetivo x número de interações ( a seguir) podemos observar como trabalha o LPS.

Nota-se que o final do número de interações é feito no início do patamar.

Ve-se ainda que o número de interações é bem menor quando se parte de alguma solução viável. Sugere-se que para futuros projetos, determine-se manualmente uma primeira solução, quando possível. (se for um problema real usar a alocação real).

#### 4.4 APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO 0.1

Apos a análise manual do out-put verificou-se que a Base 06 fora trabalhar com menos que 30% de sua capacidade.

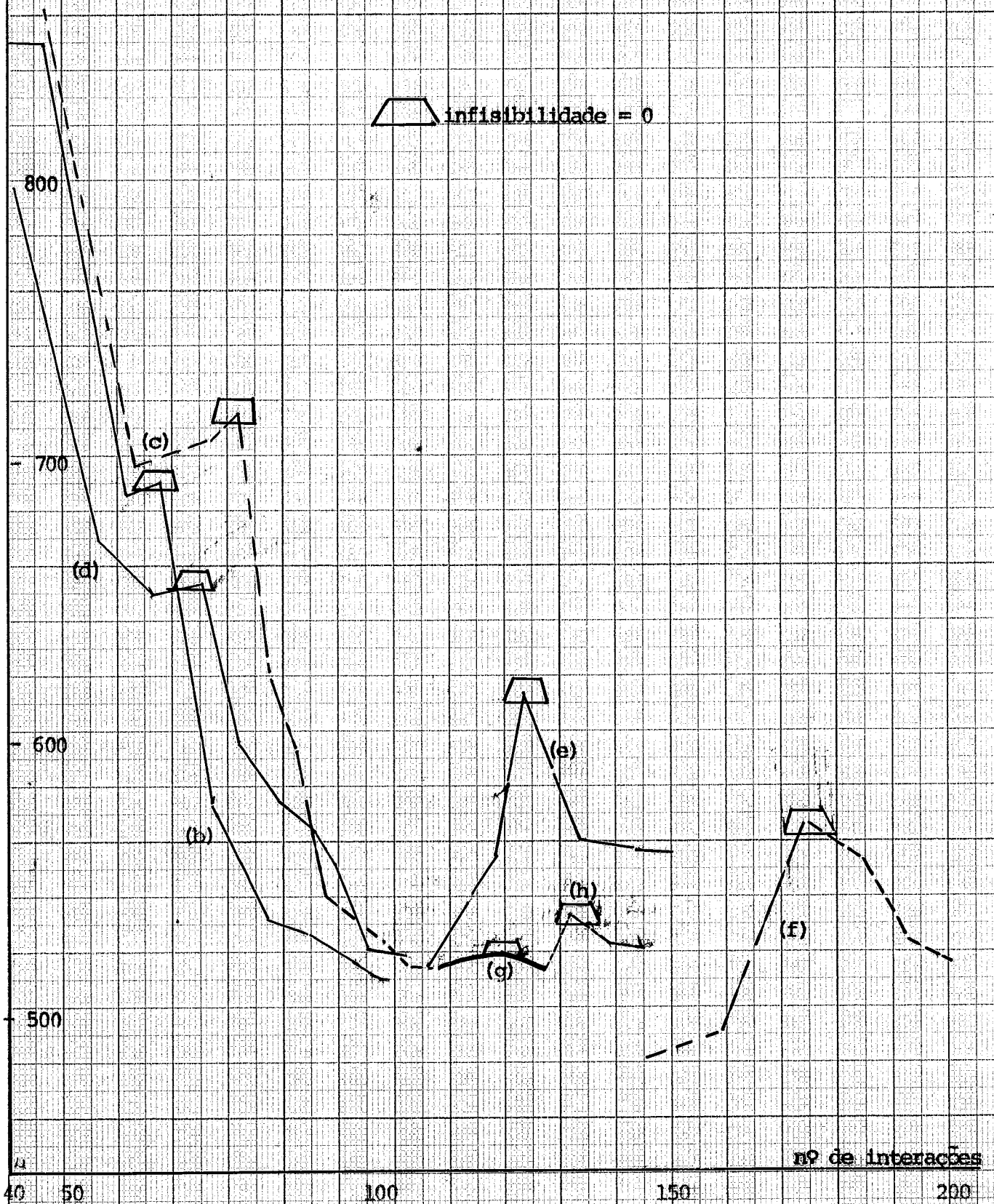
Entrou-se com o "grupo" de cartões MODIFY colocando essa base com movimentação igual a zero ou seja  $B_{06} = 0$ , ou seja eliminamos ou fechamos o ponto de abastecimento 06.

Esse é o experimento i

Da mesma forma operamos para os casos e, f, g, h com o fechamento de alguns de abastecimento. São portanto esses casos também típicos de programação 0.1, porém foram simulados para visualização de distribuições excepcionais, admitindo-se para cada caso a "quebra" de um ou mais pontos de oferta de produto.

valor da função objetivo

infisibilidade = 0

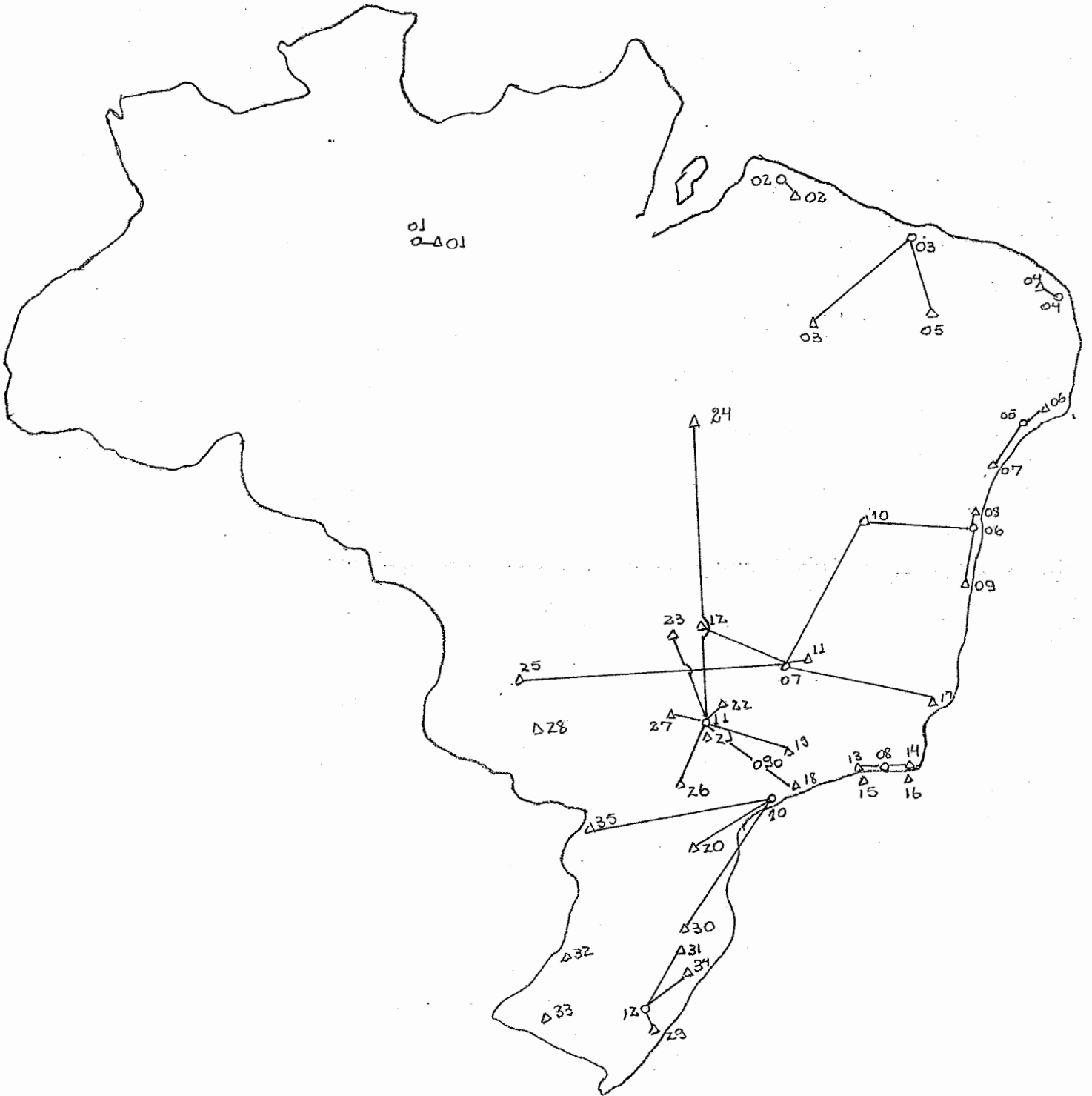


## Capítulo 5

### Análise dos Resultados

- 5.1 Mapas Geográficos com distribuições obtidas
- 5.2 O porque da sequencia de experimentos
- 5.3 Comparações entre rede otima, caso b, e caso c.
- 5.4 Análise dos "mapas" do computador
- 5.5 Análise de sensibilidade

caso a

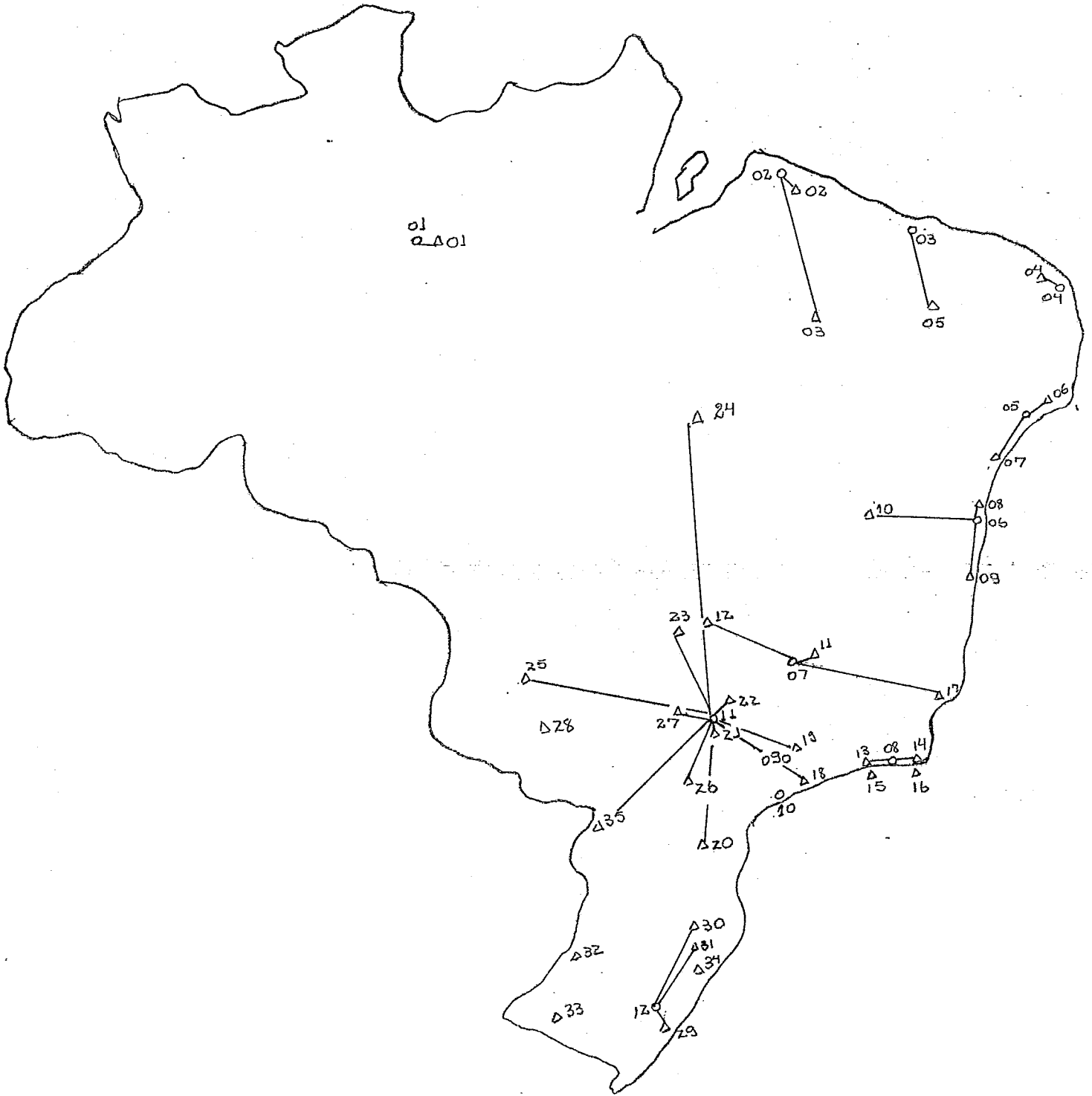




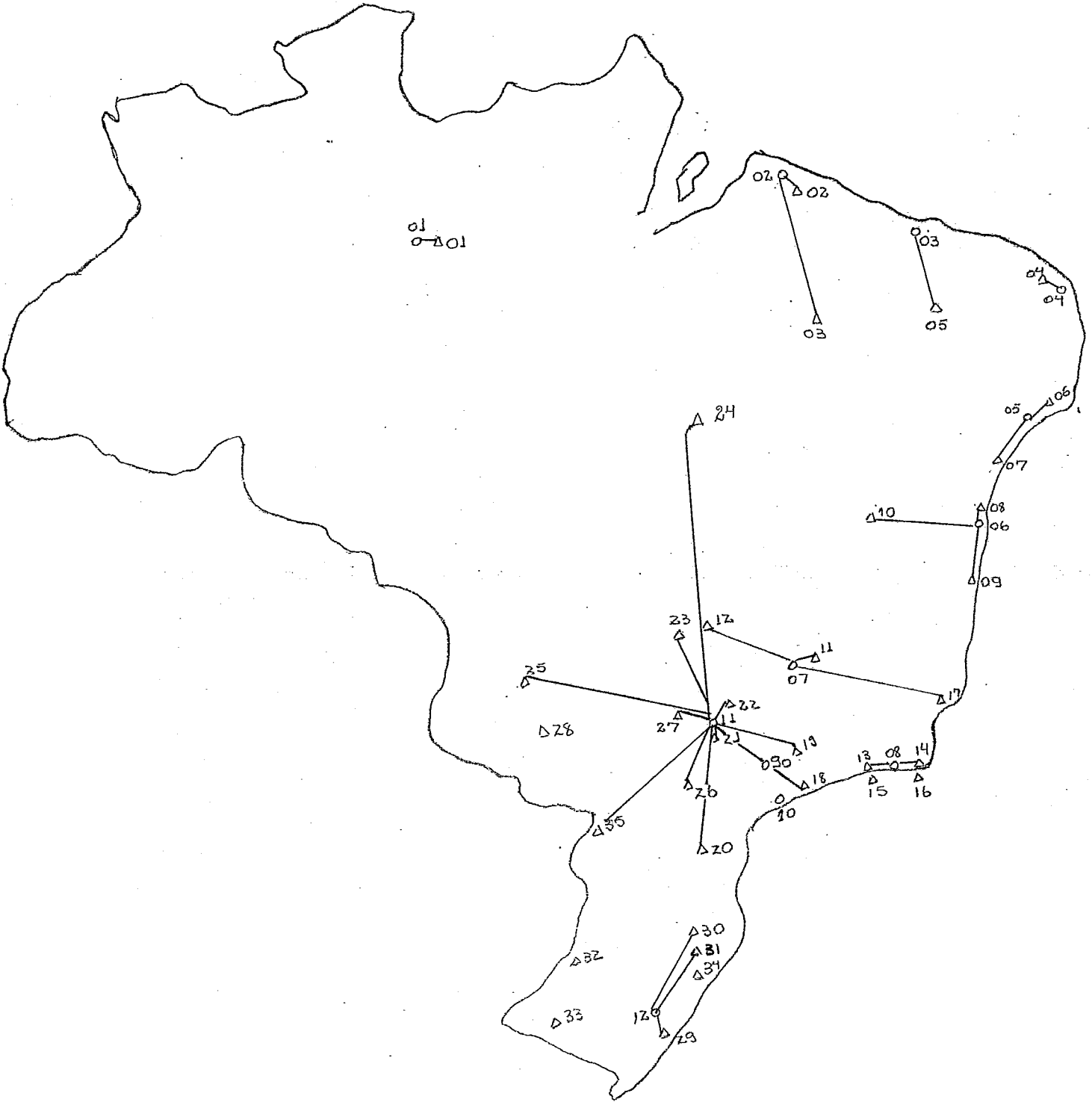
caso b



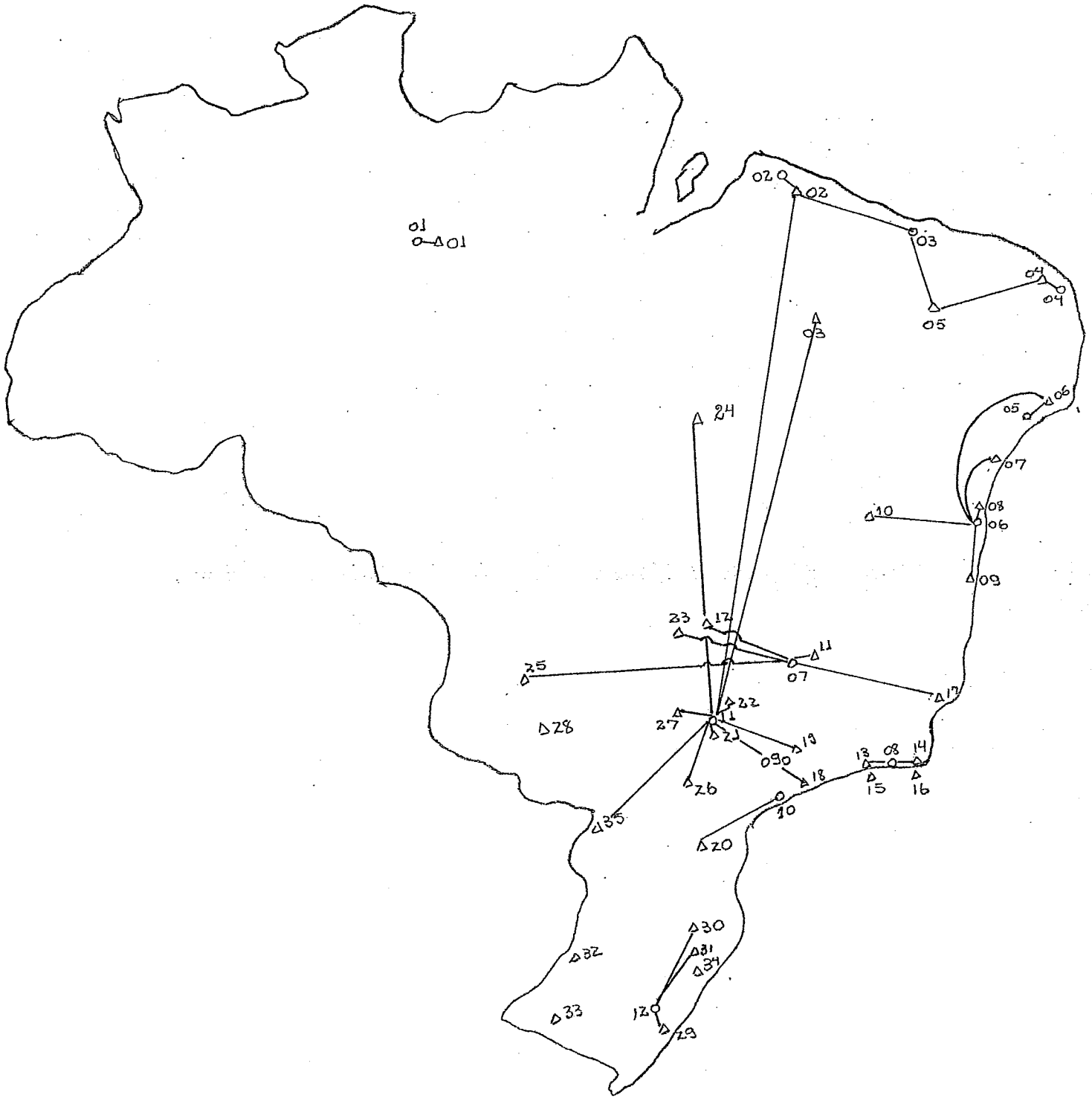
caso c



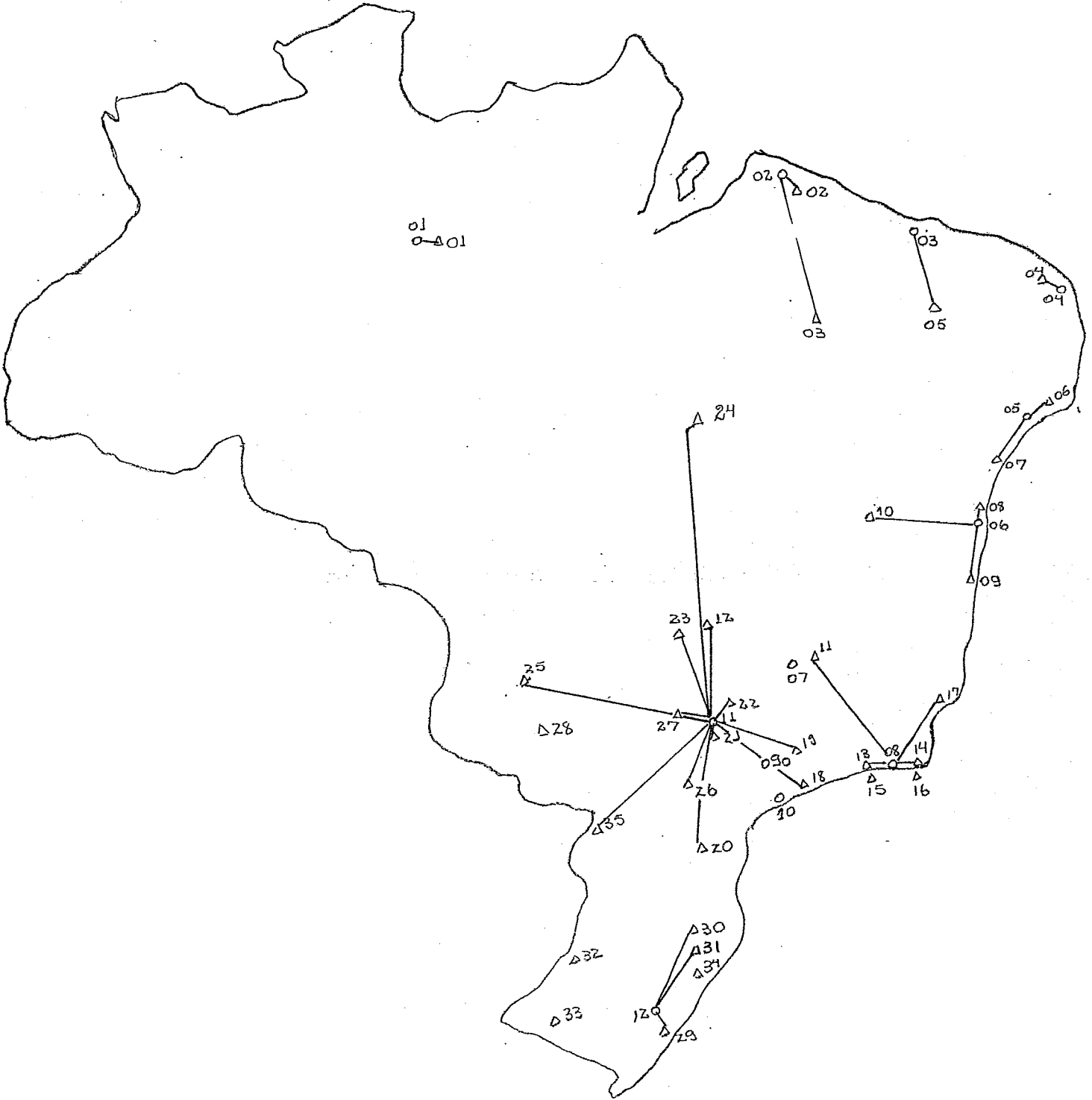
caso d



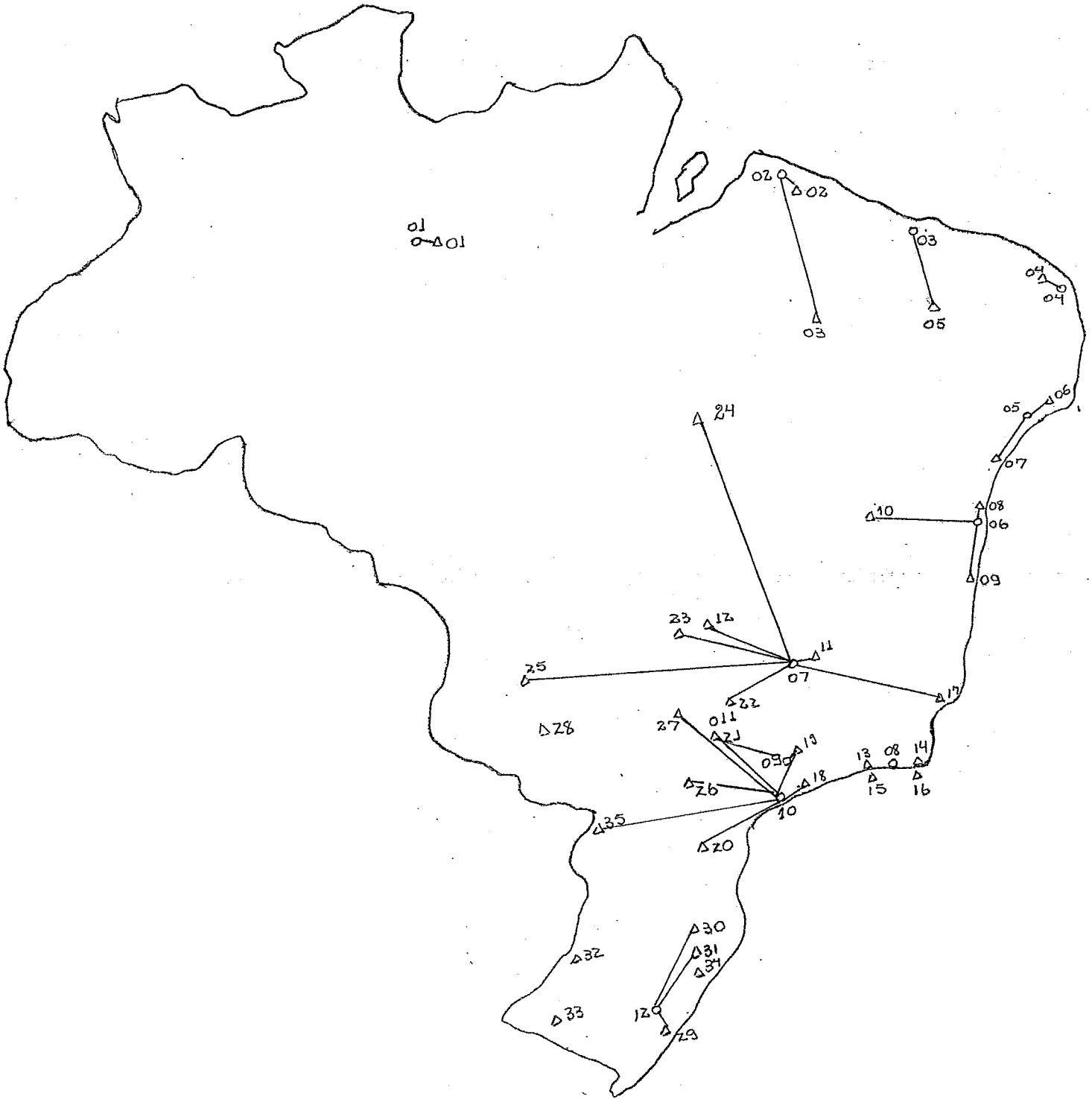
caso e



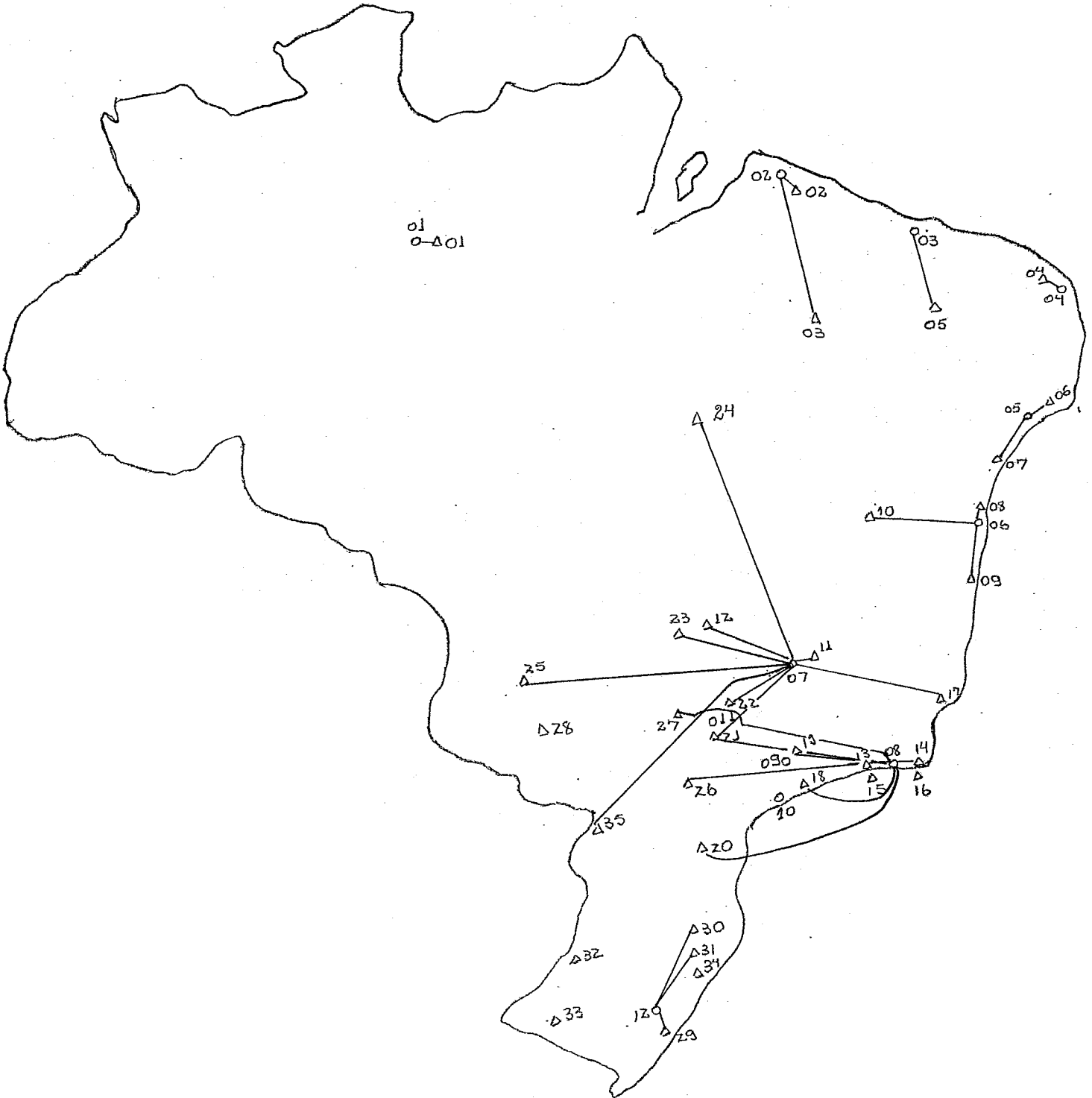
caso f



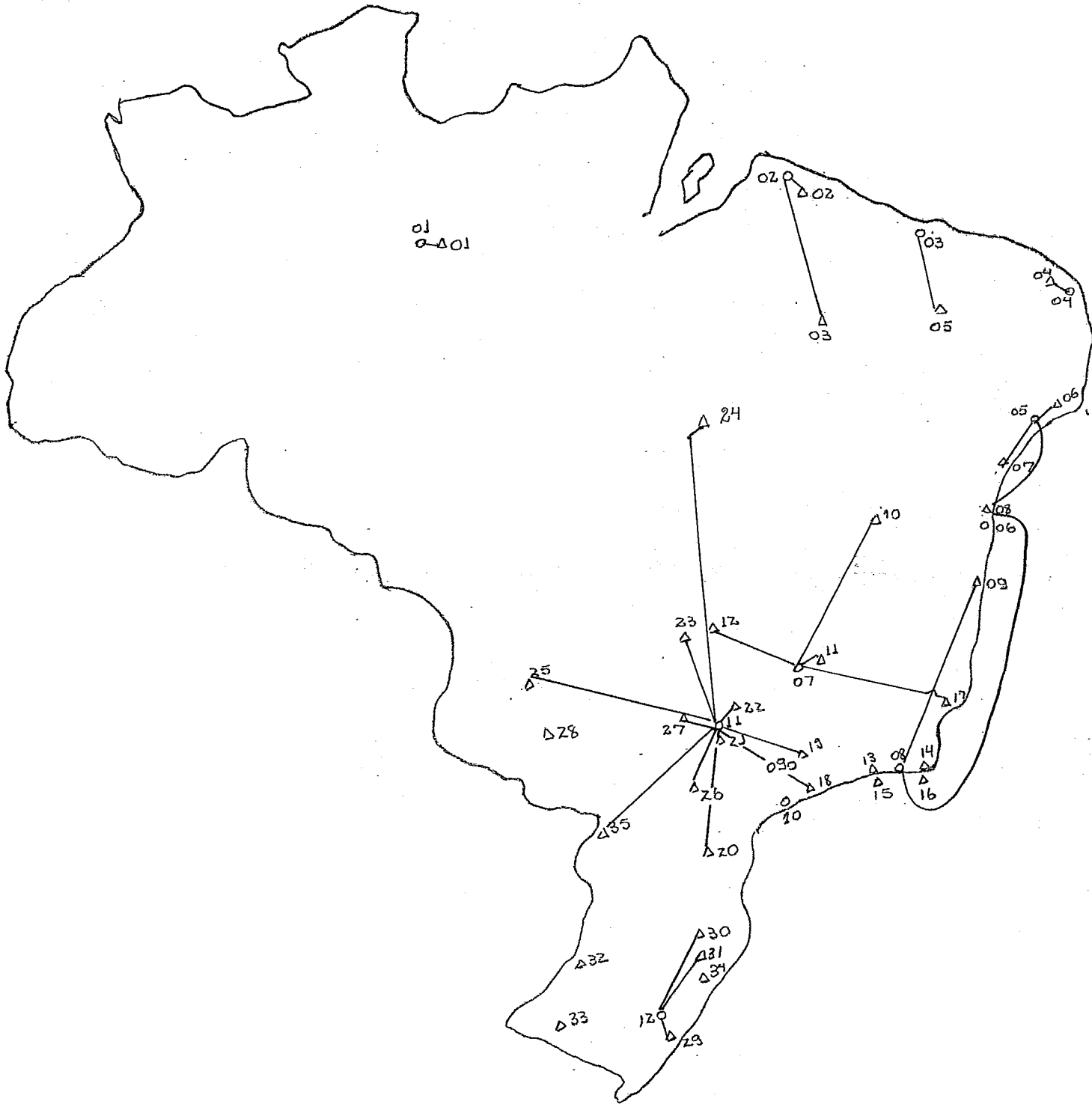
caso g



caso h



caso i





## 5.2 o PORQUE DA SEQUÊNCIA DE EXPERIMENTOS

Em todo trabalho de modelagem com busca de otimização torna-se interessante e extremamente útil, uma análise da sensibilidade de cada parametro ou melhor da influencia de determinado parametro no modelo idealizado.

Foi com vistas a essa analise que realizamos uma sequênça de "casos" dentro de cada experimento. Poderíamos, eventualmente, ter realizado um "caso", anterior ao caso a, onde considerariamos inclusive os fretes unitarios iguais para todas as bases, sobre o caso a. Isso no entanto não só é totalmente inviavel como também, daria, como resultado, apenas a otimização da rede de distancias rodoviaras.

### I) Operando-se caso b contra caso a :

podemos sentir qual a influênça de fretes unitarios por rota.

Os resultados nos indicam que uma tentativa de redução de fretes de Paulinea em direção ao sul do país, seria altamente rendoso.

Nos dizem também que alterações não muito elevadas no norte e nordeste do país não causarão mudanças na matriz de distribuição .

### II) Operando-se caso c contra caso b :

temos uma noção da influênça de diferença entre os custos operacionais das bases.

Sendo esse um dos fatores cuja obtenção com precisão é o mais difícil, torna-se necessária uma comparação mais detalhada a respeito.

Um resultado incrível que se observa é que só uma modificação na rede, é decorrente da aplicação da  $COB_k$  diferentes para cada valor de  $k$ . Essa alteração ocorre no suprimento do PAA 20 que deixa de ser atendido por Santos, passando a ser feito por Paulinea.

Isso mostra que no nosso modelo, pequenas diferenças de custos operacionais não alterarão sensivelmente nosso resultado.

Com esses dois casos chegamos a conclusão que o frete tem uma atuação muito mais importante para o nosso modelo que custos de operação de base. Portanto uma redução no custo com fretes, seria extremamente importante para uma redução nos custos totais.

III) Operando caso c contra caso d :

Nota-se que o  $\sum$  da disponibilidade  $>$   $\sum$  das necessidades ou seja a oferta é maior que a procura no total Brasil.

Percebe-se com esse resultado que para justificarmos a construção de uma nova base, devemos simplesmente comparar investimento contra frete (aqueles aeroportos que irão ser servidos pela nova base), como uma boa indicação.

### 5.2.1 EXPERIMENTO 2

I) Na análise do caso e pode-se verificar a alta sensibilidade da rede às alterações no tempo entre duas entregas, seguidas, de produto às bases do nordeste.

É este o caso de maior custo (como veremos no "Quadro comparativo" 5.3). Portanto devem ser tomadas todas as providencias para um não aumento desse intervalo de tempo.

II) Como resultado ótimo sugeriu o fechamento da Base de Santos, esse modelo mostra quão pequena seria também a influência de um "crack" em Belo Horizonte.

III) Como Pauliêa passará a ser a única responsável pelo abastecimento do maior número de PAA, simulamos o que poderia acontecer com a quebra da mesma; primeiro antes de fechar Santos, segundo com Santos fechado. Nota-se a necessidade de um grande deslocamento de frota, o que poderá alterar o tempo entre chegadas do produto aos PAAs e assim provocar uma falta do produto. Isso pode servir como uma justificativa para a continuação da existência do estoque de reserva em Ipiranga

### 5.3 COMPARAÇÃO ENTRE REDE OTIMA, CASO B, E CASO C

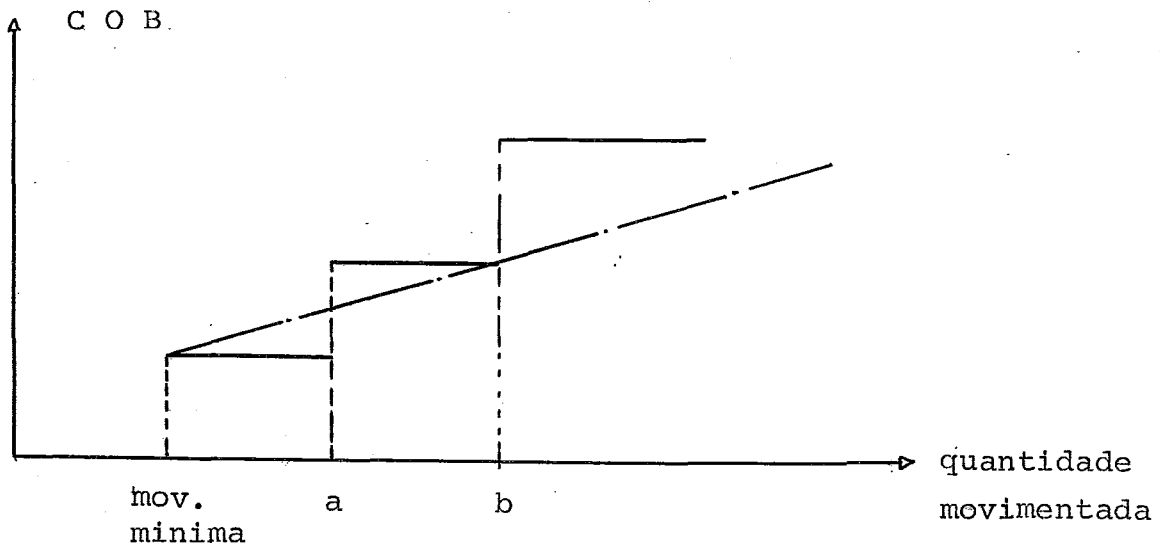
Apresentaremos a seguir uma tabela completa dos custos de cada solução.

Distribuição	Custo total Cr\$/sem	Comparação com ótimo	
		em %	absoluta (Cr\$/sem)
ótimo	5247269		
caso a	5210374	0.70	- 36.895
caso b	5225318	0.42	- 21.951
caso c	5247269	0.00	0
caso e	5726836	9.14	-479.567
caso f	5271095	0.45	23.826
caso g	5288110	0.78	40.841
caso h	5318122	1.35	70.853
caso i	5285480	0.73	38.211

I) Caso ótimo (caso d) contra caso c :

Verificamos, como já foi dito em 5.2 III, que temos uma  $\sum \text{oferta} > \sum \text{demanda}$ . Além disso por análise do "mapa " do out-put, que em nenhum ponto de oferta estamos trabalhando com valor máximo. Poderíamos sugerir se for possível, um aproveitamento desse espaço disponível para armazenagem de outro produto.

Pela tabela acima nota-se que a restrição de oferta não encareceu o custo total. Isso pode não ser totalmente verdade. Nós consideramos um custo operacional COB fixo para qualquer quantidade movimentada. Poderíamos no entanto estar diante de uma curva degrau ou linear e portanto um aproveitamento do espaço não utilizavel poderia significar uma redução nos custos totais.



## II) Caso ótimo contra caso b :

Alem de todos os detalhes dados em 5.2 II devemos acrescentar a influencia, em valor absoluto, que representa um decrescimo do COB.

Considerando-se que mais da metade dos custos totais são devidos a utilização das bases de Paulinea e Rio de Janeiro, uma redução sensível somente nessas duas bases poderia reduzir de forma acentuada, os custos totais.

## 5.4. ANÁLISE DOS "MAPAS DO COMPUTADOR"

### 5.4.1 MAPA DO LP SOLUTION

- Variable - dá o nome das "variáveis" do problema. no nosso caso QB, B, DMA, FOQUE.
- Type - indica se a variable está com seu valor no limite superior (UL), limite inferior (LL) ou outro valor intermediário B \*































































