

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UM MODELO DE ATRIBUIÇÃO DE TRÁFEGO PARA ANÁLISE DE CENÁRIOS:
Aplicação a Projetos Ferroviários da Região Sul

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

NÉVIO ANTÔNIO CARVALHO

FLORIANÓPOLIS
SANTA CATARINA - BRASIL
MARÇO/89

UM MODELO DE ATRIBUIÇÃO DE TRÁFEGO PARA ANÁLISE DE CENÁRIOS;
Aplicação a Projetos Ferroviários da Região Sul

NEVIO ANTONIO CARVALHO

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

"MESTRE EM ENGENHARIA"

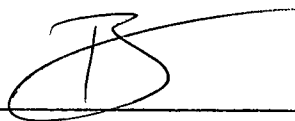
Especialidade Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final
pelo Programa de Pós-Graduação.



Prof.: Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.

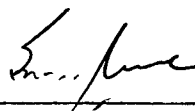
- Coordenador -

Banca Examinadora:

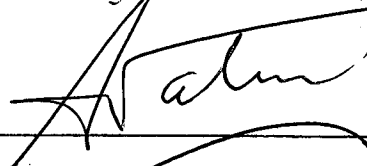


Prof.: Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.

- Presidente -



Prof.: Sérgio Fernando Mayerle, M. Eng.



Prof.: Amir Mattar Valente, M. Sc.



Prof.: Neri dos Santos, Dr. Eng.

*À Sandra e Gabriela,
com amor.*

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui os meus agradecimentos:

- À Prof(a) Glaci Trevisan Santos, pelo incentivo em todos os momentos e pelo apoio durante o período de graduação.

- Aos colegas da Pós-Graduação, especialmente aos da primeira turma de Transportes (João, Carmen, Ilson) pela amizade e apoio durante o Curso.

- Aos colegas Jorge Destri Júnior e Fernando Gauthier, pelo apoio computacional em todos os momentos.

- Aos funcionários da Pós-Graduação e do Departamento de Engenharia de Produção (Zelita, Margarete, Lucia, Namir, Aldaneí, Luciane,....) pela colaboração e amizade.

- À CAPES, pelo apoio financeiro.

- Ao Prof. Ricardo M. Barcia, pela orientação geral do trabalho, pelas sugestões de implementação do modelo e pelo apoio durante o Curso.

- Ao Prof. Amir M. Valente, pela co-orientação nos aspectos específicos de planejamento de transportes e fornecimento dos dados necessários à aplicação do modelo.

- E um agradecimento muito especial ao prof. Sérgio F. Mayerle, pela co-orientação e todo o trabalho de formulação e desenvolvimento computacional do modelo.

INDICE

SUMARIO DAS TABELAS	viii
SUMARIO DAS FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Origem.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Importância	3
1.4. Organização	3
1.5. Limitações	4
2. EQUILIBRIO EM REDES DE TRANSPORTES	5
2.1. Introdução	5
2.2. Princípios básicos de equilíbrio de tráfego.....	8
2.3. Modelos de equilíbrio em redes de transportes.....	15
2.3.1. Atribuição de tráfego com demanda fixa.....	15
2.3.1.1. Algoritmo de Frank-Wolfe	16
2.3.1.2. Algoritmos mais recentes	23
2.3.2. Atribuição de tráfego com demanda elástica.....	26
2.4. Escolha de um modelo para o estudo proposto.....	31
3. UM MODELO DE ATRIBUIÇÃO DE TRÁFEGO PARA ANÁLISE DE CENÁRIOS	32
3.1. Introdução	32

3.2. Fase I: Atribuição do tráfego rodoviário.....	33
3.2.1. Dados de entrada.....	33
3.2.1.1. Representação da rede rodoviária.....	33
3.2.1.2. Demanda por transporte.....	33
3.2.2. Funções e procedimentos utilizados.....	35
3.2.3. Saída dos resultados	36
3.3. Fase II: Quantificação do tráfego desviado	37
3.3.1. Dados de entrada	37
3.3.2. Algoritmo de Dijkstra.....	38
3.3.3. Saída dos resultados.....	40
3.4. Possibilidades de utilização do modelo	40
4. APLICAÇÃO A PROJETOS FERROVIARIOS DA REGIÃO SUL	41
4.1. Introdução.....	41
4.2. Atribuição do tráfego de cargas na rede rodoviária.....	42
4.2.1. Zoneamento da região.....	42
4.2.2. Definição da rede rodoviária.....	44
4.2.3. Matriz origem - destino.....	45
4.2.4. Carregamento da rede	49
4.2.5. Comentários sobre a fase I	51
4.3. Quantificação do tráfego desviado	52
4.3.1. Definição da rede bimodal rodo-ferroviária	52
4.3.2. Cargas envolvidas.....	53
4.3.3. Equações de custo para as simulações.....	53
4.3.4. Simulações.....	54
4.3.4.1. Implantação da Ferrovia Litoral Sul....	55
4.3.4.2. Implantação da Ferrovia do Frango	59
4.4. Análise parcial de viabilidade dos trechos simulados... 62	

4.4.1. Introdução.....	62
4.4.2. Ferrovia do Frango.....	63
4.4.2.1. Valores de custos e outros parâmetros utilizados.....	63
4.4.2.2. Benefícios do empreendimento	65
4.4.2.3. Custos do empreendimento	67
4.4.2.4. Análise dos resultados	75
4.4.3. Ferrovia Litoral Sul	76
4.4.3.1. Considerações iniciais	76
4.4.3.2. Benefícios do empreendimento	77
4.4.3.3. Custos do empreendimento	78
4.4.3.4. Análise dos resultados.....	81
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	85
5.1. Conclusões.....	85
5.2. Recomendações	86
BIBLIOGRAFIA	87
ANEXO I: Programa Fase I	95
ANEXO II : Programa Fase II	104
ANEXO III: Mapa-Referência Rodoviário	111
ANEXO IV: Mapa-Referência Bimodal	113

SUMÁRIO DAS TABELAS

Tabela 1 - Notação básica utilizada	7
Tabela 2 - Velocidade(Km/h) em função da situação do trecho	3*
Tabela 3 - Relação das zonas de tráfego	43
Tabela 4 - Relação dos locais da pesquisa	45
Tabela 5 - Classificação dos produtos	46
Tabela 6 - Ocupação padrão dos veículos rodoviários	46
Tabela 7 - Resultados do primeiro carregamento	49
Tabela 8 - Resultados do carregamento final	50
Tabela 9 - Desvio de tráfego para os trechos existentes - sem a implantação da Litoral Sul	57
Tabela 10 - Desvio de tráfego para os trechos existentes - com a implantação da Litoral Sul	57
Tabela 11 - Tabela 10 - Tabela 9	57
Tabela 12 - Fluxo desviado do rodoviário para a Litoral Sul sob diferentes condições de taxaço.....	58
Tabela 13 - Desvio de tráfego para os trechos existentes - Sem a implantação da Ferrovia do Frango	60
Tabela 14 - Desvio de tráfego para os trechos existentes - Com a implantação da Ferrovia do Frango	60
Tabela 15 - Tabela 14 - Tabela 13	60
Tabela 16 - Fluxos desviados do rodoviário para a Ferrovia do frango sob diferentes condições de taxaço	61
Tabela 17 - Valores de frete-base e custo operacional	

(em US\$/t.Km) - Ferrovia do Frango	66
Tabela 18 - Custo de aquisição de locomotivas e vagões (Necessidades do 1º ano da Ferrovia do Frango) ...	69
Tabela 19 - Quantidade de locomotivas necessárias ao atendimento da demanda - Ferrovia do Frango	69
Tabela 20 - Custo de aquisição de locomotivas e vagões (Para a vida útil da Ferrovia do Frango).....	70
Tabela 21 - Custos anuais uniformes equivalentes referentes aos benefícios e custos da Ferrovia do Frango	72
Tabela 22 - Valores de frete-base e custo operacional (em US\$/t.Km) - Ferrovia Litoral Sul	77
Tabela 23 - Custo de aquisição de locomotivas e vagões (Para a vida útil da Ferrovia Litoral Sul)	78
Tabela 24 - Custos anuais uniformes equivalentes referentes aos benefícios e custos da Litoral Sul	80
Tabela 25 - Valores de custos de construção e terminais para que a condição benefícios = custos seja atendida (em US\$/Km)	80
Tabela 26 - Custos anuais uniformes equivalentes para valores de custos de construção e terminais iguais aos da Ferrovia do Frango - Ferrovia Litoral Sul -	82

SUMARIO DE FIGURAS

Figura 1 - Visão geral do transporte de carga	1
Figura 2 - Formação do fluxo padrão	6
Figura 3 - Paradoxo de Braess	12
Figura 4 - Gráfico comparativo dos custos anuais uniformes equivalentes (Benefícios x Custos) - Ferrovia do Frango (Por Trecho)	73
Figura 5 - Gráfico comparativo dos custos anuais uniformes equivalentes (Benefícios x Custos) - Ferrovia do Frango (Como um todo)	74
Figura 6 - Gráfico comparativo dos custos anuais uniformes equivalentes (Benefícios x Custos) - Ferrovia Litoral Sul (Por Trecho)	83
Figura 7 - Gráfico comparativo dos custos anuais uniformes equivalentes (Benefícios x Custos) - Ferrovia Litoral Sul (Como um todo)	84

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de equilíbrio de tráfego para análise de cenários, baseado no método das combinações convexas de Frank-Wolfe e incorpora o algoritmo de Dijkstra para a alocação dos fluxos nos caminhos de custos mínimos.

Uma aplicação do modelo é apresentada, envolvendo numa primeira etapa a calibração de uma rede rodoviária para a Região Sul, utilizando-se fluxos de cargas para o carregamento da rede e o tempo de viagem como impedância. Numa segunda etapa, incorpora-se o sistema ferroviário existente e analisa-se dois cenários de implantação de trechos ferroviários: a Ferrovia do Frango (ligando o oeste de Santa Catarina ao Porto de São Francisco do Sul) e a Ferrovia Litoral Sul (ligando Porto Alegre à Curitiba, em traçado paralelo a BR-101). Nesta etapa, o procedimento de atribuição consiste em indexar o frete ferroviário como um percentual do frete rodoviário e, através de sucessivas variações, quantificar os fluxos correspondentes.

Os fluxos obtidos são utilizados para uma análise preliminar de viabilidade dos trechos. Os resultados indicam que, para a Ferrovia do Frango, um percentual de tarifação de 60% do frete rodoviário atualmente praticado bastaria para garantir a viabilidade do investimento, considerando uma TMA de 12% ao ano e um período de vida útil de 25 anos. Já para a Ferrovia Litoral Sul, a quantidade de fluxo desviada da modalidade rodoviária para a ferroviária mostra-se insuficiente para garantir o empreendimento.

ABSTRACT

This work presents a traffic equilibrium model for scenario analysis based on Frank-Wolfe convex combination method and Dijkstra algorithm for assigning flow on minimal cost paths.

An application is made regarding the construction and operation of two railways in the State of Santa Catarina. The first proposed railway would link the West of the State to its Coast, whereas the second one, Porto Alegre to Curitiba, by the coast.

The flows obtained through traffic assignment were used to make a feasibility study of the proposed railways. The results found in this study show that the first railroad would be profitable whereas the second one, the small amount of traffic switched from the highway mode to the railway one would make the revenues not sufficient to cover the investment and operating costs.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - ORIGEM DO TRABALHO

Em 1984, o Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico de Transportes (NDTT/UFSC) desenvolveu uma pesquisa de campo nos principais corredores rodoviários de fronteira do Estado de Santa Catarina, envolvendo o transporte de carga na região. Este levantamento possibilitou, entre outras coisas, a determinação de uma matriz O/D dos produtos detectados na pesquisa. Em função da disponibilidade destes dados e de um interesse pessoal em trabalhar com fluxos de cargas, é que decidiu-se pela realização deste trabalho.

O transporte de carga pode ser visto, de um modo geral, da seguinte forma:

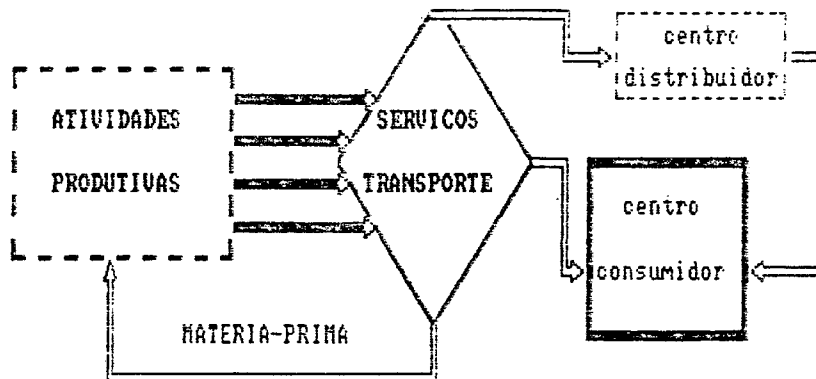


FIGURA 1 - Visão geral do transporte de carga

Nesta representação, tem-se as atividades produtivas, que são espacialmente distribuídas e que, portanto, requerem serviços de transporte para o escoamento da produção ou para a própria realização destas atividades. Para o tratamento destes fluxos, existem na literatura duas abordagens analíticas:

- logística, que engloba as atividades de administração e distribuição de bens e cujas questões fundamentais de transporte são:

(a) para onde os recursos devem ser movimentados e por qual rota;

(b) quando os recursos devem ser movimentados.

- abordagem tradicional de sistemas de transporte de carga, que enfoca somente a movimentação no espaço e seus custos, sem considerar a questão da estocagem.

1.2 - OBJETIVOS DO TRABALHO

Com este trabalho, pretende-se basicamente atingir dois objetivos, expressos pelas fases I e II do modelo proposto:

• desenvolver um modelo de equilíbrio de tráfego baseado no princípio do equilíbrio do usuário e experimentá-lo com dados reais, com o objetivo de calibrar uma rede rodoviária para a Região Sul do País;

• como aplicação, objetiva quantificar o tráfego desviado da rede rodoviária com a implantação de cenários alternativos, com base na redução dos custos de transporte e sob diferentes condições de tarifação. Com os valores obtidos, realizar estudos de viabilidade dos cenários considerados.

1.3 - IMPORTANCIA DO TRABALHO

O setor de transportes, no Brasil, pelo que o autor conhece, carece de metodologias para a quantificação de impactos provocados pela movimentação das mercadorias em um sistema de transportes.

Desta forma, o modelo proposto tenta preencher esta lacuna e busca incentivar a produção de novos trabalhos de pesquisa sobre o assunto.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 2, apresenta-se os princípios básicos de equilíbrio de tráfego, e alguns modelos de atribuição com demanda fixa e variável são analisados. O modelo de Frank-Wolfe, utilizado para a fase I do modelo proposto, é detalhado.

O capítulo seguinte apresenta o modelo proposto, estruturado em duas fases independentes: a primeira é relativa a um processo de atribuição de tráfego com demanda fixa e a segunda refere-se à quantificação do desvio de tráfego de uma modalidade para outra, com base num algoritmo de mínimos custos.

No capítulo 4 é feita uma aplicação do modelo, envolvendo:

- na fase I, dados O/D e uma rede rodoviária da Região Sul do País.
- na fase II, a definição de uma rede rodo-ferroviária e a implantação de 2 cenários: Ferrovia do Frango (entre Chapecó e São Francisco do Sul) e Ferrovia Litoral Sul (entre Porto Alegre e Curitiba). Uma análise parcial de viabilidade dos 2 cenários também é apresentada.

No quinto capítulo, apresenta-se as conclusões e recomendações de trabalhos de pesquisa.

1.5 - LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As limitações são relativas ao modelo proposto e a aplicação.

- Em relação ao modelo: na fase I, o modelo apresenta convergência lenta, o que faz com que o tempo de CPU torne-se bastante alto em redes do porte da utilizada na aplicação. Além disso, as funções de desempenho usadas (envolvendo apenas tempo de viagem) também limitam a abrangência do modelo, no que se refere à especificação do comportamento do usuário do serviço de transportes. O procedimento de calibração adotado (alterações na velocidade em função dos resultados obtidos) é outro fator limitante do modelo. Na fase II, a quantificação do desvio de tráfego com base apenas no custo de transporte nem sempre representa o comportamento do usuário do serviço.

- Em relação a aplicação: Referem-se, basicamente, aos dados utilizados para os estudos parciais de viabilidade, os quais incorporam apenas o tráfego desviado da modalidade rodoviária.

CAPITULO 2

EQUILIBRIO EM REDES DE TRANSPORTES

2.1 - INTRODUÇÃO

Em função do potencial para a análise de cenários, os modelos de equilíbrio de redes destacam-se dentre os mais difundidos em planejamento de transportes. A questão central nestes modelos é a definição das funções de demanda e de oferta de transporte e a busca de uma solução de equilíbrio para os deslocamentos e níveis de serviço dos componentes da rede.

Algumas características especiais dos sistemas e mercados de transporte tornam este problema relativamente complexo, consequência fundamentalmente de peculiaridades relativas à configuração da rede e do processo de congestionamento. De um lado, tem-se as funções de oferta (geralmente definidas individualmente para cada arco da rede) e, de outro, as funções de demanda que são definidas à nível de pares O/D e que dependem do nível de serviço do caminho, o qual, em geral, usa diversos arcos da rede. Deve-se considerar que o nível de serviço de qualquer caminho particular é a soma dos níveis de serviços de todos os arcos que fazem parte deste caminho e que cada arco pode ser usado por diversos caminhos que unem diferentes pares O/D (FERNANDEZ & FRIESZ 1983).

Assim, pode-se visualizar que um equilíbrio entre o nível de serviço e o fluxo não pode ser obtido pela consideração de um par O/D isolado, ignorando-se as outras funções de demanda e de oferta

da rede.

A determinação do equilíbrio em redes de transportes é essencial em muitos estudos de transporte, entre os quais análise de investimentos, sistemas de gerenciamento de tráfego e políticas de taxaço.

Quando o objetivo do estudo envolve a quantificação de impactos provocados por determinados cenários, os procedimentos podem ser divididos em duas fases (SHEFFI 1985b):

(a) especificação matemática do cenário, através de um conjunto de informações (representação da rede de transportes, funções de desempenho dos arcos, matriz O/D, etc) que são utilizadas para a previsão de um fluxo padrão de equilíbrio em cada componente da rede. Este fluxo pode ser visualizado como o resultado do interrelacionamento de dois componentes, conforme figura abaixo:

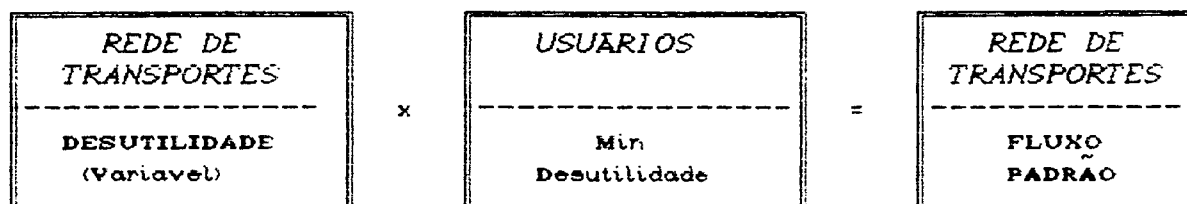


Figura 2 - Formação do fluxo padrão.

Esta caracterização confronta o fator decisão de viagem do usuário, que tende a minimizar a desutilidade associada ao seu deslocamento (tempo ou custo como expressões mais relevantes), e o uso da infraestrutura de transporte, ao qual corresponde a referida desutilidade, que não é fixa, em função de sua

utilização⁴. Esta interação fornece o fluxo padrão.

(b) o fluxo padrão é usado para o cálculo de uma série de medidas que caracterizam o cenário em estudo.

Este capítulo apresenta os princípios básicos de equilíbrio de tráfego, que fornecem a base para previsão de padrões de fluxo em uma rede de transportes. Alguns modelos de redes, fundamentados no conceito de equilíbrio, são discutidos. O número de trabalhos apresentados na literatura cresceu enormemente durante os últimos 15 anos. Apresenta-se aqui os modelos relevantes no contexto deste trabalho.

A notação adotada neste texto é apresentada abaixo:

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
A	Conjunto de arcos da rede
IR	Conjunto de Centroides de origem (onde os fluxos são gerados)
S	Conjunto de Centróides de destino (para onde os fluxos são atraídos)
K_{rs}	Conjunto de caminhos que levam do nó de origem r ao de destino s
q	Matriz origem-destino, que fornece o deslocamento entre r e s .
x_a	Fluxo no arco a
t_a	Tempo de viagem no arco a
$t_a(x_a)$	Função de desempenho do arco a : Relação entre o fluxo e o tempo de viagem
f_k^{rs}	Fluxo no caminho k que liga r a s
$\delta_{a,k}^{rs}$	Variável indicativa, que assume o valor: 1: Se o arco faz parte do caminho 0: Em caso contrário

Tabela 1 - Notação básica utilizada

⁴O efeito do congestionamento é o exemplo mais claro desta variabilidade.

2.2 - PRINCÍPIOS BÁSICOS DE EQUILÍBRIO DE TRÁFEGO

De maneira a se obter uma solução de equilíbrio em redes de transportes, necessita-se a determinação da quantidade de fluxo sobre cada arco da rede, o que representa a essência do problema de equilíbrio de tráfego. O número de usuários — ou unidades de fluxo — sobre cada arco será uma consequência direta das decisões tomadas pelos usuários, individualmente, em relação ao caminho a ser seguido.

Neste contexto, necessita-se fazer algumas suposições sobre o comportamento dos usuários na escolha entre os diversos caminhos disponíveis para a realização dos deslocamentos. Os dois princípios de WARDROP, estabelecidos em 1952 e de aceitação geral, balizaram o conhecimento que se tem hoje sobre o assunto. Quando da apresentação dos princípios, WARDROP não forneceu um método para o cálculo dos fluxos de equilíbrio, o que coube a BECKMANN, McGUIRE & WINSTEN que, em 1956 (Apud FLORIAN 1984) formularam matematicamente o problema para os casos de demanda fixa e variável.

O primeiro princípio, em sua variante de tempo de viagem como impedância², assegura que:

"No equilíbrio, nenhum usuário pode reduzir seu tempo de viagem por mudança unilateral de rota"

²O conceito de impedância, no contexto deste trabalho, refere-se a uma medida de resistência ao deslocamento dos fluxos nos arcos da rede. O termo *tempo de viagem* deve ser entendido como uma impedância genérica (a utilização de outra medida de impedância, como o custo de viagem, não altera o conteúdo do princípio).

Os fluxos que satisfazem este princípio são usualmente referidos como *fluxos otimizados do usuário*, caracterizando o que se convencionou chamar de condição de equilíbrio do usuário, expressa pelo seguinte conjunto de equações e com notação incluída na tabela 1:

$$\text{Min } Z(x) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(w) dw \quad (2.1a)$$

s. a.

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad (2.1b)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r, s, k \quad (2.1c)$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \quad (2.1d)$$

Este é um problema de programação, conhecido como transformação de Beckmann³, onde a equação (2.1b) representa as restrições de conservação de fluxo, configurando o que se denomina um processo de alocação completa (todos os fluxos devem ser

³Um padrão de fluxo que satisfaça as condições de equilíbrio de WARDROP em uma rede de transportes pode ser obtido pela resolução de um problema de programação convexa com restrições lineares. Este fato é amplamente comprovado na literatura especializada.

alocados na rede). Estas restrições são formuladas em termos de fluxos nos caminhos.

Para que a solução deste problema apresente resultados fisicamente significativos (inexistência de fluxos negativos), são estabelecidas as condições de não negatividade (2.1c).

As relações de incidência (2.1d) expressam os fluxos nos arcos em termos dos fluxos nos caminhos, ou seja, o fluxo sobre um arco é igual a soma dos fluxos entre todos os pares O/D que usam aquele arco.

Esta formulação também é conhecida como uma atribuição descritiva, em função de representar um comportamento mais próximo da realidade do que a formulação que será apresentada a seguir, conhecida como atribuição normativa e que representa os fluxos otimizados do sistema, caracterizados pelo segundo princípio de WARDROP:

"No equilíbrio, o tempo de viagem médio é um mínimo"

A formulação de otimização do sistema incorpora uma função objetivo, que é o tempo de viagem total gasto na rede. O fluxo padrão que resolve este programa minimiza esta função objetivo e satisfaz as restrições de conservação de fluxo (SHEFFI 1985b).

Este programa pode ser expresso como:

$$\text{Min } Z(x) = \sum_a x_a t_a(x_a) \quad (2.2a)$$

s. a.

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r,s \quad (2.2b)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r,s,k \quad (2.2c)$$

O fluxo padrão que minimiza este programa não representa geralmente uma situação de equilíbrio, ou seja, os usuários são capazes de diminuir seu tempo de viagem por mudanças unilaterais de rota.

SHEFFI (1985b) assinala: "...a importância da formulação de otimização do sistema e do padrão de fluxo resultante é que o valor da função objetivo pode servir como um parâmetro pelo qual diferentes padrões de fluxo podem ser medidos. Com efeito, o tempo de viagem total — considerando-se todo o sistema — é uma medida usual do desempenho de uma rede em um determinado cenário".

Alguns autores, entre os quais SHEFFI (1985b), mencionam que é necessário fazer uma distinção entre os tempos de viagem percebidos e observados, o que leva à formulação de modelos de equilíbrio estocásticos, os quais não são analisados neste estudo.

Em geral, os fluxos ótimos do sistema são diferentes dos fluxos ótimos do usuário. "...Para grandes redes descongestionadas a diferença pode ser pequena, já que para tempos de viagem constantes nos arcos não há diferença entre os fluxos ótimos do sistema e do usuário. Com o aumento do fluxo entre os pares O-D, os padrões tornam-se bastante diferenciados, porque alguns arcos carregarão uma quantidade de fluxo próxima às suas capacidades" (SHEFFI 1985b).

Um confronto entre os 2 padrões permite uma interessante constatação, ilustrada pelo seguinte exemplo numérico, semelhante

ao apresentado por SHEFFI (1985b): as funções de desempenho estão indicadas sobre os arcos unidirecionados e com fluxo O-D entre os pares 1 → 4 de 12 unidades:

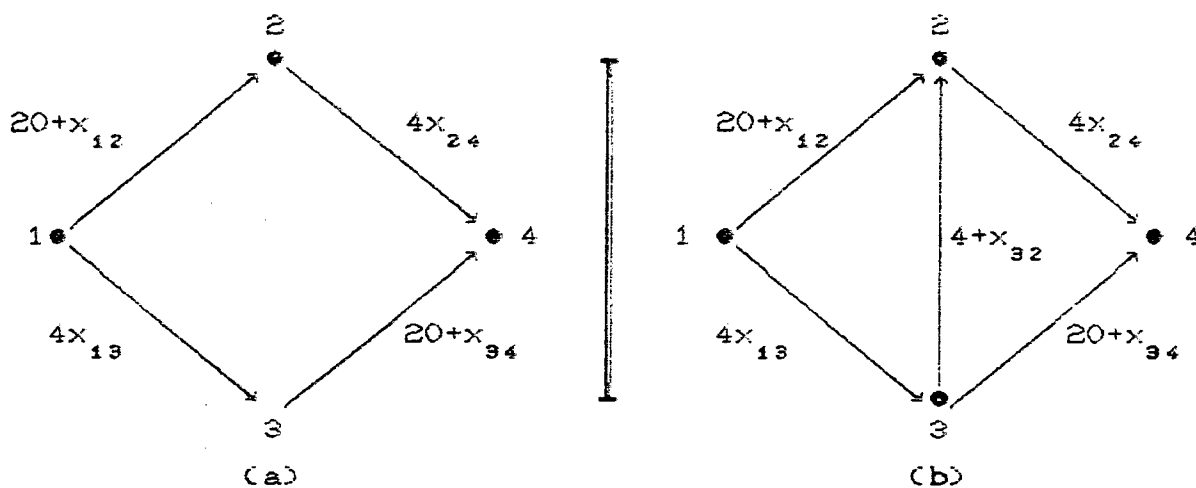


Figura 3 - Paradoxo de Braess: (a) Rede original

(b) Acréscimo de um arco

Devido a simetria entre os caminhos da rede (a), o fluxo de equilíbrio do usuário pode ser resolvido diretamente, atribuindo-se metade do fluxo a cada caminho:

$$f_1^{14} = (1 \rightarrow 2 \rightarrow 4) = 6 \text{ unidades de fluxo}$$

$$f_2^{14} = (1 \rightarrow 3 \rightarrow 4) = 6 \text{ unidades de fluxo}$$

Os fluxos em todos os arcos, neste caso, são iguais:

$$x_{12} = x_{24} = x_{13} = x_{34} = 6 \text{ unidades de fluxo,}$$

e os tempos de viagem nos arcos — obtidos a partir das respectivas funções de desempenho — assumem valores de:

$$t_{12} = t_{34} = 26 \text{ unidades de tempo}$$

$$t_{24} = t_{13} = 24 \text{ unidades de tempo}$$

Em relação ao tempo de viagem nos caminhos, o resultado apresenta uma situação de acordo com o critério de equilíbrio do usuário:

$$C_1^{14} = C_2^{14} = 50 \text{ unidades de tempo}$$

Considerando-se todo o sistema, o tempo de viagem total na rede é de $(50+50) \times 6 = 600$ unidades de (fluxo . tempo).

Com a expansão da rede (em (b)), e um conseqüente novo caminho (1→3→2→4), a solução de equilíbrio apresenta, nos arcos:

$$x_{12} = x_{32} = x_{34} = 4 \text{ unidades de fluxo}$$

$$x_{24} = x_{13} = 8 \text{ unidades de fluxo}$$

$$t_{12} = t_{34} = 24 \text{ unidades de tempo}$$

$$t_{32} = 8 \text{ unidades de tempo}$$

$$t_{24} = t_{13} = 32 \text{ unidades de tempo.}$$

e nos caminhos:

$$f_1^{14} = f_2^{14} = f_3^{14} = 4 \text{ unidades de fluxo}$$

$$C_1^{14} = C_2^{14} = C_3^{14} = 56 \text{ unidades de tempo}$$

com tempo de viagem total na rede de $(56 \times 3) \times 4 = 672$ unidades de (fluxo . tempo).

Comparando as 2 soluções, observa-se que tanto o tempo de

viagem total (600 + 672), como o tempo de viagem experimentado pelo usuário (50 + 56) aumentou. Desta forma, a adição do arco (3+2) piorou a situação.

Esta aparente contradição, conhecida como *paradoxo de Braess*, pode ser explicada da seguinte forma: o aumento no tempo de viagem é originado pela condição de equilíbrio do usuário, onde cada um minimiza o seu próprio tempo de viagem, sem considerar o efeito desta ação sobre os outros usuários do sistema. Este procedimento, obviamente, não otimiza a função objetivo do sistema, já que o fluxo é distribuído de acordo com a função objetivo de equilíbrio do usuário.

O paradoxo de Braess, cuja ocorrência já foi comprovada em situações práticas, é importante para a análise de investimentos em redes de transportes, em função da mensuração dos efeitos da adição (ou eliminação) dos arcos sobre o sistema.

DAFERMOS & NAGURNEY (1984) apresentam um outro aparente paradoxo: mostram que um aumento na demanda de viagem associada à um determinado par O/D (todas as outras permanecendo fixas) sempre resulta em um aumento nos custos dos usuários deste par O/D, ao passo que os custos dos usuários em outros pares O/D pode diminuir.

Analisadas estas questões básicas de equilíbrio de tráfego, descreve-se alguns modelos de atribuição baseados no princípio inicial de WARDROP, que representa a situação de equilíbrio do usuário. Como assinalado anteriormente, este princípio configura uma melhor aproximação da realidade, já que representa o comportamento individual do tomador de decisão (usuário do sistema de transportes).

2.3 - MODELOS DE EQUILIBRIO EM REDES DE TRANSPORTES

Inúmeros algoritmos tem sido propostos com base no 1º princípio de WARDROP para a obtenção de soluções de equilíbrio em problemas de atribuição de tráfego. As seguintes categorias podem ser identificadas:

- atribuição de tráfego com demanda fixa;
- atribuição de tráfego com demanda elástica;
- modelos de equilíbrio combinados.

Neste estudo, dá-se atenção especial aos modelos da primeira categoria. Os modelos de equilíbrio combinados não são analisados neste estudo, enquanto os de demanda elástica são brevemente referenciados.

2.3.1 - ATRIBUIÇÃO DE EQUILIBRIO COM DEMANDA FIXA

O exemplo apresentado a seguir ilustra o problema de atribuição de tráfego com demanda fixa: a área de interesse é representada por uma rede (com arcos, nós e centróides definidos por zoneamento) e as estimativas dos deslocamentos entre cada par de nós são conhecidas e fixas. Para a determinação do volume de tráfego em cada arco, necessita-se prever as rotas que os motoristas selecionarão. Um equilíbrio existe quando um motorista não pode reduzir seu tempo de viagem pela mudança de rota entre sua origem e seu destino. Assim, necessita-se determinar como o tráfego entre os pares de zonas distribuir-se-á nos arcos da rede, no equilíbrio.

Existem algumas abordagens heurísticas para a resolução do problema de equilíbrio, tais como o método de restrição de capacidade (utilizado pela U.S. Federal Highway Administration - FHWA - que desenvolveu um pacote de planejamento de transportes urbanos, em 1977) e técnicas de alocação incremental (utilizadas no DODOTRANS desenvolvido pelo M.I.T. em 1970). Em modelos mais

recentes, estas abordagens heurísticas foram praticamente abandonadas e a utilização de programas equivalentes de minimização convexa consolidou-se em larga escala.

BECKMANN et al. (apud MATSOUKIS & MICHALOPOULOS(1986)) foram os primeiros a mostrar que a atribuição de acordo com o princípio de Wardrop pode ser expressa como um problema de minimização convexa com restrições lineares, dado que o tempo de viagem em cada arco da rede é uma função crescente com o fluxo de tráfego sobre o arco. Em sua forma mais simples, este problema é descrito pelas equações (2.1), vistas anteriormente.

Nesta forma, o número de restrições torna-se um sério obstáculo para aplicações reais, onde normalmente trabalha-se com um grande número de nós e arcos. O algoritmo de Frank-Wolfe, apresentado em 1956 para a resolução de problemas de programação quadrática, ameniza esta dificuldade.

2.3.1.1 - ALGORITMO DE FRANK-WOLFE (COMBINAÇÕES CONVEXAS)

2.3.1.1.1 - ESTRUTURA GERAL

O algoritmo das combinações convexas resolve, por aproximações lineares sucessivas, o problema de equilíbrio do usuário. Neste algoritmo, um problema linear é formulado, cuja solução ótima é usada para a definição de uma direção de busca para a minimização da equação (2.1a).

Encontrada a direção de busca, calcula-se o tamanho do movimento nesta direção por um método de redução de intervalos e obtém-se uma estimativa dos fluxos de equilíbrio. O algoritmo prossegue, até que um critério de convergência seja satisfeito.

SHEFFI (1985b) apresenta um sumário do algoritmo, qual seja:

● Passo 0 : Inicialização. Realizar uma atribuição tudo ou nada baseada num tempo de viagem com fluxo livre. Isto gera um conjunto de fluxos iniciais nos arcos $\langle x_a^1 \rangle$. Inicializar um contador $n := 1$.

● Passo 1 : Atualização dos tempos. Baseado no fluxo corrente, calcular o tempo de viagem atualizado $t_a^n = t_a(x_a^n)$.

● Passo 2 : Busca da direção. Com o tempo de viagem atualizado, realizar o procedimento de atribuição, o que produz um conjunto de fluxos auxiliares $\langle y_a^n \rangle$ (ver equações 2.6) e a correspondente direção de busca $d_a^n := y_a^n - x_a^n$.

● Passo 3 : Tamanho do passo. Encontrar α_n que resolva:

$$\text{Min}_{0 \leq \alpha \leq 1} \sum_a \int_0^{x_a^n + \alpha(y_a^n - x_a^n)} t_a(w) dw \quad (2.3)$$

● Passo 4 : Atualização dos fluxos. Fazer:

$$x_a^{n+1} = x_a^n + \alpha_n (y_a^n - x_a^n), \quad \forall a. \quad (2.4)$$

● Passo 5 : Teste de Convergência. Attingido um critério de convergência, parar. A solução corrente $\langle x_a^{n+1} \rangle$ é o conjunto de fluxos de equilíbrio nos arcos. Caso contrário, fazer $n := n + 1$ e voltar ao passo 1.

2.3.1.1.2 - FUNDAMENTOS BÁSICOS: PASSO A PASSO

(a) Inicialização

A adoção de uma solução inicial com a rede vazia (inexistência de fluxo) justifica-se pela própria natureza das funções de desempenho dos arcos, utilizadas em grande parte das aplicações de redes de transportes. Estas funções incorporam, normalmente, um componente que representa o tempo de viagem com fluxo livre adicionado à outra parcela que depende do fluxo sobre o arco.

Desta forma, em redes descongestionadas a solução inicial estará bastante próxima à situação de equilíbrio.

(b) Busca da Direção

O objetivo é encontrar uma direção descendente pela minimização de uma aproximação linear para a função objetivo (2.1a) no ponto da solução corrente. Minimizar esta função linearizada, sujeita a um conjunto de restrições lineares, é um problema de programação linear que tem sua solução em um ponto extremo da região viável.

A linha que liga os pontos da solução corrente, x^n , com a solução do problema linearizado, denotada y^n , é a direção de busca. Este passo, então, envolve a solução do programa linear:

$$\text{Min } Z^n(y) = \nabla Z(x^n) \cdot y^T = \sum_a \frac{\partial Z(x^n)}{\partial x_a} y_a \quad (2.5)$$

Esta função linear de y tem que ser minimizada.

considerando-se as restrições do problema original, ou seja⁴:

$$\text{Min } Z^n(y) = \sum_a t_a^n y_a \tag{2.6a}$$

s. a.

$$\sum_k g_k^{rs} = q_{rs} \tag{2.6b}$$

$$g_k^{rs} \geq 0 \tag{2.6c}$$

com relações de incidência:

$$y_a = \sum_{rs} \sum_k g_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \tag{2.7}$$

Neste programa linear, y_a é a variável auxiliar que representa o fluxo no arco a , enquanto g_k^{rs} é a variável auxiliar de fluxo para o caminho k que liga o par $r-s$.

Este programa minimiza o tempo de viagem total sobre a rede, com tempos de viagem nos arcos fixos (não dependentes do fluxo). O tempo de viagem total gasto na rede é minimizado pela alocação de todos os usuários nos caminhos com tempo de viagem mínimo entre suas origens e destinos.

Esta alocação é realizada por um procedimento de carregamento

⁴Considerando-se que o tempo de viagem em um arco é uma função do fluxo naquele arco somente, ou seja:

$$\frac{\partial Z(x)}{\partial x_a} = t_a$$

tudo-ou-nada, cuja/essência é a determinação dos caminhos mínimos entre todas as origens e todos os destinos⁵.

No caso de ser encontrado 2 ou + caminhos mínimos, qualquer deles pode ser escolhido para a alocação de fluxo ou, então, os fluxos podem ser divididos entre eles. Uma vez encontrados os fluxos nos caminhos, através das relações de incidência calcula-se os fluxos nos arcos.

A solução encontrada define a direção de busca $d^n = y^n - x^n$.

(c) Tamanho do Passo

A fim de se preservar a região viável, a nova solução x^{n+1} deve encontrar-se entre x^n e y^n . Em outras palavras, a busca para uma direção descendente gera um limite para a linha de busca pela consideração de todas as restrições na determinação da direção descendente⁶.

Então, a linha de busca para o tamanho do movimento do passo pode ser encontrada por qualquer método de redução de intervalos, como por exemplo o método de busca de Bolzano. Neste caso, a derivada da função objetivo (2.3) em relação a α é dada por:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} Z[x^n + \alpha(y^n - x^n)] = \sum_a (y_a^n - x_a^n) t_a[x_a^n + \alpha(y_a^n - x_a^n)] \quad (2.8)$$

⁵Existem diversos métodos eficientes para a determinação de caminhos mínimos, entre os quais destacam-se os algoritmos de Moore-Pape, Dijkstra e Floyd.

⁶ y^n , sendo uma solução do programa linear, naturalmente encontra-se no limite da região viável.

(d) Atualização dos Fluxos

Uma vez encontrado α_n , o próximo ponto pode ser gerado pela equação (2.4), que pode ser reescrita:

$$x^{n+1} = (1 - \alpha_n)x^n + \alpha_n y^n \quad (2.9)$$

Esta solução é uma combinação convexa (ou média ponderada) de x^n e y^n .

(e) Teste de Convergência

"...O critério de parada para a resolução do programa de equilíbrio do usuário poderia ser baseado nos valores da função objetivo. Entretanto, esta função é meramente uma construção matemática que carece de qualquer significado comportamental ou econômico. Consequentemente, o critério de convergência deve ser baseado em características relevantes, como os fluxos e tempos de viagem" (SHEFFI 1985b).

Uma medida possível seria a similaridade de tempos de viagem O-D sucessivos. Denotando U_{rs}^n como o tempo de viagem mínimo entre o par $r-s$ na n -ésima iteração, o algoritmo pode terminar se, por exemplo:

$$\sum_s \frac{|U_{rs}^n - U_{rs}^{n-1}|}{U_{rs}^n} \leq k \quad (2.10)$$

Um critério baseado na mudança dos fluxos também poderia ser utilizado.

2.3.1.1.3 - EVIDÊNCIAS DA APLICABILIDADE DO MODELO

A aplicação deste algoritmo evidenciou alguns aspectos, que são bastante realçados por alguns autores:

- o fluxo é tirado de caminhos congestionados e alocados em caminhos menos congestionados, em cada iteração do método. Este procedimento iguala os tempos de viagem entre todos os caminhos e leva o sistema em direção ao equilíbrio (SHEFFI 1985b);
- a contribuição marginal de cada iteração para a redução do valor da função objetivo é sucessivamente decrescente (SHEFFI 1985b).
- o número de iterações requeridas para a convergência é significativamente afetado pelo nível de congestionamento na rede. SHEFFI(1985b) demonstrou o efeito do congestionamento em uma rede de tamanho médio, com padrão de convergência baseado nos valores da função objetivo. Nesta demonstração, o efeito do congestionamento sobre a taxa de convergência é bastante acentuado;
- de um ponto de vista da velocidade de convergência, a eficiência do algoritmo não é inteiramente satisfatória, em razão principalmente das direções de busca d_o^n geradas pela resolução dos subproblemas de programação linear geralmente tenderem a ser perpendicular ao gradiente da função objetivo $Z(x^n)$, com o desenvolvimento das iterações (FUKUSHIMA 1984). Como demonstração deste fato, seja x a solução ótima do problema situada em uma face S do conjunto viável, representada por seus pontos extremos $\varepsilon^1, \varepsilon^2, \dots, \varepsilon^m$. Então, para um número de iterações suficientemente grande (proximidades da solução ótima), a solução y_o^n do passo 2 do algoritmo coincidiria com um dos pontos extremos ε , de maneira que d_o^n é aproximadamente ortogonal ao gradiente da função objetivo em x^n , já que o gradiente da função

no ponto ótimo x é perpendicular à face S . Isto demonstra que a direção d_c^n distancia-se da melhor direção (considerando-se as direções ao longo das quais a função pode ser melhorada).

Em função deste fato, diversos algoritmos tem surgido na literatura com o objetivo de melhorar a velocidade de convergência do algoritmo de Frank-Wolfe. Alguns destes modelos são apresentados a seguir.

2.3.1.2 - ALGORITMOS MAIS RECENTES

NGUYEN (1974) apresentou um algoritmo que consiste basicamente na decomposição do problema de otimização convexa em uma sequência de subproblemas capazes de serem resolvidos com o método simplex.

LEBLANC, MORLOK & PIERSKALLA (1975) consolidaram a aplicação do algoritmo de Frank-Wolfe em redes de transportes, testando-o em uma rede urbana de 24 nós e 76 arcos.

FLORIAN & NGUYEN (1976) validaram o modelo de NGUYEN (1974) para uma rede de 1035 nós e 2789 arcos. Os resultados obtidos mostraram uma razoável concordância entre os valores previstos e observados. Os autores mostraram a variação dos fluxos, com diferenças mínimas na especificação da rede.

Estes modelos não levaram em consideração restrições de capacidade dos arcos da rede. DAGANZO (1980) apresentou uma modificação no algoritmo de Frank-Wolfe para a resolução de problemas de equilíbrio com arcos capacitados. O autor assume que a integral da fórmula volume/tempo para cada arco tende ao infinito quando o fluxo no arco aproxima-se da sua capacidade.

BABIN, FLORIAN & SPIESS (1981) usaram o modelo validado por

FLORIAN & NGUYEN (1976), adotando funções de custo generalizado, onde converte-se tempo e distância em unidades de consumo de combustível.

FUKUSHIMA (1984) apresentou um algoritmo de Frank-Wolfe modificado, que acelera a convergência do modelo original. A modificação fundamenta-se em uma observação intuitiva: É bastante provável, nas proximidades da solução ótima, que a mesma esteja contida no conjunto convexo gerado pelos pontos obtidos sucessivamente pela resolução de subproblemas de programação linear durante iterações anteriores. Desta forma, pela utilização de soluções anteriores, pode-se obter uma direção de busca melhorada. Esta solução é confrontada com a fornecida pelo método regular e utiliza-se a que apresenta a menor derivada direcional.

Algoritmo Modificado de Fukushima

- Passo 0. Escolha de uma solução inicial viável. Seja ϕ um inteiro positivo, que significa o número máximo de y_a^n gerados previamente e que são usados para determinar a direção de busca nos passos 3 e 4. Naturalmente, com $\phi = 1$ o algoritmo reduz-se ao original de Frank-Wolfe. Inicializar um contador $n := 1$.
- Passo 1. Resolução do problema (2.6) e a consequente determinação de $\langle y_a^n \rangle$.
- Passo 2. Terminar se $\nabla Z(x^n)^T (y_a^n - x_a^n) = 0$. Caso contrário, ir ao passo 3. Neste passo verifica-se a otimalidade de x_a^n .
- Passo 3. Escolher um λ_i , tal que:

$$\sum_{i=n-m}^n \lambda_i = 1$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad , \quad i = n-m, \dots, n$$

Fazer:

$$v_a^n = \sum_{i=n-m}^n \lambda_i (y_a^i - x_a^n) \tag{2.11}$$

Onde $m = n - 1$ para $n \leq \phi$

$m = \phi - 1$ para $n > \phi$

Fazer:

$$w_a^n = y_a^n - x_a^n \tag{2.12}$$

Este passo calcula 2 direções de busca. A direção v_a^n é calculada usando-se $\{y_a^n\}$ gerados anteriormente e ponderando-se convenientemente fatores $\lambda_i = \frac{1}{m+1}$.

A direção w_a^n é justamente a empregada no algoritmo original.

• Passo 4. Calcular as derivadas direcionais

$$\gamma_1^n = \frac{\nabla Z(x_a^n)^T v_a^n}{\|v_a^n\|} \tag{2.13}$$

$$\gamma_2^n = \frac{\nabla Z(x_a^n)^T w_a^n}{\|w_a^n\|} \tag{2.14}$$

Fazer:

$$d_a^n = \begin{cases} v_a^n & \text{se } \gamma_1^n < \gamma_2^n \\ \pi_a^n & \text{se } \gamma_1^n = \gamma_2^n \\ w_a^n & \text{se } \gamma_1^n > \gamma_2^n \end{cases}$$

Onde π_a^n é qualquer combinação linear convexa entre os outros

dois vetores. Desta forma, o algoritmo opera no mínimo com a eficiência do algoritmo original.

• Passo 5. Resolver os passos 3 e 4 do modelo original, fazer o incremento $n := n + 1$ e voltar ao passo 1.

Este algoritmo foi implementado em linguagem FORTRAN e o programa (rodado em um computador M-382) foi testado em uma rede de 24 nós e 76 arcos. Foram feitos vários testes com valores de ϕ entre [1,10]. Os resultados indicam uma redução média no tempo de CPU em termos de 40%, se comparado ao modelo original.

WEINTRAUB et al. (1985) propuseram modificações no tamanho do passo do algoritmo de Frank-Wolfe, o que leva a melhoramentos significativos na eficiência. As mudanças ocorrem a partir do passo 4:

• Passo 4. Fazer $\mu_n = \lambda_n \alpha_n$, onde λ_n é uma modificação pré-definida no tamanho do passo, que será discutida em seguida.

• Passo 5. Escolher um $\beta_n = \max(\mu_n, 1)$.

• Passo 6. Fazer $x_a^{n+1} = x_a^n + \beta_n (y_a^n - x_a^n)$.

$$\text{Se } Z(x_a^{n+1}) < Z(x_a^n) \text{ então } x_a^{n+1} = x_a^{n+1}$$

$$\text{Se } Z(x_a^{n+1}) \geq Z(x_a^n) \text{ então } x_a^{n+1} = x_a^n + \alpha_n (y_a^n - x_a^n)$$

Estas condições asseguram que, se a modificação no tamanho do passo não conduzir à uma redução no valor da função objetivo, o

tamanho do passo usual α_h é utilizado.

• Passo 7. Teste de convergência

A principal novidade, aqui, é a introdução de uma variável λ , que modifica o tamanho do passo do algoritmo original. Os autores testaram uma série de valores para λ , sendo os mais representativos os situados no intervalo [1;1.8].

Diversos problemas de atribuição de tráfego foram gerados aleatoriamente, envolvendo redes de 15 à 80 nós. Foram definidas 40 estruturas de redes e 112 problemas foram executados em um computador IBM 3031, com programa em linguagem FORTRAN.

Os resultados, comparados com o algoritmo original, demonstraram que, desconsiderando os valores de $\lambda = 1.3$ (para qualquer número de iterações) e $\lambda = 1.4$ (para um número de iterações superior à 10), os quais não melhoraram suficientemente o tamanho do passo, os outros valores testados apresentaram ótimos resultados, sumarizados abaixo:

<u>Estratégia</u>	<u>Número de nós</u>	<u>Valor de λ</u>	<u>Redução CPU</u>
1	15-30	1 para $n \leq 5$ 1.6 $n > 5$	55%
2	15-30	[1;1.8] $n \leq 5$ 1.8 $n > 5$	55%
3	50-80	1.6 $\forall n$	70%

Os autores concluem que os melhoramentos na convergência com o algoritmo modificado tornam-se mais evidenciados na medida em que o tamanho da rede aumenta.

2.3.2 - ATRIBUIÇÃO DE TRÁFEGO COM DEMANDA ELÁSTICA

Neste tipo de problema, o equilíbrio é buscado quando os dados de origem - destino são variáveis. Numa situação simplificada, o número de deslocamentos entre um par O/D depende do tempo de viagem total entre a origem e o destino:

$$q_{rs} = D_{rs}(u_{rs}) \quad , \quad \forall r, s$$

Onde u_{rs} = tempo de viagem mínimo entre r e s .

$D_{rs}(\cdot)$ = Função de demanda entre r e s .

Uma abordagem de resolução é a formulação como um programa de minimização equivalente:

$$\text{Min } Z(z, q) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(w) dw - \sum_{rs} \int_0^{q_{rs}} D_{rs}^{-1}(w) dw \quad (2.15a)$$

s. a.

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad , \quad \forall r, s \quad (2.15b)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad , \quad \forall k, r, s \quad (2.15c)$$

$$q_{rs} \geq 0 \quad , \quad \forall r, s \quad (2.15d)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{a,k}^{rs} \quad , \quad \forall a \quad (2.15e)$$

Onde $D_{rs}^{-1}(\cdot)$ é a inversa da função de demanda associada com o

par $O/D \underline{r}-\underline{s}$.

SHEFFI (1985b) efetua algumas transformações (considerando apenas os fluxos nos caminhos) e apresenta o seguinte problema equivalente:

$$\text{Min } Z(f) = \sum_{\underline{r}} \int_0^{x_{\underline{r}}(f)} t_{\underline{c}}(w) dw - \sum_{\underline{r}, \underline{s}} \int_0^{q_{\underline{r}, \underline{s}}(f^{r,s})} D_{\underline{r}, \underline{s}}^{-1}(w) dw \quad (2.16a)$$

s. a.

$$\sum_k f_k^{r,s} \leq \bar{q}_{r,s}, \quad \forall r, s \quad (2.16b)$$

$$f_k^{r,s} \geq 0, \quad \forall k, r, s \quad (2.16c)$$

Onde $\bar{q}_{r,s}$ é um limite para a quantidade total de fluxo entre a origem \underline{r} e o destino \underline{s} . A escolha deste limite influencia a velocidade de convergência do modelo, razão pela qual o analista deve tomar algum cuidado em sua fixação.

Com algumas alterações, este tipo de problema pode ser resolvido pelo método das combinações convexas, conforme demonstrado por SHEFFI (1985b - Capítulo 6). O esforço computacional é significativamente maior se comparado ao modelo de demanda fixa, pela necessidade de um maior número de iterações para encontrar-se o equilíbrio.

Uma outra abordagem, também mencionada por SHEFFI (1985b) envolve mudanças na representação da rede com o objetivo de transformar o problema de demanda variável em um problema de demanda fixa. Uma formulação deste tipo é a denominada demanda excedente (do original *excess-demand*), que assume a forma:

$$\text{Min } Z(x, e) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(w) dw + \int_0^{e_{rs}} W_{rs}(v) dv \quad (2.17a)$$

s. a.

$$\sum_k f_k^{rs} + e_{rs} = \bar{q}_{rs} \quad , \forall r, s \quad (2.17b)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad , \forall k, r, s \quad (2.17c)$$

$$e_{rs} \geq 0 \quad , \forall r, s \quad (2.17d)$$

Onde $(e_{rs} = \bar{q}_{rs} - q_{rs})$ representa a demanda em excesso e $W_{rs}(\cdot)$ a função complementar desta demanda, ou seja:

$$W_{rs}(e_{rs}) = D_{rs}^{-1}(q_{rs}).$$

Para que este programa possa ser resolvido pelo método de minimização equivalente do equilíbrio do usuário, arcos adicionais devem ser definidos na rede para o carregamento dos fluxos e_{rs} , ligando a origem e o destino de cada par O/D. Neste sentido, a rede original terá um aumento no número de arcos, correspondentes ao número de pares O/D, com reflexos na velocidade de convergência do modelo.

Esta formulação de demanda excedente também pode ser utilizada na análise de problemas combinados, do tipo atribuição - repartição modal, com a restrição de arcos exclusivos para cada modalidade. Um desenvolvimento desta possibilidade é apresentado

por SHEFFI (1985b).

Boas referências de problemas com demanda variável podem ser encontradas em GARTNER (1980), FERNANDEZ & FRIESZ(1983) e FLORIAN (1984).

2.4 - ESCOLHA DE UM MODELO PARA O ESTUDO PROPOSTO

Diante do exposto nas seções anteriores, observa-se a ampla aceitação do algoritmo de Frank - Wolfe para a resolução do problema de equilíbrio em redes de transportes.

Apesar das mencionadas limitações de convergência nas proximidades da solução ótima, decidiu-se pelo desenvolvimento de um programa computacional estruturado nas bases originais do algoritmo, com as adaptações necessárias aos objetivos do estudo.

O capítulo 3 apresenta detalhadamente o modelo escolhido.

CAPITULO 3

UM MODELO DE ATRIBUIÇÃO DE TRÁFEGO PARA ANÁLISE DE CENÁRIOS

3.1 - INTRODUÇÃO

Na análise de um projeto de melhoramento ou de implantação de uma estrutura de transporte, normalmente considera-se o tráfego sob os seguintes aspectos:

• Trafego atual , obtido à partir de levantamentos ou contagens de tráfego. Num caso específico de disponibilidade de uma matriz O/D para a região em estudo, o tráfego atual em cada arco da rede pode ser estimado por um processo de atribuição. A quantificação deste tráfego é feita, no modelo adotado neste trabalho, pela FASE I e envolve apenas a modalidade rodoviária.

• Trafego futuro , usualmente dividido em tráfego normal, tráfego desviado e tráfego gerado. Utilizando a mesma definição de COSTA (1979), tem-se que:

- Tráfego Normal: Resulta do aumento natural de tráfego sobre a via existente, de acordo com taxas de crescimento, sem se considerar qualquer melhoramento.
- Tráfego Desviado: É o tráfego atraído ou desviado de outras instalações de transporte, como consequência do menor custo de transporte, para a instalação que foi construída ou melhorada.
- Tráfego Gerado: É o tráfego gerado pela implantação ou melhoramento desta instalação.

A FASE II, do modelo adotado, envolve apenas a quantificação

do tráfego desviado do rodoviário, já que o tráfego normal não existe, para as simulações propostas, e uma estimativa do tráfego gerado envolveria uma série de estudos não abrangidos neste trabalho.

A apresentação das 2 fases do modelo obedece à um esquema padrão: Dados de entrada, funções e procedimentos utilizados e saída dos resultados.

3.2 - FASE I: ATRIBUIÇÃO DO TRAFEGO RODOVIARIO

Esta fase resume-se no modelo original de Frank - Wolfe e apresenta a seguinte configuração:

3.2.1 - DADOS DE ENTRADA

3.2.1.1 - REPRESENTAÇÃO DA REDE

- Relação das zonas de tráfego.
- Relação dos nós auxiliares.
- Relação dos arcos, identificados por:
 - (a) Nó inicial
 - (b) Nó final
 - (c) Distância (em Km)
 - (d) Velocidade (em Km/h)
 - (e) Capacidade (veic/h)
 - (f) Sentido do Tráfego: 1 \longrightarrow Apenas no sentido estabelecido (r+s)
2 \longrightarrow Ambos os sentidos (r+s e s+r)

3.2.1.2 - DEMANDA POR TRANSPORTE

- Matriz Origem - Destino:
 - (a) Origem.
 - (b) Destino.

(c) Fluxo (Veic/hora).

Cabe aqui comentar algumas peculiaridades relativas à representação da rede. Pela descrição dos arcos, nota-se que, em princípio, não há informações sobre a situação do trecho (via pavimentada ou não, estado de conservação, número de faixas de tráfego por sentido, declividade média, etc). O ideal, naturalmente, seria a identificação isolada de cada um destes fatores (o que tornaria o problema mais complexo, em função do aumento no número de variáveis). Na prática, entretanto, existem alguns procedimentos que simplificam a questão, entre os quais destacam-se:

- Transformação dos diversos fatores representativos da situação do trecho em uma medida de comprimento capaz de expressá-los.
- Adoção de uma medida de velocidade representativa da situação do trecho, para os diversos tipos de veículos que trafegam sobre o mesmo.

Existe uma série de estudos sobre o assunto, entre os quais destaca-se os resultados obtidos na tabela abaixo, para um caminhão de capacidade média:

ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA RODOVIA	RODOVIA PAVIMENTADA			RODOVIA NAO PAVIMENTADA		
	PLANA	ONDULADA	MONTANH	PLANA	ONDULADA	MONTANHOSA
SUAVE	59,13	47,39	40,38	57,77	46,82	40,26
IRREGULAR	50,76	42,09	36,74	34,21	31,10	28,63
MUITO IRREG	46,26	39,23	34,70	28,44	26,68	25,09

Tabela 2 - Velocidade(Km/h) em função da situação do trecho

Fonte: OYOLA (1988)

Dentro deste contexto e em função das necessidades de detalhamento do estudo, cabe ao analista decidir a melhor forma de representação. Para os objetivos deste estudo, julgou-se suficiente a adoção de uma velocidade padrão para vias pavimentadas e não pavimentadas (60 Km/h e 40 Km/h, respectivamente) e uma posterior calibração da rede, a partir dos resultados obtidos.

3.2.2 - FUNÇÕES E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS

O procedimento de atribuição de tráfego segue o modelo de Frank - Wolfe, descrito no capítulo 2. Assim, é suficiente a especificação de algumas questões:

(a) Função de desempenho dos arcos

A inicialização do algoritmo envolve a adoção de um tempo de viagem com fluxo livre, t'_a , ou seja:

$$t'_a = \frac{\text{dist}_a}{\text{veloc}_a} \quad (3.1)$$

Nos demais passos do algoritmo, assume-se⁷:

$$t_a = \frac{2t'_a}{1 + \sqrt{1 - x_a/Q_a}} \quad \text{se } x_a \leq Q_a \quad (3.2)$$

$$t_a = 2t'_a + \eta(x_a - Q_a) \quad \text{se } x_a > Q_a \quad (3.3)$$

⁷Dedução à partir das relações fundamentais estabelecidas por Greenshields (BAERWALD 1976).

Onde θ é um valor suficientemente alto, de maneira a restringir a utilização do arco por um fluxo superior à sua capacidade.

Observa-se, da expressão (3.2), que para um fluxo igual à capacidade do arco, o tempo de viagem é exatamente o dobro do tempo de viagem com fluxo livre.

(b) Teste de Convergência

O critério de parada adotado é baseado na similaridade dos fluxos, ou seja:

$$\sum_a \sqrt{(x_a^{n+1} - x_a^n)^2 / x_a^n} \leq b \quad (3.4)$$

Onde b é um valor fixado pelo analista e estabelecido em função do grau de precisão que se deseja atingir.

(c) Algoritmo de caminhos mínimos

Utilizou-se o algoritmo de Dijkstra para o procedimento de alocação dos fluxos nos caminhos com o menor tempo de viagem. A estrutura geral do algoritmo é apresentada na fase II.

3.2.3 - SAÍDA DOS RESULTADOS

O programa está estruturado de maneira a fornecer, para cada arco da rede:

- Nó inicial.
- Nó final.
- Distância.

- Capacidade.
- Velocidade e tempo de viagem com fluxo livre.
- Velocidade e tempo de viagem atualizados (em função do fluxo de equilíbrio).
- Fluxo de equilíbrio.

Os programas computacionais, correspondentes à esta fase e à fase II, foram desenvolvidos em linguagem PASCAL e implementados em um computador IBM 4341. Os dois programas estão listados nos Anexos I e II, respectivamente.

3.3 - FASE II: QUANTIFICAÇÃO DO TRÁFEGO DESVIADO

Nesta fase, é feita uma alocação direta de fluxo, com base no menor custo de transporte entre os diversos pares O/D. Utiliza-se, para este procedimento, o algoritmo de Dijkstra, que é sumariamente apresentado.

3.3.1 - DADOS DE ENTRADA

• Representação da rede proposta:

- Relação das zonas de tráfego.
- Relação dos nós auxiliares.
- Relação dos arcos, associando-se ao par nó inicial - nó final a distância e o código de representação da modalidade (rodoviária, ferroviária, transbordo, etc).

Faz-se necessário, aqui, um comentário sobre a questão do transbordo. Em muitos estudos de redes de transportes, onde considera-se duas ou mais modalidades, o custo de transbordo é modelado como um arco, ao qual associa-se uma distância fictícia

/para a quantificação do valor representativo das operações necessárias para o traslado de uma para outra modalidade. O mesmo procedimento é usado quando da utilização de uma modalidade como a ferroviária, que por não configurar um transporte porta a porta, necessariamente sofre um encargo adicional decorrente desta limitação.

No presente modelo, estes 2 procedimentos foram utilizados.

3.3.2 - ALGORITMO DE DIJKSTRA

Seja A = Conjunto de nós abertos.

F = Conjunto de nós fechados.

S = Conjunto de nós da rede.

g = Vetor de custos.

P = Conjunto de apontadores (Predecessores).

v = Lista auxiliar de nós.

T = Conjunto de sucessores.

C_{ij} = Custo entre os nós i e j .

PASSO 1. Escolhe-se um nó inicial qualquer $s \in S$, definindo-o como aberto ($A \leftarrow s$). Atribui-se custo zero à este nó ($g(s) \leftarrow 0$) e zera-se o conjunto de predecessores ($P(s) \leftarrow \emptyset$).

PASSO 2. Se $A = \emptyset$, parar com fracasso. Caso contrário, tomar $v \in A$ tal que $g(v) = \min_{n \in A} g(n)$. Havendo mais de um, desempatar em favor de nós em T .

PASSO 3. Fazer: $A \leftarrow A - \{v\}$

$F \leftarrow F \cup \{v\}$

Se $v \in T$, parar com sucesso. Caso contrário, gerar $T(v)$. Se

$T(v) = \emptyset$, voltar ao passo 2.

PASSO 4. Para cada $m \in T(v)$ fazer:

$$f = g(v) + C(v,m) \quad (3.5)$$

Se [$m \in A$ e $g(m) \leq f$] ou [$m \in F$] tomar o próximo sucessor e refazer o teste. Caso contrário, fazer $g(m) \leftarrow f$, $P(m) \leftarrow v$ e $A \leftarrow A \cup \{m\}$.

PASSO 5. Voltar ao passo 2.

A solução do programa é recuperada através dos apontadores P.

As equações de custo usadas referem-se ao transporte de carga e são de 2 tipos:

(a) Custo-Referência(CR) = distância(dist) x Valor do frete/Km (FR) de uma unidade de fluxo, ou seja:

$$CR = dist \times FR \quad (3.6)$$

Este custo - referência representa o custo da modalidade considerada com base na fase I, que neste caso é a modalidade rodoviária.

(b) Custo-Simulado (CS), que pode representar um valor real de frete da modalidade em questão ou um percentual do custo referência. Neste segundo caso, tem-se:

$$CS = \% CR \quad (3.7)$$

Variando-se o percentual do custo referência, pode-se obter um quadro do desvio de tráfego sob diferentes condições de taxaço.

3.3.3 - SAÍDA DOS RESULTADOS

Para cada arco, emite-se o fluxo e o código correspondentes.

3.4 - POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO DO MODELO

Conforme pode-se notar pela descrição, as 2 fases do modelo são perfeitamente independentes. Na fase I, dada uma matriz O/D fixa, o tráfego é atribuído em cada arco da rede segundo o princípio de equilíbrio do usuário. Como resultado, então, tem-se uma estimativa do tráfego atual (referente ao período de obtenção da matriz O/D) sobre a rede.

A fase II possibilita a análise do desvio de tráfego provocado por um determinado cenário, com base na redução dos custos de transporte.

Algumas possibilidades de utilização dos resultados do modelo são facilmente detectadas:

- o tráfego desviado é usado como um dado auxiliar e fundamental para a análise de viabilidade de implantação do cenário considerado.
- com a realização de simulações envolvendo diversos custos, pode-se estimar uma política de taxaço para o transporte no cenário em estudo.
- pode-se estimar a reduço de tráfego na rede original, tendo em vista o tráfego desviado para os trechos simulados.

As duas primeiras possibilidades são desenvolvidas na aplicação do capítulo 4.

CAPITULO 4

APLICAÇÃO A PROJETOS FERROVIARIOS DA REGIAO SUL

4.1 - INTRODUÇÃO

Em 1984, o Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico de Transportes (NDTT/UFSC) desenvolveu uma pesquisa de campo junto aos principais corredores rodoviários de Santa Catarina. Esta pesquisa (ref. NDTT (1984)), realizada em 9 postos próximos às fronteiras de Santa Catarina com os Estados do Rio Grande do Sul e Paraná, possibilitou, entre outras coisas, um levantamento dos fluxos das cargas que entram em Santa Catarina⁸.

Os dados deste levantamento são utilizados neste trabalho para aplicação do modelo proposto. Na fase I, realiza-se a atribuição do tráfego rodoviário de cargas na rede de transportes representativa da região. Para a fase II, o sistema ferroviário brasileiro é incorporado à rede rodoviária, obtendo-se desta forma uma rede bimodal. Adota-se a estratégia da quantificação do desvio de tráfego da modalidade rodoviária para a ferroviária, tomando-se como base o custo de transporte, em 3 cenários distintos:

1. Sistema ferroviário atual.
 2. Implantação de ligação ferroviária entre Porto Alegre e
-

⁸Sómente foram pesquisados os fluxos nos sentidos Paraná - Santa Catarina e Rio Grande do Sul - Santa Catarina.

Curitiba, paralela à BR-101.

3. Implantação da Ferrovia do Frango entre o Oeste do Estado de Santa Catarina e o Porto de São Francisco do Sul. Esta ferrovia, atualmente em estudos pelo Governo do Estado, compreende a construção de uma ligação entre Chapecó e Joaçaba e melhoramentos nos trechos já existentes (Joaçaba - Porto União - Mafra - Joinville).

Os fluxos resultantes dos dois últimos cenários são usados para uma análise parcial⁹ de viabilidade econômica dos empreendimentos, sob diferentes condições de tarifação do frete ferroviário.

4.2 - ATRIBUIÇÃO DO TRAFEGO DE CARGAS NA REDE RODOVIARIA

4.2.1 - ZONEAMENTO DA REGIÃO

Neste estudo, adotou-se o zoneamento efetuado pelo NDTT / UFSC, que foi baseado no Plano de Construção Rodoviário da Região Sul.

Este zoneamento definiu 155 zonas de tráfego, das quais 90 são zonas internas e as demais representam zonas de atração ou produção de fluxos externas à região. As zonas de tráfego, já codificadas para identificação visual no mapa - referência rodoviário, encontram-se relacionadas na tabela 3.

⁹ Uma análise completa necessariamente teria que considerar outros fatores não incluídos neste estudo, os quais serão mencionados adiante. Além disso, existem limitações em relação aos dados utilizados, as quais são mencionadas no item 4.4.

CODIGO	ZONA TRAFEGO	CODIGO	ZONA TRAFEGO	CODIGO	ZONA TRAFEGO	CODIGO	ZONA TRAFEGO	CODIGO	ZONA TRAFEGO
AA1	S. do Chile	GG1	Carazinho	IL1	Cand. Abreu	LN6	Ourinhos	ON1	Sorocaba
BA1	Buenos Aires	GH1	Pal. Missoes	IM1	Faxinal	LO1	Marilia	ON6	Piracicaba
BE1	Uruguiana	GI1	Chapeco	IM4	Apucarana	LO4	Lins	ON8	Limoeira
CG1	Sao Borja	GI5	Fato Branco	IK1	Porecatu	LP1	S.J.Rio Preto	OO2	Rio Claro
CJ1	Palena	GJ1	Fco. Beltrao	IN6	Londrina	LQ1	Votuporanga	OP3	Rib. Preto
CUL	Rio Branco	GM1	Goio-Ere	IO1	Pr. Prudente	MG1	Ararangua	OQ1	Franca
DA1	Montevideo	GM4	Cianorte	IP1	Andradina	MG4	Criciuna	OX1	Belem
DD1	S.Livramento	GM1	Nv. Londrina	JF1	Iaquara	MG7	Tubarao	PM1	Sao Paulo
DQ1	Campo Grande	GN5	Paranavai	JG1	Vacaria	MG9	Laguna	PK1	Jundiai
DT1	Cuiaba	HC1	Rio Grande	JH1	Lages	MH1	Alfr. Wagner	PN4	Campinas
DUI	Porto Velho	HD1	Pelotas	JH4	Curitiba	MI1	Blumenau	PN8	Atibaia
DVI	Manaus	HE1	Encruzilhada	JI1	St. Cecilia	MI5	Joinville	PO1	Nogi-Mirim
EE1	Rosario	HF1	Lajeado	JI5	Cacador	MJ1	Curitiba	PO6	S.J.Boa Vista
EF1	Santiago(Rs)	HG1	Soledade	JJ1	S.Mateus Sul	ML1	Adrianopolis	QM1	Santos
EG1	S.L.Gonzaga	HG4	Passo Fundo	JJ4	Irai	MM1	Itapeva	QM4	Nogi Cruzes
EH1	Santa Rosa	HH1	Erechim	JM1	Telemaco Eba	MM1	Avare	QN4	S.J. Campos
EJ1	Foz Iguacu	HH4	Concordia	JN1	Assai	MO1	Bauru	RM3	Sao Sebastiao
EM1	Guaira	HI1	Xanxere	JN4	C. Procopio	MP1	Nv. Horizonte	RM1	Taubate
FD1	Bage	HL1	Pitanga	JN6	Assis	MT1	Goiania	RM4	Guaratingueta
FF1	Santa Maria	HML	Campo Mourao	JO5	Iupa	NH1	Florianopolis	RX1	Sao Luiz
FG1	Cruz Alta	HN1	Maringa	JP1	Aracatuba	NI1	Itajai	SQ1	B. Horizonte
FG4	Santo Angelo	HO1	P. Venceslau	LF1	Osonio	NJ1	Paranagua	TU1	Terezina
FH1	Ten. Portela	IE3	Porto Alegre	LQ1	S.Fco. Paula	NN6	Itapetininga	UH1	Rio Janeiro
FH6	F.Westphalen	IF1	Montenegro	LG6	Sao Joaquim	NN5	Botucatu	XP1	Vitoria
FI1	S.M.D'Oeste	IF16	Caxias	LH5	Rio do Sul	NO5	Araraquara	XU1	Fortaleza
FL1	Cascavel	IG1	Nova Prata	LJ1	Mafra	NO8	Sao Carlos	ZQ1	Salvador
FL1	Cr. D'Oeste	IH1	Campos Novos	LJ4	Rio Negro	NP1	Jaboticabal	ZR1	Aracaju
GB1	S.U.Palmar	II1	Joaquima	LL1	Ponta Grossa	NP8	Bebedouro	ZS1	Maceio
GC1	Jaguarao	II6	Porto Uniao	LM1	Arapoti	NQ1	Barretos	ZT1	Joao Pessoa
GE1	Cacapava Sul	IJ1	Un. Vitoria	LM4	Venc. Bras	NT1	Brasilia	ZT4	Recife
GE4	Cachoeira S.	IJ6	Guarapuava	LN1	Jacarezinho	OL1	Registro	ZU1	Natal

Tabela 3 - Relacao das zonas de trafego

O processo de zoneamento, em uma estrutura de rede, identifica um nó especial, denominado centróide, que representa toda a zona de tráfego.

4.2.2 - DEFINIÇÃO DA REDE RODOVIÁRIA

Tomando-se como base a rede desenvolvida pelo NDTT/UFSC para o estudo de fluxos de cargas, definiu-se uma rede rodoviária que abrange detalhadamente os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Os fluxos com origem ou destino fora destes limites são garantidos por uma rede caracterizada como de conexão mínima.

A identificação das zonas de tráfego, nós auxiliares e arcos é facilitada por uma estrutura de malha, conforme pode-se ver no mapa-referência rodoviário (Encarte). De acordo com este procedimento, os componentes da rede são identificados por suas coordenadas e diferenciados em cada uma por um código numérico sequencial.

Pode-se observar, no mapa, que os centróides são representados por um círculo ao redor do número identificador e ligados à rede por arcos conectores, com distância associada igual a zero. Sobre os arcos da rede estão assinaladas as respectivas distâncias. Arcos com linhas tracejadas indicam trecho não pavimentado e linhas cheias trecho pavimentado. Em termos quantitativos, a rede desenvolvida incorpora 500 nós (incluindo os centróides, que totalizam 155) e 1366 arcos (considerando-se as 2 direções de tráfego).

Para a implementação computacional, os centróides são identificados pelo nome da cidade-sede e os demais pelas

coordenadas do mapa-referência.

Em relação aos outros parâmetros associados aos arcos, além da distância, deve-se considerar o seguinte:

- Adotou-se valores de velocidade, para o primeiro carregamento da rede, de 60 Km/h para trecho pavimentado e de 40 Km/h para trecho não pavimentado.
- O procedimento correto para a especificação da capacidade do arco envolveria um dimensionamento detalhado para cada trecho, tendo em vista dados como composição do tráfego, declividade média do trecho, número de faixas de tráfego, etc. Em razão do alto número de arcos e da não disponibilidade dos dados necessários para a maioria dos trechos, decidiu-se adotar uma capacidade - padrão para vias pavimentadas de 600 caminhões/hora e em vias não pavimentadas de 300 caminhões/hora.

4.2.3 - MATRIZ ORIGEM - DESTINO

Os locais de realização da pesquisa do NDTT/UFSC, próximos aos limites de Santa Catarina com o Rio Grande do Sul e Paraná, estão indicados abaixo:

<u>Rodovia</u>	<u>RS-SC</u>	<u>PR-SC</u>
BR - 158	▨	
BR - 480	▨	
BR - 153	▨	▨
BR - 116	▨	▨
BR - 101	▨	▨
BR - 467		▨

Tabela 4 - Relação dos locais da pesquisa (NDTT 1984)

Na pesquisa realizada pelo NDTT/UFSC, procedeu-se à uma classificação dos produtos, que foram agrupados em 58 categorias, conforme tabela abaixo:

ICODIGO:	PRODUTO	ALGUNS COMPONENTES	ICODIGO	PRODUTO
1	Minerais/produtos de minerais inao metalicos	Areia,pedra,vidro,tijolos,cal, cinza,telhas,cimento,clinquer	30	Tomate
2	Metalurgia	Sucata,pregos,arames,talheres,ferro,latas	31	Banana
3	Mecanica,material de comunicacao,eletrico e de transportes	Caminhoes,automoveis,maquinas e implemen- tos agricolas, computadores, geladeiras	32	Batata
4	Madeira	Madeira,serragem,carvao vegetal,formica	33	Arroz
5	Mobiliario	Moveis,estofados,mudancas	34	Maca
6	Papel e papelao	Bobinas de papel,Papelao,celulose,filtro	35	Milho
7	Korracha,couro,peles e produ- tos de material plastico	Baldes,pneus,piscinas,vasilhames, espumás,couros,peles	36	Trigo
8	Quimica,produtos veterinarios, farmaceuticos e perfumaria	Sabonete,cola,talco,sabao,fertilizantes, resinas,explosivos,isopor,adubos	37	Bovinos
9	Textil	Barbantes,tecidos,fios,cordas	38	Suinos
10	Vestuario,calcados e tecidos	Roupas,calcados,retalhos,chapeus	39	Equinos e remontas
11	Alimentos e bebidas	Bebidas,alimentos,raçao,oleo	40	Melancia
12	Fumos manufaturados	Cigarros,charutos,cigarrilhas	41	Cevada
13	Editorial e grafica		42	Avestivas
14	Gasolina		43	Frutas
15	Óleo diesel		44	Pessego
16	Óleo combustivel		45	Laranja
17	Gas de cozinha(GLP)		46	Algodao
18	Querosene		47	Coco
19	Alcool		48	Abacaxi
20	Vazio		49	Castanha
21	Diversos	Carga mista,brinquedos,mudas de plantas	50	Azeitona
22	Soja		51	Aveia
23	Canã de acucar		52	Flores
24	Fumo bruto		53	Vinos
25	Handioca		54	Óleo lubrificante
26	Feijao		55	Meiao
27	Cebola		56	Ovos
28	Ova		57	Erva mate
29	Alho		58	Cafe

Tabela 5 - Classificacao dos produtos
Fonte: NDTT(1984)

Utilizou-se, deste levantamento, os dados de origem - destino em unidades de tonelagem transportada por produto, já expandidos para bases anuais.

Como o modelo de atribuição encontra-se estruturado em unidades de veículos/hora, houve a necessidade de alguns procedimentos de compatibilização dos dados:

- tomando-se como base os dados da pesquisa do NDTT sobre a quantidade de caminhões (simples, duplo, reboque) por categoria de produto, procedeu-se a determinação de um veículo-padrão para o carregamento de cada produto, em termos de taxa de ocupação média (em toneladas), o que é apresentado na tabela 6. Pode-se visualizar, nesta tabela, que algumas categorias não foram detectadas na pesquisa;

- desenvolveu-se um programa computacional auxiliar, com o objetivo de transformar a tonelagem em número de veículos, para cada categoria de produto, e agrupar os veículos entre os pares O/D. A partir deste procedimento, então, a matriz não individualiza mais os produtos;

- neste mesmo programa, os dados anuais são convertidos em unidades de veículos/hora, como requer o modelo. Esta conversão considera um produto fictício (padrão) que é transportado durante 135 dias do ano, no período das 07:00 - 19:00 hs, ou seja ($135 \times 12 = 1620$). Este valor de conversão, na verdade, de acordo com alguns testes efetuados, tem um efeito bastante limitado no resultado final do carregamento. Estes testes envolveram a variação deste valor para 3000 (correspondente à 250 dias, num mesmo horário de transporte) e 1200 (100 dias), com resultados finais de variação de fluxo respectivamente de 3,03% e 2,34%.

PRODUTO	CAMINHÃO		SEMI-REBOQUE	TOTAL	% POR TIPO			OCUPAÇÃO MÉDIA(t)
	SIMPLES	DUPLO			SIMPLES	DUPLO	REBOQUE	
1	101164	1552675	1790349	3444188	0.0294	0.4508	0.5198	17.62
2	35182	668840	921148	1625170	0.0216	0.4116	0.5668	18.20
3	58346	371310	497959	927615	0.0629	0.4003	0.5368	17.61
4	92251	544118	299082	935451	0.0986	0.5817	0.3197	14.92
5	75815	136236	63542	275593	0.2751	0.4943	0.2306	12.81
6	21426	317259	278164	616849	0.0347	0.5143	0.4509	16.81
7	29013	244981	213864	487858	0.0595	0.5022	0.4384	16.51
8	66583	871589	1184926	2125098	0.0313	0.4101	0.5585	18.05
9	23761	81160	49312	154233	0.1541	0.5262	0.3197	14.58
10	21621	93970	52254	167845	0.1288	0.5599	0.3113	14.64
11	218770	1720520	1909259	3848549	0.0568	0.4471	0.4961	17.18
12	2644	10864	1635	15143	0.1746	0.7174	0.1080	12.05
13	2465	20723	4363	27551	0.0895	0.7522	0.1584	13.15
14	13959	107614	103691	225264	0.0620	0.4777	0.4603	16.74
15	16412	127474	200194	344080	0.0477	0.3705	0.5818	18.21
16	21966	125589	182564	330119	0.0665	0.3804	0.5530	17.77
17	6851	54753	107402	169006	0.0405	0.3240	0.6355	18.86
18	2065	14772	7972	24809	0.0832	0.5954	0.3213	15.04
19	4715	46866	116966	168547	0.0280	0.2781	0.6940	19.61
21	45262	363173	137701	546136	0.0829	0.6650	0.2521	14.25
22	39066	389923	960618	1389607	0.0281	0.2806	0.6913	19.57
24	2442	37854	20520	60816	0.0402	0.6224	0.3374	15.49
25	0	3263	0	3263	0.0000	1.0000	0.0000	11.91
26	7251	18267	27260	52778	0.1374	0.3461	0.5165	16.91
27	5575	80341	5480	91396	0.0610	0.8790	0.0600	12.21
28	2542	20423	2248	25213	0.1008	0.8100	0.0892	12.29
29	0	3627	3841	7468	0.0000	0.4857	0.5143	17.74
30	2684	20678	3293	26655	0.1007	0.7758	0.1235	12.68
31	2968	48912	86450	138330	0.0215	0.3536	0.6250	18.86
32	10664	40314	3358	54336	0.1963	0.7419	0.0618	11.39
33	4822	678163	1016372	1699357	0.0028	0.3991	0.5981	18.67
34	358	19593	93221	113172	0.0032	0.1731	0.8237	21.23
35	5491	203043	506674	715208	0.0077	0.2839	0.7084	19.90
36	6268	107695	37160	151123	0.0415	0.7126	0.2459	14.44
37	15427	37140	10994	63561	0.2427	0.5843	0.1730	12.36
38	20490	10592	0	31082	0.6592	0.3408	0.0000	7.81
39	6093	8253	5967	20313	0.3000	0.4063	0.2938	13.38
40	2920	59177	3932	66029	0.0442	0.2962	0.0595	12.31
41	409	32721	94587	127717	0.0032	0.2562	0.7406	20.29
42	3870	878	2146	6894	0.5614	0.1274	0.3113	11.95
43	0	24911	62624	87535	0.0000	0.2846	0.7154	20.02
45	4850	43562	13082	61500	0.0789	0.7084	0.2127	13.83
46	2297	33115	61650	97062	0.0237	0.3412	0.6352	18.97
53	474	8291	937	9702	0.0489	0.8546	0.0966	12.70
54	1291	60155	14158	75604	0.0171	0.7957	0.1873	13.93
56	405	5937	1705	8047	0.0503	0.7378	0.2119	14.00
57	26217	23555	5983	55755	0.4702	0.4225	0.1073	10.20
58	2073	32962	7260	42295	0.0490	0.7793	0.1717	13.55

Tabela 6 - Ocupação-padrão dos veículos rodoviários

Carga média detectada: Caminhão simples = 5.69 t

(em campo) Caminhão duplo = 11.91 t

Reboque/sewi = 23.25 t

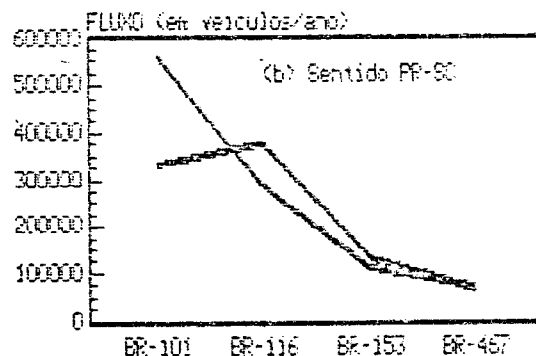
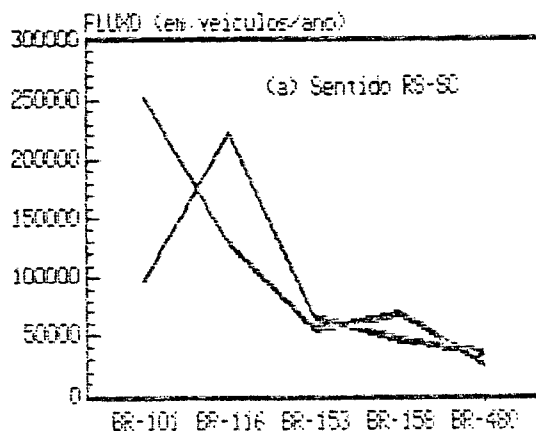
quando da reconversão. Existe uma explicação simples para este fato: com a especificação dos valores relativamente altos de capacidade, a rede funciona praticamente sem congestionamento e a relação fluxo/capacidade tende a ser bastante baixa, o que não altera substancialmente o tempo de viagem no arco.

4.2.4 - CARREGAMENTO DA REDE

Com os dados disponíveis, procedeu-se ao carregamento inicial da rede. Em função da pesquisa de campo do NDTT, tinha-se a possibilidade de checar os resultados do carregamento nos trechos da realização da pesquisa. Esta primeira rodagem apresentou os resultados mostrados na tabela abaixo e na figura 4, já reconvertidos em bases anuais:

TRECHO	SENTIDO RS - SC			SENTIDO PR - SC		
	CAMPO % Veiculos	MODELO Veiculos	%	CAMPO % Veiculos	MODELO Veiculos	%
BR-101	147.3	251478	98314 20.9	154.7	563330	322957 36.7
BR-116	124.6	130790	222031 47.4	127.8	266299	375661 41.8
BR-153	110.3	54761	87313 14.4	110.7	110194	131141 14.6
BR-158	112.9	68585	45451 9.7			
BR-467				6.8	70030	68314 6.9
BR-480	4.9	26051	35465 7.6			
TOTAL	100	531665	468514 100	100	1029853	898073 100

Tabela 7 - Resultados do primeiro carregamento



Observa-se que os resultados são bastante diferenciados, particularmente no que se refere à predominância de fluxo na BR-116 em detrimento da BR-101.

As diferenças nos totais de campo e do modelo devem-se à dois fatores:

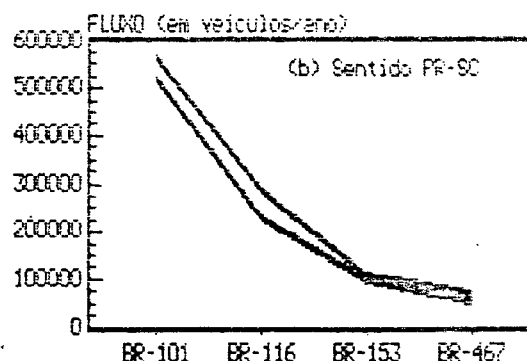
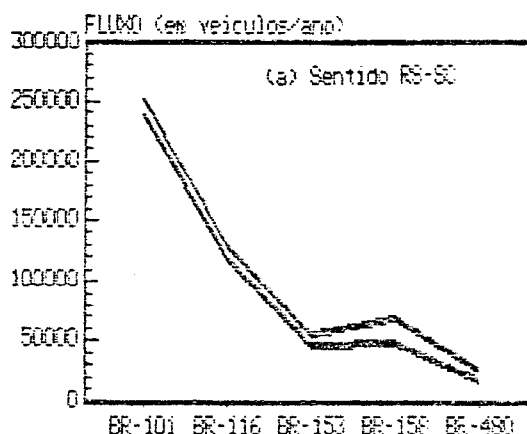
(a) definição de um veículo-padrão para cada tipo de produto (Os valores determinados revelam uma predominância acentuada de caminhões reboque/semi reboque, o que determina uma ocupação média bastante alta e um conseqüente número menor de veículos).

(b) a pesquisa do NDTT incluiu alguns deslocamentos intrazonais que foram descartados no processo de alocação.

Como os resultados do carregamento inicial não foram satisfatórios, necessitou-se alterar as velocidades de alguns trechos, principalmente na BR-101 (onde aumentou-se) e na BR-116 (onde diminuiu-se). Este procedimento foi adotado algumas vezes, até se encontrar o resultado abaixo:

TRECHO	SENTIDO RS - SC			SENTIDO PE - SC		
	CAMPO	MODELO	%	CAMPO	MODELO	%
BR-101	147.3	251478	50.7	154.7	563336	57.6
BR-116	124.6	130796	25.2	127.8	286299	25.6
BR-153	110.3	54761	9.9	110.7	110194	10.9
BR-158	112.9	68585	10.6			
BR-467				6.8	70036	5.9
BR-488	4.9	26051	3.6			
TOTAL	100	531665	100	100	1029853	100

Tabela 8 - Resultado do carregamento final



Conforme pode-se observar, os resultados em termos percentuais (em relação à entrada dos fluxos em Santa Catarina nos dois sentidos) são bastante próximos e considerados satisfatórios. No sentido RS-SC, por exemplo, a diferença máxima entre o percentual observado em campo e o fornecido pelo modelo chega à apenas 3.4%.

Com os resultados apresentados, considerou-se a rede calibrada e os fluxos em cada arco indicativos da distribuição espacial do transporte de carga com destino ou passagem por Santa Catarina.

4.2.5 - COMENTÁRIOS SOBRE A FASE I

O procedimento adotado de estabelecer velocidades iniciais padrões para as vias e modificá-las por tentativa (de acordo com as necessidades), obviamente não representa a melhor forma de calibração do modelo. De qualquer forma, tendo em vista os resultados obtidos, revelou-se suficiente para os objetivos do estudo.

Em termos computacionais, o modelo apresenta as reconhecidas deficiências de convergência mencionadas no capítulo 2. Na presente aplicação, adotou-se um valor de \underline{h} (da equação 3.4) relativamente alto (igual a 0.01), já que um valor mais baixo requereria um tempo de CPU muito alto. A rigor, então, a solução encontrada não configura uma situação plena de equilíbrio. No entanto, como a rede opera, no geral, sem congestionamentos, o valor de 0.01 possibilita a determinação de fluxos bastante próximos ao equilíbrio. Neste contexto, o tempo de CPU necessário para o carregamento da rede oscila entre 10.25 e 11.00 minutos.

4.3 - QUANTIFICAÇÃO DO TRÁFEGO DESVIADO

4.3.1 - DEFINIÇÃO DA REDE BIMODAL RODO-FERROVIÁRIA

Para a aplicação da fase II do modelo, definiu-se uma rede bimodal, com a inclusão das principais ligações ferroviárias da área de interesse¹⁰. Como no caso anterior, as demais regiões são representadas por conexões mínimas.

O mapa-referência bimodal (Encarte) apresenta a mesma estrutura de identificação visual do similar rodoviário. A questão do transbordo entre as duas modalidades é representada pela definição de um arco de ligação, com uma distância associada fictícia. A nível computacional, os nós (representativos das estações ferroviárias) tem a seguinte codificação:

- Sigla do Estado + nome da cidade-sede.

Por exemplo, a estação de Pelotas (RS) é representada por RSPELOTAS. Os arcos são diferenciados, na base de dados, por um código indicativo da modalidade, onde:

- 1 - Ligação rodoviária real
- 2 - Transbordo
- 3 - Ligação ferroviária
- 4 - Ligação rodoviária fictícia (arco de ligação do centróide com a rede rodoviária real).

Embora o mapa-referência bimodal diferencie os trechos de

¹⁰Utilizou-se de várias fontes para a definição das ligações ferroviárias, entre as quais os Anuários Estatísticos de Transporte (GEIPOT) e os Anuários das Estradas de Ferro (RFFSA).

bitola métrica dos trechos com bitola 1.60 m, não houve necessidade, nesta aplicação, da distinção em razão das simulações envolverem apenas a Região Sul, onde a bitola é toda métrica.

Em termos quantitativos, esta rede bimodal apresenta 599 nós e 1748 arcos.

4.3.2 - CARGAS ENVOLVIDAS

Da classificação apresentada na tabela 5, verificou-se as categorias com alguma tradição de transporte por meio ferroviário. Desta análise, chegou-se à uma relação de produtos com vocação modal ferroviária, sendo os demais excluídos do processo. Esta relação é apresentada abaixo:

01. Minerais / produtos de minerais não metálicos.
02. Siderurgia / metalurgia.
03. Elétrico, mecânico e de transportes.
04. Madeira.
06. Papel e papelão.
22. Soja.
33. Arroz.
35. Milho.
36. Trigo.

Para a aplicação, os produtos foram agrupados de acordo com a origem e o destino dos fluxos. Novamente, a partir desta junção, os produtos não são mais individualizados.

4.3.3 - EQUAÇÕES DE CUSTO PARA AS SIMULAÇÕES

Conforme visto no capítulo 3, usa-se o algoritmo de Dijkstra

para a quantificação do tráfego desviado da modalidade rodoviária para a ferroviária.

Nesta abordagem, pressupõe-se um comportamento do usuário em termos de minimização do frete à ser pago pelo transporte da carga entre um determinado par O/D. Nenhum outro tipo de comportamento pode ser assumido. A estratégia adotada é a de realizar várias simulações para cada cenário de rede, variando-se o frete ferroviário de acordo com um percentual do frete rodoviário (de 80 a 20%). Assim, não há necessidade nesta etapa de adoção de um valor real do frete rodoviário e as equações são simplificadas para os arcos dos tipos 1 e 2, respectivamente:

$$CR = \text{Dist(em Km)} \times 1 \text{ (custo/t.Km)}$$

$$= \text{Custo/tonelada}$$

$$CS = \% CR$$

Para os arcos representativos do transbordo, adotou-se uma distância fictícia de 40 Km, que representa uma penalidade associada à este tipo de operação. Este valor é tomado em bases hipotéticas, já que não existe nenhum estudo específico (de nosso conhecimento) sobre o assunto. De acordo com algumas comparações efetuadas, o valor adotado de nenhuma maneira subestima o custo de transbordo à um nível real.

4.3.4 - SIMULAÇÕES

São analisados 3 cenários, sendo o primeiro (situação existente) apenas usado como referência para a análise dos fluxos dos outros cenários.

Pela condição dos fluxos pesquisados, todos de natureza rodoviária, em princípio, para a situação existente, configuraria-se a inexistência de fluxo nos trechos ferroviários. Entretanto, esta não utilização do transporte ferroviário seguramente deve-se a outros fatores que não os de natureza estritamente econômica, como por exemplo a não confiabilidade dos usuários no sistema ferroviário, más condições de traçado e de manutenção de trechos, tempo excessivo de transporte, falta de terminais intermodais, etc. A solução destas questões passa, necessariamente, pela definição e implementação de uma política racional de transportes, o que infelizmente não sai do papel, no Brasil, pela falta de seriedade com que o assunto é tratado historicamente à nível governamental.

As questões mencionadas são deixadas de lado, havendo a necessidade, então, de confrontar o comportamento estabelecido no item anterior tanto para as simulações como para a situação existente, com o objetivo de verificar se os fluxos desviados para os novos trechos correspondem ao tráfego decorrente da implantação dos mesmos ou se parte destes fluxos poderia ser atendida pelos trechos existentes.

4.3.4.1 - IMPLANTAÇÃO DA FERROVIA LITORAL SUL

Esta ferrovia envolveria 5 trechos, entre Porto Alegre e Curitiba, num traçado paralelo à BR-101:

- Porto Alegre - Osório.
- Osório - Criciúma.
- Criciúma - Florianópolis.

- Florianópolis - Joinville.
- Joinville - Curitiba.

Pelos aspectos mencionados no item anterior, há a necessidade de algumas comentários envolvendo o cenário considerado e o sistema ferroviário existente, além da condição já assumida de desvio de tráfego com base no menor custo de transporte:

(a) assume-se que o sistema existente apresenta as mesmas condições do cenário considerado, no que se refere à boas condições de traçado, manutenção e desempenho operacional, ou seja, nenhum trecho existente ou simulado apresenta, em relação aos demais, melhores condições gerais de transporte. Esta suposição é necessária para uma avaliação, em base comparativa única, dos fluxos desviados pela implantação do cenário em análise.

(b) a comparação a ser feita envolve os fluxos que entram em Santa Catarina pelos trechos ferroviários existentes nas fronteiras do Estado com e sem o cenário considerado. Desta forma, pode-se averiguar se os fluxos desviados para os trechos simulados são decorrentes da implantação dos mesmos ou se poderiam ser atendidos pelos trechos existentes.

Feitas estas considerações, apresenta-se nas tabelas 9 e 10 os resultados comparativos, sob diferentes condições de taxaço do transporte ferroviário. Para facilitar a análise, a tabela 11 apresenta os valores resultantes da diferença entre as tabelas 10 e 9:

TRECHO	80	70	60	50	40	30	20
IERECHIM - JOACABA	180730	512614	1299181	1489282	1575318	1655332	1933979
IVACARIA - LAGES	3250423	3713756	4023053	4046172	4314351	4572349	4727312
IUN.VITORIA - P.UNIAO	809566	1007891	1328042	1413037	1518327	1747933	1821343
IRIO NEGRO - MAFRA	3502802	3718022	4238453	4414577	5047719	5092927	5172312

Tabela 9 - Desvio de trafego para os trechos existentes
- Sem a implantacao da Litoral Sul

TRECHO	80	70	60	50	40	30	20
IERECHIM - JOACABA	323155	998712	2053503	2141372	2261748	2551872	3018496
IVACARIA - LAGES	3242205	3660014	3905453	3912664	3895967	3742825	3540824
IUN.VITORIA - P.UNIAO	849460	1122873	1512166	1579923	1681747	1932297	2325331
IRIO NEGRO - MAFRA	3709319	3847576	4004557	4218918	4771770	4697898	4630793

Tabela 10 - Desvio de trafego para os trechos existentes
- Com a implantacao da Litoral Sul

TRECHO	80	70	60	50	40	30	20
IERECHIM - JOACABA	142417	486098	754322	652090	686430	896540	1064517
IVACARIA - LAGES	-8218	-53742	-117600	-133508	-418414	-229524	-1186488
IUN.VITORIA - P.UNIAO	39894	114982	184124	166886	163420	184364	503928
IRIO NEGRO - MAFRA	206517	129556	-233896	-195659	-275949	-395039	-541519
TOTAL	380610	676894	586950	489809	155487	-143659	-139502

Tabela 11 = Tabela 10 - Tabela 9

Na tabela 11, os valores positivos assinalam o incremento de fluxo nas ligações existentes com a implantação da Litoral Sul, ou seja, a ferrovia simulada tem um efeito *gerador de fluxo*. Os valores negativos correspondem a um desvio de tráfego dos trechos ferroviários existentes como consequência da implantação da Litoral Sul, isto é, a quantidade de fluxo detectada poderia ser atendida pelos trechos existentes. A última linha da tabela apresenta o somatório dos valores de fluxo para cada índice de taxaço. Observa-se que apenas as taxaçoes de 30% e 20% apresentam valores negativos e para esses casos a utilização dos valores de fluxos desviados do rodoviário para os trechos simulados deve ser feita com cuidado, já que mesmo sem a implantação destes trechos haveria o transporte ferroviário de parte dos fluxos pelas ligaçoões existentes.

Feita esta análise comparativa, pode-se apresentar os resultados obtidos para os trechos simulados:

ARCOS	80	70	60	50	40	30	20
PORTO ALEGRE - OSORIO			263767	292324	306307	306307	306307
OSORIO - PORTO ALEGRE			7129	7129	7129	9015	9015
OSORIO - CRICIUMA	114095	114095	397250	432387	446424	446424	449338
CRICIUMA - OSORIO	21427	21427	21427	22785	24944	24944	24944
CRICIUMA - FLORIANOPOLIS	276798	276798	296314	296314	311248	322714	329053
FLORIANOPOLIS - CRICIUMA	315373	315373	327553	327553	333912	374565	424620
FLORIANOPOLIS - JOINVILLE	219306	219306	228138	228138	227749	233453	246752
JOINVILLE - FLORIANOPOLIS	639194	639194	654260	654260	666638	668912	673474
JOINVILLE - CURITIBA	150335	150335	157245	157245	158776	164320	177932
CURITIBA - JOINVILLE	1038002	1038002	1517703	1517703	1545826	1553876	1565745

Tabela 12 - Fluxos desviados do rodoviário para a Litoral Sul sob diferentes condições de taxaço (em t)

Os resultados mostrados na tabela 12 são utilizados para uma análise parcial de viabilidade de implantação destes trechos (item 4.4).

4.3.4.2 - IMPLANTAÇÃO DA FERROVIA DO FRANGO

Esta ferrovia (em estudos pelo Governo do Estado de Santa Catarina) envolveria a construção de um trecho entre Chapecó e Joaçaba e melhoramentos nos trechos existentes de:

- Joaçaba - Porto União.
- Porto União - Mafra.
- Mafra - Joinville (São Francisco do Sul).

Adotando as mesmas considerações do item anterior, inicialmente compara-se os fluxos nos trechos ferroviários de fronteira de Santa Catarina com os Estados do Rio Grande do Sul e Paraná (tabelas 13,14 e 15). Pode-se observar que a tabela 13 é igual à tabela 9, só sendo reapresentada para efeitos de maior visibilidade.

A tabela 15 mostra apenas um valor negativo, referente ao trecho Vacaria - Lages e com tarifação de 30%. Este valor é largamente compensado pela geração de fluxo nos outros trechos, o que possibilita afirmar que os valores de fluxo desviados do rodoviário para os trechos simulados (tabela 16) devem-se realmente à implantação da Ferrovia do Frango e não a possíveis desvios dos trechos ferroviários de fronteira. Esta conclusão é esperada, em função do posicionamento da Ferrovia do Frango em relação aos trechos de fronteira, ou seja, a Ferrovia do Frango situa-se dentro dos limites do Estado de Santa Catarina e,

TRECHO	80	70	60	50	40	30	20
TERECHIM - JOACABA	180738	512614	1299181	1489282	1575318	1655332	1933979
IVACARIA - LAGES	3250423	3713756	4023053	4046172	4314381	4572349	4727312
LUN.VITORIA - P.UNIÃO	809566	1007891	1328042	1413037	1518327	1747933	1821343
IRIO NEGRO - MAFRA	3502802	3718022	4238453	4414577	5047719	5092927	5172312

Tabela 13 - Desvio de trafego para os trechos existentes
- Sem a implantacao da Ferrovia do Frango

TRECHO	80	70	60	50	40	30	20
TERECHIM - JOACABA	323155	828412	2059907	1819894	2157932	2477113	3085671
IVACARIA - LAGES	3406509	3872474	4387263	4387263	4423441	4251457	5251457
LUN.VITORIA - P.UNIÃO	849460	1122873	2014166	1837014	1694899	1892275	2336312
IRIO NEGRO - MAFRA	3877268	4214331	5563111	5563111	6589372	6525377	6525265

Tabela 14 - Desvio de trafego para os trechos existentes
- Com a implantacao da Ferrovia do Frango

TRECHO	80	70	60	50	40	30	20
TERECHIM - JOACABA	142417	315792	760726	330612	582614	821781	1151692
IVACARIA - LAGES	156086	158718	364210	341091	109060	-320892	524145
LUN.VITORIA - P.UNIÃO	39894	114982	686124	423977	176572	144342	514969
IRIO NEGRO - MAFRA	374466	496309	1324658	1148534	1541653	1432450	1352953
TOTAL	712863	1085807	3135718	2244214	2409899	2077681	3543759

Tabela 15 = Tabela 10 - Tabela 9

portanto, não tende a desviar fluxo dos trechos de fronteira.

A tabela abaixo mostra os resultados para os trechos da Ferrovia do Frango:

ARCOS	80	70	60	50	40	30	20
CHAPECO - JOACABA	34841	34841	34841	56734	86217	102347	235695
JOACABA - CHAPECO				110343	308074	575329	979310
JOACABA - PORTO UNIAO		512678	784882	812251	914345	1013571	1271345
PORTO UNIAO - JOACABA		827342	1027371	207316	1573460	1712257	2024424
PORTO UNIAO - MAFRA				102312	193336	221374	240350
MAFRA - PORTO UNIAO				547897	712981	806112	927990
MAFRA - JOINVILLE		706221	993672	1155367	1406517	1509006	1509006
JOINVILLE - MAFRA		14186	14186	15408	15408	15408	15408

Tabela 16 - Fluxos desviados do rodoviário para a Ferrovia do Frango sob diferentes condições de taxaço (em t)

Além das simulações apresentadas, analisou-se um outro cenário envolvendo a combinação das Ferrovias Litoral Sul e do Frango, isto é, a implantação de ambas num mesmo momento. Os resultados obtidos mostraram uma independência quase perfeita no que se refere a quantidade de tráfego desviado, ou seja, os valores em cada trecho simulado da combinação são idênticos aos valores da simulação isolada. Apenas o trecho Mafra - Joinville, da combinação, apresentou um valor um pouco superior ao da simulação isolada (da ordem de 5,32%). Uma análise detalhada desta simulação combinada não acrescentaria nada ao estudo, razão pela qual desconsiderou-se este possível cenário.

4.4 - ANÁLISE PARCIAL DE VIABILIDADE DOS TRECHOS SIMULADOS

4.4.1 - INTRODUÇÃO

Os fluxos obtidos para os trechos simulados são utilizados para um estudo preliminar de viabilidade, no qual confronta-se os custos necessários para a implantação dos trechos com os benefícios decorrentes desta implantação. Estes benefícios envolvem, nesta aplicação, dois componentes: a redução dos custos operacionais (rodoviário → ferroviário) e a receita líquida obtida com o transporte (frete - custo operacional ferroviário). Os custos de implantação envolvem construção (ou melhoramentos) de trechos, aquisição de material de tração e rodante e implantação de terminais.

Para a análise de viabilidade, algumas questões precisam ser estabelecidas:

- a vida útil do empreendimento é estabelecida em 25 anos, com valor residual ao final do período de 10% (em relação ao investimento em via permanente e terminais);
- adota-se uma TMA de 12% ao ano;
- como só se dispõe dos dados de carga para o transporte pela ferrovia num único ano (estabelecido como o primeiro ano de operação da ferrovia), há a necessidade de uma previsão do crescimento desta carga para o período de vida útil do empreendimento. Tem-se como expectativa¹¹ atingir, ao final dos 25 anos, um volume de carga 3 vezes superior ao inicial com crescimento linear ao longo dos anos. Em termos percentuais, isto

¹¹Baseada no estudo do GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (1987).

corresponde a um crescimento anual médio de 4,8%.

• adota-se, para efeitos de comparação entre os custos e os benefícios do empreendimento o método do custo anual uniforme equivalente (CAUE).

4.4.2 - FERROVIA DO FRANGO

4.4.2.1 - VALORES DE CUSTOS E OUTROS PARAMETROS UTILIZADOS

• Custo de Construção: US\$ 400.000/Km

Referência: Governo do Estado de SC (87)

• Custo de Melhoramentos: US\$ 100.000/Km

Referência: Governo do Estado de SC (87)

• Custo de Implantação de Terminais: US\$ 20.000.000

Referência: Governo do Estado de SC (87)

→ Em relação a este dado, algumas considerações precisam ser feitas. O estudo do Governo de SC prevê a construção de terminais com instalações frigoríficas para o recebimento de carnes congeladas destinadas a exportação pelo Porto de São Francisco do Sul. Além disso, considera a instalação de postos de alfândega para o processamento de todas as medidas fiscais de exportação nos próprios terminais, com o objetivo de agilizar o processo de liberação das mercadorias no Porto. O custo apresentado refere-se a construção de 2 terminais deste tipo nos municípios de Chapetô e Joaçaba. Como os produtos utilizados na presente aplicação não envolvem cargas frigorificadas e não destinam-se prioritariamente para exportação, os terminais necessários para o manuseio das

cargas envolvidas apresentam / características completamente diferentes das estabelecidas no estudo citado. Em consequência, os custos poderiam ser bastante diferenciados. Por não se dispor de um estudo específico das necessidades de terminais especializados para as cargas consideradas, decidiu-se adotar o valor de US\$ 20.000.000.

● Custo de Aquisição de Locomotivas: US\$ 1.500.000/Unidade

Referência: Governo do Estado de SC (87)

● Custo de Aquisição de vagões: US\$ 30.000/Unidade

Referência: Governo do Estado de SC (87)

● Custo Operacional Ferroviário(COf) = US\$ 0.0133/t.km

Referência: Governo do Estado de SC (87)

→ Este valor refere-se a uma estimativa para o primeiro ano de operação da ferrovia. Assumiu-se, para a presente aplicação, o maior valor dentre os analisados (referência citada) para cargas não frigorificadas. Este valor, naturalmente, foi calculado para as características específicas do projeto em estudos pelo Governo de SC, através da identificação dos principais produtos da área de influência do mesmo. A rigor, portanto, só poderia ser utilizado respeitadas todas as condições e hipóteses configuradas no estudo. Por essa razão (e outras que foram ou serão mencionadas), a presente aplicação deve ser entendida como uma análise preliminar e parcial de viabilidade do empreendimento.

O custo operacional envolve:

- Equipagem.

- Combustíveis e lubrificantes.
- Estações de cruzamento.
- Manutenção da via permanente.
- Terminais.
- Administração.

• Custo Operacional Rodoviário (COr) = US\$ 0.04/t.km

Referên. : Governo do Estado de SC (87).

• Valor do Frete Rodoviário (FR)

- Entre 151 - 200 Km = Cz\$ 265.96/ton = US\$ 6.67 /ton.

- Entre 201 - 250 Km = Cz\$ 309.74/ton = US\$ 7.76 /ton.

- Entre 251 - 300 Km = Cz\$ 353.42/ton = US\$ 8.86 /ton.

Fonte: Tabela da FENCAVIR (Em vigor a partir de 04/06/87)

Valor do dólar em Junho/87 = Cz\$ 39.90.

• Extensão Total da Ferrovia do Frango = 901 Km.

4.4.2.2 - BENEFÍCIOS DO EMPREENDIMENTO (B)

4.4.2.2.1 - REDUÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS (RCO)

$$RCO = COr - COF$$

$$RCO = 0.04 - 0.0133$$

$$RCO = US\$ 0.0267/t.km$$

4.4.2.2.2 - RECEITA LÍQUIDA DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO (RF)

Como o valor do frete rodoviário é estabelecido por faixas de quilometragem, há a necessidade de compatibilização, para cada

trecho, em unidades de custo/t.km. Esta compatibilização é feita na tabela abaixo, onde o frete-base representa o frete rodoviário dividido pela extensão do trecho ferroviário:

TRECHO	FRETE-BASE(FB)	C. OPERACIONAL(COP)
Chapecó - Joaçaba (Extensão 170 Km)	0.0392	0.0133
-----	-----	-----
Joaçaba - Porto União (Extensão 273 Km)	0.0325	0.0133
-----	-----	-----
Porto União - Mafra (Extensão 246 Km)	0.0315	0.0133
-----	-----	-----
Mafra - Joinville (Extensão 212 Km)	0.0366	0.0133
-----	-----	-----

Tabela 17 - Valores de frete-base e custo operacional
(em US\$ /t.km)

Então, a receita líquida do transporte ferroviário é estabelecida, nesta aplicação, como:

$$RF = k.FB - 0.0133$$

Onde k = Percentual de taxaço, e:

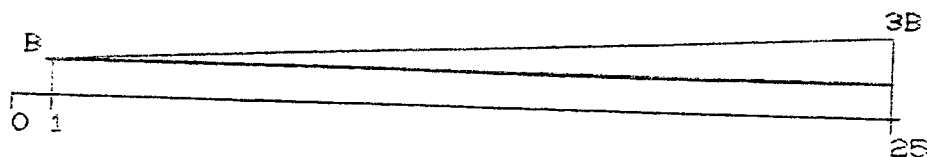
$$B = (0.0267 + k.FB - 0.0133).q$$

$$B = (0.0134 + k.FB).q$$

Onde q = Quantidade transportada de carga (em toneladas).

4.4.2.2.3 - FLUXO DE CAIXA DOS BENEFÍCIOS

Apresenta a seguinte configuração, para cada trecho e sob as diferentes condições de taxaço do frete ferroviário:



$$CAUE(+)= B + \frac{2B}{25} (A/G, 12\%, 25)$$

Onde: $(A/G, 12\%, 25) = 6.6771$

O valor residual do empreendimento é deduzido no fluxo de caixa dos custos. Os resultados correspondentes aos benefícios são mostrados na tabela 21, juntamente com os resultados referentes aos custos.

4.4.2.3 - CUSTOS DO EMPREENDIMENTO (C)

4.4.2.3.1 - CUSTO DE CONSTRUÇÃO (CC)

$$CC = US\$ 400.000/Km$$

4.4.2.3.2 - CUSTO DE MELHORAMENTOS (CM)

$$CM = US\$ 100.000/Km$$

4.4.2.3.3 - CUSTO DE AQUISIÇÃO DE LOCOMOTIVAS E VAGÕES (LVO)

Para uma estimativa deste custo, há a necessidade de um dimensionamento mínimo do número de locomotivas e vagões

necessários para o transporte das mercadorias.

O procedimento adotado, para este caso, é o de, em cada percentual de taxação, efetuar o dimensionamento para o trecho com a maior quantidade de carga. Assim, seguindo uma metodologia extraída das notas de aula da disciplina "Ferrovias", da Professora Eunice Pasaglia Nascimento, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, tem-se:

P_n = Toneladas/ano a serem transportadas

D = Número de dias de operação da ferrovia no ano. Assumiu-se um valor de $D= 300$, tendo em vista a questão da sazonalidade de alguns produtos.

N = Número de vagões por locomotiva. Assumiu-se um trem-tipo de 30 vagões/1 locomotiva (Extraído do estudo do Governo de SC).

P_u = lotação do vagão = 30 toneladas (do mesmo estudo).

Desta forma, pode-se calcular:

• Lotação do trem-tipo (P_t):

$$P_t = P_u \times N = 30 \times 30 = 900 \text{ toneladas}$$

• Toneladas/dia (P_d):

$$P_d = P_n/D$$

• Número de trens/dia (n_t):

$$n_t = P_d/P_t = P_n/(D \times P_t)$$

e, assim, tem-se o número mínimo de locomotivas e vagões para o transporte da carga.

O resultado do procedimento é mostrado na tabela 18, correspondente aos valores de carga do primeiro ano de operação da via. Os respectivos custos de aquisição também são mostrados, já diluídos em unidades de custo por quilômetro (Dividiu-se os custos de aquisição pela extensão total da ferrovia):

		80	70	60	50	40	30	20
QUANTIDADE	LOCOMOTIVAS	1	3	7	8	16	11	13
	VAGÕES	36	96	216	240	306	336	396
CUSTO/km	LOCOMOTIVAS	1665	4994	11654	13315	16645	18313	21643
	VAGÕES	999	2977	6928	7991	9987	10932	12896
	TOTAL (\$LV)	2664	7971	18646	21310	26637	29301	34629

Tabela 18 - Custo de aquisição de locomotivas e vagões
(Necessidades do 1º ano)

Como assinalado anteriormente, tem-se como expectativa triplicar o volume de carga transportada ao final dos 25 anos de vida útil do empreendimento. Em decorrência deste fato, as necessidades de locomotivas e vagões crescerão.

Apresenta-se no quadro abaixo as necessidades de locomotivas para o 13º e o 25º anos do empreendimento, correspondentes respectivamente ao dobro e o triplo da carga do 1º ano:

ANO	80	70	60	50	40	30	20
13		6	14	15	19	21	25
25		8	20	23	28	31	37

Tabela 19 - Quantidade de locomotivas necessárias ao atendimento da demanda

Com base nos dados apresentados é possível definir um cronograma de compras, tendo-se o cuidado de deixar sempre uma composição de reserva para prevenir possíveis problemas, principalmente de manutenção. Assim, define-se pela compra no ano

Q de quantidade de vagões e locomotivas para suprir as necessidades até o 13º ano de operação da ferrovia; Nesta data, compra-se o restante necessário para o atendimento da demanda do 25º ano do empreendimento (sempre com a folga de 1 composição completa).

Desta forma, chega-se ao resultado abaixo, em US\$/Km:

ANO	80	70	60	50	40	30	20
0	5327	18646	39956	42619	53274	58502	69256
13	-	5327	15982	21310	23973	26637	31964

Tabela 20 - Custo de aquisição de locomotivas e vagões
(Para a vida útil do empreendimento)

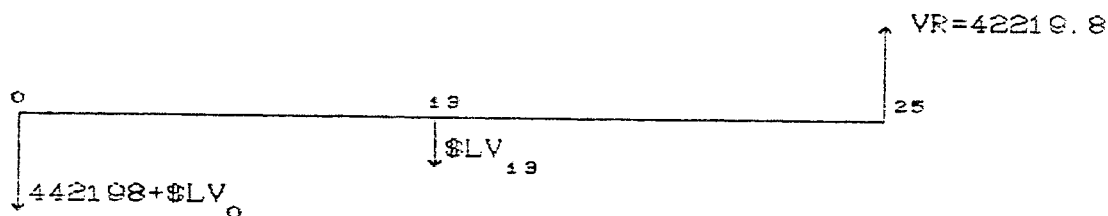
4.4.2.3.4 - CUSTO DE TERMINAIS (\$TERMI)

Diluindo o custo de implantação de terminais por quilômetro de extensão da ferrovia, chega-se ao valor de:

$$- \$TERMI = 20.000.000/901 = US\$ 22198/Km$$

4.4.2.3.5 - FLUXO DE CAIXA DOS CUSTOS

• Trecho em Construção:



$$CAUEC(-) = (422198 + \$LV_0) \times (A/P, 12\%, 25) +$$

$$+ \$LV_{13} \times (P/F, 12\%, 13) \times (A/P, 12\%, 25) -$$

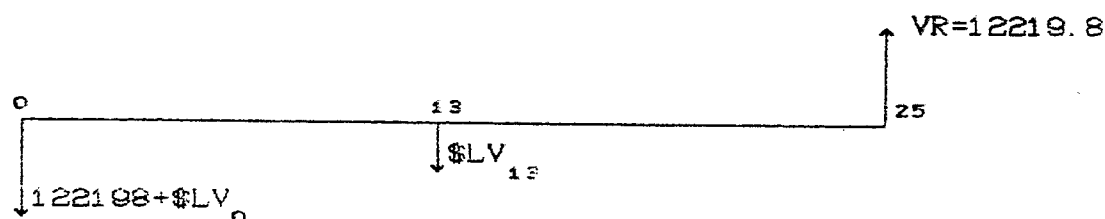
$$- 42219.8 \times (A/F, 12\%, 25)$$

$$\therefore (A/P, 12\%, 25) = 0.1275$$

$$(P/F, 12\%, 13) = 0.2292$$

$$(A/F, 12\%, 25) = 0.0075$$

• Trecho em Melhoramentos:



$$\begin{aligned} \text{CAUE(-)} &= (122198 + \$LV_0) \times (A/P, 12\%, 25) + \\ &+ \$LV_{13} \times (P/F, 12\%, 13) \times (A/P, 12\%, 25) - \\ &- 12219.8 \times (A/F, 12\%, 25) \end{aligned}$$

∴ (A/P, 12%, 25) = 0.1275

(P/F, 12%, 13) = 0.2292

(A/F, 12%, 25) = 0.0075

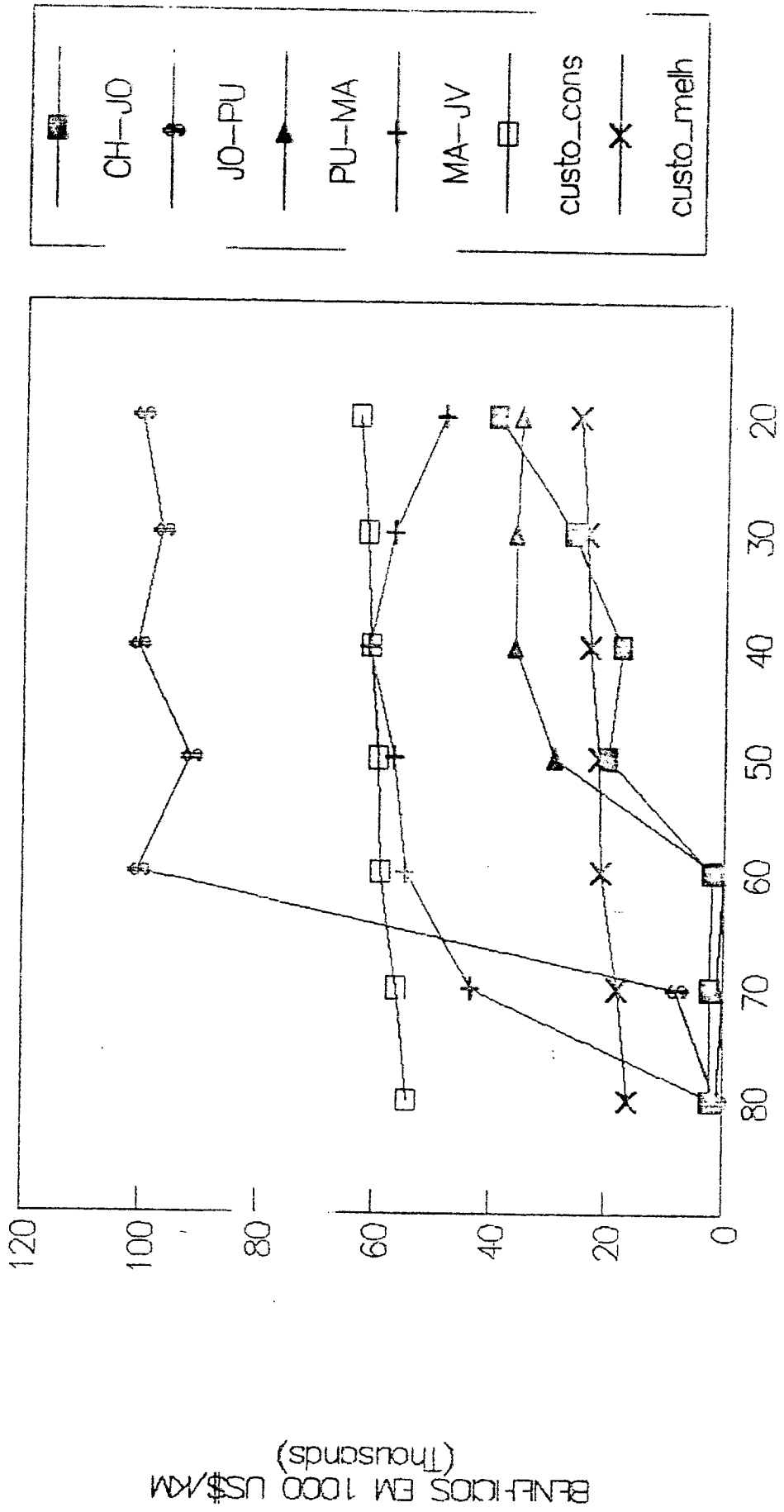
Os resultados destes custos uniformes estão mostrados na tabela 21, juntamente com os benefícios para efeitos de comparação. Somando-se os benefícios e custos para cada condição de taxaço, tem-se os resultados para a ferrovia como um todo. As figuras 6 e 7 apresentam os mesmos resultados, graficamente:

TRECHO	CAUE	Taxaço (%)							
		80	70	60	50	40	30	20	
TCHAPECO - JOACABA (CONSTRUCAO)	+	2393	2183	1973	19923	17591	26158	39591	
	-	54193	56647	59675	59376	61007	61764	63276	
JOACABA - PORTO UNIAO (MELHORAMENTOS)	+	0	8100	100500	91866	100761	96821	100620	
	-	16168	18022	21050	21545	22982	23739	25253	
PORTO UNIAO - RAFRA (MELHORAMENTOS)	+	0	0	0	29079	36151	36019	30312	
	-	16168	18022	21050	21545	22982	23739	25253	
RAFRA - JOINVILLE (MELHORAMENTOS)	+	0	43125	54675	56939	61169	57017	48456	
	-	16168	18022	21050	21545	22982	23739	25253	
FERROVIA DO FRANGO (COMO UM TODO)	+	2393	53400	157156	197047	215672	216015	223701	
	-	102697	110113	122225	124265	129953	132981	139037	

Tabela 21 - Custos anuais uniformes equivalentes referentes aos benefícios(+) e custos(-) do empreendimento (em US\$/Km) - FERROVIA DO FRANGO -

FERROVIA DO FRANGO

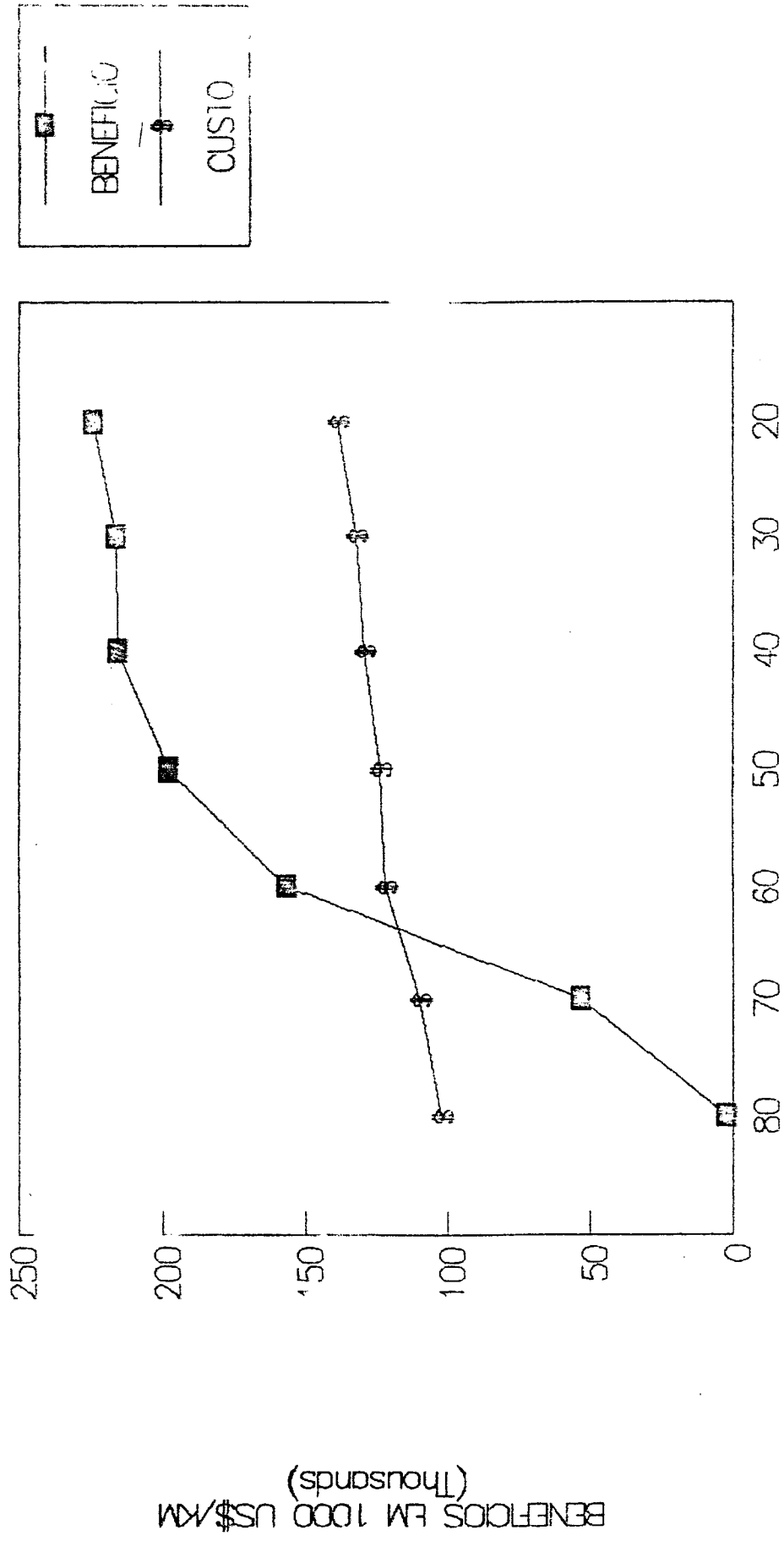
RESULTADO POR TRECHO



INDICE DE TAXACAO

FERROVIA DO FRANGO

COMO UM TODO



INJICE DE TARIFACAO

4.4.2.4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Efetuada uma análise isolada, o trecho Chapecó - Joaçaba apresenta custos bastante superiores aos benefícios em todas as condições de taxaço. A partir de uma taxaço de 70%, o trecho Mafra - Joinville justificaria o investimento, enquanto os trechos Joaçaba e Porto Uniço e Porto Uniço - Mafra apresentam viabilidade a partir, respectivamente, de 60% e 50%. Observa-se, desta interpretaço, que apenas os trechos já existentes e que sofreriam melhoramentos apresentam viabilidade.

Considerando a ferrovia como um todo, a partir de 60% de taxaço o investimento torna-se atrativo, ou seja, os diferenciais positivos dos trechos a serem melhorados compensam satisfatoriamente o diferencial negativo do trecho a ser construído.

Em relaço à uma política de taxaço, os resultados obtidos indicam o valor de 60% como o mais indicado para a taxaço do transporte ferroviário em relaço ao rodoviário.

Como conclusço geral, embora os resultados indiquem a viabilidade do empreendimento, não se pode garanti-la, em funço das limitaço dos dados utilizados. Além disso, tendo em vista a natureza dos fluxos pesquisados, pode-se assegurar, com base nas suposiço adotadas no item 4.3.4.1 (tambem válidas para a Ferrovia do Frango), que um investimento isolado na Ferrovia do Frango, sem que os trechos alimentadores de fronteira sofressem melhoramentos compatíveis para o escoamento dos fluxos das cargas envolvidas no estudo, absolutamente não se justificaria.

4.4.3 - FERROVIA LITORAL SUL

4.4.3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em função da não disponibilidade de um estudo específico de implantação de uma ferrovia ligando Porto Alegre à Curitiba, em traçado paralelo à BR-101, o enfoque para a análise da Ferrovia Litoral Sul diferencia-se do apresentado para a Ferrovia do Frango. Utiliza-se os dados de custos operacionais estimados para a Ferrovia do Frango e os mesmos valores de frete rodoviário da tabela da FENCAVIR:

- Faixa 101 - 150 Km = Cz\$ 222.13 = US\$ 5.57/ton.
- 151 - 200 Km = Cz\$ 265.96 = US\$ 6.67/ton.
- 201 - 250 Km = Cz\$ 309.74 = US\$ 7.76/ton.

Já em relação aos custos, o procedimento adotado é o seguinte:

- adota-se como uma incógnita os valores de custos de construção e terminais. Os valores de aquisição de locomotivas e vagões são calculados com base no procedimento mostrado para a Ferrovia do Frango, adotando-se os mesmos valores unitários de aquisição;
- igualar-se os benefícios e os custos do empreendimento, a fim de se determinar os valores correspondentes aos custos de construção e terminais. Desta forma, obtém-se para cada trecho e para a ferrovia como um todo o valor máximo dos custos de construção e terminais para que o empreendimento seja viável;
- analisa-se os resultados encontrados. A partir desta análise, pode-se estimar a viabilidade ou não do empreendimento.

4.4.3.2 - BENEFÍCIOS DO EMPREENDIMENTO

4.4.3.2.1 - REDUÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS

RCO = US\$ 0,0267/t.km

4.4.3.2.2 - RECEITA LÍQUIDA DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO

TRECHO	FRETE - BASE	CUSTO OPERACIONAL
P. Alegre - Osório (Extensão 144 Km)	0.0387	0.0133
Osório - Criciúma (Extensão 222 Km)	0.0350	0.0133
Criciúma - Fpolis (Extensão 246 Km)	0.0315	0.0133
Fpolis - Joinville (Extensão 193 Km)	0.0346	0.0133
Joinville - Curitiba (Extensão 132 Km)	0.0422	0.0133

Tabela 22 - Valores de frete-base e custo operacional
(em US\$/t.km) - Ferrovia Litoral Sul
assim,

$$B = (0.0134 + k.FB). q$$

4.4.3.2.3 - FLUXO DE CAIXA DOS BENEFÍCIOS

$$CAUE(+)=B+\frac{2B}{25}(A/G,12\%,25)$$

Onde:

$$(A/G,12\%,25)=6.6771$$

Os resultados são mostrados na tabela 24.

4.4.3.3 - CUSTOS DO EMPREENDIMENTO

4.4.3.3.1 - CUSTOS DE CONSTRUÇÃO E TERMINAIS (CCT)

É justamente o valor que se quer encontrar:

$$CCT = US\$ CCT/Km$$

4.4.3.3.2 - CUSTO DE AQUISIÇÃO DE LOCOMOTIVAS E VAGÕES

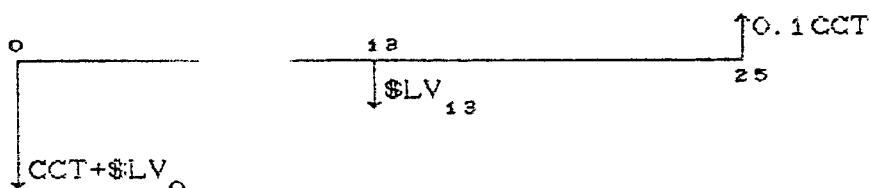
Utilizando o mesmo procedimento visto anteriormente, obtém-se:

ANO	80	70	60	50	40	30	20
0	25614	25614	35859	35859	35859	35859	35859
13	12807	12807	15368	15368	15368	17930	17930

Tabela 23 - Custo de aquisição de locomotivas e vagões em US\$/km (para a vida útil da Litoral Sul)

4.4.3.3.3 - FLUXO DE CAIXA DOS CUSTOS

Apresenta a seguinte configuração geral:



$$\begin{aligned}
 CAUEC(-) &= (CCT + \$LV_0) \cdot (A/P, 12\%, 25) + \\
 &+ \$LV_{13} \cdot (P/F, 12\%, 13) \cdot (A/P, 12\%, 25) - \\
 &- 0.1CCT \cdot (A/F, 12\%, 25)
 \end{aligned}$$

Onde: $(A/P, 12\%, 25) = 0.12750$

$(P/F, 12\%, 13) = 0.2292$

$(A/F, 12\%, 25) = 0.0075$

Efetuada algumas operações, tem-se:

$$CAUEC(-) = 0.12675 CCT + 0.1275 \$LV_0 + 0.029223 \$LV_{13}$$

Fazendo $P = 0.12675 CCT$, podemos montar uma tabela de custos anuais uniformes equivalentes envolvendo os benefícios e os custos do empreendimento (ver tabela 24). A partir desta tabela, iguala-se os benefícios e os custos, a fim de determinar o valor de CCT representativo desta igualdade. A tabela 25 mostra os resultados:

TRECHO	CAVE							
		80	70	60	50	40	30	20
PORTO ALEGRE - OSORIO	+	0	0	15219	15046	13887	12099	10227
	-	P+3640	P+3640	P+5021	P+5621	P+5021	P+5096	P+5096
OSORIO - CRICIUMA	+	8606	7886	22096	21104	19815	17283	14850
	-	P+3640	P+3640	P+5021	P+5021	P+5021	P+5096	P+5096
CRICIUMA - FLORIANOPOLIS	+	35068	32206	30915	27900	25734	24444	22778
	-	P+3640	P+3640	P+5021	P+5021	P+5021	P+5096	P+5096
FLORIANOPOLIS - JOINVILLE	+	54106	49549	46244	41560	37378	32920	28687
	-	P+3640	P+3640	P+5021	P+5021	P+5021	P+5096	P+5096
JOINVILLE - CURITIBA	+	85978	78284	99497	88653	79187	68694	58424
	-	P+3640	P+3640	P+5021	P+5021	P+5021	P+5096	P+5096
FERROVIA LITORAL SUL (COMO UM TODO)	+	183760	167919	213971	194263	176001	155440	134961
	-	15P+18200	5P+18200	5P+25105	5P+25105	5P+25105	5P+25480	5P+25480

Tabela 24 - Custos anuais uniformes equivalentes referentes aos
benefícios(+) e custos(-) do empreendimento (em US\$/Km)
- FERROVIA LITORAL SUL -

TRECHOS							
	80	70	60	50	40	30	20
PORTO ALEGRE - OSORIO			80456	79093	69949	55251	40482
OSORIO - CRICIUMA	39196	33452	154714	126888	116718	96150	76955
CRICIUMA - FLORIANOPOLIS	247953	225373	204200	170045	163417	152647	139503
FLORIANOPOLIS - JOINVILLE	300000	270000	235231	208276	255282	219519	180123
JOINVILLE - CURITIBA	649810	589908	745373	659819	585136	501760	420734
FERROVIA LITORAL SUL	261239	236243	298013	266916	238100	205065	172759

Tabela 25 - Valores de custo de construcao e terminais (em US\$/km)
para que a condicao beneficio = custos seja atendida
- FERROVIA LITORAL SUL -

4.4.3.4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observa-se, da tabela 25, que excetuando-se o trecho Joinville - Curitiba, os demais apresentam valores de CCT muito baixos, o que demonstra a inviabilidade dos mesmos. O trecho mencionado apresenta valores um pouco mais altos do que os assinalados para a Ferrovia do Frango (trecho em construção), o que torna sua implantação viável se adotados custos referentes à essa ferrovia.

A tabela 26 apresenta os resultados, para valores de CCT iguais aos da Ferrovia do Frango. Mesmo nestas condições, conforme mostram as figuras a seguir, o empreendimento absolutamente não seria justificável, com a exceção mencionada. O volume de fluxo desviado do rodoviário para a Ferrovia Litoral Sul não é suficiente para garantir a viabilidade do empreendimento, sob nenhuma condição de tarifação. Assim, pode-se afirmar que, considerando as hipóteses assumidas e os dados utilizados nesta simulação, a Ferrovia Litoral Sul não se justificaria.

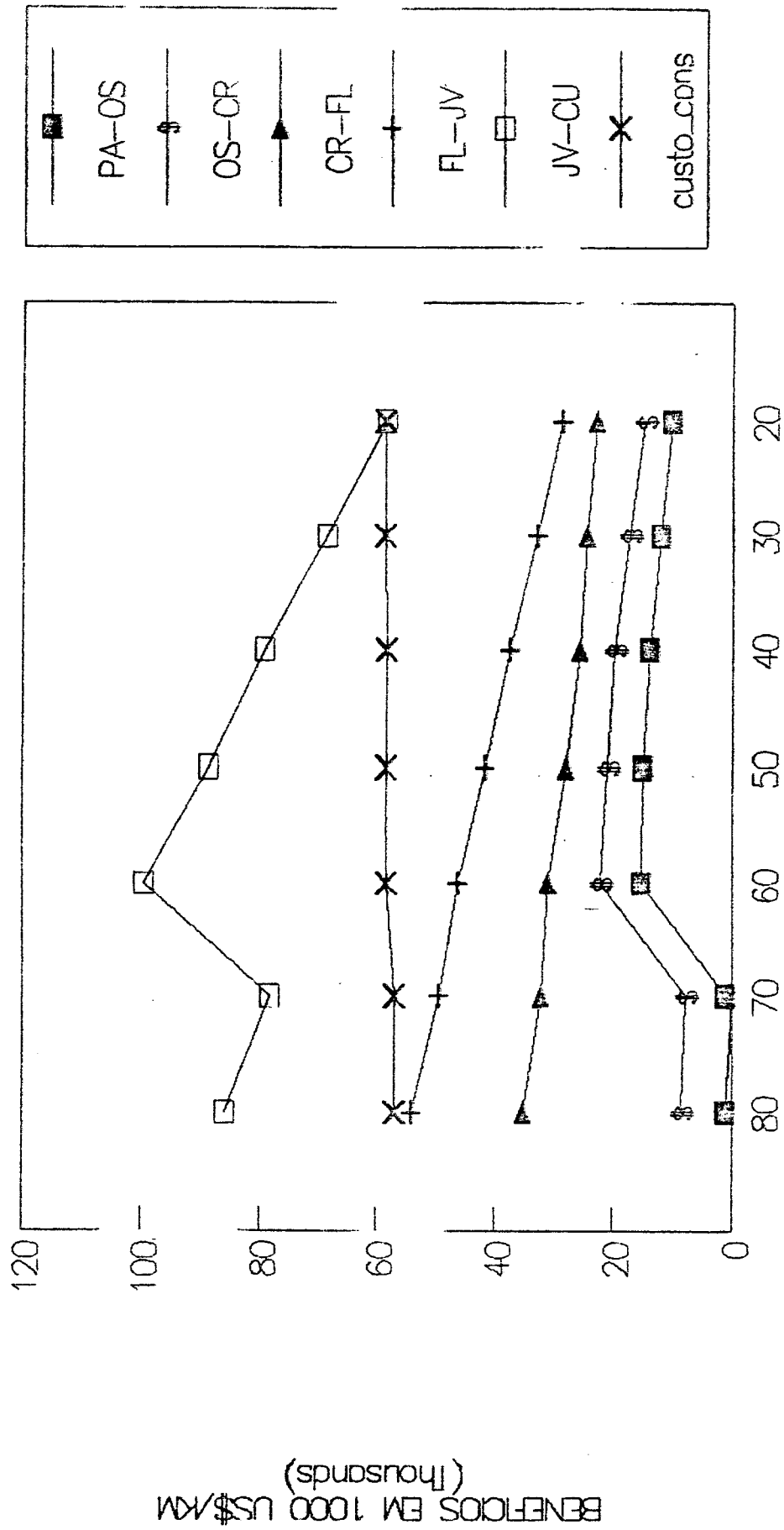
TRECHO	CAVE	8%	7%	6%	5%	4%	3%	2%
IPORÓ - ALEGRE - OSÓRIO	+	0	0	15210	15046	13887	12099	10227
	-	57154	57154	58535	58535	58535	58610	58610
OSÓRIO - CRICIUMA	+	8608	7886	2097	21104	19815	17280	14056
	-	57154	57154	58535	58535	58535	58610	58610
CRICIUMA - FLORIANÓPOLIS	+	35668	32206	36915	27906	25734	21114	22778
	-	57154	57154	58535	58535	58535	58610	58610
FLORIANÓPOLIS - JOINVILLE	+	54106	49549	46244	41560	37376	32920	28687
	-	57154	57154	58535	58535	58535	58610	58610
JOINVILLE - CURITIBA	+	85978	78284	99497	88653	79187	68694	58424
	-	57154	57154	58535	58535	58535	58610	58610
FERROVIA LITORAL SUL (COMO UM TODO)	+	183760	167919	213971	194263	176001	155440	134961
	-	285776	285776	292675	292675	292675	293050	293050

Tabela 26 - Custos anuais uniformes equivalentes considerando valores de custos de construção e terminais iguais aos da Ferrovia do Frango (em US\$/Km)

- FERROVIA LITORAL SUL -

FERROVIA LITORAL SUL

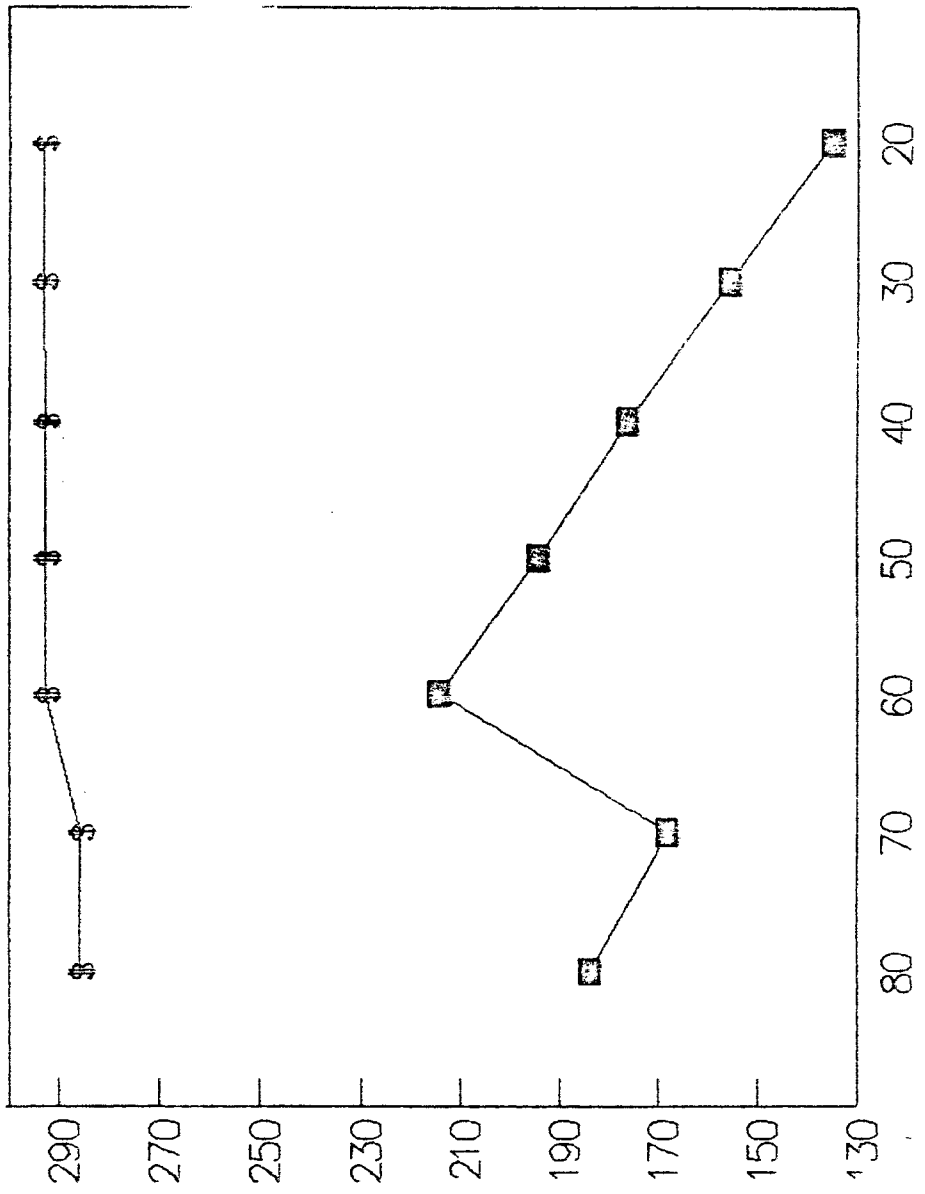
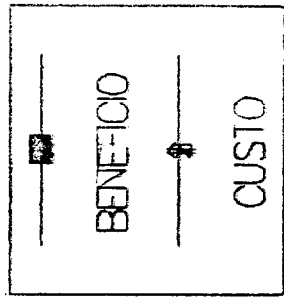
RESULTADO POR TRECHO



INDICE DE TARIFACAO

FERROVIA LITORAL SUL

COMO UM TODO



BENEFICIOS EM 1000 US\$/KM
(Thousands)

INDICE DE TARIFACAO

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 - CONCLUSÕES

O modelo proposto permite:

- a partir do conhecimento de uma matriz origem - destino, estimar o tráfego sobre as ligações de uma determinada rede de transportes, o que possibilita uma série de estudos decorrentes deste conhecimento.
- a partir de uma especificação do comportamento do usuário dos serviços de transporte, uma estimativa do desvio de tráfego de uma modalidade para outra, o que permite diversos estudos de simulação como os apresentados no capítulo 4.
- avaliar os impactos decorrentes da implantação de uma determinada política de taxação, no que se refere ao desvio de tráfego de uma modalidade para outra e o conseqüente uso deste fluxo desviado para uma análise de viabilidade de determinados cenários.
- como decorrência do que já foi mencionado, estimar a redução de tráfego em um determinado trecho pela implantação de cenários envolvendo a mesma ou diferentes modalidades de transporte.
- trabalhar com redes de porte significativo, apesar do tempo relativamente alto de CPU necessário para o processamento.

5.2 - RECOMENDAÇÕES

Pode-se recomendar alguns trabalhos de pesquisa:

- Melhoramentos na velocidade de convergência do algoritmo de Frank-Wolfe, seja por modificações no tamanho do passo (como recomendado por alguns autores) como pela utilização de um algoritmo de caminhos mínimos mais eficiente do que o utilizado (Por exemplo, o algoritmo de Moore-Pape).
- Desenvolvimento de um modelo de atribuição combinado com repartição modal, envolvendo equações de custo generalizado.
- Utilização de conceitos de programação difusa para, na especificação de um comportamento para o usuário do serviço de transporte, buscar um ponto de equilíbrio entre o tempo e o custo de viagem.
- Para uma aplicação do modelo proposto (ou outro com objetivos semelhantes), incorporar todo o potencial de fluxo da região para um estudo geral de viabilidade, envolvendo dados de custos mais completos e estimativas de tráfego gerado.
- Na especificação de uma rede de transportes rodoviário, considerar em cada trecho o comprimento virtual (obtido mediante a consideração da situação do trecho, em termos de superfície de rolamento e geometria horizontal e vertical) no lugar do comprimento real.
- Desenvolvimento de um modelo que permitisse a decomposição dos fluxos, por categoria e por par origem-destino. Desta forma, poder-se-ia acompanhar todo o trajeto dos fluxos.

BIBLIOGRAFIA

- ABDULAAI.,M. & LEBLANC,L.J.(1978) Methods for combining modal split and equilibrium assignment models. *Transportation Science*, Vol. 13, No. 4, pp. 292-314.
- BABIN,A. ; FLORIAN,M. & SPIESS,H.(1981) *On network equilibria with generalized cost functions (with application to fuel consumption impacts)*. Centre de Recherche sur les transports, Universite de Montreal, Publication 188, 15p.
- BAERWALD,J.E. ed (1976) *Transportation and traffic engineering handbook*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- BLUMENFELD,D.E. ; BURNS,L.D. ; DILLTZ,J.D. & DAGANZO,C.F.(1985) Analyzing trade-offs between transportation, inventory and production costs on freight networks. *Transportation Research B*, Vol. 19B, No. 5, pp. 361-380.
- BRONZINI,M.S. ; HERENDEEN,J.H. & WOMER,N.K.(1974) A transportation sensitive model of a regional economy. *Transportation Research*, Vol. 8, pp. 45-62.
- BRUZELIUS,N.A.(1981) Microeconomics theory and generalized cost. *Transportation* 10, pp. 233-245.
- CHAPMAN,L.D.(1973) Investing in regional highway networks. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 99, No. TE2, pp. 353-362.
- CHATTERJEE,A. ; MARTINSON,D.R. & SINHA,K.C.(1977) Trip generation analysis for regional studies. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 103, No. TE6, pp 825-841.
- CHOW,M.H; BARCOCK,M.W. & SORENSON,L.D.(1985) The changing logistics structure for grain marketing: a case study of export

- wheat in northwest Kansas. *Transportation Journal* 24(3), pp. 37-46.
- CORCORAN, P. J. ; HITCHCOCK, A. J. & McMAHON, C. M. (1980) Developments in freight transport. *TRRL Supplementary Report 580*, Crowthorne, Berkshire, 58p.
- COSTA, J. I. A. (1979) *Comparação económica entre transportes ferroviários e rodoviários - aplicação para escoamento regional de carga agrícola*. Instituto Militar de Engenharia (Dissertação de Mestrado), Rio de Janeiro.
- CRAINIC, T. G. (1987) *A model for the strategic planning of national freight transportation in Brazil*. Inédito, 46p.
- CRAINIC, T. G. ; FERLAND, J. A. & ROUSSEAU, J. M. (1984) A tactical planning model for rail freight transportation. *Transportation Science*, Vol. 18, No. 2, pp. 165-184.
- DAFERMOS, S. & NAGURNEY (1984) On some equilibrium theory paradoxes. *Transportation Research B*, Vol. 18B, No. 2, pp 101-110.
- DAGANZO, C. F. (1980) An equilibrium algorithm for the spacial aggregation problem of traffic assignment. *Transportation research*, Vol. 14B, pp. 221-228.
- DASKIN, M. S. (1985) An overview of the state of the art and perspectives on future research. *Transportation Research A*, Vol. 19A, No. 5/6, pp. 383-398.
- DUNLAY Jr, W. J. O. & GUALDA, N. D. F. (1979) Flow optimization on a transportation network. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 105, No. TE1, pp. 41-57.
- ECK, R. W. & HUI, C. Y. (1978) Coal transportation research and information needs. *Transportation Engineering Journal of ASCE*,

Vol. 104, No. TES, pp. 757-767.

EVANS, S. (1976) Derivation and analysis of some models for combining trip distribution and assignment. *Transportation Research*, Vol. 10, pp. 35-57.

FERNANDEZ, J. E. & FRIESZ, T. L. (1983) Equilibrium predictions in transportation markets: the state of the art. *Transportation Research B*, Vol. 17B, No. 2, pp 155-172.

FISK, C. (1980) Some developments in equilibrium traffic assignment. *Transportation Research*, Vol. 14B, pp. 243-255.

FLORIAN, M. (1984) An introduction to network models used in transportation planning. *Transportation Planning Models*, Elsevier Science Publishers, B.V. (North-Holland), pp 137-151.

FLORIAN, M. & NGUYEN, S. (1978) A combined trip distribution modal split and trip assignment model. *Transportation Research*, Vol. 12, pp. 241-246.

FLORIAN, M. & NGUYEN, S. (1976) An application and validation of equilibrium trip assignment methods. *Transportation Research*, Vol. 10, No. 4, pp. 374-390.

FRIESZ, T. L. (1985a) Transportation network equilibrium, design and aggregation: key developments and research opportunities. *Transportation Research A*, Vol. 19A, No. 5/6, pp. 413-427.

FRIESZ, T. L.; GOTTFRIED, J. & TOBIN, R. L. (1983a) Analyzing the transportation impacts of increased coal haulage: two case studies. *Transportation Research A*, Vol. 17A, No. 6, pp. 505-525.

FRIESZ, T. L.; TOBIN, R. L. & HARKER, P. T. (1983b) Predictive intercity freight network models: the state of the art. *Transportation Research A*, Vol. 17A, No. 6, pp. 409-417.

- FRIESZ, T. L. ; VITON, P. A. & TOBIN, R. L. (1985b) Economic and computational aspects of freight network equilibrium models: a synthesis. *Journal of Regional Science*, Vol. 25, No. 1, pp. 29-48.
- FUKUSHIMA, M. (1984) A modified frank-wolfe algorithm for solving the traffic assignment problem. *Transportation Research*, Vol. 18B, No. 2, pp. 169-177.
- GARTNER, N. H. (1980) Optimal traffic assignment with elastic demands: a review. *Transportation Science*, Vol. 14, No. 2, pp. 174-208.
- GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (1987) *Sistema exportador integrado de São Francisco do Sul: Pré - Estudo*. Secretaria dos Transportes de SC (Documento Interno).
- GRONAU, R. (1976) Economic approach to value of time and transportation choice. *Transportation Research Record* 587, pp. 1-5.
- GWLAT, J. ; FLORIAN, M. & CRAINIC, T. G. (1987) *A multimode multiproduct network assignment model for strategic planning of freight flows*. Inédito, Université de Montreal, 35p.
- HALL, R. W. (1985) Research opportunities in logistics. *Transportation Research A*, Vol. 19A, No. 5/6, pp. 399-402.
- HARKER, P. T. & FRIESZ, T. L. (1985) The use of equilibrium network models in logistics management: with application to the U.S. coal industry. *Transportation Research B*, Vol. 19B, No. 5, pp. 457-470.
- HERENDFEN Jr, J. H. (1978) Role of economic analysis in plan selection. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 104, No. TE1, pp. 55-67.

- HU, Y. & SCHONFELD, P. (1984) Simulation and optimization of regional road network. *Journal of Transportation Engineering of ASCE*, Vol. 110, No. 4, pp 431-443.
- JARA-DIAZ, S. R. (1983) Freight transportation multioutput analysis. *Transportation Research A*, Vol. 17A, No. 6, pp. 429-438.
- JARVIS, J. J. (1977) A sensitivity analysis of multicommodity network flows. *Transportation Science*, Vol. 11, No. 4, pp. 299-306.
- JENSEN, P. A. & BARNES, J. W. (1980) *Network flow programming*. John Wiley & Sons, New York, 408 p.
- KORNHAUSER, A. L. & BODDEN, M. (1983) Network analysis of highway and intermodal rail-highway freight traffic. *Transportation Research Record* 920, pp. 61-68.
- LEAL, J. E. (1987) *Decompondo os fluxos nas diferentes rotas de uma solução do problema de alocação no algoritmo de Frank e Wolfe*. Depart. Eng. Industrial PUC/RJ, 29p (Memorando Técnico 28).
- LEBLANC, L. J. & ABDULAAL, M. (1984) A comparison of user-optimum versus system-optimum traffic assignment in transportation network design. *Transportation Research*, Vol. 18B, pp 115-121.
- LEBLANC, L. J.; MORLOK, E. K. & PIERSKALLA, S. (1975) An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem. *Transportation Research*, Vol. 9, pp. 309-318.
- MAGNANTI, T. L. & GOLDEN, B. L. (s. d.) *Transportation planning: network models and their implementation*. University of Maryland, 56p (Working paper 77-008).
- MAGNANTI, T. L. & WONG, R. T. (1984) Network design and transportation planning: models and algorithms. *Transportation Science*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-50.

- MATSOUKIS, E. C. & MICHALOPOULOS, R. C. (1986) A road traffic assignment - a review - part II: equilibrium methods. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 11, pp. 117-135.
- MOAVENZADEH, F.; MARKOW, J.; BRADEMAYER, B. D. & SAFWAT, K. N. A. (1983) A methodology for intercity transportation planning in Egypt. *Transportation Research A*, Vol. 17A, No. 6, pp 481-491.
- MWASE, N. (1986) Models of rail/road modal split: a Tanzania case study. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 11, pp. 105-116.
- NDTT-Núcleo de Desenv. Tecnol. de Transp. (1984) *Estudos de dimensionamento, racionalização e integração dos transportes em Santa Catarina: pesquisa de fluxos de cargas no Estado de SC*. Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico de Transportes, Florianópolis (7 volumes).
- NGUYEN, S. (1974) An algorithm for the traffic assignment problem. *Transportation Science*, Vol. 8, pp. 203-216.
- OYOLA, J. I. S. (1988) *Custeio padrão para determinação de tarifa no transporte rodoviário de cargas em Santa Catarina*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (Dissertação de Mestrado), UFSC, Florianópolis (SC).
- PANT, S. K. & WEGMANN, F. J. (1973) Computer algorithm for routing oversized trucks. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 99, No. TE1, pp. 151-166.
- PETERSEN, E. R. (1975) A primal-dual traffic assignment algorithm. *Management Science*, No. 22, pp. 87-95.
- POTTS, R. F. & OLIVER, R. M. (1972) *Flows in transportation networks*. Academic Press, New York.
- POWELL, W. B. & SHEFFI, Y. (1982) The convergence of equilibrium

- algorithms with predetermined step sizes. *Transportation Science*, Vol. 16, No. 1, pp. 35-45.
- RATICK, S. J. & OSLEEB, J. P. (1983) Optimizing freight transshipments: an evaluation of east coal export options. *Transportation research A*, Vol. 17A, No. 6, pp. 493-504.
- REICHMAN, S. & STOPHER, P. R. (1976) Applications of value of travel time to travel demand estimation. *Transportation research Record* 587, pp. 6-11.
- SHEFFI, Y. (1985a) Some analytical problems in logistics research. *Transportation research A*, Vol. 19A, No. 5/6, pp. 402-405.
- SHEFFI, Y. (1985b) *Urban transportation networks: equilibrium analysis with mathematical programming methods*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- SHEFFI, Y. & DAGANZO, C. F. (1980) Computation of equilibrium over transportation networks: the case of disaggregate demand models. *Transportation Science*, Vol. 14, No. 2, pp. 155-173.
- STEENBRINK, P. A. (1974) *Optimization of transport networks*. John Wiley & Sons, Bristol, England.
- STENGER, A. J. (1974) An analysis of the impact of the energy shortage on business logistics systems and its implication for freight transport. *Transportation Research*, Vol. 8, pp 419-426.
- STOPHER, P. R. (1976) Applications of value of travel time to economic evaluation of transport investment alternatives. *Transportation Research Record* 587, pp. 19-23.
- TOMLIN, J. A. (1971) A mathematical programming model for the combined distribution-assignment of traffic. *Transportation Science*, Vol. 5, pp. 120-140.
- VIEIRA, L. F. M. (1987) *Project: strategic planning of freight*

transportation in Brazil. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Brasilia(Report 01).

WACHS, M. (1985) Planning, organizations and decision-making: a research agenda. *Transportation Research A*, Vol. 19A, No. 5/6, pp. 521-531.

WEINTRAUB, A. ; ORTIZ, C. & GONZALES, J. (1985) Accelerating convergence of the frank-wolfe algorithm. *Transportation Research*, Vol. 19B, No. 2, pp. 113-122.

WINSTON, C. (1983) The demand for freight transportation: models and applications. *Transportation Research A*, Vol. 17A, No. 6, pp. 419-427.

WOHL, M. & HENDRICKSON, C. (1984) *Transportation investment and pricing principles*. John Wiley & Sons, New York, 380p.

WONG, P. J. ; GRANT, A. R. & SAKASITA, M. (1983) Concept design and analysis of a linear intermodal freight system. *Transportation Research Record* 920, pp. 54-61.

WONG, R. T. (1985) Transportation network research: algorithmic and computational questions. *Transportation Research A*, Vol. 19A, No. 5/6, pp. 436-438.

ANEXO I

Listagem do Programa Computacional:

- Fase I -

```
program yceest
```

```
const
```

```
  ztrafego      = 20;
  nosmax        = 40;
  linksmax     = 100;
  prec          = 0.1;
  penal        = 1.0e+10;
```

```
type
```

```
  string9      = string[9];
  matrizreal   = Array [1..ztrafego,1..ztrafego] of real;
  vetorreal    = array [1..linksmax] of real;
  vetornome    = array [1..nosmax] of string9;
  vetorinteiro = array [1..linksmax] of integer;
  vetorinti    = array [1..nosmax] of integer;
```

```
var
```

```
  od           : matrizreal;
  dist,veloc  : vetorreal;
  ta,t0,qmax   : vetorreal;
  x,y,custo    : vetorreal;
  nomeno       : vetornome;
  ni,nf,rot,next : vetorinteiro;
  first        : vetorinti;
  nome         : string9;
  noinicial    : string9;
  nofinal      : string9;
  ok           : boolean;
  aux1,aux2,aux3,
  velequil,func,
  deriv,a,b,preci,
  soma_s,soma_i,c,
  alf,erro,valor : real;
  precisao     : real;
  valor_od     : _real;
  direc,index,i : integer;
  i,j,links,nos : integer;
  tot,noinic,np,na : integer;
  centroides,jj : integer;
  dados        : text;
```

```
{#u+}
```

```
function indice (var nome      : string9;
                 var nomeno    : vetornome;
                 var nos       : integer) : integer;
```

```
var
```

```
  j           : integer;
```

```
begin
```

```
  j:= 0;
  repeat
    j:= j + 1;
  until (nome = nomeno[j]) or (j)= nos);
  if nomeno[j] (<) nome then
    writeln( 'problema na declaracao',nome:9);
  indice:= j;
```

```
end;
```

```
procedure incluino (var nome      : string9;
                   var nomeno    : vetornome;
```

```

                var nos                : integer);
/
var
  I.tot,index    : integer;

begin
  tot:= nos - 1;
  i:= 0;
  index:= 0;
  while i < tot do
  begin
    i:= i + 1;
    if nomeno[i] = nome then
      begin
        index:= i;
        I:= tot;
      end;
    end;
  if index=0 then
    nomeno[nos]:= nome
  else
    writeln('duplicacao de nomes', index:2);
  end;

procedure dijkstra (var od                : matriz+);
                    var ta,y              : vetorreal;
                    var ordeno            : vetornome;
                    var ni,nf,rot,next    : vetorinteiro;
                    var first             : vetorinti;
                    var nome              : string9;
                    var valor             : real;
                    var centroides        : integer;
                    var links,nos         : integer;
                    var noinic            : integer);

var
  custo                : vetorreal;
  i,no                 : integer;
  customin             : real;

begin
  for i:= 1 to nos do
  begin
    rot[i] := 0;
    custo[i]:= i.0e+30;
  end;
  custo[noinic] := 0;
  rot[noinic]:= - 9999;
  repeat
    no := 0;
    customin := i.0e+30;
    for i:= 1 to nos
    do if (rot[i] <= 0) and (custo[i] < customin)
      then begin
          customin := custo[i];
          no := i;
        end;
  end;

```

```

if no <> @
then begin
    rot[no] := - rot[no];
    i:= first[no];
    repeat
        valor:= custo[no] + ta[i];
        if valor < custo[nf[i]]
        then begin
            custo[nf[i]]:= valor;
            rot[nf[i]]:= - no;
        end;
        i:= next[i];
    until i= @;
end;
until no = @;
end;

```

```

procedure aloca (var od          : matrizreal;
                 var ta,y        : vetorreal;
                 var nomenu      : vetornome;
                 var ni,nf,rot,next: vetorinteiro;
                 var first       : vetorinti;
                 var nome        : string9;
                 var valor       : real;
                 var centroides  : integer;
                 var links,nos   : integer;
                 var noinic,j    : integer);

```

```

var
    np,na,k,i      : integer;
    ok             : boolean;
begin
    np:= j;
    repeat
        na := rot[np];
        ok := false;
        k:= first[na];
        repeat
            if nf[k]= np
            then begin
                y[k]:= y[k] + valor;
                ok:= true;
            end;
            k:= next[k];
        until ok = true;
        np:= na;
    until na = noinic;
end;

```

```

proc: atualiza (var od          : matrizreal;
                var ta,y        : vetorreal;
                var nomenu      : vetornome;
                var ni,nf,rot,next: vetorinteiro;
                var first       : vetorinti;
                var nome        : string9;
                var valor       : real;

```

```

var centroides      : integer;
var links,nos      : integer;
var noinic         : integer);

var
  i,j,jj          : integer;

begin
  for i:= 1 to links do
    y[i]:= 0;
    for i:= 1 to centroides do
      begin
        noinic:= i;
        dijkstra(od,ta,y,nomemo,"",",",next,"",nome,valor,
          centroides,links,nos,noinic);
        for j:= 1 to centroides do
          if od[i,j] > 0 then
            begin
              valor:= od[i,j];
              jj := j;
              aloca(od,ta,y,nomemo,ni,nf,rot,next,first,nome,valor,
                centroides,links,nos,noinic,jj);
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;

begin
  clrscr;

  (* le... dos dados *)
  assign(dados,'b:redes.1');
  reset(dados);

  e :=0;
  alfa :=1;
  readln(dados,precisao);
  links :=0;
  nos:= 0;
  centroides:=0;
  repeat
    nos:= nos + 1;
    centroides:= centroides + 1;
    readln(dados,nome);
    incluino(nome,nomemo,nos);
  until nome= 'f_ctroide';
  centroides:= centroides - 1;
  nos:= nos - 1;
  writeln('numero de centroides --->',nos:5);
  repeat
    nos:= nos + 1;
    readln(dados,nome);
    incluino(nome,nomemo,nos);
  until nome= 'fim_no';
  nos:= nos - 1;
  writeln('numero de nos --->',nos:5);
  links := 1;

```

```

readln(dados,noinicial, nofinal, dist[links], veloc[links],
      qmax[links], direc);
while noinicial <> 'fim_link' do
begin
  ni[links]:= indice (noinicial,nomemo,nos);
  nf[links]:= indice(nofinal,nomemo,nos);
  t0[links]:= dist[links]/veloc[links];
  if direc = 2 then
    begin
      links:= links + 1;
      ni[links]:= indice(nofinal,nomemo,nos);
      nf[links]:= indice(noinicial,nomemo,nos);
      t0[links]:= t0[links - 1];
      qmax[links]:= qmax[links - 1];
      veloc[links]:=veloc[links - 1];
      dist[links]:=dist[links - 1];
    end;
  links := links + 1;
  readln(dados,noinicial, nofinal, dist[links], veloc[links],
        qmax[links], direc);
  ( writeln(noinicial, nofinal, dist[links]:7:2, veloc[links]:7:2,
        qmax[links]:8:0, direc:4);)
end;
links:= links - 1;
writeln('numero de links ---',links:5);
for i:= 1 to nos do begin
      first[i]:= 0;
      rot[i]:= 0;
    end;
for i:= 1 to links do next[i]:= 0;
for i:= 1 to links
do if first[ni[i]] = 0
  then begin
      first[ni[i]]:= i;
      rot[ni[i]]:= i;
    end
  else begin
      next[rot[ni[i]]] := i;
      rot[ni[i]]:= i;
    end;
for i:= 1 to centroides do
  for j:= i to centroides do
    od[i,j]:= 0;
(writeln('dados da matriz origem / destino');)
readln(dados,noinicial,nofinal,valor_od);
while noinicial <> 'fim_od' do
  begin
    i:= indice (noinicial, nomemo,nos);
    j:= indice (nofinal,nomemo,nos);
    od[i,j]:= valor_od;
    readln(dados,noinicial, nofinal, valor_od);
    (write('noinicial-->',nomemo[i]:9,'nofinal-->',
      nomemo[j]:9);
    writeln(' fluxo --> ', od[i,j]:6:1);)
  end;
(* inicializacao do fluxo *)

```

```

for i := i to links do ta[i]:=t0[i];
atualiza(od,ta,y,nomemo,ni,nf,rot,next,first,nome,valor,
        centroides,links,nos,noinic);
for i :=1 to links do x[i]:= y[i];
l:= 0;
repeat
    (* atualizacao dos tempos *)

    for i:= i to links do
    if x[i] > qmax[i]
    then ta[i]:= 2 * t0[i] + penal * (x[i] - qmax[i])
    else begin
        aux1:= x[i] / qmax[i];
        ta[i]:= 2 * t0[i] / (i + sqrt (i - aux1))
    end;

    (* calculo do fluxo auxiliar *)

atualiza(od,ta,y,nomemo,ni,nf,rot,next,first,nome,valor,
        centroides,links,nos,noinic);

    (* calculo de alfa *)

    b:= alfa;
    preci := alfa * prec;
    a:=0;
    repeat
        deriv:=0;
        alfa:=(a + b)/2;
        for i:=i to links do
        begin
            aux1:= y[i] - x[i];
            aux2:= x[i] + alfa * aux1;
            aux3:= aux2/qmax[i];
            if aux2 > qmax[i]
            then func:= 2 * t0[i] + penal * (aux2 - qmax[i])
            else func:= 2 * t0[i]/(i + sqrt (i - aux3));
            deriv:= deriv + aux1 * func
        end;
        if deriv <= 0 then a:= alfa
            else b:= alfa;
    until (b - a) < (2 * preci);
    alfa := (b + a) / 2;

    (* obtencao de uma nova solucao *)

    for i:= i to links do
    begin
        aux1:= y[i] - x[i];
        y[i]:= x[i] + alfa * aux1
    end;

    (* teste de convergencia *)
    soma_s := 0;
    soma_i := 0;
    for i:= i to links do
    begin
        aux1:= y[i] - x[i];

```

```

    aux2:= aux1 * aux1;
    soma_s:= soma_s + aux2;
    soma_i:= soma_i + x[i];
end;
for i:= 1 to links do x[i]:= y[i];
erro:= sqrt (soma_s)/ soma_i;
l:= l + i;
writeln('erro= ', erro:8:6);
until erro <= precisao;
writeln('numero de iteracoes= ',l);

(* atualizacao dos tempos *)

for i:= 1 to links do
if x[i] > qmax[i]
then ta[i]:= 2 * t0[i] + penal * (x[i] - qmax[i])
else begin
    aux1:= x[i] / qmax[i];
    ta[i]:= 2 * t0[i] / (1 + sqrt (1 - aux1))
end;

(* saida de resultados *)

writeln;
writeln;
write( '-----')§
writeln('-----*-----*')§
write( ' * fluxo ')§
writeln(' livre * ponto de equilibrio *')§
write( '*-----*')§
writeln('-----*')§
write( '* vertice distancia cap.maxima* veloc ')§
writeln('tempo viagem*velocidade tempo de viagem fluxo *')§
write( '*inicial final (km) (veic/hora)*(km/h) ')§
writeln(' (horas) * (km/h) (horas) (veic/h) *')§
write( '*-----*')§
writeln('-----*')§
for i:= 1 to links do
begin
if ta(.i.)= 0 then velequil := 0
else velequil:= dist[i] / ta[i];
writeln(nomeno[ni[i]]:9,nomeno[nf[i]]:9,
dist[i]:10:3, qmax[i]:12:1, ' ':3,
veloc[i]:6:2, t0[i]:11:3, ' ':4,
velequil:8:2, ta[i]:12:3,
x[i]:15:3, ' ':3)
end;
write( '*-----*')§
writeln('-----*')§
close(dados);
end.

```


ANEXO II

Listagem do Programa Computacional:

- Fase II -

```

program custo;
const
    ztrafego      = 160;
    nosmax        = 620;
    linksmax      = 1900;
type
    string9       = string(9);
    matrizreal    = Array (.i..ztrafego,i..ztrafego.) of real;
    vetorreal     = array (.i..linksmax.) of real;
    vetornome     = array (.i..nosmax.) of string9;
    vetorinteiro  = array (.i..linksmax.) of integer;
    vetorinti     = array (.i..nosmax.) of integer;
var
    od            : matrizreal;
    dist          : vetorreal;
    cost          : vetorreal;
    y,custo       : vetorreal;
    nomeno        : vetornome;
    ni,nf,rot,next : vetorinteiro;
    codigo        : vetorinteiro;
    first         : vetorinti;
    nome          : string9;
    noinicial     : string9;
    nofinal       : string9;
    produto       : string(20);
    ok,sim        : boolean;
    valor,fr%     : real;
    valor_od      : real;
    index         : integer;
    i,j,links,nos : integer;
    tot,noinic,np,na : integer;
    centroides,jj : integer;
    elase, astel  : text;
    terminal      : text;

function indice (var nome      : string9;
                 var nomeno    : vetornome;
                 var nos       : integer) : integer;
var
    j            : integer;
begin
    j:= 0;
    repeat
        j:= j + 1;
    until (nome = nomeno(.j.)) or (j)= nos);
    if nomeno(.j.) (<) nome then
        writeln(astel, 'problema na declaracao',nome:9);
    indice:= j;
end;

procedure incluino (var od            : matrizreal;
                   var cost,y         : vetorreal;
                   var nomeno         : vetornome;
                   var ni,nf,rot,next : vetorinteiro;
                   var first          : vetorinti;
                   var nome           : string9;
                   var valor          : real;
                   var centroides     : integer;

```

E:CUSTO.PAS -- 10/11/1986 -- Pag.: 2/6

```

                var links,nos      : integer;
                var noinic         : integer);

var
    I,tot,index      : integer;

begin
    tot:= nos - 1;
    i:= 0;
    index:= 0;
    while i < tot do
        begin
            i:= i + 1;
            if nomeno(.i.) = nome then
                begin
                    index:= i;
                    I:= tot;
                end;
            end;
        if index=0 then
            nomeno(.nos.):= nome
        else
            writeln(astel,'duplicacao de nomes', index:3);
        end;

procedure dijkstra (var od          : matrizreal;
                    var cost,y      : vetorreal;
                    var nomeno       : vetornome;
                    var ni,nf,rot,next: vetorinteiro;
                    var first        : vetorinti;
                    var nome         : string9;
                    var valor        : real;
                    var centroides   : integer;
                    var links,nos    : integer;
                    var noinic       : integer);

var
    custo          : vetorreal;
    i,no           : integer;
    customin       : real;
begin
    for i:= 1 to nos do
        begin
            rot(.i.) := 0;
            custo(.i.):= 1.0e+30;
        end;
    custo(.noinic.) := 0;
    rot(.noinic.):= - 9999;
    repeat
        no := 0;
        customin := 1.0e+30;
        for i:= 1 to nos
            do if (rot(.i.) <= 0) and (custo(.i.) < customin)
                then begin
                    customin := custo(.i.);
                    no := i;
                end;
    until no > 0;
end;

```

```

        end;
    if no < > 0
    then begin
        rot(.no.) := - rot(.no.);
        I:= FIRST(.NO.);
        REPEAT
            VALOR:= CUSTO(.NO.) + cost(.I.);
            IF VALOR < CUSTO(.NF(.I.).)
            THEN BEGIN
                CUSTO(.NF(.I.).):= VALOR;
                ROT(.NF(.I.).):= - NO;
            END;
            I:= NEXT(.I.);
        UNTIL I= 0;
    end;
until no = 0;
end;

```

```

procedure aloca      (var od           : matrizreal;
                    var cost,y       : vetorreal;
                    var nomeno       : vetornome;
                    VAR NI,NF,ROT,NEXT: VETORINTEIRO;
                    VAR FIRST        : VETORINTI;
                    var nome         : string9;
                    var valor        : real;
                    var centroides   : integer;
                    var links,nos    : integer;
                    var noinic,j     : integer);

```

```

var
    np,na,k,i       :integer;
    ok              : boolean;
begin
    np:= j;
    repeat
        na := rot(.np.);
        ok := false;
        K:= FIRST(.NA.);
        REPEAT
            IF NF(.K.)= NF
            THEN BEGIN
                Y(.K.):= Y(.K.) + VALOR;
                OK:= TRUE;
            END;
            K:= NEXT(.K.);
        UNTIL OK = TRUE;
        np:= na;
    until na = noinic;
end;

```

```

procedure atualiza (var od           : matrizreal;
                  var cost,y       : vetorreal;
                  var nomeno       : vetornome;
                  VAR NI,NF,ROT,NEXT: VETORINTEIRO;
                  VAR FIRST        : VETORINTI;
                  var nome         : string9;

```

```

var valor          : real;
var centroides    : integer;
var links,nos     : integer;
var noinic        : integer);

```

```

var i,j,jj        : integer;

```

```

begin
  for i:= 1 to links do
    y(.i.):= 0;
    for i:= 1 to centroides do
      begin
        noinic:= i;
        DIJKSTRA(OD,cost,Y,NOMENO,NI,NF,ROT,NEXT,FIRST,NOME,VALOR,
                 centroides,links,nos,noinic);
        for j:= 1 to centroides do
          if od(.i,j.) > 0 then
            begin
              valor:= od(.i,j.);
              jj := j;
              ALOCA(OD,cost,Y,NOMENO,NI,NF,ROT,NEXT,FIRST,NOME,
                    valor,centroides,links,nos,noinic,jj);
            end;
          end;
        end;
      end;
end;

```

```

begin

```

```

  (* leitura dos dados *)
  termout(Terminal);
  reset(erase);
  links :=0;
  nos:= 0;
  centroides:=0;
  while not eof (erase) do
    begin
      readln(erase,produto,fr%);
      repeat
        nos:= nos + 1;
        centroides:= centroides + 1;
        readln(erase,nome);
        incluino(od,cost,y,nomeno,ni,nf,rot,next,first,nome,valor,
                 centroides,links,nos,noinic);
      until nome= 'F_CTR0ID0';
      centroides:= centroides - 1;
      nos:= nos - 1;
      writeln(astel,produto);
      writeln(astel,'numero de centroides --->',nos:5);
      repeat
        nos:= nos + 1;
        readln(erase,nome);
        incluino(od,cost,y,nomeno,ni,nf,rot,next,first,nome,valor,
                 centroides,links,nos,noinic);
      until nome= 'FIM_NO';
      nos:= nos - 1;
      writeln(astel,'numero de nos --->',nos:5);
    end;
  end;

```

E:CUSTO.PAS -- 10/11/1986 -- Pag.: 5/6

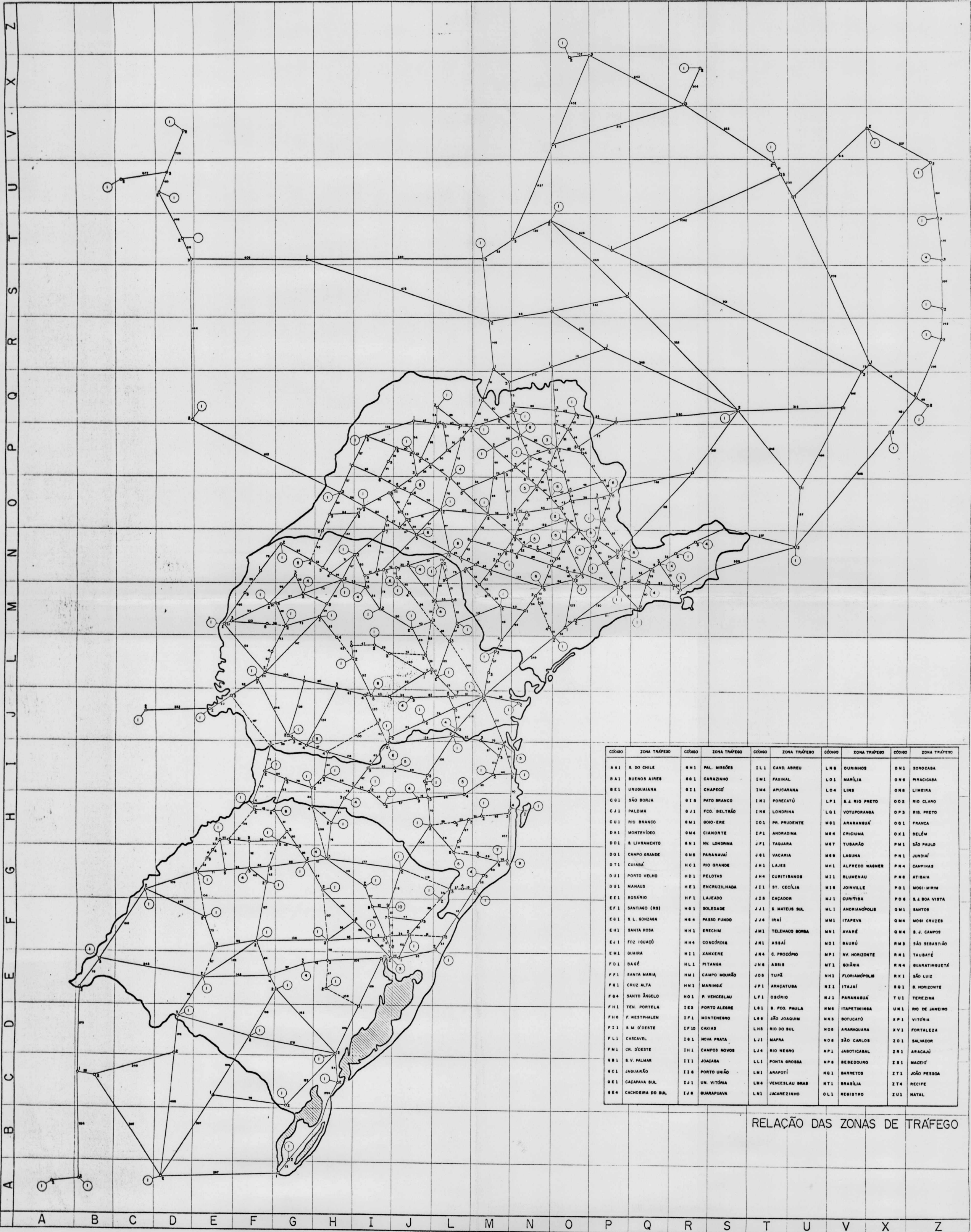
```

links := 1;
readln(elase,noinicial,nofinal,dist(.links.),codigo(.links.));
while noinicial <> 'FIM_LINK' do
begin
  ni(.links.):= indice (noinicial,nomemo,nos);
  nf(.links.):= indice(nofinal,nomemo,nos);
  case codigo(.links.) of
    1 : cost(.links.):= dist(.links.) * 1.00;
    2 : cost(.links.):= 40.00 * 1.00 * fr%;
    otherwise cost(.links.):= dist(.links.) * 1.00 * fr%;
  end;
  links := links + 1;
  readln(elase,noinicial,nofinal,dist(.links.),codigo(.links.));
end;
links:= links - 1;
writeln(astel,'numero de links --->',links:5);
FOR I:= 1 TO NOS DO BEGIN
  FIRST(.I.):= 0;
  ROT(.I.):= 0;
  END;
FOR I:= 1 TO LINKS DO NEXT(.I.):= 0;
FOR I:= 1 TO LINKS
DO IF FIRST(.NI(.I.).) = 0
  THEN BEGIN
    FIRST(.NI(.I.).):= I;
    ROT(.NI(.I.).):= I;
  END
  ELSE BEGIN
    NEXT(.ROT(.NI(.I.).).) := I;
    ROT(.NI(.I.).):= I;
  END;
for i:= 1 to centroides do
  for j:= 1 to centroides do
    od(.i,j.):= 0;
  readln(elase,noinicial,nofinal,valor_od);
  while noinicial <> 'FIM_OD' do
  begin
    i:= indice (noinicial, nomemo,nos);
    j:= indice (nofinal,nomemo,nos);
    od(.i,j.):= valor_od;
    readln(elase,noinicial, nofinal, valor_od);
  end;
end;
(* inicializacao do fluxo *)
ATUALIZA(OD,cost,Y,NOMENO,NI,NF,ROT,NEXT,FIRST,NOME,VALOR,
  centroides,links,nos,noinic);
writeln(astel,'*-----*');
writeln(astel,'*      vertice      fluxo      codigo      *');
writeln(astel,'* inicial      final      (T)      *');
writeln(astel,'*-----*');
sim:= false;
for i :=1 to links do
begin
  if (codigo(.i.) <> i) and (y(.i.) <> 0) then

```

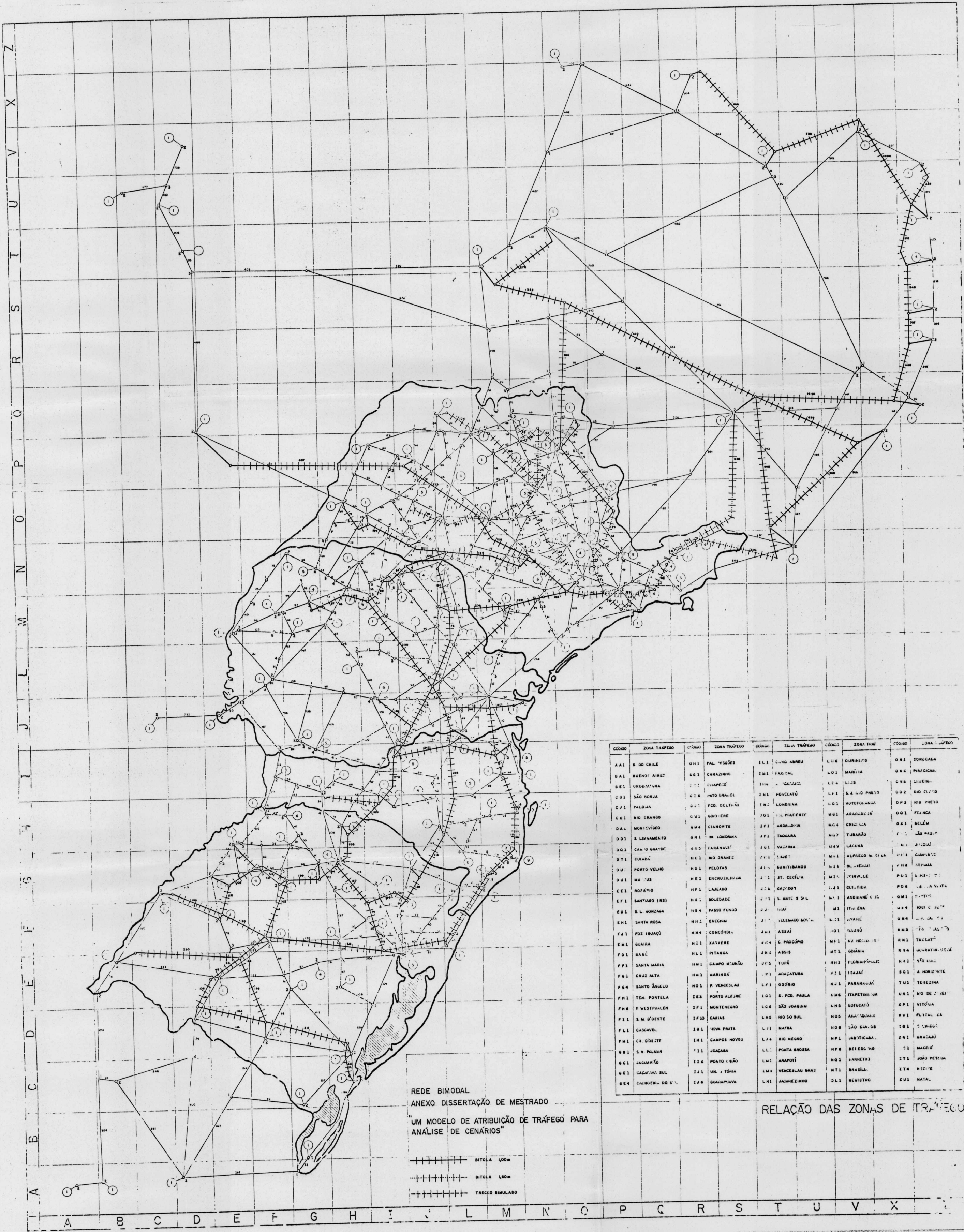
(* saida de resultados *)

```
writeln(astel,'',nomeno(.ni(.i.)):9,nomeno(.nf(.i.)):10,
          y(.i.):11:3,'',codigo(.i.),'
          *')
else begin
  sim :=true;
end;
end;
if sim then begin
writeln(astel,'*', 'Fluxos links restantes -->rodoviaros ou nulos *')
end;
writeln(astel,'*-----*');
end.
```



CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO	CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO	CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO	CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO	CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO
AA1	S. DO CHILE	BN1	PAL. MISSÕES	IL1	CAND. ABREU	LN6	OURINHOS	ON1	SOROCABA
BA1	BUENOS AIRES	BO1	CARAZINHO	IM1	FAIXINAL	LO1	MAÑEVA	ON6	PRACICABA
BE1	URUGUAIANA	BI1	CHAPECÓ	IM4	APUCARANA	LO4	LIENS	ON8	LIMEIRA
CB1	SÃO BORJA	BI8	PATO BRANCO	IM1	POECATÚ	LP1	S. J. RIO PRETO	OO2	RIO CLARO
CJ1	PALOMA	BJ1	FCO. BELTRÃO	IM6	LONDRINA	LO1	VOTUPORANGA	OP3	RIB. PRETO
CU1	RIO BRANCO	BM1	GOIO-ERE	IO1	PR. PRUDENTE	MB1	ARARANBUÁ	OP1	FRANCA
DA1	MONTEVIDEO	BM4	CIANORTE	IP1	ANDRADINA	MB4	CRICUMA	OX1	BELEM
DD1	S. LIVRAMENTO	BN1	NV. LONDRINA	JF1	TAQUARA	MB7	TUBARÃO	PM1	SÃO PAULO
DO1	CAMPO GRANDE	BN8	PARANAVÁI	JB1	VACARIA	MB9	LAGUNA	PN1	JUNDIAÍ
DT1	CUIABÁ	NC1	RIO GRANDE	JH1	LAJES	MH1	ALFREDO WASSER	PN4	CAMPINAS
DU1	PORTO VELHO	HD1	PELOTAS	JH4	CURITIBANOS	M11	BLUMENAU	PN8	ATIBAIA
DV1	MANAUS	HE1	ENCRUZILHADA	J11	ST. CECÍLIA	M18	JOINVILLE	PO1	MOGI-MIRIM
EE1	ROSÁRIO	HF1	LAJEADO	J18	CAÇADOR	M21	CURITIBA	PO6	S. J. BOA VISTA
EF1	SANTIAGO (RS)	HG1	SOLEDADE	J21	S. MATEUS SUL	ML1	ANDRIANÓPOLIS	QW1	SANTOS
EG1	S. L. GONZAGA	HG4	PASSO FUNDO	J24	IRAÍ	MM1	ITAPEVA	QW4	S. J. CRUZES
EH1	SANTA ROSA	HH1	ERECHIM	JM1	TELEMACO BOMBA	MN1	AVARÉ	QW6	S. J. CAMPOS
EJ1	FOZ IGUAÇU	HH4	CONCÓRDIA	JN1	ASSAÍ	MD1	BAURÚ	RM3	SÃO SEBASTIÃO
EM1	GUIRÁ	HI1	XANXERE	JN4	C. PROCÓPIO	MP1	NV. HORIZONTE	RM1	TAUBATÉ
FD1	BAGÉ	HL1	PITANGA	JN8	ASSIS	MT1	BOÍAMA	RM4	GUARATINGUETÁ
FF1	SANTA MARIA	HM1	CAMPO MOURÃO	JOS	TUPÁ	MH1	FLORIANÓPOLIS	RX1	SÃO LUIZ
FG1	CRUZ ALTA	HN1	MARINGÁ	JP1	ARACATUBA	NI1	ITAJAÍ	BO1	S. HORIZONTE
FG4	SANTO ÂNGELO	HO1	P. VENCELAU	LP1	OSÓRIO	N21	PARANABUÁ	TU1	TEREZINA
FH1	TEN. PORTELA	IE3	PORTO ALEGRE	LB1	S. FCO. PAULA	NM6	ITAPETIMINGA	UN1	RO. DE JANEIRO
FH6	F. WESTPHALEN	IF1	MONTENEGRO	LB6	SÃO JOAQUIM	NM8	BOTUCATU	XP1	VITÓRIA
FI1	S. M. D'ESTE	IF10	CAXIAS	LN8	RIO DO SUL	N08	ARARAQUARA	XV1	FORTALEZA
FL1	CASCAVEL	IS1	NOVA PRATA	LJ1	MAPRA	N08	SÃO CARLOS	ZO1	SALVADOR
FM1	CR. D'ESTE	IH1	CAMPOS NOVOS	L24	RIO NEGRO	L24	JABOTICABAL	ZR1	ARACAJU
GN1	E.V. PALMAR	III1	JOACABA	LL1	PONTA GROSSA	NP8	BEBEDOURO	ZS1	MACEIÓ
GC1	JAGUARÃO	IIE	PORTO UNIÃO	LM1	ARAPOTI	NQ1	BARRETOS	ZT1	JOÃO PESSOA
GE1	CACAPAVA SUL	IJB	UM. VITÓRIA	LM4	VENCELAU BRAS	NT1	BRASILIA	ZT4	RECIFE
GE4	CACHOEIRA DO SUL	IJB	GUARAPUAVA	LM1	JACAREZINHO	OL1	REGISTRO	ZU1	NATAL

RELAÇÃO DAS ZONAS DE TRÁFEGO



REDE BIMODAL
 ANEXO DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
 "UM MODELO DE ATRIBUIÇÃO DE TRÁFEGO PARA
 ANÁLISE DE CENÁRIOS"

———— BITOLA 1,00m
 - - - - - BITOLA 1,80m
 + + + + + TRECIO SIMULADO

CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO	CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO	CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO	CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO	CÓDIGO	ZONA TRÁFEGO
AA1	S. DO CHILE	GH1	PAL. YESSÓES	IL1	C. V. ABREU	LI6	DURINIÓIS	OH1	SOROCABA
BA1	BUENOS AIRES	GG1	CARAZINHO	IM1	FACITAL	LO1	MARÍLIA	OK1	PIACÁCABA
BE1	URUGUAIANA	II1	CHIAPÉCO	IN1	CAJAZU	LC4	LIS	OM1	LIMEIRA
CO1	SÃO ROCHA	IT6	MATO BRANCO	IO1	POUSADU	LP1	S. J. DO PREITO	OP2	NIO CLAY
CU1	PALÓDIA	JJ2	FCD. BELTÃO	IP1	LONDINA	LQ1	VOTUPORANGA	OP3	NIO PREITO
DA1	RIO BRANCO	KK1	GOD-ENE	IQ1	S. PL. PIQUETE	MR1	ARARIBÁ	OO1	FEIJÓNA
EA1	MONTIVÍDEO	LL4	CIANORTE	IR1	ANDARAIA	MO4	CRICIÚA	OX1	BELEM
DD1	S. LIVRAMENTO	MM1	IV. LONDRINA	IS1	TADUARA	MP1	TUBARÃO	PY1	S. PAULO
DE1	CAM. GRANDE	NN1	FARANAPU	IT1	VACARIA	MQ9	LACONA	Q1	JUNDIAÍ
DT1	CUABA	OO1	NIO GRANEE	JJ1	CAJÉ	MR1	ALFREDO W. DE SA	PP1	CAMPINAS
DU1	PORTO VELHO	PP1	PELOTAS	KK1	CUNHIBANOS	MS1	BL. JERAR	PR1	STRETA
EE1	ROFÂNIO	HH1	ENCRUZILHADA	LL1	ST. CECÍLIA	MT1	JOINVILLE	PO1	LAGO A. VIEIRA
EF1	SANTO (RS)	II1	LAGEADO	MM1	CAPOD	MT1	CURITIBA	PP1	S. PAULO
EG1	S. L. GONZAGA	KK1	BOLEDADE	NN1	S. MAT. S. D. L.	NU1	AIDIANO E. S.	QQ1	S. JOSÉ
EH1	SANTA ROSA	LL1	PASSO FUNDO	OO1	ITAI	OV1	ITAI EVA	RR1	MOGI C. AZUL
EI1	FZ. IGAQUÊ	MM1	ERECHIM	PP1	TELEMAGO BOY. S.	OW1	ITAIANA	SS1	OURALVA
EJ1	GUAIRA	NN1	CONCÓRDIA	QQ1	ASSAÍ	OX1	BAURÓ	TT1	TAUBATÉ
EK1	BAGÉ	OO1	XAVIERE	RR1	C. PROCOPIO	PP1	NZ. NO. DE S.	UU1	GUARATUBA
EL1	SANTA MARIA	PP1	PITANGA	SS1	ASSIS	QT1	GOIÂNIA	VV1	GUARATUBA
EM1	CRUZ ALTA	QQ1	CAMPO MOURÓ	TT1	TUPÁ	RU1	FLORIANÓPOLIS	WW1	NIO LUIZ
EN1	SANTO ANGELO	RR1	MARINGÁ	UU1	ARACATUBA	RV1	ITAJAÍ	XX1	S. HORIZONTE
EO1	TEM. PORTELA	SS1	R. VENCESLAU	VV1	OSÓRIO	SW1	PARANAGUÁ	YY1	TEREZINA
EP1	F. WESTPHALEN	TT1	PORTO ALEGRE	WW1	S. FCD. PAULA	TX1	ITAPETININGA	ZZ1	NIO DE S. JOSÉ
EQ1	S. M. D'ESTE	UU1	MONTENEGRO	XX1	S. JOAQUIM	UY1	BOFUCATU	AAA1	VITÓRIA
ER1	CASCATEL	VV1	CAXIAS	YY1	NIO DO SUL	UZ1	ANAQUARA	BB1	PIETAL ZA
ES1	CR. D'ESTE	WW1	NOVA PRATA	ZZ1	MAFRA	VA1	S. JO. DO S.	CC1	S. MIGUEL
ET1	S. V. PALMAR	XX1	CAMPOS NOVOS	AAA1	RIO NEGRO	VB1	S. JABOTICABA	DD1	ARACAJU
EU1	JAGUARU	YY1	JUACABA	BB1	PORTA BRANCA	VC1	BEFECÓNO	EE1	MACEIO
EV1	CACAPAVA SUL	ZZ1	PORTO UNÃO	CC1	ANAPOTU	VD1	JARHETOS	FF1	JOÃO PESTUM
EW1	CACHOEIRA DO S.	AAA1	UR. J. TÓRRA	DD1	VENCESLAU BRAS	VE1	BRASÍLIA	GG1	RECIFE
		BB1	GUARAPUAVA	EE1	JACAREZINHO	VF1	REGISTRO	HH1	NATAL

RELAÇÃO DAS ZONAS DE TRÁFEGO