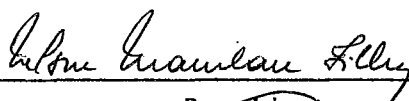



DISTRIBUIÇÃO DE LIVROS : UM MODELO
APLICADO AO CASO DE MINAS GERAIS

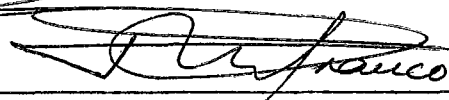
Celso da Silva Rebello

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

À Sandra
Aos Meus Pais
Ao Meu Irmão

AGRADECIMENTOS

Devo manifestar muito mais do que um simples agradecimento ao Professor Nelson Maculan Filho, meu orientador, não só por sua colaboração na confecção deste trabalho como também em diversos outros setores.

Aos Professores Felix Eduardo Vaca Obando e Fernando Martins Franco, por suas valiosas contribuições.

A todos os professores e funcionários da COPPE.

A todos os Órgãos que me prestaram auxílio financeiro.

RESUMO

Neste estudo é desenvolvido um modelo de programação linear juntamente com um sistema de processamento de dados, tendo em vista o fornecimento de uma estrutura mais eficiente para estudos de políticas alternativas relacionadas com os sistemas de transportes do Rio de Janeiro e São Paulo para Minas Gerais e em Minas Gerais.

Do atual estudo constam três seções principais. Na primeira seção é descrito o modelo, na segunda seção é exposto e descrito o sistema selecionado para o processamento por computadores (MPS/360) e na terceira seção é feita uma aplicação experimental com um modelo simplificado e adaptado à disponibilidade de informações a curto prazo, onde foram gerados dados aproximando-se das dimensões do problema e da realidade da região em estudo.

Ao final, é feita uma discussão, onde são apresentadas sugestões e recomendações para futuros estudos.

ABSTRACT

In this study a model is developed, of a linear program together with a system of data processing having the object of obtaining a more efficient structure, for the study of political alternatives, related to transportation systems from Rio de Janeiro and São Paulo to Minas and also inside Minas Gerais.

The present study is divided into three section : the first describes the model, the second shows and describes the system which is selected for processing by MPS/360 computers, and the third section makes a experimental application with a simplified model which is adopted for availability of information in a short period of time, where data are created more similar dimensions to the problem and also to the actuality of the area being studied.

At the end a discussion is presented, where suggestions and recommendations are made for future studies.

I N D I C E

	Página
Introdução	1
I - O Modelo de Programação Linear de Transporte	2
1. Considerações Iniciais	2
2. Estrutura do Modelo de Programação Linear de Transportes	4
3. Simbologia Utilizada na Descrição do Modelo	7
4. O Modelo como Instrumento de Estudo de Políticas Alternativas de Transporte	9
5. Um Modelo Simplificado	11
II - Sistema de Processamento	13
1. Considerações Iniciais	13
2. Descrição do Sistema MPS/360	13
2.1. Apresentação dos Dados	13
2.2. Resultados	14
2.3. Análise de sensibilidade	14
2.4. Utilização de Procedimentos para Preservação da Base	14
2.5. Declarações de Linguagem de Controle	15
2.6. "PROCEDURES" do MPS/360	16
2.7. Formato e Organização dos Dados	18
2.7.1. Dados para CONVERT	20
2.7.2. Organização do "DECK" de Dados para CONVERT	29
2.7.3. Dados para REVISE	30

2.8.	Limitações e comportamento do MPS	33
2.9.	Programa Gerador	33
III	- Aplicação Experimental	35
1.	Apresentação	35
2.	Procedimento	37
2.1.	Definições dos Pólos e Regiões Polares	37
2.1.1.	Determinação da hierarquia dos polos e suas áreas de influência, usando a análise de fluxo	37
2.1.2.	Determinação Prática dos polos econômicos e de suas áreas de influência	40
2.1.2.1.	Formulação Prática	40
2.2.	Determinação da Frota	45
2.2.1.	Procedimento	45
2.2.2.	Aplicação	47
2.2.2.1.	Frota Rodoviária	48
2.2.2.2.	Frota Ferroviária	49
2.3.	Determinação das Curvas de Fretes	53
2.3.1.	Dados	54
2.3.1.1.	Fretes Ferroviários	54
2.3.1.2.	Fretes Rodoviários	59
2.3.2.	Procedimento Utilizado	61
2.3.3.	Resultados	62
2.3.3.1.	Para veículos Ferroviários	63
2.3.3.2.	Para veículos Rodoviários	65

2.4.	Geração das Produções e Consumos por Região Polar, do Produto Selecionado	67
2.4.1.	Dados de Produção	67
2.4.2.	Geração dos dados de consumo	67
2.5.	Processamento	68
2.5.1.	Descrição do Problema	68
2.5.2.	Dados Utilizados para Execução do Problema	69
3.	Resultados	87
4.	Análise dos Resultados	90
IV	- Discussão	92
V	- Anexo	99
VI	- Bibliografia	96

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo o estudo para concepção de políticas alternativas de transporte, o qual sugere um modelo matemático que torne possível a definição de uma política de transportes para a região em estudo.

A uma primeira etapa de análise do modelo de programação linear, segue-se a de teste com dados simulados e em reduzida dimensão. Faltava ainda processar o modelo com informações mais próximas da realidade e em sua real dimensão.

Devido à aplicação experimental, foram desenvolvidas não só metodologias de longo prazo, que implementadas permitirão o levantamento de quase todas as informações necessárias, como também procedimentos a curto prazo, tendo em vista uma rápida geração destas informações que possibilitasse o imediato processamento do modelo. A importância neste modelo desenvolvido, consiste na sua flexibilidade como instrumento de decisão sobre políticas alternativas de transporte na medida em que, através da utilização das técnicas de análise de sensibilidade torna-se possível:

- comparar a sensibilidade da solução ótima às variações decorrentes de tendências naturais de comportamento ou de imposições de políticas econômicas.

- antecipar as consequências de modificações nos valores assumidos pelos parâmetros do sistema, como resultado da adoção de políticas alternativas de transportes;

- guiar políticas de investimento e incentivos definindo prioridades ao comparar as capacidades de respostas expressas em termos de redução de custos de transportes.

I - O modelo de programação linear de transportes

1 - Considerações iniciais

Para formulação inicial, além de considerar-se as restrições de dados e informações, foram feitas observações com relação às limitações computacionais, isto é, à capacidade disponível para processar todas as alternativas de combinação de polos e meios de transporte.

O sistema representado no modelo de programação linear.

Pode-se afirmar que qualquer sistema que se compromete a estruturar ou representar, é dependente e faz parte de um sistema de maior dimensão, e que outros sistemas de menores dimensões dependem e são partes do sistema, ou são partes do sistema, que se quer representar. A idéia de dependência de um sistema qualquer, com relação a um sistema de maiores dimensões e dos sistemas menores, com relação ao sistema em estudo, nos leva a crer na existência de um objetivo para cada um e que cada um desses sistemas funciona de maneira a fornecer os resultados objetivados.

O sistema que se está querendo representar, é um sistema de transporte abordado e caracterizado através de modelos matemáticos.

Qualquer sistema pode ser representado por um modelo matemático, mantidas as limitações quer de informações, quer matemáticas ou computacionais.

A função básica de um sistema de transporte é de atender às demandas do produto, considerando as restrições de produção (se este for o caso), custo de transporte, capacidades dos veículos e de demandas.

O modelo matemático define o que está sendo feito ou medido no sistema. Os resultados obtidos pelo modelo seriam os itens de serviços e informações, os quais contribuem para instruir as decisões políticas.

Vários processos, métodos, organizações, etc., são solicitados para a obtenção dos serviços que estão sendo estudados, isto é, as operações de transportes que implicam na utilização de veículos, de uma infraestrutura fixa (redes de transportes) e de uma infraestrutura organizacional.

A região sobre a qual se pretende obter um esquema de distribuição de livros é o estado de Minas Gerais, onde seus polos são considerados apenas polos consumidores, sendo os polos fornecedores os estados da Guanabara e São Paulo.

As operações de transporte não alteram o estado do produto, apenas se encarregam da transferência das cargas no tempo e no espaço.

O sistema que se quer representar para o estudo, evidencia a interligação e a interdependência que existem, de alguma forma, entre os elementos acima mencionados.

Uma operação de transporte de livros, pode ser caracterizada por:

- origem e destino;
- quantidade a ser transportada;
- distância percorrida;
- tempo decorrido.

O custo para que se possa realizar a operação de transporte, é dependente ainda de outros parâmetros de serviço tais como segurança e qualidade.

A formulação de um modelo matemático para o sistema de transporte de livros pode ser, de uma maneira geral, dividida em duas partes:

- formulação da estrutura do modelo;
- acomodação da estrutura do modelo às condições reais do sistema representado.

2 - Estrutura do modelo de Programação Linear de Transportes

O nosso problema inicial é o de determinar a maneira mais eficiente para a distribuição de livros de modo que, nenhum polo fique desatendido e que as limitações de meios de transportes não sejam ultrapassadas. O conceito de eficiência está ligado ao de minimização dos custos de transporte do sistema.

O modelo de programação linear, que é um modelo de programação matemática específico, é composto essencialmente de uma função objetivo e de um conjunto de restrições.

A função objetivo é uma função linear e as restrições são desigualdades e igualdades lineares.

A descrição da estrutura do modelo de programação linear de transportes, exige a definição de alguns conjuntos a saber:

- a) conjunto I: dos polos que produzem os livros;
- b) conjunto J: dos polos que apenas consomem os livros;
- c) conjunto K: dos diferentes meios de transporte, para transportar os livros dos polos $i \in I$ para os polos $j \in J$.

Todos estes conjuntos são finitos.

2.1 - As variáveis do modelo

x_{ijk} = quantidade de livros transportada do polo $i \in I$, para o polo $j \in J$, por meio do transporte do tipo $k \in K$.

2.2 - Função Objetivo

O objetivo é minimizar a função:

$$F.O. = \sum_{ijk} C_{ijk} \cdot x_{ijk}$$

onde C_{ijk} é o custo unitário do transporte de livros para levá-los do

polo $i \in I$, ao polo $j \in J$, por meio de transporte do tipo $k \in K$. O critério de eficiência será o de minimizar a função objetivo (F.O.).

2.3 - Restrições

Antes de fazermos qualquer consideração, suponhamos que todas as variáveis do modelo x_{ijk} , sejam não negativas, isto é, $x_{ijk} \geq 0$.

2.3.1 - Restrições de oferta e demanda

As restrições de oferta e demanda são as seguintes:

$$\sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq QP_i \quad \cdot \cdot \quad i = 1, \dots, m \quad QP_i \geq 0$$

$$\sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m x_{ijk} \geq QC_j \quad \cdot \cdot \quad j = 1, \dots, n \quad QC_j \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^m QP_i \geq \sum_{j=1}^n QC_j \quad n_I = m, n_J = n$$

onde QP_i é a quantidade produzida pelo polo i , QC_j é a quantidade que o polo j consome, e x_{ijk} é a quantidade de livros transportados do polo i para o polo j , por meio de transporte do tipo k .

O número de restrições poderá ser no máximo $n_I + n_J$, onde n_I é o número total de polos que ofertam livros, e n_J é o número total de polos, onde há demanda de livros.

2.3.2 - Restrições de capacidade de veículos

Sejam: TM_{ijk} o tempo médio necessário para transportar livros do polo $i \in I$ para o polo $j \in J$, por meio de transporte do tipo $k \in K$.

CT_k , é a capacidade total efetiva (em m^3) da frota composta por

meio de transporte do tipo $k \in K$;

TU_k , \bar{e} é o tempo de utilização do meio de transporte do tipo k , no período de análise.

Será introduzido o conceito de volume específico virtual.

Cada veículo de transporte, possui uma capacidade máxima em volume e uma capacidade máxima em peso, sendo que nenhuma das duas capacidades pode ser ultrapassada. Admitamos que para cada meio de transporte, a relação entre estas capacidades seja constante e igual a v_k (m^3/ton). Se os livros tem, ao serem transportados pelo veículo do tipo k , um volume específico $v'_k > v_k$ e quisermos transportar Z toneladas de livros; eles ocuparão $Z v'_k m^3$ do veículo; mas se o volume específico dos livros for $v'_k \leq v_k$, ele não estará ocupando Zv'_k , mas sim Zv_k , ou seja, um espaço maior que o correspondente ao seu volume, isto é, o veículo do tipo k terá um espaço vazio.

OBS: 1) $v_k \rightarrow$ volume específico do veículo do tipo k

2) $v'_k \rightarrow$ volume específico dos livros.

Então o volume específico virtual \bar{e} é dado por:

$$v_k = \begin{cases} v'_k & \text{se } v'_k > v_k \\ v_k & \text{se } v'_k \leq v_k \end{cases}$$

Tem-se então, o seguinte grupo de restrições:

$$\sum_{i,j} TM_{ijk} \cdot v_k \cdot X_{ijk} \leq CT_k \cdot TU_k$$

O número de restrições deste grupo, será no máximo n_k , onde n_k é o número total de veículos de transporte.

3 - Simbologia utilizada na descrição do modelo

Conjunto de Índices

I : Conjunto dos polos que ofertam, sendo i , a representação genérica dos seus elementos;

J : Conjunto dos polos onde há demanda, sendo j , a representação genérica dos seus elementos;

K : Conjunto dos tipos de transporte existentes, sendo k , a representação genérica dos seus elementos.

São conjuntos finitos I, J e K. A representação do número de elementos destes conjuntos é respectivamente : n_I , n_J e n_K .

Variáveis de decisão

As variáveis x_{ijk} representarão a quantidade de livros (em toneladas) transportadas do polo i ($i \in I$) ao polo j ($j \in J$), por meio de transporte do tipo k ($k \in K$), durante um período de T anos.

Coeficientes das variáveis

C_{ijk} : custo do transporte de livros por toneladas do polo i ($i \in I$) para o polo j ($j \in J$), por meio de transporte do tipo k ($k \in K$);

V_k : volume específico virtual de livros transportados por meio do veículo do tipo k ($k \in K$);

TF_{ijk} : tarifa de frete por tonelada de livros transportados do polo i ($i \in I$) para o polo j ($j \in J$), por meio de transporte do tipo k ($k \in K$);

d_{ijk} : distância entre os polos i e j , para o transporte de livros pelo veículo do tipo k .

Termos independentes

CT_k : capacidade total efetiva(em metros cúbicos) da frota, formada pelos veículos do tipo k;

TU_k : tempo de utilização do veículo do tipo k, durante o período de análise;

CF_k : capacidade(em tonelada-quilômetro)da frota de veículos do tipo k;

QP_i : quantidade de livros produzida pelo polo i(oferta);

QC_j : quantidade de livros consumida pelo polo j(demanda).

4 - O Modelo como Instrumento de Estudo de Políticas Alternativas de Transporte

Para que se possa usar um modelo de Programação Linear como instrumento de Decisão sobre as Políticas Alternativas de Transporte, seria útil que fossem usadas as Técnicas de Análise de Sensibilidade. Estas Técnicas de Análise de sensibilidade dão ao modelo a versatilidade necessária para uma análise do comportamento do sistema com o tempo, além de antecipar as consequências da adoção de decisões que levem a alterar os valores dos parâmetros do sistema.

Em resumo, teriam as análises de sensibilidade três finalidades a saber:

i) Avaliar a sensibilidade da solução ótima devido às variações dos parâmetros, originários de tendências naturais de comportamento ou de imposições de políticas econômicas;

ii) Encaminhar uma decisão à proporção que antecipam as consequências de alterações nos valores dos parâmetros do sistema, como resultado da adoção de políticas alternativas de transporte;

iii) Orientar políticas de investimento e incentivos, definindo prioridades ao confrontar as capacidades de respostas expressas em termos de redução de custos de transportes.

Note que na realidade, a aplicação das referidas técnicas é equivalente a empregar utilmente o modelo como de simulação.

Os diferentes tipos de análise de sensibilidade são apresentados abaixo.

Análise de Sensibilidade dos Parâmetros da Função Objetivo

Após tomar conhecimento da solução ótima, por ter empregado a técnica de programação linear ao modelo, seria de utilidade proceder a uma análise de

sensibilidade dos parâmetros da função objetivo, para se verificar que efeito este procedimento provocaria na solução ótima.

Na realidade o que se faria, seria uma simples parametrização da função objetivo. Poder-se-ia, por exemplo, verificar qual era o intervalo de variação de um determinado custo unitário para que a solução ótima não variasse, ou então, poderíamos supor, que para uma determinada via, houve melhoria e o custo unitário C_{ijk} de transporte diminuiu. Sob estas novas condições o modelo deverá alocar mais movimento nesta via, alterando assim a solução ótima.

Esta análise de sensibilidade também poderia ser estruturada (disposta) de modo a se poder avaliar de que maneira a solução ótima se sensibilizará quando se modificar os valores de determinados parâmetros, isto sendo feito com a intenção de se induzir que sejam tomados cuidados especiais na estimativa desses parâmetros (qualidade e confiabilidade dos dados).

Portanto de uma maneira geral, esta análise de sensibilidade seria útil a fim de determinar em que faixa de variação dos parâmetros da função objetivo (com os valores do início do processo), a solução ótima no início obtida, não se modificaria, ou então se, se modificasse, que outra solução viável viria a ser ótima e qual seria o seu nível de eficiência (valor assumido pela função objetivo).

Análise de Sensibilidade das Restrições de Oferta e Demanda

Alterando as ofertas e as demandas, pela aplicação de uma programação paramétrica, poderemos obter várias distribuições ótimas de transporte. Isto significa, que poderemos considerar as alterações sofridas pela produção e pelo consumo de livros.

5 - Um modelo Simplificado

Tendo em vista uma aplicação experimental, isto é, a aplicação do modelo com informações próximas da realidade e na sua verdadeira dimensão, simplificou-se o modelo original, para que ele fique compatível com os dados existentes disponíveis ou de geração possível em certo prazo.

A função objetivo do modelo simplificado

No modelo anteriormente apresentado (modelo geral) na função objetivo, o objetivo era minimizar o custo total de transporte. No entanto, neste modelo simplificado, o objetivo é minimizar o frete total do sistema, isto é, será considerado a seguinte função objetivo:

$$\text{minimizar F.O.} = \sum_{ijk} TF_{ijk} \cdot X_{ijk}$$

onde TF_{ijk} é a tarifa de frete dos livros do polo i para o polo j , pelo veículo do tipo k .

5.1 - As restrições do modelo simplificado

Como no modelo já apresentado (modelo geral), todos os x_{ijk} não são negativos.

i) Restrições de oferta e demanda:

São as mesmas do modelo geral.

ii) Restrições de capacidade dos veículos:

As restrições de capacidade dos veículos foram substituídas por:

$$\sum_{ij} d_{ijk} \cdot x_{ijk} \leq D_k$$

onde, d_{ijk} é a distância que o veículo de transporte do tipo $k \in K$ percorre transportando livros do polo i para o polo j , e D_k é a capacidade em toneladas-

quilômetro da frota de veículos do tipo k.

O número máximo de restrições para este grupo de restrições é n_k .

A vantagem desta substituição é que, d_{ijk} e D_k são obtidos mais facilmente do que TM_{ijk} e CT_k .

Como alternativa, seria possível não considerar a restrição de capacidade dos veículos.

Neste caso, depois de determinada a solução ótima, calcularíamos:

$$\sum_{ij} d_{ijk} \cdot x_{ijk}^*$$

que fornece a capacidade em toneladas-quilômetro, que a frota de veículos do tipo k deveria ter (x_{ijk}^* é o valor de x_{ijk} quando obtida a solução ótima).

II - Sistema de Processamento

1. Considerações iniciais

Para que se possa resolver problemas de programação linear de grande porte, conta-se hoje em dia com os programas MPS e MPSX da IBM, sendo que o programa MPSX é uma versão mais recente do MPS. Estes dois programas foram codificados particularmente para a série IBM/360 e, atualmente também podem ser utilizados na série IBM/370. Porém, deve-se mencionar que existe atualmente no mercado mundial outros códigos mais eficientes, para a resolução destes tipos de problemas. O código MPS/360 foi escolhido por sua disponibilidade no Brasil.

A seguir, será apresentada uma breve descrição do sistema a ser utilizado.

2. Descrição do sistema utilizado

Neste trabalho utilizou-se o MPS/360 (Mathematical Programming System / 360) que é um conjunto de "PROCEDURES", entre as quais algumas são destinadas para resolução de problemas de programação linear.

A estratégia da solução para a resolução de um problema de Programação Matemática, é a de por em ordem a execução de um conjunto de "PROCEDURES", as quais o usuário informa ao sistema de Programação Matemática por intermédio de um programa de linguagem de controle MPS. A linguagem de controle MPS é semelhante a muitas outras linguagens de programação em computador exceto que é orientada especificamente para a solução de problema de programação matemática.

2.1 Apresentação dos Dados

Para que o programa MPS possa resolver algum problema de programação li

near, é necessário fornecer-lhe por um lado, um determinado número de instruções e, por outro lado, os dados relativos ao problema. Os dados podem ser fornecidos ao sistema através de cartões perfurados, em fitas magnéticas ou discos magnéticos, em um formato específico do MPS.

2.2 Resultados

O MPS imprime como resultados:

- o valor da função objetivo;
- as quantidades de recursos utilizados em cada uma das restrições;
- os valores das variáveis de folga;
- os valores das variáveis duais;
- os valores das variáveis que dão a solução ótima do problema de programação linear.

2.3 Análise de Sensibilidade

Depois de ter sido obtida a solução ótima do problema de programação linear, pode-se fazer uma análise para ver como varia essa solução de acordo com a variação dos elementos do segundo membro e dos coeficientes da função objetivo, ou com a variação dos elementos do segundo membro ou com a variação dos coeficientes da função objetivo.

2.4 Utilização de Procedimentos para Preservação da Base

A execução do problema de programação linear na sua real dimensão, utilizando um computador IBM/360-40, leva um tempo considerado. Entretanto, este problema pode ser resolvido pela execução do programa em partes. Para se conseguir que este seja alcançado, podemos recorrer a utilização de uma técnica espe

cial.

Primeiramente é rodado um programa até que se consiga atingir um determinado número de interações e, a base correspondente à última iteração gerada é arquivada, finalizando desta forma a primeira parte da execução de todo o problema. A segunda parte consta da execução de um segundo problema, o qual recupera a base arquivada pelo primeiro problema e continua a execução. Se depois de completar um determinado número de interações, a solução ótima não for encontrada, uma nova base seria arquivada e um outro programa recuperaria esta base e continuaria a execução do problema. Sendo assim, pode-se rodar tantos programas quantos forem necessários até atingir a solução ótima. Depois de se ter conseguido obter a solução ótima do problema de programação linear, pode-se aplicar as técnicas de pós-otimização.

2.5. Declarações de Linguagem de Controle

Por intermédio da linguagem de controle, o usuário comunica ao MPS/360 uma série de declarações para resolver o problema. Segue-se uma rápida descrição de declarações de controle.

- PROGRAM - Define o começo do programa de controle do MPS.
- PEND - Define o fim do programa de controle do MPS.
- EXIT - O programa de controle MPS devolve o controle ao OS/360.
- MOVE - Movimenta a informação alfanumérica de uma alocação a outra.
- MVADR - Arquiva o endereço de uma declaração numa sala específica.

2.6 "PROCEDURES" do MPS/360

Cada uma "PROCEDURE" do MPS, é um conjunto de rotinas organizadas com a finalidade de executar uma função particular do problema de programação linear. A seguir, será feita uma breve descrição dos "PROCEDURES".

2.6.1 "PROCEDURES" de entrada de dados e de conservação de arquivos

CONVERT - Tem por objetivo ler os dados no formato de entrada e cria um arquivo independente para o problema, em código binário.

No decorrer da geração do arquivo, são acusados erros e computados estatísticas do problema.

REVISE - Tem por finalidade alterar um problema conforme os novos dados de entrada. Este novo problema, é arquivado sendo que o problema antigo pode ser ou não conservado. Podem ser acrescentados, apagados ou alterados :

- elementos;
- limites;
- variações;
- colunas.

SETUP - Este PROCEDURE faz com que o problema arquivado seja lido (produzido por CONVERT ou REVISE), analisa os valores estatísticos, os tipos de dispositivos de entrada e de saída, a estratégia a ser utilizada para a solução e, a alocação mais dinâmica da memória avaliada para a solução mais eficiente do problema de programação linear.

COPY - Copia, num arquivo(PROBFILE), problemas e bases associadas que estão contidos em outro arquivo(OLDFILE).

2.6.2 "PROCEDURES" de otimização

PRIMAL - Este procedure obtém uma solução viável ótima, caso ela exista, utilizando o algoritmo primal composto.

DUAL - Com este procedure, obtemos uma solução primal viável, utilizando o algoritmo dual.

INVERT - Por intermédio deste procedure, pode-se calcular a matriz inversa pelo método de triangularização-redução, o que resulta no aumento de velocidade e exatidão durante as iterações subsequentes.

2.6.3 "PROCEDURES" de pós-otimização

PARAOBJ - Este procedure tem como objetivo, executar a parametrização da função objetivo.

PARARHS - Este procedure tem como finalidade executar a parametrização do segundo membro.

PARARIM - Com este procedure, executa-se a parametrização da função objetivo e do segundo membro, simultaneamente.

2.6.4 "PROCEDURES" para impressão

SOLUTION - Este procedure lista a solução (valores das variáveis, custo reduzido, coeficientes de custos originais, elementos do segundo membro e variáveis duais) determinada por uma "PROCEDURE" (PRIMAL, DUAL ou de parametrização).

RANGE - Por intermédio deste procedure, determina-se os campos de variação de custo das variáveis e dos elementos do segundo membro, para os quais a base ótima permanece inalterada. Os campos de variação, são listados juntamente com a informação de mudança de base, quando estes, são sobrepassados.

2.6.5 "PROCEDURES" de preservação da base

SAVE - Faz com que seja arquivado no PROBFIL, o atual estado do problema, juntamente com as informações da região de comunicação(RC). São identificados pelo nome do problema e podem ser arquivados com um nome específico. A execução do SAVE não altera o estado do problema.

RESTORE - Com este procedure, pode-se transferir para o problema atual o estado previamente arquivado por um SAVE e, por opção, as informações da região de comunicação(R.C) do usuário. Os dados do problema a serem recuperados são identificados pelo nome dado ao problema e pelo nome fixado em SAVE. Recupera a base e o estado das variáveis limitadas associadas. A execução de RESTORE deve ser seguida pela procedure INVERT.

2.7. Formato e organização dos dados

Na organização do "deck" de dados, existem duas classes de cartões:

- cartões indicadores, que especificam a classe de dados que se seguem;
- cartões de dados propriamente ditos.

Os cartões indicadores contêm apenas uma palavra que especifica o tipo de cartões de dados que seguem. O primeiro caráter está na coluna 1. Todos os cartões de dados seguem o mesmo formato geral e são divididos em seis setores.

	setor 1	setor 2	setor 3	setor 4	setor 5	setor 6
Colunas	2-3	5-12	15-22	25-36	40-47	50-61
Classe de conteúdo	código	nome	nome	valor	nome	valor

Um cartão "NAME", é sempre o primeiro cartão e o cartão "ENDATA" é sempre o último cartão do "deck" de dados. No cartão "NAME", se dá um nome específico aos dados para que estes sejam identificados pelo programa de controle. O cartão "NAME", tem o seguinte formato:

Colunas	1-4	15-22
	NAME	Nome fornecido pelo usuário

O nome específico dos dados pode ter, de um a oito caracteres alfanuméricos.

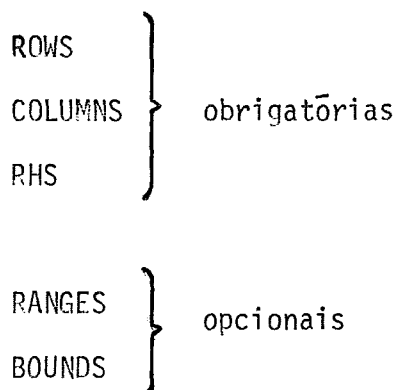
O cartão "ENDATA" indica que os cartões de dados terminaram e tem o seguinte formato.

Colunas	1-6
	ENDATA

Entre o cartão "DATA" e o cartão "ENDATA", estão os cartões indicadores e os cartões de dados.

2.7.1 Dados para CONVERT

Na "PROCEDURE" CONVERT são utilizadas cinco seções de dados, sendo que três delas, são obrigatórias e as duas outras opcionais.



Primeira seção (ROWS):

Os cartões que fazem parte desta seção especificam os nomes, que são fornecidos às linhas da matriz do problema de programação linear (esses nomes são escolhidos a critério do usuário) e os sinais das restrições (sinal de igualdade, desigualdade ou indicação de restrição livre).

Cartão indicador:

Colunas	1-4
	ROWS

Cartões de dados:

0 setor 1, especifica o tipo de restrição

N - sem sinal

G - maior ou igual

L - menor ou igual

E - igual

0 setor 2, especifica o nome que se quer dar a linha.

Formato dos cartões para ROWS:

	setor 1	setor 2	setor 3	setor 4	setor 5	setor 6
Coluna	2-3	5-12	15-22	25-36	40-47	50-61
	tipo de restrição	nome da linha	branco	branco	branco	branco

Segunda seção(COLUMNS) :

Os cartões que constam da seção COLUMNS, especificam os nomes das colunas da matriz(esses nomes são escolhidos de acordo com a vontade do usuário) e define, em termos de vetores colunas, o valor dos elementos da matriz.

Cartão indicador :

Colunas	1-7
	COLUMNS

Cartões de dados :

- setor 1 : ignorado.
- setor 2 : nome da coluna que contém os elementos especificados nos setores a seguir.
- setor 3 : nome da linha cujo elemento está sendo admitido.
- setor 4 : valor do elemento admitido na linha do setor 3 e na coluna do setor 2.
- setor 5 : opcional e, é usado como o setor 3.
- setor 6 : opcional e, é usado como o setor 4.

Formato dos cartões para COLUMNS :

	setor 1	setor 2	setor 3	setor 4	setor 5	setor 6
Coluna	2-3	5-12	15-22	25-36	40-47	50-61
	branco	nome da coluna	nome da linha 1	valor 1	nome da linha 2	valor 2

Terceira seção(RHS) :

opcional

Os cartões que fazem parte desta seção, são utilizados para especificar os nomes dos vetores colunas do segundo membro das restrições ou dos vetores colunas a serem utilizados em análise de sensibilidade.

São também utilizados para definir em termos de vetores colunas os valores destes elementos.

Cartão indicador

Cartão	1-4
	RHS

Cartões de dados para o segundo membro.

Os cartões de dados desta seção(RHS), tem o mesmo formato dos cartões de dados da seção anterior(COLUMNS).

Formato dos cartões para RHS :

	setor 1	setor 2	setor 3	setor 4	setor 5	setor 6
Colunas	2-3	5-12	15-22	25-26	40-47	50-61
	branco	nome do segundo membro	nome da linha 1	valor 1	nome da linha 2	valor 2

Quarta seção (RANGES)

opcional

As restrições podem ser utilizadas com campo de variação, se elas tiverem um limite inferior e um limite superior.

Quando isto ocorre, um dos limites(de preferência o superior) é fornecido na sua forma normal, na terceira seção(RHS), especificando-se o sinal desta restrição na primeira seção(ROWS). Nesta seção, especifica-se a variação entre o limite superior e o limite inferior, isto é, deve-se especificar o valor da

variação do segundo membro relacionada ao valor especificado previamente. Se a_i é o valor encontrado na seção do segundo membro (RHS), o campo de variação é especificado como segue :

Classe da linha	sinal de α_i	limite superior no segundo membro	limite inferior no segundo membro
G	+	$a_i + \alpha_i$	a_i
L	+	a_i	$a_i - \alpha_i$
E	+	$a_i + \alpha_i$	a_i
E	-	a_i	$a_i - \alpha_i$

O conjunto de campos de variações, é definido como um vetor coluna com um nome especificado a critério do usuário.

Cartão indicador :

Colunas	1-6
	RANGES

Cartões de dados :

- setor 1 : em branco

- setor 2 : nome da coluna das variáveis
- setor 3 : nome de uma linha G, L ou E a qual a variação é aplicada.
- setor 4 : valor da variação (α_j)
- setor 5 : opcional, sendo usado como o setor 3
- setor 6 : opcional, sendo usado como o setor 4

Formato dos cartões para RANGES :

	setor 1	setor 2	setor 3	setor 4	setor 5	setor 6
Colunas	2-3	5-12	15-22	25-36	40-47	50-61
	branco	nome da do ao vetor coluna (arbitrário)	nome da linha a qual a variação é aplicada	valor da variação α_j	igual ao setor 3	igual ao setor 4

Quinta seção (BOUNDS)

opcional

Os cartões correspondentes aos limites (BOUNDS) fornecem os valores que podem ser assumidos pelas variáveis. Se quisermos limitar as variáveis superiormente ou inferiormente, os limites deverão entrar como sendo um vetor linha com um nome que deve ser especificado pelo usuário.

Cartão indicador :

Colunas	1-6
	BOUNDS

Cartões de dados :

O setor 1 especifica a classe de limite, segundo a classificação abaiu

xo :

LO - limite inferior

UP - limite superior

FX - valor fixo

FR - variável livre($-\infty$ até $+\infty$)

MI - limite inferior = $-\infty$

PL - limite superior = $+\infty$

Setor 2 : nome da linha de limites

Setor 3 : nome da coluna com a qual a variável a ser limitada é assou

ciada.

Setor 4 : valor do limite para um cartão LO, UP ou FX.

Setor 5 : em branco

Setro 6 : em branco

Formato dos cartões para BOUNDS :

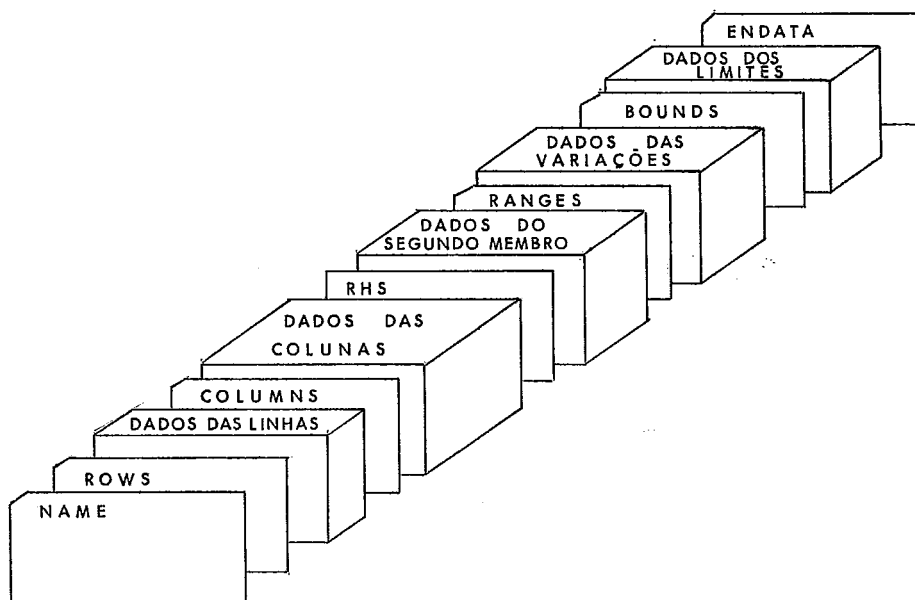
	setor 1	setor 2	setor 3	setor 4	setor 5	setor 6
Colunas	2-3	5-12	15-22	25-36	40-47	50-61
	classe de	nome do vetor limite	nome da variável	valor do limite	branco	branco

2.7.2. Organização do "deck" de dados para CONVERT

O primeiro cartão do "deck" de dados para CONVERT é NAME e o último é ENDATA.

Abaixo encontramos um "DECK" de dados completos.

A ordem que está indicada figura abaixo, deverá ser seguida e, se for necessário, as seções de BOUNDS e RANGES ou BOUNDES ou RANGES deverão ser completamente omitidas deste "DECK". Quando isto acontecer, nenhum cartão indicador, tampouco cartões de dados destas duas seções deveram aparecer.



2.7.3 Dados para REVISE

A "PROCEDURE" REVISE tem por finalidade alterar os dados que são fornecidos pela "PROCEDURE" CONVERT e utiliza as mesmas cinco seções de dados: ROWS, COLUMNS, RHS, RANGES e BOUNDS. Em cada uma das seções podem ser utilizados até quatro comandos, dentre os seguintes : MODIFY, DELETE, BEFORE, AFTER.

Comando MODIFY :

Modifica qualquer linha ou coluna, a qual seja previamente definida pela introdução de nova informação.

Cartão indicador :

colunas	3-8
	MODIFY

Cartões de dados :

Na seção ROWS, o comando MODIFY altera o tipo de restrição; na seção COLUMNS, qualquer que seja o elemento da matriz na seção RHS, ele altera os elementos do segundo membro; na seção RANGES, as variações permitidas no segundo membro e na seção BOUNDS, os limites das variáveis. O formato dos cartões é o mesmo.

Comando DELETE :

Faz com que os vetores de um problema definido anteriormente sejam apagados.

Cartão indicador :

colunas	3-8
	DELETE

Cartões de dados :

Nestes cartões sã ẽ preciso preencher o setor 2, o qual ẽ utilizado para especificar o nome do vetor.

Comando BEFORE

Este comando permite que se possa introduzir novos vetores no pro
blema.

Cartão indicador

colunas	3-8	15-22
	BEFORE	NOME

O nome que deve ser colocado nas colunas 15-22, ẽ o nome de um ve
tor anteriormente definido, e os novos vetores sã introduzidos na matriz da
seção imediatamente antes dele. Se nã foi fornecido nenhum nome de um vetor
jã pertencente à matriz, os novos vetores seriam introduzidos como sendo os
primeiros vetores da matriz da seção indicada.

Comando AFTER :

O comando AFTER também tem por objetivo introduzir novos vetores num problema.

Cartão indicador :

colunas	3-7	15-22
	AFTER	nome

O nome que ocupará as colunas 15-22, é o nome de um vetor anteriormente definido e que os novos vetores que se quer introduzir são introduzidos imediatamente depois dele. Se não for fornecido nenhum nome já definido no problema, os novos vetores seriam introduzidos como sendo os últimos vetores da matriz da seção indicada.

2.7.4 Organização do "DECK" de dados para REVISE

O primeiro cartão do "DECK" de dados para REVISE é "NAME" e o último "ENDATA". O "DECK" é dividido nas cinco seções: ROWS, COLUMNS, RHS, RANGES, BOUNDS. Estas seções deverão aparecer nesta mesma ordem, sendo que é opcional a inclusão de todas elas.

Em cada uma das seções, existem cartões de controle para as alterações de um problema previamente arquivado. Elas são : MODIFY, DELETE, BEFORE e AFTER.

2.8 Limitações e comportamento do MPS

Pela teoria, o sistema MPS pode resolver problemas de programação linear com um número ilimitado de variáveis e no máximo com 4.095 restrições.

No quadro abaixo, poderá ser visto o tempo de execução para cinco problemas em vários modelos IBM/360. l é o número de linhas, c é o número de colunas e, e é o número de elementos não nulos da matriz do problema de programação linear.

Tempo de processamento (minutos) do MPS em IBM/360					
Modelo e categoria da memória	$l=325$ $c=452$ $e=2926$	$l=499$ $c=902$ $e=5608$	$l=226$ $c=284$ $e=3266$	$l=221$ $c=249$ $e=2371$	$l=306$ $c=472$ $e=2658$
M40-128K	20,44	111,45	28,22	29,73	58,71
M50-256K	7,36	36,33	8,91	7,83	20,13
M65-256K	2,08	10,64	3,08		
M65-512K				2,12	6,86

2.9 Programa gerador

Para problemas de programação matemática de grande porte, é necessário

o elaborar um programa que possa gerar a matriz que MPS utiliza para que seja evitado a perfuração de um grande número de cartões. Isto pode ser feito se for realizada uma racionalização dos dados de entrada para o programa gerador.

Na aplicação experimental, foi utilizado um programa gerador que poderã ser utilizado como base para a elaboração de outros programas.

Devido a impossibilidade de se fazer um programa gerador generalizado, o atual deverá ser modificado, dependendo da estrutura da matriz do problema que se queira estudar.

Os dados, que são gerados no formato MPS, podem ser arquivados em fitas ou discos magnéticos, para que possam ser utilizados sempre que forem necessários.

III - Aplicação Experimental

1. Apresentação

Nesta Aplicação Experimental, utilizou-se o Modelo de Programação Linear Simplificado já descrito em I. A minimização, pelo modelo apresentado do valor total das despesas de frete com o transporte de livros da Guanabara ou de São Paulo, para os polos determinados, direta ou indiretamente, poderia representar a tendência natural dos usuários do sistema. Em outras palavras, o valor ótimo da F.O. poderia representar um valor para o qual a economia tenderia a encaminhar os gastos com fretes de transporte, quando houvesse perfeita transparência do mercado, seria a solução de Regime para os usuários e talvez fosse esta, a única forma de reduzir o valor total das despesas, levando-se em conta as limitações do modelo de Programação Linear, que só fornece o valor ótimo da F.O. .

O modelo simplificado foi usado então, para retratar a realidade da solução de regime. Ele fornece um fluxo de transporte de livros do Rio de Janeiro ou São Paulo, para os diversos polos de Minas Gerais e uma vez que, tais fluxos se verificassem na prática, ter-se-ia uma despesa mínima com os fretes de transporte

Para que se pudesse obter os fluxos de livros para os polos considerados, utilizou-se como referência a meta a ser atingida pelo Mobral em 1974, para cada município. Este fato ocorreu, por não se ter conseguido dados mais gerais sobre o assunto.

O modelo fornece para a solução ótima, as seguintes informações :

$$a) V_0 = \sum_{i,j} TF_{ijk} \cdot x_{ijk}^*, \text{ que é o valor ótimo da F.O. e representa}$$

a m̄nima despesa de frete com o transporte de livros.

b) $CT_k^* = \sum_{ij} .x_{ijk}^* \cdot d_{ijk}$, que s̄o as capacidades (em toneladas x quil̄metros), que cada frota de vēculos do tipo k deveria ter, para o cumprimento da soluç̄o ̄tima.

c) $V_{jk}^* = \sum_i .x_{ijk}^* \cdot v_k$, que representam (em m³) os volumes n̄o ocupados dos vēculos do tipo k, que chegam ao polo j na soluç̄o ̄tima.

A aplicaç̄o experimental, que ora se apresenta, envolveu uma geraç̄o de dados onde se tentou simular a realidade na indisponibilidade de uma pesquisa de campo.

Inicialmente foram selecionadas, 55 polos e 2 tipos de vēculos, que correspondem aos 2 modos de superf̄cie. Depois houve uma re-seleç̄o, a qual reduziu o n̄mero de polos para 39. Foi considerada a meta do Mobral-74, para o consumo de livros pelas regīes polares e, determinadas as curvas de frete. Foi feito um programa, em Fortran, para coleta e geraç̄o de dados no formato do M.P.S.. Al̄m disso, foram coletados dados do Anūrio Estat̄stico do IBGE-1973, sobre as frotas atuantes na Guanabara , S̄o Paulo e Minas Gerais.

Os resultados s̄o apresentados em forma de mapas de fluxo e, posteriormente, ̄ dada uma indicaç̄o para a an̄lise dos resultados.

2. Procedimento

2.1. Definições dos Polos e Regiões Polares

Com o objetivo de definir os polos do estado de Minas Gerais e suas respectivas áreas de influência, foi elaborada uma metodologia para aplicação de longo prazo e, resumida a seguir. De acordo com essa metodologia, os polos a serem eleitos podem ser discriminados em dois tipos:

- polos atuais
- polos potenciais

O 1º caracteriza os polos e suas áreas de influência, que já se encontram numa fase de desenvolvimento industrial. O 2º caracteriza aqueles que possuem uma atividade econômica-social mínima, para que possa ser ativada e que se torne um polo de desenvolvimento.

Nesta primeira triagem dos polos, se consideraria como critério de seleção, a população urbana e suburbana. Levando-se em conta a dificuldade operacional no lidar com dados de todas as cidades do estado de Minas Gerais, fixaria após pesquisas preliminares, uma população mínima para a primeira escolha dos polos.

2.1.1. Determinação da hierarquia dos polos e suas áreas de influência, usando a análise de fluxos

Ressalta-se que a metodologia desenvolvida a seguir, será ineqüível

a partir de um esquema de coleta de informações de médio e longo prazo.

i) Critério inicial para determinação da hierarquia dos polos escolhidos.

Com o objetivo de obter uma classificação preliminar dos polos escolhidos, facilitar a coleta de dados e dar maior visualização do procedimento a a diante empregado, é proposto o seguinte critério de hierarquização dos polos :

- construção de uma matriz dos diversos municípios escolhidos a partir dos seguintes dados :

- população do município
- densidade de população municipal
- renda percapita
- densidade de vias km/km²
- número de alunos por município

- classificam-se os municípios com respeito a cada um dos itens acima, levando em consideração uns itens mais que outros, dependendo da finalidade para a qual o estudo é feito.

A partir da classificação obtida e usando conhecimentos qualitativos sobre a região, podemos chegar a uma primeira hierarquia para os polos.

ii) Levantamento dos fluxos necessários à caracterização das áreas de influência.

Os dados sobre os fluxos, podem ser classificados em tres grupos in

dicando :

- polarização econômica
- área de influência dos serviços sociais prestados por um dado centro
- fluxos cuja natureza não possa ser claramente identificado.

a) fluxos por origem e destino indicando polarizações econô

micas :

- transporte de cargas por rodovia
- transporte de cargas por ferrovia

b) fluxos indicando área de influência dos serviços sociais:

- número de estudantes secundaristas por origem

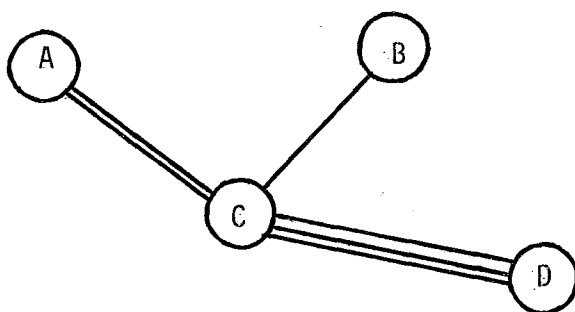
c) outros fluxos

- chamadas telefônicas
- telegramas e cartas

iii) Mapeamento dos fluxos e determinação das áreas de influência

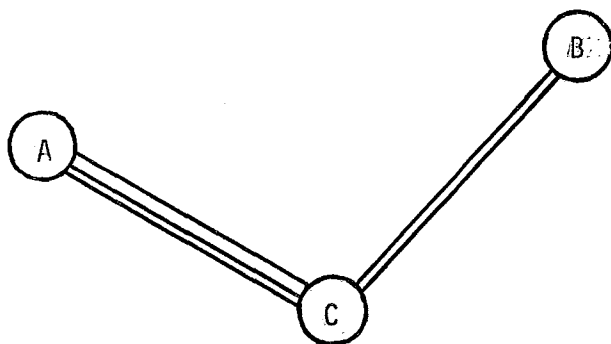
Um mapa é construído para cada tipo de fluxo. Em cada mapa são colocados os polos em consideração. Em seguida, especifica-se intervalos de valores de fluxos e associa-se a cada um, uma convenção.

Os intervalos são arbitrados em função do menor fluxo, de forma que, fique viável a representação gráfica.



Todo fluxo deve ser montado, procurando seguir a sua trajetória real. Por exemplo, se estivermos lidando com fluxo rodoviário, este não deve ligar diretamente duas cidades enquanto que, o fluxo verdadeiro entre estas duas cidades passa por várias outras cidades intermediárias.

Se tivermos que representar um fluxo entre as cidades A e B, que necessariamente passa pela cidade C (dois traços) e um fluxo de A até C (um traço), a rede ficaria do seguinte modo :



2.1.2 Determinação prática dos polos e de suas áreas de influência

2.1.2.1 Formulação prática

As limitações impostas pela reduzida disponibilidade das informações e a necessidade de obtenção de valores em pequeno espaço de tempo, que permitissem o processamento do modelo, levaram a realizar simplificação na metodologia

sugerida, que resultou no seguinte procedimento :

i) Fixação de um número base de polos desejados, em função das dimenções do problema : N

ii) Divisão do estado de Minas Gerais em um determinado número de regiões polares, baseado na população média, que cada região polar devia ter.

iii) Construção de duas matrizes do estado de Minas Gerais, onde numa delas são listados os 100 municípios de maior população e na outra matriz, são listados os 100 municípios de maior número de alunos (o número de alunos foi baseado no levantamento realizado pelo Mobral-74 do número de analfabetos).

iv) Foram "plotados" no mapa, os 100 municípios mais populosos e analisados (a análise do mapa levando apenas em consideração a população, foi realizada com o objetivo de tornar o trabalho mais geral possível, e não apenas um caso particular).

Obs : A proximidade entre dois quaisquer municípios (selecionados) candidatos a polo, implica sempre na inclusão de mais um município a ser pesquisado, sendo este o seguinte na ordem decrescente de população.

v) A primeira parte da análise foi feita, levando-se em consideração não sã a população, como também os acessos rodoviários e ferroviários. Nesta primeira parte, os municípios candidatos a polo e suas respectivas áreas de influências foram reduzidas para 55.

vi) Obedecendo os critérios vistos em v, foi realizada a segunda parte da análise, a qual reduziu o número de municípios candidatos a polos para 44.

vii) Finalmente na terceira e última parte desta análise, o número de municípios candidatos a polo, sofreu a sua última redução, para 37 polos.

viii) A construção de uma matriz de distâncias rodoviárias, interligando os 37 polos escolhidos, foi baseada na população municipal, na observação feita no item iv e na densidade rodoviária (asfaltadas ou de terra).

ix) Para a realização da análise acima exposta, foram utilizados :

- mapa rodoviário Quatro-Rodas 74
- anuário estatístico do IBGE 1973
- mapa rodoviário da região sudeste 1973
- anuário estatístico da R.F.F.S.A
- mapa rodoviário 1974 de Minas Gerais, fornecido pelo D.N.E.R.

x) A redução do número de municípios candidatos a polo, deve-se a :

- a) proximidade entre alguns dos municípios pré-selecionados,
- b) existência de outras cidades com população muito próxima da população do N^o ésimio município em ordem decrescente de população do estado.

Polos	População
1-Frutal	30.737
2-Ituiutaba	64.228
3-Uberaba	124.848
4-Uberlândia	124.895
5-Patos de Minas	76.232
6-Paracatu	36.773
7-Januária	62.615
8-Porteirinha	41.748

9-Medina	20.046
10-Araçuaí	30.313
11-Montes Claros	116.414
12-Corinto	24.254
13-Campos Altos	8.660
14-Diamantina	34.541
15-Peçanha	25.194
16-Teófilo Otoni	132.960
17-Governador Valadares	162.333
18-Parā de Minas	31.032
19-Caratinga	109.874
20-Itabira	56.394
21-Belo Horizonte	1.235.001
22-Formiga	47.053
23-Divinópolis	80.348
24-Passos	55.158
25-Lavras	44.478
26-Conselheiro Lafaiete	50.919
27-Ponte Nova	45.782
28-Manhuaçu	48.330
29-Muriaē	58.428
30-Ubā	44.663
31-Barbacena	73.905
32-Varginha	43.707
33-Poços de Caldas	57.643
34-Pouso Alegre	38.141

35-Itajubá	51.727
36-São Lourenço	19.291
37-Juiz de Fora	238.502

xi) Uma análise mais rigorosa, exigiria uma maior disponibilidade de informações adequadas, para o transporte de livros, o que não é possível a curto prazo.

2.2 Determinação da frota

Aqui são apresentadas as capacidades, em toneladas, das frotas que operam na região sudeste.

Não foram utilizadas na aplicação experimental, uma vez que, a restrição de capacidade foi deixada livre no modelo de Programação Linear.

Se no entanto, se pretendesse utilizá-las, seria necessário uma conversão para toneladas-quilômetros, unidade básica de capacidade do modelo, possível através do conhecimento da utilização média anual em quilômetros e do fator de aproveitamento da frota.

2.2.1 Procedimento

Para se tomar conhecimento aproximado da frota rodoviária, será pre

ciso recorrer às estatísticas existentes (Anuário de Transporte, IBGE) e ainda, elaborar um esquema de pesquisa direta, visando informações mais completas e detalhadas.

Os elementos a serem considerados nesse esquema de pesquisa são :

- características dos veículos
- utilização dos veículos
- carga transportada
- dados sobre a viagem
- outros.

As principais fontes para o levantamento da capacidade e da utilização da frota ferroviária :

- Anuário Estatístico da R.F.F.S.A.
- Estatísticas das Estradas de Ferro do Brasil
- Anuário Estatístico dos Transportes (M.T.)
- Anuário Estatístico do IBGE

Os dados de interesse do estudo, que podem ser obtidos são :

- quantidade de vagões e locomotivas
- número de composições formadas
- densidade de tráfego
- cargas transportadas

Naturalmente, uma pesquisa direta junto à R.F.F.S.A, poderá fornecer valiosas informações adicionais.

2.2.2 Aplicação

Pela restrição de tempo, posto que, pesquisas diretas de campo são de moradas, foram utilizados para a determinação das frotas, que atuam na região su deste, somente os dados disponíveis nos anuários estatísticos e nas revistas es pecializadas.

2.2.2.1 Frota rodoviária

Foi obtida inicialmente, através do Anuário Estatístico do IBGE(1973), o número total de veículos na região sudeste.

Tipo	Número de veículos			Nº total de veículos
	São Paulo	Guanabara	Minas	
Caminhão	117.942	23.167	45.085	186.194
pick-up (forgão)	45.949	12.927	27.429	86.305
basculhantes	3.919	712	3.591	8.222
tanque	2.341	724	1.284	4.349
frigorífico	144	-	56	200
cavalo mecânico	1.467	1.087	1.024	3.578
reboque	683	982	185	1.850
outros	354	-	1.500	1.854

2.2.2.2. Frota ferroviária

Na região sudeste, o sistema de transporte ferroviário é coordenado pela Regional Centro da R.F.F.S.A. Os dados no Anuário Estatístico da R.F.F.S.A. (1973), são apresentados nos quadros que se seguem.

Sistema Regional CentroNúmero de vagões existentes (1972)

tipo de vagão divisão	aberto	fechado	prancha	gaiola	outros	total
5ª divisão	676	1.015	159	146	312	2.308
6ª divisão	2.576	2.198	781	403	931	6.889
7ª divisão	543	1.058	95	53	622 (1)	2.371
total	3.795	4.271	1.035	602	1.865	11.568

(1) → estão incluídos os vagões não pertencentes à divisão.

Número de vagões em tráfego (1972)

divisão \ tipo de vagão	aberto	fechado	prancha	gaiola	outros	total
5. ^a divisão	659	991	156	140	284	2.230
6. ^a divisão	2.539	2.149	756	370	919	6.736
7. ^a divisão	514	1.018	77	48	397	2.054
total	3.712	4.158	992	558	1.600	11.020

Capacidade total dos vagões em toneladas (1972)

divisão \ tipo de vagão	aberto	fechado	prancha	gaiola	outros	total
5. ^a divisão	23.065	24.775	4.212	3.080	7.384	62.516
6. ^a divisão	166.932	95.693	22.198	16.696	15.317	316.836
7. ^a divisão	15.934	31.558	2.310	624	7.146	57.572
total	205.931	158.026	28.720	20.400	29.847	436.924

Capacidade média dos vagões em toneladas (1972)

divisão \ tipo de vagão	aberto	fechado	prancha	gaiola	outros	média
5. ^a divisão	35	25	27	22	26	28
6. ^a divisão	66	45	29	45	17	47
7. ^a divisão	31	31	30	13	18	28
média	55	37	29	37	19	40

O Sistema Regional Centro é composto por :

- 5.^a divisão (Centro Oeste)
- 6.^a divisão (Central)
- 7.^a divisão (Leopoldina)

A classificação dos vagões, está de acordo com a R.F.F.S.A.

2.3. Determinação de curvas de fretes

A finalidade desta parte do trabalho é a de obter as equações de curvas de fretes com o respectivo fator de correção, se necessário.

Por não haver informações suficientes disponíveis, tornou-se impossível obter as diferenças entre fretes para os diferentes veículos enquadrados em cada modo de transporte. Se estas diferenças são significativas, elas podem ser obtidas por intermédio de uma preparação mais completa do trabalho.

As tabelas de fretes utilizadas neste trabalho foram as seguintes :

- tabela de fretes da Associação Nacional das Empresas de Transporte Rodoviário de Carga (N.T.C.)
- tabela de fretes da R.F.F.S.A.

Pelo fato de ter-se obtido os percentuais de aumento concedidos tanto ao transporte rodoviário quanto ao transporte ferroviário até o momento, não houve necessidade de se fazer uso dos deflatores, os quais poderiam ser obtidos dos índices gerais de preços publicados pela Fundação Getúlio Vargas (Revista Conjuntura Econômica), para expressar os valores das tarifas a preços constantes do cruzeiro, em julho de 1974.

Para que se possa fazer uma idéia da forma pela qual as informações aqui transmitidas são aplicadas, deve-se pedir auxílio ao item "Processamento", desta aplicação experimental.

Ao item 2.3.3 são anexados gráficos das curvas de fretes, com o objetivo de fazer com que se tome possível visualizar as equações das curvas, que são introduzidas no programa gerador de dados (veja "processamento").

A curva de frete rodoviário talvez não seja a mais apropriada para que se faça interpolação manual. Devido a não disponibilidade de dados suficientes

tes, nada se pode garantir sobre a existência efetiva das oscilações. No entanto, o processamento por computadores necessita de equações analíticas de curvas e aquelas que foram apresentadas são as que forneceram melhor ajuste dentre as testadas. Acredita-se que os desvios entre estas curvas e as curvas traçadas manualmente, são desprezíveis em relação à ordem de grandeza dos desvios inerentes ao próprio modelo e às demais estimativas feitas.

Devido ao tamanho do trabalho, o item 2.3 é apresentado de forma resumida e foi organizado com o objetivo de permitir sua total reestruturação e a puro, quando for necessário.

2.3.1 Dados

2.3.1.1 Fretes ferroviários

Os dados e informações sobre frete ferroviário para aplicação experimental, foram cedidos pela Rede Ferroviária Federal S.A. (R.F.F.S.A.) e pelo Departamento Nacional de Estradas de Ferro (D.N.E.F.)

Na tabela, que chamaremos de T.G-6 (quadro 2.3.1.1) estão publicados os fretes para mercadorias em lotação (M-5) e os fretes para mercadorias em pequena lotação (EP-1) de acordo com a distância e com a classificação tarifária resultantes dos seguintes aumentos sofridos pela tabela T.G-5, fornecida pelo D.N.E.F. :

- 1º de 12% no dia 28/12/72
- 2º de 30% no dia 1/03/74

A tabela T.G-5 até o momento sofreu um aumento de 1,456. A tabela

T.G-6 é apresentada no quadro 2.3.1.1.

Para o produto selecionado (livros), existem duas classes tarifárias:
M-5 e EP-1.

Quadro 2.3.1.1. Fretes Ferroviários		
mercadorias em lotação - M-5		
mercadorias em pequena lotação - EP-1		
Distancia (km)	M-5(Cr\$/ton)	EP-1(Cr\$/ton)
0 a 50 (25)	20,63	22,85
51 a 75 (63)	24,26	26,86
76 a 100 (88)	27,88	30,88
101 a 125 (113)	31,51	34,90
126 a 150 (138)	35,15	38,93
151 a 175 (163)	38,77	42,95
176 a 200 (188)	42,40	46,97

DISTANCIA(km)	FRETE(Cr\$/ton)	
	M-5	EP-1
201 ¯ 225 (213)	46,02	50,99
226 ¯ 250 (238)	49,66	55,02
251 ¯ 275 (263)	53,29	59,04
276 ¯ 300 (288)	56,92	63,06
301 ¯ 325 (313)	60,54	67,08
326 ¯ 350 (338)	64,18	71,11
351 ¯ 375 (363)	67,81	75,13
375 ¯ 400 (388)	71,43	79,15
401 ¯ 425 (413)	74,71	82,77
426 ¯ 450 (438)	77,97	86,40
451 ¯ 475 (463)	81,25	90,01
476 ¯ 500 (488)	84,51	93,64
501 ¯ 525 (513)	87,78	97,25
526 ¯ 550 (538)	91,04	100,87
551 ¯ 575 (563)	94,32	104,48
576 ¯ 600 (588)	97,58	108,11
601 ¯ 625 (613)	100,86	111,72
626 ¯ 650 (638)	104,12	115,34
651 ¯ 675 (663)	107,40	118,96
676 ¯ 700 (688)	110,66	122,58
701 ¯ 725 (713)	113,93	126,19
726 ¯ 750 (738)	117,19	129,82
751 ¯ 775 (763)	120,47	133,43
776 ¯ 800 (788)	123,73	137,05
801 ¯ 825 (813)	126,28	139,86
826 ¯ 850 (838)	128,81	142,69
851 ¯ 875 (863)	131,36	145,50
876 ¯ 900 (888)	133,89	148,31
901 ¯ 925 (913)	136,44	151,12
926 ¯ 950 (938)	138,98	153,94
951 ¯ 975 (963)	141,52	156,75

DISTANCIA (km)	FRETE (Cr\$/ton)	
	M-5	EP-1
976 ā 1000 (988)	144,06	159,56
1001 ā 1025 (1013)	146,61	162,37
1026 ā 1050 (1038)	149,14	165,21
1051 ā 1075 (1063)	151,69	168,01
1076 ā 1100 (1088)	154,22	170,82
1101 ā 1125 (1113)	156,77	173,63
1126 ā 1150 (1138)	159,30	176,45
1151 ā 1175 (1163)	161,85	179,26
1176 ā 1200 (1188)	164,38	182,07
1201 ā 1225 (1213)	166,93	184,88
1226 ā 1250 (1238)	169,46	187,71
1251 ā 1275 (1263)	172,01	190,52
1276 ā 1300 (1288)	174,55	193,33
1301 ā 1325 (1313)	177,09	196,14
1326 ā 1350 (1338)	179,63	198,96
1351 ā 1375 (1363)	182,18	201,77
1376 ā 1400 (1388)	184,71	204,58
1401 ā 1425 (1413)	187,26	207,39
1426 ā 1450 (1438)	189,79	210,22
1451 ā 1475 (1463)	192,34	213,03
1476 ā 1500 (1488)	194,87	215,84
1501 ā 1525 (1513)	197,42	218,65
1526 ā 1550 (1538)	199,95	221,47
1551 ā 1575 (1563)	202,50	224,28
1576 ā 1600 (1588)	205,03	227,09
1601 ā 1625 (1613)	206,85	229,10
1626 ā 1650 (1638)	208,67	231,11
1651 ā 1675 (1663)	210,48	233,12
1676 ā 1700 (1688)	212,30	235,13
1701 ā 1725 (1713)	214,12	237,14
1726 ā 1750 (1738)	215,94	239,15

DISTANCIA (km)	FRETE (Cr\$/ton)	
	M-5	EP-1
1751  1775 (1763)	217,75	241,16
1776  1800 (1888)	219,57	243,17
1801  1825 (1813)	221,39	245,18
1826  1850 (1838)	223,21	247,19
1851  1875 (1863)	225,01	249,20
1875  1900 (1888)	226,83	251,20
1901  1925 (1913)	228,65	253,21
1926  1950 (1938)	230,47	255,22
1951  1975 (1963)	232,28	257,23
1976  2000 (1988)	234,10	259,24
2001  2025 (2013)	235,92	261,25

2.3.1.2 Fretes rodoviários

Os dados de fretes rodoviários, que foram empregados na aplicação experimental, foram publicados pela N.T.C. na revista B.R.. Como referência, foi utilizada uma tabela básica de tarifas de São Paulo para outras praças, as quais foram publicadas na revista B.R. número 88, sendo que esta tabela a partir de sua vigência (6/04/72) sofreu dois reajustes, os quais foram fornecidos pelo sindicato das Empresas de Transporte Rodoviário de Carga. O primeiro reajuste foi de 12%, autorizado pelo CIP (Conselho Interministerial de Preços), através da resolução nº 13/73 do dia 12/03/1973, e tem sua vigência fixada a partir do dia 13/03/1973, e o segundo reajuste foi de 21,49%, autorizado pelo CIP através da resolução nº 12/74 do dia 6/03/1974 e tem sua vigência fixada a partir do dia 7/03/1974.

As distâncias rodoviárias necessárias foram retiradas do Guia Nacional de Transporte Rodoviário de Carga (G.T.C) - 1973/1974. Devido a estrutura de formação dos fretes rodoviários bastou trabalhar com os fretes de uma chamada tarifa básica. Os fretes, os quais correspondem a outras tarifas, são proporcionais à básica, possibilitaram a determinação do fator de correção.

Os dados necessários para a determinação de equação da curva de frete rodoviário, estão relacionados no quadro 2.3.1.2.

Quadro 2.3.1.2 Frete Rodoviário
Tarifa Básica

de São Paulo para	distância(km)	frete(Cr\$/ton)
1. Santos	65,0	45,38
2. Campinas	92,0	46,94
3. Rio de Janeiro	403,0	95,43
4. Curitiba	404,0	86,06
5. Uberaba	482,0	81,37
6. Belo Horizonte	586,0	88,45
7. Uberlândia	600,0	87,63
8. Goiânia	913,0	143,96
9. Anápolis	966,0	143,96
10. Brasília	1103,0	179,95
11. Porto Alegre	1113,0	163,37
12. Ceres	1137,0	179,95
13. Vitória da Conquista	1468,0	244,93
14. Itabuna	1641,0	299,35
15. Ilhéus	1670,0	299,35
16. Cuiabá	1801,0	300,44
17. Feira de Santana	1814,0	312,961
18. Salvador	1922,0	326,57
19. Aracaju	2185,0	381,00
20. Maceió	2454,0	462,64

- OBS : 1 - Quando a carga \bar{e} de 12 ou mais toneladas , as tarifas são bem menores.
- 2 - Quando a carga for menor que 12 toneladas (carga fracionada), as tarifas correspondem à carga mínima (100kg).

2.3.2 Procedimento utilizado

2.3.2.1 Determinação das equações das curvas de fretes

As curvas de fretes foram analiticamente ajustadas com o emprego de um programa para computador (TRALE-IBM/360), o qual permite a determinação dos coeficientes de uma regressão pelo método dos mínimos quadrados, o cálculo do coeficiente de correlação ao quadrado (R^2) e a determinação dos desvios entre os valores reais e ajustados para cada observação.

Para cada meio de transporte, foi testada cada uma das seguintes funções :

$$\ell_n F = Q_1 + Q_2 d$$

$$\ell_n C = Q_3 + Q_4 \ell d$$

$$F = Q_5 + Q_2 d$$

$$F = Q_5 + Q_2 d + Q_6 d^2$$

$$F = Q_5 + Q_2 d + Q_6 d^2 + Q_7 d^3$$

$$F = Q_5 + Q_2 d + Q_6 d^2 + Q_7 d^3 + Q_8 d^4$$

$$F = Q_5 + Q_2 d + Q_6 d^2 + Q_7 d^3 + Q_8 d^4 + Q_9 d^5$$

$$F = Q_5 + Q_2 d + Q_6 d^2 + Q_7 d^3 + Q_8 d^4 + Q_9 d^5 + Q_{10} d^6$$

onde : F = frete em Cr\$/ton

C = frete em Cr\$/ton./km

d = distância (virtual) em km

Q_n = coeficientes a serem ajustados pelo método dos mínimos quadrados
(n é um número natural).

2.3.3 Resultados

Compreende-se como resultados, nesta seção, as equações das curvas de fretes rodoviários e ferroviários com os seus respectivos fatores de correção para cada meio de superfície (transporte), os quais dependem da densidade do livro a ser transportado.

Ainda se fornece como informações adicionais as fontes e a vigência dos dados colhidos, o valor do coeficiente de correlação ao quadrado (R^2) conseguido pelo ajuste de cada equação, os campos de variação dos dados necessários para a obtenção das curvas, o máximo desvio percentual anotado entre os valores reais e ajustados.

Com a finalidade de ilustrar, são reunidos gráficos onde se torna visível as curvas de fretes ajustadas e os valores reais dos dados obtidos, os quais foram aproveitados na obtenção das curvas. As equações foram aquelas que melhor se ajustaram aos dados conseguidos, dentre as diversas curvas testadas.

2.3.3.1 Para veículos ferroviários

- vigência : 1/03/74
- fontes de dados : DNEF-TG/5

a) curva de frete :

$$I_n(F) = 0,3135042 + 0,6746896 \cdot I_n(D)$$

$$(R^2 = 0,9849709)$$

onde, F = frete em Cr\$/ton

D = distância em km.

Campo de variação dos dados :

F : de 20.63 a 235.92 (Cr\$/ton)

D : de 25 a 2013 (km)

b) Máximo desvio percentual observado para a amostra utilizada :

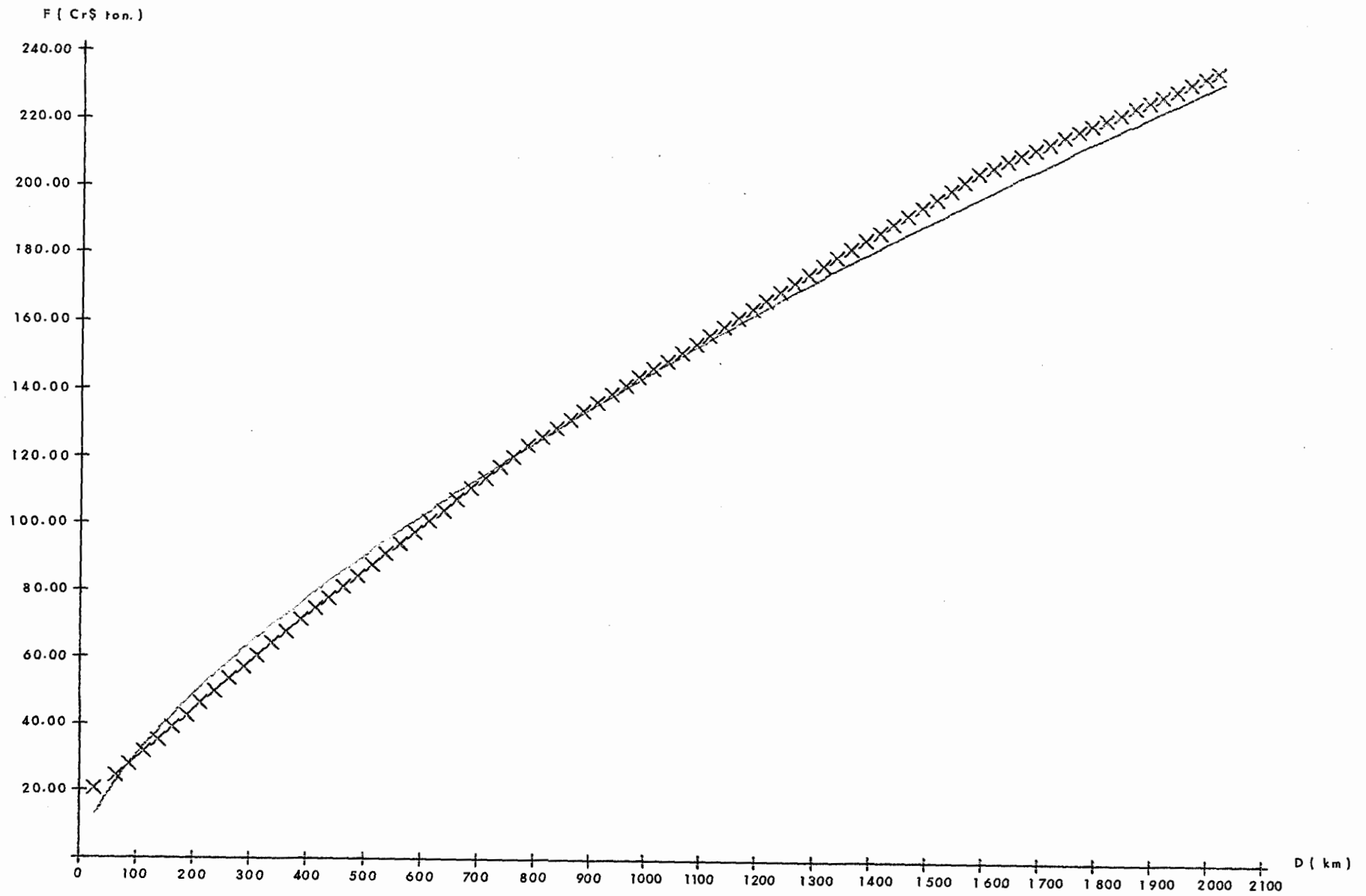
$$S = \frac{V.\text{Estimado} - V.\text{Real}}{V.\text{Real}} \cong 10,69\% - \text{para } D = 213 \text{ km}$$

(todos os demais desvios são inferiores)

c) Gráfico :

(fig : 2.3.3.1.)

Fig: 2.3.3.1
FRETE FERROVIÁRIO



2.3.3.2 Para veículos rodoviários

- vigência: 6/03/74
- fontes de dados : SETRC

REVISTA BR.

a) Curva de frete :

$$A0 = 037.24570E$$

$$A1 = 0.8660620E - 01$$

$$A2 = 0.3521860E - 04$$

$$F = A0 + A1 \cdot D + A2 \cdot D^2$$

$$(R^2 = 0,9915128)$$

onde, F = frete em Cr\$/ton

D = distância em km.

Campos de variação dos dados :

$$F : 45,38 \text{ a } 462,64 \text{ (Cr$/ton)}$$

$$D : 65 \text{ a } 2454 \text{ (km)}$$

b) Máximo desvio percentual observado para a amostra utilizada :

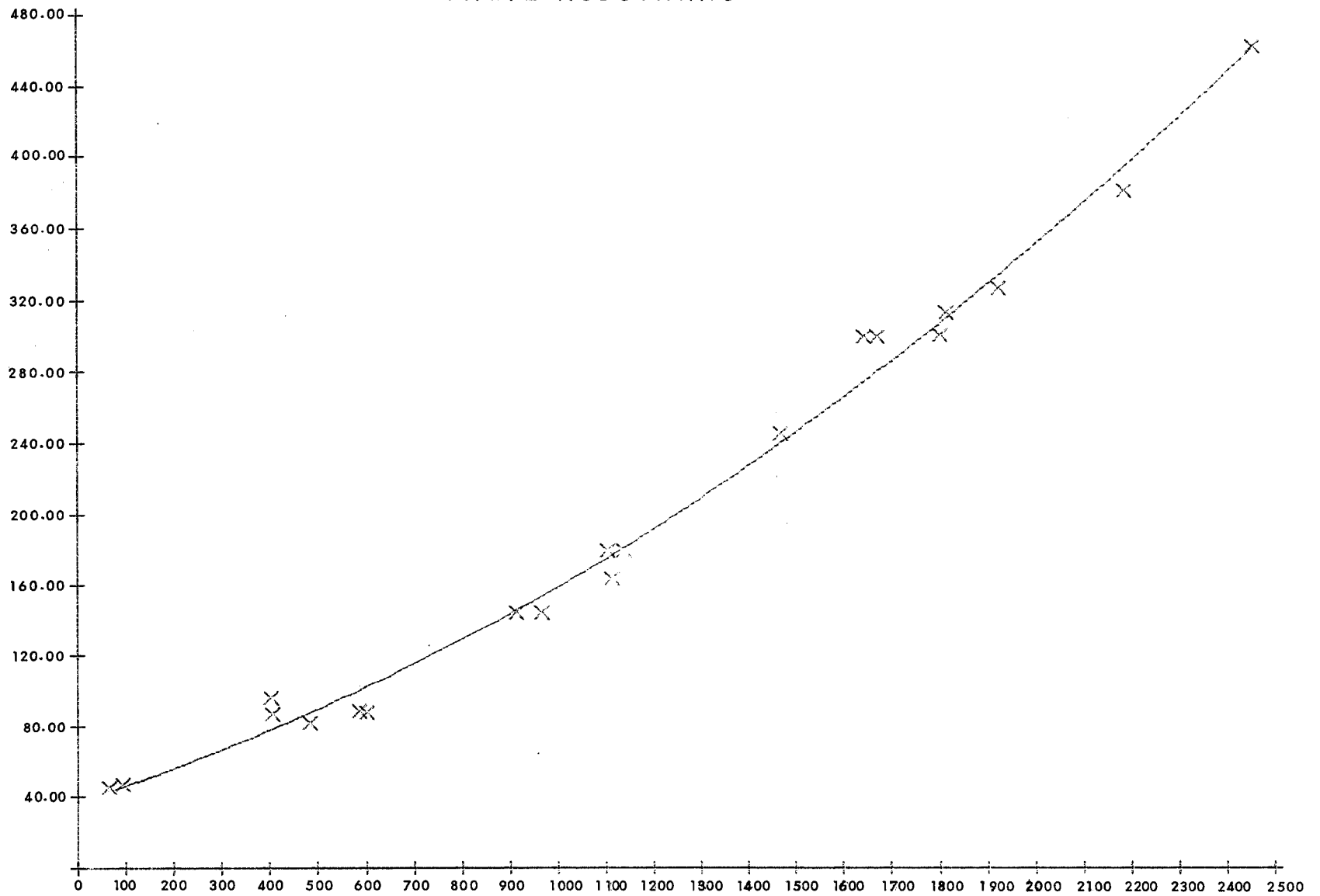
$$S = \frac{V. ESTIMADO - V. REAL}{V. REAL} \cong 18,40\% \text{ para } D = 403 \text{ km}$$

(todos os demais desvios são inferiores)

c) Gráfico

(fig : 2.3.3.2.)

Fig: 2.3.3.2
FRETE RODOVIÁRIO



2.4. Geração das Produções e Consumos, por Região Polar, do Produto Seleccionado.

2.4.1. Dados de Produção.

Neste trabalho existe os polos que são apenas produtores (Estado da Guanabara e Estado de São Paulo) e polos que são apenas consumidores (37 polos do Estado de Minas Gerais). Como o objetivo é satisfazer as necessidades de consumo de livros, pelos 37 polos consumidores, é dado aos polos produtores a condição individual de que cada um deles possa suprir todos os 37 polos consumidores, logo a produção de cada um dos polos produtores é fornecida de maneira a satisfazer as necessidades do problema.

Estado	Produção
Guanabara	5000.000
São Paulo	5000.000

2.4.2. Geração dos Dados de Consumo.

Em relação aos dados de consumo, baseamo-nos numa listagem do número de alunos analfabetos no Estado de Minas Gerais, também foi levado em consideração a população municipal fornecida pelo IBGE.

Baseando-se na população e no número de alunos analfabetos no Estado de Minas Gerais e tendo-se estimado um número de regiões polares entre 30 e 40, obteve-se uma população média e um número médio de alunos analfabetos por região polar. Depois disto, levou-se em conta as vias de acesso determinando 37

regiões polares.

Depois de termos as 37 regiões polares, calculamos a população e o número de alunos de cada uma das regiões polares. Como cada aluno consome 5 livros, nós também obtemos o consumo de livros por cada região polar.

2.5. Processamento.

Devido ao grande número de variáveis os dados do problema de programação linear, solicitados pelo MPS, são gerados por meio de um programa escrito em FORTRAN. No programa gerador cada frete da função objetivo é calculado a partir de uma equação de frete já atualizada.

O problema em estudo contém todos os elementos do Modelo Simplificado e, sua montagem foi baseada nos dados obtidos até o momento de sua execução, sendo que este mesmo programa poderá sofrer facilmente uma modificação, tendo em vista o processamento do modelo geral (como foi explanado em I).

2.5.1. Descrição do Problema.

O problema em estudo é constituído de 39 polos (sendo os polos 1 e 2 produtores e os 37 polos restantes consumidores), 1 produto (livros e 2 meios de transporte (rodoviário e ferroviário)). As listas de referência dos polos e dos meios de transportes constam do anexo, como também a lista dos polos que não tem ligação ferroviária.

As ligações para os 2 meios de transporte em estudo, são fornecidas pelas matrizes de distâncias entre os polos (rodoviária e ferroviária).

A curva de frete para o transporte rodoviário é do tipo:

$$F_{ijk} = A0_k + A1_k \cdot X + A2_k \cdot X^2$$

Enquanto que a curva de frete para transporte ferroviário é do tipo:

$$F_{ijk} = \exp(A0_k + A1_k \cdot \text{ALOG}(X)) + A2_k$$

Onde: $A0_k$, $A1_k$, $A2_k$ = coeficientes das curvas de fretes para cada meio de transporte k ;

$X = D_{ijk}$ = distâncias entre os polos i e j para cada meio de transporte k .

Nestas duas equações não entraram fator de correção nem fator de deflação porque o estudo está sendo baseado em dados atuais.

2.5.2. Dados Utilizados para a Execução do Problema.

- Matriz de distâncias rodoviárias;
- Matriz de distâncias ferroviárias;
- Coeficientes das curvas de fretes;
- Ofertas e demandas.

Os dados necessários para a execução da parametrização da função objetivo e do segundo membro, ou apenas da função objetivo, ou apenas do segundo membro são considerados opcionais. São eles:

- Variações das ofertas e demandas
- Variações percentuais nos fretes para cada meio de transporte k .

Quadro 2.6.2.3.Tabela de coeficientes das curvas de fretes :

	A0	A1	A2
RODOVIA	37.24570	0.8660620×10^{-1}	0.3521860×10^{-4}
FERROVIA	0.3135042	0.6746896	0.000

Quadro 2.6.2.4Oferta ou demanda dos polos (toneladas) (1974)

POLO	PRODUTO	LIVROS
	1	5000.000
	2	5000.000
	3	-45.685
	4	-34.755
	5	-23.565
	6	-32.625
	7	-58.970
	8	-77.840
	9	-184.570
	10	-123.410
	11	-198.955
	12	-194.620
	13	-92.300
	14	-50.900
	15	-28.345
	16	-131.180
	17	-134.000
	18	-327.160
	19	-181.800
	20	-41.360
	21	-119.105
	22	-55.280

23	-62.750
24	-29.220
25	-45.965
26	-36.655
27	-55.610
28	-49.815
29	-65.640
30	-69.395
31	-75.090
32	-41.075
33	-61.000
34	-59.285
35	-34.735
36	-51.975
37	-27.470
38	-42.275
39	-35.290

2.6.3 Explicações Referentes à Geração de Dados de Entrada para o MPS/360

2.6.3.1 Generalidades

O programa, que foi escrito na linguagem FORTRAN para a geração dos dados de entrada do MPS, foi criado para evitar que todos os elementos do modelo de programação linear fossem perfurados em cartões, o que acarretaria um gasto excessivo e desnecessário de tempo e cartões. Por intermédio deste programa, os elementos são gerados ou calculados a partir de outros dados fundamentais, diminuindo grandemente o volume de cartões. Os elementos gerados são arquivados numa fita magnética do tipo SL (STANDARD LABEL), no formato MPS, onde podem ser lidos, para que o programa possa ser executado. Também podem, opcionalmente, ser gerados dados necessários à parametrização da função objetivo e do segundo membro ou, apenas da função objetivo ou, apenas do segundo membro das restrições.

2.6.3.2 Informações Gerais

As informações gerais são representadas pelas seguintes variáveis :

- I - representa o polo origem;
- J - representa o polo destino;
- K - representa o número de produtos ($K = 1$);
- L - representa o meio de transporte;
- IM - número total de polos;

- LTM- número de vias de transporte (rodoviária e ferroviária);
- LM - número total de tipos de veículos;
- LR - número do último tipo de veículos rodoviário;
- LF - número do último tipo de veículos ferroviário;
- IV(I)- indicador dos polos que não tem nenhuma ligação ro
doviária;
se = 0, existe uma ou mais ligações;
se = 1, não tem nenhuma ligação.
- IIV(I)-indicador dos polos que não tem nenhuma ligação fer
roviária:
se = 0, existe uma ou mais ligações;
se = 1, não tem nenhuma ligação.
- NRBV- indicador da existência ou não das restrições de ba
lanço de veículos:
se = 0, não existem;
se \neq 0, existem.
- NDCV- indicador da existência ou não de dados de capacida
de de veículos:
se = 0, não existem;
se \neq 0, existem.
- KL- número lógico da leitora de cartões;
- KW- número lógico da impressora;
- KI- número lógico para escrever na fita.

2.6.3.3 Subrotinas

No programa gerador existe uma subrotina : GERVA

a) Subrotina GERVA :

Esta subrotina tem por finalidade calcular os subíndices de cada variável e os subíndices dos nomes das restrições.

Os nomes das variáveis são alfanuméricos com um símbolo alfabético e sete números inteiros. Cada um símbolo numérico é calculado pela subrotina GERVA em função dos valores de I, J, K e L, sendo que estes índices são os parâmetros de entrada da subrotina. Os parâmetros de saída são :

- IS - representa a unidade de I;
- JS - representa a unidade de J;
- KB - representa a unidade de K;
- LB - representa a unidade de L;
- IB - representa a dezena de I;
- JB - representa a dezena de J;
- KB - representa a dezena de K;
- LB - representa a dezena de L.

Estes parâmetros de saída são utilizados para formar o nome de cada variável ou de cada restrição.

2.6.3.4 Sinais das Restrições

Os sinais das restrições de oferta e demanda são gerados de acordo com os valores das ofertas (positivos) e demandas (negativos), assumindo o sinal me

nor ou igual para valores positivos e o sinal igual para valores negativos.

As restrições de capacidade das frotas, são do tipo menor ou igual, ou ainda livres, dependendo do fornecimento ou não dos dados de capacidade das frotas. Serão geradas em função do número de veículos, o qual foi deixado em aberto.

2.6.3.5 Nomes das Variáveis

Para denominarmos as variáveis, o programa MPS nos permite usar até oito caracteres alfanuméricos sendo que o primeiro dentre eles tem que ser obrigatoriamente alfabético.

Os oito caracteres alfanuméricos, dos quais dispomos, serão utilizados do seguinte modo :

- As variáveis geradas poderão iniciar com a letra V se os valores correspondentes de L forem menores ou iguais a dez ($0 < L \leq 10$), as variáveis, poderão ainda, começar com a letra A caso os valores correspondentes de L forem maiores que dez e menores ou iguais a vinte ($10 < L \leq 20$).

Os índices que seguem a cada símbolo alfabético (L ou A) indicam :

- Os dois dígitos (números) que vem logo após ao símbolo alfabético representam o número dado ao produto existente, os dois dígitos seguintes representam o polo origem, o quinto dígito representa o número do tipo de veículo (se a variável for precedida pela letra A, a este dígito somamos dez) e os dois últimos dígitos representam o polo de consumo. Exemplos :

V0402522 - esta variável, representada deste modo indica que:

$$K = 04, I = 02, L = 5 \text{ e } J = 22$$

A0911832 - se a variável for representada deste modo, podemos afirmar que :

$$K = 09, I = 11, L = 10 + 8 = 18 \text{ e } J = 32.$$

2.6.3.6 Nomes das Restrições

Cada grupo de restrições do problema pode ser identificado pelos dois primeiros caracteres, os quais são alfabéticos e cada restrição pelos índices que vem logo após os caracteres alfabéticos.

O grupo de restrições correspondente às restrições de oferta e demanda são identificados pelos caracteres OD e pelos índices K e I. O grupo de restrições de capacidade das frotas começam com os caracteres CV, aos quais se segue o índice L. Exemplos :

OD0125 - restrição de oferta ou demanda do produto 01 no polo 25;

CV02 - restrição de capacidade da frota de veículos de número 02.

A função objetivo denominamos de FUNÇÃO.

2.6.3.7 Segundo membro

Quanto aos elementos do segundo membro das restrições, escolhemos para representá-los, a palavra SEGUN e cada um dos termos é identificado com o nome escolhido genericamente SEGUN e o nome de cada restrição. Exemplo :

SEGUN OD1724 - corresponde ao elemento do segundo membro de uma restrição de oferta ou demanda do produto 17 no polo 24.

2.6.4. Matrizes de Distâncias D(LT, I, J)

LT - indica qual é a via de transporte (rodoviária ou ferroviária);

I - indica os polos iniciais;

J - indica os polos terminais.

As matrizes de distâncias $D(LT, I, J)$ são matrizes simétricas, nas quais a diagonal principal é nula, ou melhor :

$$D(LT, I, J) = 0 \quad \text{quando } I = J$$

Logo, só é necessário fazer a introdução de uma matriz triangular, seja ela superior ou inferior, porque são idênticas no sentido de simetria da matriz.

2.6.5. Limitações do Programa Gerador

Os nomes das variáveis para este problema em estudo, podem ser gerados para valores de I, J e K, num intervalo de variação entre 1 e 99 e para valores de L entre 1 e 20, onde :

- I - Índice dos polos iniciais;
- J - Índice dos polos terminais;
- K - Índice dos produtos ($K = 1$);
- L - Índice dos tipos de veículos.

O programa gerador nos dá alternativas como :

- incluir ou não no programa, as restrições de balanço de veículos;
- as restrições das capacidades das frotas poderam ser livres se os dados de capacidade das frotas, não forem fornecidos. Poderam ter o sinal de menor ou igual se os referidos puderem ser fornecidos.

2.6.5.1 Parametrização da Função Objetivo

Se houvesse um objetivo específico, poderia ser feita uma parametrização da função objetivo para todos os seus coeficientes ou então, poderia ser feita a parametrização para determinadas ligações e determinados tipos de veículos. Não pode ser feito, ao mesmo tempo, tanto a parametrização de diferentes tipos

de veículos em cada uma ligação de um conjunto de ligações.

Os incrementos dados aos fretes, também poderiam ser calculados no programa gerador. Estes incrementos, poderiam ser fornecidos por intermédio de uma percentagem, que seria fornecida por um parâmetro.

2.6.5.2. Parametrização do Segundo Membro

Se houvesse necessidade, poderíamos realizar a parametrização do segundo membro sempre que fossem fornecidos os incrementos nas ofertas e demandas.

Os dados para a parametrização do segundo membro, poderiam ser gerados no formato MPS até nove grupos. A geração poderia ser realizada para o produto selecionado.

A parametrização do segundo membro, não inclui os elementos das restrições das capacidades das frotas, restringindo-se apenas às restrições de ofertas e demandas.

2.6.6. Utilização das "Procedures" SAVE e RESTORE

A "procedure" SAVE, a cada número de iterações por nós pré-fixado, vai arquivando a base correspondente à última iteração no arquivo PROBFIL. Se o tempo de processamento do programa não fosse suficiente, um outro programa com o auxílio da "procedure" RESTORE, recuperaria a base arquivada pela "procedure" SAVE e continuaria a execução do problema a partir desta base. Sendo assim, devido ao tempo permitido para processamento fornecido no JOB, serão rodados tan

tos programas quantos forem necessários até chegar a solução ótima. A base final, que corresponde a solução ótima, pode também ser arquivada para que posteriormente possa ser utilizada na análise de sensibilidade.

2.6.7. Utilização das "Procedures" COPY e REVISE

Se houvesse o objetivo de otimizar o problema inicial com alguma modificação, não haveria necessidade de gerar novamente os elementos da matriz já arquivada. O processamento podia começar com a recuperação de uma base já arquivada, que diminuirá consideravelmente o tempo de utilização do computador.

Alterando-se o problema inicial, poderemos conservar juntos, o problema inicial e o modificado ou o problema modificado poderá substituir inteiramente o problema inicial.

Os problemas, tanto o inicial quanto o modificado poderão ser guardados num mesmo arquivo ou, se for de interesse, poderão ser guardados em arquivos separados.

Tudo isto pode ser conseguido com a utilização das "procedures" COPY e REVISE.

2.6.8. Descrição e Análise das Listagens da Solução do Modelo Simplificado

Para que se possa conseguir chegar à solução ótima do modelo formulado (dependendo do modelo), são necessários três programas, considerados fundamen

tais:

- Primeiro - programa gerador de dados do modelo de programação linear no formato MPS os quais foram arquivados numa fita magnética cujo código era XG0028.

- Segundo - programa que utiliza o MPS com leitura de fita (XG0028) e utilizando a "procedure" SAVE para arquivar bases num disco já inicializado e que recebe o nome de LUCIA.

- Terceiro - programa que tem finalidade continuar a executar o MPS com a utilização das "procedures" RESTORE e SAVE. Este programa, recupera a base arquivada pelo programa anterior e, se no tempo determinado pelo programador não for encontrada a solução ótima ele arquiva uma nova base. Este programa deve ser rodado tantas vezes quantas forem necessárias para se obter a solução ótima.

Na listagem do primeiro programa aparecem a listagem do Programa Gerador com a sua subrotina, os dados necessários a geração dos elementos do modelo e, se quisermos, também pode sair a listagem das variáveis geradas pelo próprio programa com os seus respectivos valores.

Da listagem do segundo programa fazem parte o programa de controle MPS a saída da "procedure" CONVERT com o nome dos dados do problema (LIVROS), a contagem do tempo (dada em minutos) que o programa permanece sob o seu controle (TIME = 0.04). Em seguida vem uma relação dos erros maiores e menores (os quais deverão ser zero) para as três seções do problema (ROWS, COLUMNS e RHS).

Na linha seguinte, é dada uma estatística do tamanho do problema : 42 linhas, 2280 variáveis (nestas variáveis estão incluídas uma variável de folga para cada linha, pois na realidade, o problema tem 2232 variáveis) 8994

elementos diferentes de zero e a densidade da matriz em percentagem (9.39).

A saída da "procedure" SETUP com o tempo em que o programa permanece sob o seu controle (TIME = 5.84), a lista dos arquivos internos que foram utilizados para a obtenção da solução ótima do problema de programação linear e a distribuição da área da memória utilizada para que fossem arquivados os dados. Na parte final da "procedure" SETUP aparece uma estatística do problema. Na primeira linha aparecem os dados relativos as linhas, a qual nos informa que existe um total de 42 linhas, das quais duas são normais (menor ou igual), três são livres (sem restrição), trinta e sete fixas (igualdades) e não há nenhuma limitada (com variação). Na segunda linha, aparecem os dados relativos as colunas, a qual informa que existe um total de 2238 variáveis das quais 2238 são normais (podem assumir valores entre zero e infinito), não há variáveis livres, não existe variáveis fixas e não existe também variáveis limitadas.

A saída da "procedure" PRIMAL com o nome da função objetivo (OBJ=FUNÇÃO), o nome do segundo membro (RHS=SEGUN) e o tempo em que o programa permanece sob seu controle (TIME=6.83).

Seguem-se as iterações na busca de uma solução viável, cada uma iteração contém o seu próprio número, o número de inviabilidades, o número interno do ao vetor que sai da base, o número interno do vetor que entra na base, o custo reduzido do vetor que entra na base e, a soma das inviabilidades.

A execução do programa continua e de 15 em 15 iterações é arquivada uma base, a qual será substituída por uma outra depois de executadas mais 15 iterações. Este processo continua durante o tempo fixado pelo programador no JOB, se a solução ótima não for encontrada. Ao terminar uma rodada de 15 iterações, uma base é arquivada com o nome de LIVROS (NAME = LIVROS).

Devido ao problema de programação linear em estudo, ser de pequenas

dimensões (2238 variáveis), a solução ótima foi obtida com apenas 71 iterações, não sendo necessário o uso do terceiro programa anteriormente mencionado.

A base, correspondente a solução ótima obtida depois de realizadas 71 iterações é arquivada.

A "procedure" SOLUTION lista a solução do problema em três seções a saber :

- a) seção de identificação;
- b) seção de linhas;
- c) seção de colunas.

Da seção de identificação consta : o tempo utilizado para encontrar a solução ótima (TIME = 9.34 minutos) e o número de iterações. Segue-se o valor, o nome da função objetivo e ainda o nome do segundo membro.

As duas seções (de linhas e de colunas) são semelhantes. Ambas contêm oito colunas e cada linha impressa corresponde a linha ou coluna do problema.

Na primeira coluna (NUMBER) é fornecido o número interno da linha ou coluna incluindo a função objetivo.

Na segunda coluna (ROW ou COLUMN) é fornecido um nome a cada linha ou coluna.

Na terceira coluna (AT) é dado o estado de cada linha ou coluna, quando é obtida a solução ótima do problema de programação linear segundo o código que é explicado abaixo :

- BS na base e viável
- ** na base e inviável
- FR não básica livre
- EQ não básica artificial ou fixa

- UL não básica superiormente limitada
- LL não básica inferiormente limitada.

Na quarta coluna (ACTIVITY) é fornecido o valor que a linha ou a coluna toma quando obtida a solução ótima.

Na quinta coluna (SLACK ACTIVITY ou INPUT COST) é dado o valor que a variável de folga de cada linha assume ou, o custo da variável na função objetivo para as colunas.

Na sexta coluna (LOWER LIMIT) caso exista é dado o menor valor que a quarta coluna poderia ter para permanecer viável.

Na sétima coluna (UPPER LIMIT), se existir, é dado o maior valor que a quarta coluna poderia ter para permanecer viável.

A oitava coluna, em relação a seção das linhas (DUAL ACTIVITY), fornece os valores das variáveis duais e com relação a seção das colunas (REDUCED COST), a razão de incremento no valor da função objetivo por unidade incrementada da variável.

A listagem do Programa Gerador, consta do anexo.

3. Resultados

Os resultados para a aplicação experimental obtidos pelo programa escrito na linguagem MPS, serão apresentados a seguir.

Neste problema partimos da hipótese de que qualquer que fosse a demanda, ela seria satisfeita. Então as restrições de oferta, que teriam o sinal maior ou igual se transformariam em sinais de igualdade. Logo, quase toda a produ

ção foi distribuída, pois na execução do programa cada uma das ofertas assumiria valor hipotético acima de toda a demanda existente. Para estas restrições não existem variáveis de folga.

Quanto às restrições de capacidades das frotas, foi obtida a capacidade necessária de cada frota (ton.Km) para que se possa cumprir a solução ótima obtida pelo programa (quadro 3.1).

O fluxo ótimo de livros, está representado em gráficos.

Nas ligações representadas nos gráficos, a seta indica o sentido do fluxo de transporte e, está escrito sobre ela o valor obtido para a variável x_{ijk} , que representa o fluxo de livros em toneladas. O número, que é mostrado entre parênteses, representa o frete por tonelada transportada (Cr\$/ton).

Os valores, que estão juntos aos polos, representam as ofertas (+) ou as demandas (-) dos respectivos em toneladas. O número que está representado entre chaves, é o valor assumido pela variável dual para a solução ótima do problema dual.

Dentro dos círculos, os quais representam os polos em estudo, estão os números de referência.

Convenções :

_____	transporte rodoviário
-----	transporte ferroviário

Quadro 3.1.	
CAPACIDADES REQUERIDAS PARA AS FROTAS (ton * Km)	
RODOVIÁRIA	FERROVIÁRIA
1.892.860.000	39.452.000

4. Análise de Resultados

Na solução ótima desta aplicação experimental, foi obtido o valor da função objetivo igual a Cr\$ 330.977,09 (a preços de junho de 1974), que representa o mínimo custo total referente aos fretes, que deveriam ser pagos para que o transporte de livros entre os polos seja realizado. Este, resultado obtido, foi baseado na hipótese de que o peso médio dos cinco livros que cada aluno absorve era de 1 kilograma.

Este trabalho tem como base o ano de 1974.

4.1. Restrições de Oferta e Demanda

Como foi assumido por cada um dos ofertadores, valor superior a toda a demanda exigida, o excesso de produção apresentado deve ser desprezado pois, na realidade a soma das ofertas é igual à demanda requerida.

Logo, pode-se concluir que as restrições de oferta e demanda foram totalmente satisfeitas.

4.2. Restrições de Capacidade das Frotas

Como já foi mencionado anteriormente, as capacidades das frotas (rodoviárias) da região não puderam ser obtidas, o que implica em deixar as restrições de capacidade das frotas, tanto rodoviária quanto ferroviária em aberto. A solução ótima do problema nos forneceu para cada meio de transporte (rodoviário ou ferroviário), a quantidade total de toneladas x quilômetros, que cada uma deve

ria cobrir para que a solução ótima seja cumprida. Como não havia dados relativos à utilização anual (Km) e sobre a lotação dos veículos da cada frota (ton), não pode ser calculado o número de veículos do tipo K necessários para o transporte de livros entre os polos na solução de mínima despesa com fretes.

4.3. Solução Ótima do Problema Dual

Os valores assumidos pelas variáveis da solução ótima do problema dual, estão representados nos gráficos de fluxo para o produto em estudo. Estas variáveis duais representam os custos marginais.

Para os polos fornecedores, o custo marginal significa que, se quisermos fornecer uma tonelada a mais do produto, teríamos que pagar uma importância adicional equivalente ao custo marginal, sendo que solução ótima do problema não é alterado.

Com relação aos polos consumidores, o custo marginal é o custo unitário que teria que ser pago se a demanda do produto, no polo considerado, tivesse aumentado em uma tonelada.

O custo marginal para ofertar ou consumir mais uma tonelada só é constante dentro de determinados limites. Por intermédio da análise de sensibilidade, pode-se obter os campos de variação, dentro dos quais os custos marginais são constantes.

IV - Discussão

Como pode ser observado, o modelo de programação linear que foi desenvolvido, é provido de grande flexibilidade.

Na aplicação experimental, foi utilizado um modelo simplificado no qual algumas restrições foram eliminadas ou alteradas e os parâmetros da função objetivo foram trocados.

Pode-se incluir restrições que de algum modo retratem a realidade regional.

Os parâmetros, ao invés de representarem os custos (C_{ijk}) ou fretes (F_{ijk}) poderiam representar, numa aplicação experimental mais detalhada (geral), valores r_{ijk} , que pudessem melhor representar as decisões tomada por parte do contratador de serviços de transporte.

A tomada de decisão no que diz respeito apenas ao frete sem considerar tempo e risco de transporte, permite que sejam comparados os resultados do modelo com os resultados observados na prática e, que a partir desta comparação seja incentivado melhorias de serviço em determinadas rotas, com a intenção de conseguir atingir os valores de capacidade de frota fornecidas pelo modelo.

A tomada de decisão com base nos valores r_{ijk} , que poderiam ser uma função de frequência de serviço frete, tempo de transporte e risco, podia representar a realidade melhor mas talvez, não tivesse tanta utilidade quanto a decisão tomada, baseada nos fretes sob o ponto de vista de política pública.

No modelo de programação linear estudado, observou-se uma predominância do transporte rodoviário sobre o transporte ferroviário. Isto ocorreu, porque para alguns polos consumidores não havia nenhuma ligação ferroviária, e para

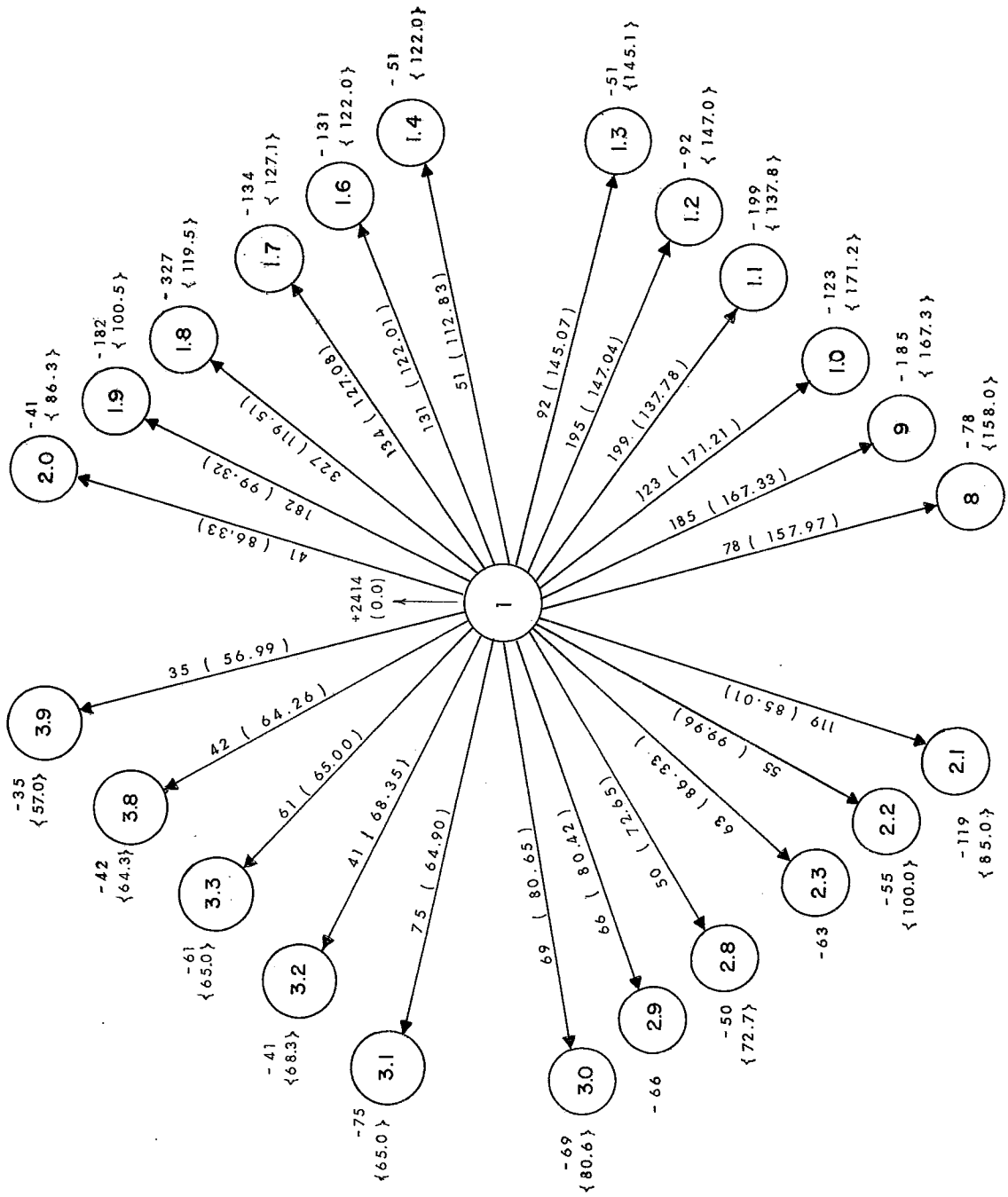
outros polos a ligação existia mas não era direta, isto é, para se conseguir chegar a um determinado polo terminal via transporte ferroviário teríamos que passar por alguns outros lugares; fato que tornou a distância ferroviária entre os polos origens e polos destinos, muito grande ao ser comparado com as distâncias rodoviárias, o que tornou o frete ferroviário mais honeroso, do que o frete rodoviário.

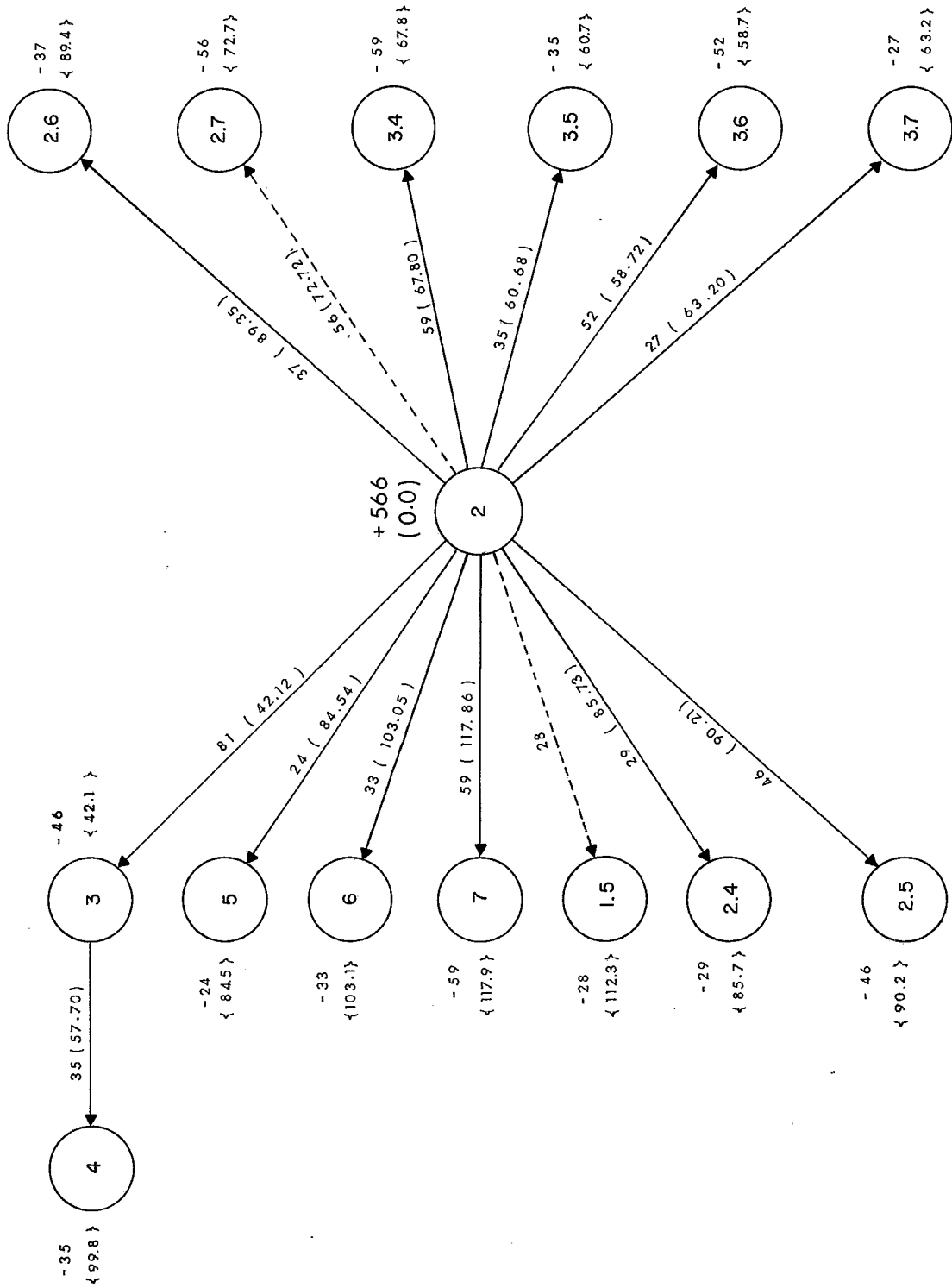
O modelo apresenta uma distorção proveniente do mapeamento das regiões polares, pois se considerada o custo de transporte entre as sedes das regiões polares, fato que nem sempre ocorre. Quanto menor for o número de polos e maior as áreas das regiões polares, maior será a distorção. No entanto, quanto menor for o número de polos, serão maiores as facilidades para o processamento de dados.

Logo, para minimizar estas distorções, as regiões polares devem ser definidas de maneira que, o custo de transporte com destino à sede do município fique o mais próximo possível da média dos custos de transporte com destino a toda região polar.

Na aplicação experimental foram considerados 37 polos consumidores com o objetivo de minimizar a distorção.

O modelo de programação linear desenvolvido, parece ter alcançado o objetivo almejado : satisfaz todas as demandas tendo o menor custo de transporte possível. Com a aplicação experimental confirmou-se a operacionalidade do modelo com dimensões reais.





V - Bibliografia

- 1 - M.Simonard, "Linear Programming", Prentio Hall.
Inc. Englewood, N.Y., 1966.
- 2 - Sav. I. Gass, "Linear Programming", Megraw-Hill,
Kogakusha.
- 3 - T.C.Hu, "Integer Programming and Networks Flows.
- 4 - Harvey M. Wagner, "Principles of Operations Research",
Prentice Hall International Edition.
- 5 - Anuário Estatístico da R.F.F.S.A. , 1973.
- 6 - Relatório da Rede F.F.S.A., 1972.
- 7 - Rodovias do Brasil - D.N.E.F., 1970 - 1º volume.
- 8 - Rodovias do Brasil - D.N.E.F., 1970 - 2º volume.
- 9 - Anuário Estatístico do I.B.G.E. - 1973.
- 10 - N.T.C, "Tarifas do Transporte Rodoviário de Carga",
BR.Nº88, março-abril/1972, pág 16.

- 11 - Anuário Estatístico dos Transportes, 1972.
- 12 - Guia Nacional do Transporte Rodoviário de Carga, 1973/74.
- 13 - Tradutor da Linguagem Estatística, de Ysmar Vianna e Silva Filho -
julho 72 - nº 13.72 - COPPE-UFRJ - Publicação Técnica.
- 14 - Conjuntura Econômica - volume 5
maio de 1974 - Fundação Getúlio Vargas.
- 15 - Programação Fortran - Série Ciência de Computação de :
Denaldo de Souza Dias, Alfredo José Pereira de Lucena e
Fernando Luiz Faria Lima.
- 16 - Pacitti, T., "Princípios Fortran Monitor", ao livro técnico S.A.,
1970.
- 17 - Guia Quatro Rodas do Brasil, São Paulo, Editora Abril, 1974.
- 18 - IBM, "Operating System/360 - JOB Control Language",
(C 28 - 6539).
- 19 - IBM, "Mathematical Programming System/360 -
Application Description Manual" (GH20-0136)
- 20 - IBM, "Mathematical Programming System/360 -

Control Language - User's Manual(H-20-0290)

- 21 -"IBM, Mathematical Programming System 1360 -
Linear and Separable Programming - User's Manual"
(H-20-0476)

- 22 - Reajustes dos Fretes do Transporte Rodoviário de Cargas -
SETRC - RJ - GB.

- 23 - Estudo para Concepção de Políticas Alternativas de Transporte -
COPPETEC CT-183/71 - 1973.

VI - ANEXO

1. PROGRAMA GERADOR

```

SUBROUTINE GERVA(I,J,K,L,IS,JS,KS,LS,IB,JB,KB,LB)
KB=IABS(K/10)
IB=IABS(I/10)
LB=IABS(L/10)
JB=IABS(J/10)
KS=K-KB*10
IS=I-IB*10
LS=L-LB*10
JS=J-JB*10
RETURN
END

```

```

C
C *****
C ***** DEFINICOES DAS VARIAVELIS USADAS NO PROGRAMA *
C *****
C
C-----I REPRESENTA OS POLOS ORIGEM
C
C-----J REPRESENTA OS POLOS DESTINO
C
C-----K REPRESENTA OS PRODUTOS
C
C-----L REPRESENTA OS MEIOS DE TRANSPORTES
C
C-----A)SE =1, TEMOS O TRANSPORTE RODOVIARIO
C
C-----B)SE =2, TEMOS O TRANSPORTE FERROVIARIO
C
C-----IS,JS,KS,LS REPRESENTAM AS UNIDADES DOS INDICES I,J,K,L
C
C-----RESPECTIVAMENTE
C
C-----IB,JB,KB,LB REPRESENTAM AS DEZENAS DOS INDICES I,J,K,L
C
C-----RESPECTIVAMENTE
C
C-----IABS REPRESENTA O VALOR ABSOLUTO
C
C-----ABS REPRESENTA O VALOR ABSOLUTO

```

C-----KM NUMERO TOTAL DE PRODUTOS
 C-----IM NUMERO TOTAL DE POLOS
 C-----LTM NUMERO DE VIAS DE TRANSPORTE (RODOVIARIO FERROVIARIO)
 C-----LM NUMERO TOTAL DE VEICULOS
 C-----KL NUMERO LOGICO DA LEITORA DE CARTOES
 C-----KW NUMERO LOGICO DA IMPRESSORA
 C-----KI NUMERO LOGICO PARA ESCREVER NA FITA
 C-----KO(L),AI(L) COEFICIENTES DA CURVA DE FRETE DO MEIO DE
 C TRANSPORTE L
 C-----O(I,K) MATRIZ DE OFERTA E DEMANDA DOS POLOS I E DOS
 C PRODUTOS K
 C-----CV(L) CAPACIDADE DO TIPO DE VEICULO L
 C-----IV(39),IIV(39) INDICADORES DOS POLOS QUE NAO TEM NENHUMA
 C LIGACAO
 C RODOVIARIA OU FERROVIARIA RESPECTIVAMENTE
 C A)SE =0, EXISTEM UMA OU MAIS LIGACOES
 C B)SE =1, NAO TEM NENHUMA LIGACAO
 C-----LR NUMERO DO ULTIMO VEICULO RODOVIARIO
 C-----LF NUMERO DO ULTIMO VEICULO FERROVIARIO
 C-----NRBV NUMERO DE RESTRICOES DE BALANCO DE VEICULOS
 C A)SE IQUAL A ZERO, NAO EXISTEM
 C B)SE DIFERENTE DE ZERO, EXISTEM

```

C-----NDCV INDICA SE EXISTE OU NAO DADOS DE CAPACIDADE DE
C VEICULOS
C A)SE IGUAL A ZERO, NAO EXISTEM
C B)SE DIFERENTE DE ZERO, EXISTEM
C
C-----LT NUMERO DE MATRIZES DE DISTANCIAS
C
C-----OD2315 RESTRICOES DE OFERTA OU DEMANDA DO PRODUTO 23 NO
C      POLO 15
C
C-----BV1021 RESTRICOES DE BALANCO DE VEICULOS PARA O VEICULO 10
C      NO POLO 21
C
C-----CV12 RESTRICOES DE CAPACIDADE DA FROTA DE VEICULOS
C      NUMERO 12
C
C-----VARIA REPRESENTA O NUMERO DE VARIAVEIS
C
C-----D(LT,I,J) REPRESENTA AS MATRIZES DE DISTANCIAS
C
C-----C REPRESENTA A FUNCAO DO MEIO DE TRANSPORTE CONSIDERADO
C
C-----V1523841      K=15      I=23      L=9      J=41
C
C-----A1622412      K=16      I=22      L=4+10=14      J=12
C
C
C *****
C * DEFINICAO DOS POLOS DAS MATRIZES *
C *****
C
C      POLDS
C
C      01 - RIO DE JANEIRO
C

```

C 02 - SAO PAULO
C 03 - FRUTAL
C 04 - ITUJUTABA
C 05 - UBERABA
C 06 - UBERLANDIA
C 07 - PATOS DE MINAS
C 08 - PARACATU
C 09 - JANUARIA
C 10 - PORTEIRINHA
C 11 - MEDINA
C 12 - ARACUAI
C 13 - MONTES CLAROS
C 14 - CORINTO
C 15 - CAMPOS ALTOS
C 16 - DIAMANTINA
C 17 - PECANHA
C 18 - TEOFILO OTONI
C 19 - GOVERNADOR VALADARES
C

C 20 - PARA DE MINAS
C
C 21 - CARATINGA
C
C 22 - ITABIRA
C
C 23 - BELD HORIZONTE
C
C 24 - FORMIGA
C
C 25 - DIVINOPOLIS
C
C 26 - PASSOS
C
C 27 - LAVRAS
C
C 28 - CONSELHEIRO LAFAIETE
C
C 29 - PONTE NOVA
C
C 30 - MATIPO
C
C 31 - MIRIAE
C
C 32 - UBA
C
C 33 - BARBACENA
C
C 34 - VARGINHA
C
C 35 - POCOS DE CALDAS
C
C 36 - POUSSO ALEGRE
C
C 37 - ITAJUBA
C

```

C      38 - CAXAMBU
C
C      39 - JUIZ DE FORA
C
C
C
C
C
C
C-----PROJETO DA DISTRIBUICAO DE MATERIAL DIDATICO NO ESTADO DE
C      MINAS GERAIS
C
C-----PROGRAMA GERADOR DOS ELEMENTOS DAS MATRIZES DO PROBLEMA
C      DE PROGRAMACAO LINEAR NO FORMATO DE ENTRADA DO MPS
C
C      INTEGER D(2,39,39)
C      DIMENSION O(39,1),A0(2),A1(2),A2(2),IV(39),IIV(39)
C      KW=5
C      KI=11
C      KL=8
C
C      *****
C      * INFORMACOES GERAIS *
C      *****
C
C      READ(KL,100)KM,IM,LM,LTM,LR,LF
C      100 FORMAT(10I5)
C      WRITE(KW,101)
C      101 FORMAT(/,1X,18HINFORMACOES GERAIS/)
C      WRITE(KW,102)KM,IM,LM,LTM,LR,LF
C      102 FORMAT(1X,22HKM=NUMERO DE PRODUTOS=,I4/
C      11X,19HIM=NUMERO DE POLDS=,I4/
C      11X,28HLM=NUMERO TOTAL DE VEICULOS=,I4/
C      11X,40H LTM=NUMERO TOTAL DE MEIOS DE TRANSPORTE=,I4/
C      11X,29HLR=ULTIMO VEICULO RODOVIARIO=,I4/

```



```

C      11X,30HLF=ULTIMO VEICULO FERROVIARIO=,14)
C
C      *****
C      * INFORMACOES DAS DISTANCIAS *
C      *****
C
C      DO 2 LT=1,LTM
C      IF(LT.EQ.1)GO TO 52
C      IF(LT.EQ.2)GO TO 54
C      WRITE(KW,103)
C      103 FORMAT(//3X,32HMATRIZ DE DISTANCIAS RODVARIAS/)
C      GO TO 56
C      54 WRITE(KW,132)
C      132 FORMAT(//3X,33HMATRIZ DE DISTANCIAS FERROVIARIAS/)
C      56 WRITE(KW,104)LT
C      104 FORMAT(1X,6HCLASSE,13/)
C      DO 4 I=2,IM
C      JM=I-1
C      READ(KL,105)(D(LT,I,J),J=1,JM)
C      105 FORMAT(16I5)
C      WRITE(KW,106)I,(D(LT,I,J),J=1,JM)
C      106 FORMAT(1X,12,20I5/(3X,20I5))
C      4 CONTINUE
C      2 CONTINUE
C
C      *****
C      * INFORMACOES DOS COEFICIENTES DAS CURVAS DE CUSTO *
C      *****
C
C      WRITE(KW,107)
C      107 FORMAT(//1X,42HTABELA DE COEFICIENTES DAS CURVAS DE CUSTO/4X,1HL,
C      17X,2HA0,11X,2HA1,12X,2HA2)
C      DO 6 L=1,LM
C      READ(KL,108)A0(L),A1(L),A2(L)

```

```

108 FORMAT(3E12.7)
WRITE(KW,109) L,A0(L),A1(L),A2(L)
109 FORMAT(I5,3(2X,E12.7))
6 CONTINUE
C
C
C *****
C * INFORMACOES DAS OFERTAS E DAS DEMANDAS *
C *****
C
WRITE(KW,110)
110 FORMAT(//1X,36HMATRIZ DAS OFERTAS E DEMANDAS,O(I,K)/4X,1H1)
DO 8 K=1,KM
READ(KL,111)(O(I,K),I=1,M)
111 FORMAT(8F10.4)
WRITE(KW,112)((I,O(I,K)),I=1,M)
112 FORMAT(I3,10F10.4/(3X,10F10.4))
8 CONTINUE
C
C *****
C * GERACAO DOS DADOS DE ENTRADA DO PROBLEMA NO FORMATO DO MPS *
C *****
C
WRITE(KI,113)
113 FORMAT(//4HNAME,10X,6H1LVROS)
WRITE(KI,114)
114 FORMAT(4HROWS)
WRITE(KI,115)
115 FORMAT(1X,1HN,2X,6HFUNCAD)
C
C *****
C * GERACAO DOS SINAIS DAS RESTRICOES DE OFERTA E DEMANDA *
C *****
C

```

```

C DO 10 K=1,KM
C DO 11 I=1,IM
C CALL GERVA(I,0,K,0,IS,JS,KS,LS,IB,JB,KB,LB)
C IF(0(I,K).GT.0.0)GO TO 12
C WRITE(KI,116)KB,KS,IB,IS
C 116 FORMAT(1X,1HE,2X,2HD,4I1)
C GO TO 11
C 12 WRITE(KI,117)KB,KS,IB,IS
C 117 FORMAT(1X,1HL,2X,2HD,4I1)
C 11 CONTINUE
C 10 CONTINUE

```

```

*****
* GERACAO DOS SINAIS DAS RESTRICOES DE CAPACIDADE DOS VEICULOS *
*****

```

```

C DO 50 L=1,LM
C CALL GERVA(0,0,0,L,IS,JS,KS,LS,IB,JB,KB,LB)
C WRITE(KI,118)LB,LS
C 118 FORMAT(1X,1HN,2X,2HCV,2I1)
C 50 CONTINUE

```

```

*****
* GERACAO DOS ELEMENTOS DA MATRIZ *
*****

```

```

*****
* RESTRICOES DE OFERTA E DEMANDA *
*****

```

```

C WRITE(KI,119)
C 119 FORMAT(7HCOLUMNS)
C VARIA=0.0
C DO 14 K=1,KM

```

```

DO 16 I=1,IM
DO 18 L=1,LM
IF(L.GT.LR)GO TO 20
LT=1
ID=1
GO TO 22
20 LT=2
ID=1
DO 24 J=ID,IM
CALL GERVA(I,J,K,L,IS,JS,KS,LS,IB,JB,KB,LB)
IF(I.EQ.J)GO TO 24
IF(I.GT.J)GO TO 26
FF(D(LT,J,I).EQ.0)GO TO 24
R=1.0
S=-1.0
WRITE(KI,120)KB,KS,IB,IS,LS,JB,JS,KB,KS,IB,IS,R,KB,KS,JB,JS,S
GO TO 28
26 IF(D(LT,I,J).EQ.0)GO TO 24
R=-1.0
S=1.0
WRITE(KI,121)KB,KS,IB,IS,LS,JB,JS,KB,KS,JB,JS,R,KB,KS,IB,IS,S
121 FORMAT(4X,1HV,7I1,2X,2HOD,4I1,4X,F12.5,3X,2HOD,4I1,4X,F12.5)
120 FORMAT(4X,1HV,7I1,2X,2HOD,4I1,4X,F12.5,3X,2HOD,4I1,4X,F12.5)
GO TO 28
*****
* RESTRICIONES DE CAPACIDADE DE VEICULOS *
*****
28 IF(I.GT.J)GO TO 30
SS=D(LT,J,I)
GO TO 32
30 SS=D(LT,I,J)
32 IF(L.GT.I)GO TO 34
WRITE(KI,122)KB,KS,IB,IS,LS,JB,JS,LB,LS,SS
122 FORMAT(4X,1HV,7I1,2X,2HCV,2I1,6X,F12.5)

```

```
C 34 GO TO 36
C 34 WRITE(KI,123)KB,KS,IB,IS,LS,JB,JS,LB,LS,SS
C 123 FORMAT(4X,1HA,7I1,2X,2HCV,2I1,6X,F12.5)
C
C *****
C * GERACAO DA FUNCAO OBJETIVO = COEFICIENTES DE CUSTO *
C *****
C 36 IF(I.GT.J)GO TO 38
C X=D(LT,J,I)
C GO TO 40
C 38 X=D(LT,I,J)
C 40 IF(L.GT.LR)GO TO 42
C C=A0(L)+A1(L)*X+A2(L)**X**2
C GO TO 44
C 42 C=EXP(A0(L)+A1(L)*ALOG(X))+A2(L)
C 44 WRITE(KI,124)KB,KS,IB,IS,LS,JB,JS,C
C 124 FORMAT(4X,1HV,7I1,2X,6HFUNCAO,4X,F12.5)
C VARIA=VARIA+1.0
C 24 CONTINUE
C 18 CONTINUE
C 16 CONTINUE
C 14 CONTINUE
C
C *****
C * GERACAO DOS ELEMENTOS DO SEGUNDO MEMBRO *
C *****
C 125 WRITE(KI,125)
C FORMAT(3HRHS)
C DO 46 K=1,KM
C DO 48 I=1,IM
C IF(O(I,K).EQ.O)GO TO 48
C CALL GERVA(I,O,K,O,IS,JS,KS,LS,IB,JB,KB,LB)
```

```
WRITE(KI,126)KB,KS,IB,IS,O(I,K)
126 FORMAT(4X,5HSEGUN,5X,2HOD,4I1,4X,F12.0)
48 CONTINUE
46 CONTINUE
WRITE(KI,127)
127 FORMAT(6HENDATA)
WRITE(KW,128)VARIA
128 FORMAT(//2X,20HNUMERO DE VARIAVEIS=,F12.0)
WRITE(KW,129)
129 FORMAT(//2X,18HTUDO FUNCIONOU BEM)
WRITE(KW,130)
130 FORMAT(//5X,*PROJETO SOBRE A DISTRIBUICAO DE MATERIAL DIDATICO PA
1RA O ESTADO DE MINAS GERAIS*)
WRITE(KW,131)
131 FORMAT(//5X,*TRABALHO EXECUTADO POR CELSO DA SILVA REBELLO*)
CALL EXIT
END
```

2. GRÁFICO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO

```

C-----O EIXO DOS X CORRESPONDE AS DISTANCIAS ENTRE AS CIDADES DADAS EM KM
C-----O EIXO DOS Y CORRESPONDE AO FRETE FERROVIARIO DADO EM C$/TON
DIMENSION X(20),Y(20)
READ(8,2)(Y(I),X(I),I=1,20)
2  FORMAT(F10.3,F10.1)
1  WRITE(5,1)
   FORMAT('1',19X,'FRETE RODVVIARIO')
4  FORMAT(' ',20X,'DADOS PARA TRACAR O GRAFICO',//,22X,'Y(I)',16X,'X(
   11)')
   WRITE(5,6)(Y(I),X(I),I=1,20)
6  FORMAT(' ',20X,F8.3,13X,F6.1)
   XMAX=X(20)
   XMIN=X(1)
   YMAX=Y(20)
   YMIN=Y(1)
   IX=XMIN
   XXMIN=IX
   IY=YMIN
   YYMIN=IY
   ESCX=(20.0*0.3937)/XMAX
   ESCY=(14.0*0.3937)/YMAX
   CALL SCALF(ESCX,ESCY,0.0,0.0)
C-----CM ESTES COMANDOS DAMOS AO COMPUTADOR A INFORMACAO DE QUE
C-----A) A ESCALA DO EIXO X E ESCX
C-----B) A ESCALA DO EIXO Y E ESCY
C-----C) A ORIGEM DO SISTEMA E O PONTO X=0.0 Y=0.0
   CALL FGRID(0.0,0.0,100.0,25)
C-----COM ESTE COMANDO DETERMINA-SE O SENTIDO POSITIVO DO EIXO DOS X , A ORIGEM
C-----E O PONTO X=0.0 Y=0.0 COM 25 INTERVALOS VARIANDO DE 100.0 EM 100.0 KM
   CALL FGRID(1,0.0,0.0,40.0,12)
C-----COM ESTE COMANDO DETERMINA-SE O SENTIDO POSITIVO DO EIXO DOS Y, A ORIGEM
C-----E O PONTO X=0.0 Y=0.0 COM 12 INTERVALOS VARIANDO DE 40.0 EM 40.0 CR$
   CALL FPLOT(3,0.0,0.0)
C-----COM ESTE COMANDO VOLTA-SE AO PONTO ORIGEM DO SISTEMA COM A PENNA LEVANTADA
DO 10 I=1,20

```



```

CALL PLOT(3,X(I),Y(I))
C-----COM ESTE COMANDO LOCALIZA-SE OS PONTOS DO GRAFICO COM A PENNA LEVANTADA
CALL PLOT(2,X(I),Y(I))
C-----COM ESTE COMANDO FAZ-SE COM QUE A PENNA ABAIXE ATE O PAPEL
CALL POINT(1)
C-----COM ESTE COMANDO MARCA-SE OS PONTOS NO GRAFICO COM O SINAL +
10 CONTINUE
XX=XXMIN
YY=37.24570+0.08660620*XX+0.00003521860*XX**2
CALL PLOT(3,XX,YY)
C-----COM ESTE COMANDO VOLTA-SE COM A PENNA LEVANTADA AO PRIMEIRO PONTO ESTIMADO
C-----PELO PROGRAMA TRALE
XX=XXMIN
YY=37.24570+0.08660620*XX+0.00003521860*XX**2
CALL PLOT(2,XX,YY)
C-----COM ESTE COMANDO ABAIXA-SE A PENNA SOBRE ESTE PONTO ESTIMADO
S=1.945
XX=XXMIN
DO 12 I=1,200
XX=XX+S
YY=37.24570+0.08660620*XX+0.00003521860*XX**2
CALL PLOT(2,XX,YY)
C-----COM ESTE COMANDO TRACA-SE O GRAFICO
12 CONTINUE
CALL PLOT(3,0.0,0.0)
CALL EXIT
END

```

3. GRÁFICO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO

```

C-----O EIXO DOS X CORRESPONDE AS DISTANCIAS ENTRE AS CIDADES DADAS EM KM
C-----O EIXO DOS Y CORRESPONDE AO FRETE FERROVIARIO DADO EM C$/TON
DIMENSION X(80),Y(80)
READ(8,2)(X(I),Y(I),I=1,80)
2  FORMAT(F10.1,F10.4)
WRITE(5,1)
1  FORMAT('1',19X,'FRETE FERROVIARIO = TARIFA M-5')
WRITE(5,4)
4  FORMAT(' ',20X,'DADOS PARA TRACAR O GRAFICO',//,22X,'X(I)',16X,'Y(
1I)')
WRITE(5,6)(X(I),Y(I),I=1,80)
6  FORMAT(' ',20X,F6.1,13X,F8.4)
XMAX=X(80)
XMIN=X(1)
YMAX=Y(80)
YMIN=Y(1)
IX=XMIN
XXMIN=IX
IY=YMIN
YYMIN=IY
ESCX=(20.0*0.3937)/XMAX
ESCY=(14.0*0.3937)/YMAX
CALL SCALF(ESCX,ESCY,0.0,0.0)
C-----COM ESTES COMANDOS DADOS AO COMPUTADOR A INFORMACAO DE QUE
C-----A) A ESCALA DO EIXO X E ESCX
C-----B) A ESCALA DO EIXO Y E ESCY
C-----C) A ORIGEM DO SISTEMA E O PONTO X=0.0 Y=0.0
CALL FGRID(0.0,0.0,100.0,21)
C-----COM ESTE COMANDO DETERMINA-SE O SENTIDO POSITIVO DO EIXO DOS X, A ORIGEM
C-----E O PONTO X=0.0 Y=0.0 COM 21 INTERVALOS VARIANDO DE 100.0 EM 100.0 KM
CALL FGRID(1.0,0.0,0.0,20.0,12)
C-----COM ESTE COMANDO DETERMINA-SE O SENTIDO POSITIVO DO EIXO DOS Y, A ORIGEM
C-----E O PONTO X=0.0 Y=0.0 COM 12 INTERVALOS VARIANDO DE 20.0 EM 20.0 CR$
CALL FPLDT(3,0.0,0.0)
C-----COM ESTE COMANDO VOLTA-SE AO PONTO ORIGEM DO SISTEMA COM A PENA LEVANTADA
DO 10 I=1,80

```

```

CALL FPLOT(3,X(I),Y(I))
C-----COM ESTE COMANDO LOCALIZA-SE OS PONTOS DO GRAFICO COM A PENNA LEVANTADA
CALL FPLOT(2,X(I),Y(I))
C-----COM ESTE COMANDO FAZ-SE COM QUE A PENNA ABAIXE ATE O PAPEL
CALL POINT(1)
C-----COM ESTE COMANDO MARCA-SE OS PONTOS NO GRAFICO COM O SINAL +
10 CONTINUE
XX=XXMIN
YY=EXP(0.3135042+0.6746896*ALDG(XX))
CALL FPLOT(3,XX,YY)
C-----COM ESTE COMANDO VOLTA-SE COM A PENNA LEVANTADA AO PRIMEIRO PONTO ESTIMADO
C-----PELO PROGRAMA TRALE
XX=XXMIN
YY=EXP(0.3135042+0.6746896*ALDG(XX))
CALL FPLOT(2,XX,YY)
C-----COM ESTE COMANDO ABAIXA-SE A PENNA SOBRE ESTE PONTO ESTIMADO
S=10.0
XX=XXMIN
DO 12 I=1,200
XX=XX+S
YY=EXP(0.3135042+0.6746896*ALDG(XX))
CALL FPLOT(2,XX,YY)
C-----COM ESTE COMANDO TRACA-SE O GRAFICO
12 CONTINUE
CALL FPLOT(3,0.0,0.0)
CALL EXIT
END

```

4. PROGRAMA MPS

```
PROGRAM
INITIALZ
MOVE (XDATA, 'LIVROS')
MOVE (XPBNAME, 'PBFILE')
CONVERT
BEDOUT
XREQ1=15
MVADR (XDOFREQ1, SOL)
SETUP
MOVE (XRHS, 'SEGUN')
MOVE (XOBJ, 'FUNÇÃO')
PRIMAL
SOLUTION
SAVE ('NAME', 'LIVROS')
EXIT
SOL  SAVE ('NAME', 'LIVROS')
CONTINUE
PEND
```

5 - Meios de Transporte

RODOVIÁRIO

FERROVIÁRIO

6 - Polos que não tem ligação ferroviária

3 - Frutal

4 - Ituiutaba

7 - Patos de Minas

8 - Paracatu

9 - Januária

10 - Porteirinha

11 - Medina

12 - Araçuaí

17 - Peçanha

18 - Teófilo Otoni

31 - Muriaé