

Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia de Produção

UMA CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA À MODELAGEM DA  
DEMANDA DE CARGA EM CORREDORES AGRÍCOLAS  
DE EXPORTAÇÃO

Milton Luiz Paiva de Lima

Tese apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito parcial para obtenção  
do título de Doutor em  
Engenharia de Produção

Florianópolis

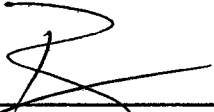
2001

Milton Luiz Paiva de Lima

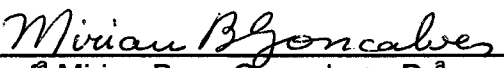
**UMA CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA NA MODELAGEM DA  
DEMANDA DE CARGA EM CORREDORES AGRÍCOLAS  
DE EXPORTAÇÃO**

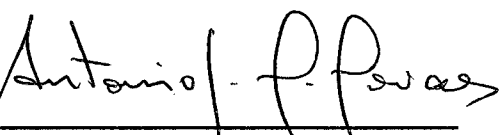
Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia de Produção** no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina

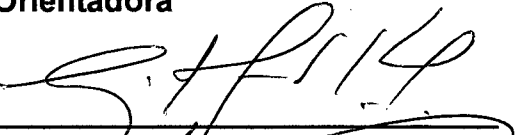
Florianópolis, 28 de junho de 2001.

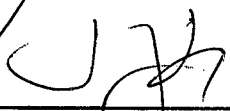
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.  
Coordenador do Curso

**BANCA EXAMINADORA**

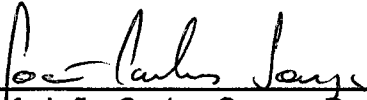
  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Mirian Buss Gonçalves, Dr.ª  
Orientadora

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Antonio Galvão N. Novaes, Dr.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Luiz A. dos Santos Senna, Ph.D.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. José Eugênio Leal, Dr. Ing.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Amir Mattar Valente, Dr.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. João Carlos Souza, Dr.

Milton Luiz Paiva de Lima

**UMA CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA NA MODELAGEM DA  
DEMANDA DE CARGA EM CORREDORES AGRÍCOLAS  
DE EXPORTAÇÃO**

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia de Produção** no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 28 de junho de 2001.

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.  
Coordenador do Curso

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Mirian Buss Gonçalves, Dr.  
Orientadora

Prof. Luiz A. dos Santos Senna, Ph.D.

Prof. Antonio Galvão N. Novais, Dr.

Prof. Amir Mattar Valente, Dr.

Prof. José Eugênio Leal, Dr. Ing.

Prof. João Carlos Souza, Dr.

A meus pais, Arildo e Idelvina.

À Maria Helena e Nilza.

À Dona Ivone e ao Sr. Noracy.

Em memória de Dona Inácia Maria Vieira de Castro.

*Agradecimentos*

A minha orientadora, prof<sup>a</sup> Mirian Buss Gonçalves, pelos ensinamentos, pela amizade e pela dedicada orientação.

Aos professores Antonio Galvão Novaes e João Carlos Souza, pelas inúmeras sugestões dadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Membros da Banca, pelos comentários e sugestões.

À Universidade Federal de Santa Catarina, em especial ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, pela formação recebida.

À Fundação Universidade Federal do Rio Grande, em especial ao Departamento de Materiais e Construção, pela oportunidade e pelo apoio recebidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela indispensável ajuda financeira.

À Elizete, pela ajuda em muitos momentos difíceis.

Aos colegas e amigos Heitor Vieira e Luiz Antônio Bragança da Cunda, pelo incentivo e apoio constantes;

Aos colegas da pós-graduação em Engenharia de Produção, pelas valorosas discussões e pelo agradável convívio.

Às cooperativas e empresas exportadoras de soja do estado Rio Grande do Sul, que colaboraram com a realização deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas.....	xii
Resumo.....	xiv
Abstract.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1.A QUESTÃO DO PLANEJAMENTO EM TRANSPORTE DE CARGA.....	1
1.2.A IMPORTÂNCIA DO PROCESSO DE PREVISÃO DA DEMANDA NO CONTEXTO DE PLANEJAMENTO.....	3
1.3.OBJETIVOS DO TRABALHO.....	4
1.4.JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	5
1.5.ESTRUTURA DO TRABALHO.....	7
2.A CONCEPÇÃO DOS CORREDORES DE TRANSPORTE DE CARGA	8
2.1.INTRODUÇÃO.....	8
2.2.MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA E INTEGRAÇÃO DE ETAPAS NO PROCESSO DE ESCOAMENTO DE CARGAS.....	11
2.3.AS ECONOMIAS DE ESCALA PRESENTES EM UM SISTEMA INTEGRADO DE ESCOAMENTO.....	13
3.UMA VISÃO DO PROCESSO DE MODELAGEM EM TRANSPORTE DE CARGA.....	24
3.1.INTRODUÇÃO.....	24
3.2.OS AGENTES ECONÔMICOS CONSIDERADOS NOS MODELOS DE PREDIÇÃO DE TRANSPORTE DE CARGA.....	25
3.3.ALGUMAS DIFERENÇAS ENTRE TRANSPORTE DE CARGA E TRANSPORTE DE PASSAGEIROS.....	26

3.4.MODELOS AGREGADOS TRADICIONAIS NA MODELAGEM DA DEMANDA DE TRANSPORTE DE CARGA.....	29
3.4.1.Modelos de Divisão de Mercado ou Modelos de “Market-Share”.....	30
3.4.2.Modelos de Entradas-Saídas (ou Modelos de Insumos-Produtos).....	33
3.4.3.Modelos de Estoques Teóricos.....	37
3.4.4.Modelos Gravitacionais.....	40
3.4.5.Modelos de Modo-Abstrato.....	44
3.4.6.Modelos de Programação Linear.....	46
3.5.ALGUMAS ABORDAGENS USADAS NOS ÚLTIMOS ANOS NA ANÁLISE PREDITIVA EM TRANSPORTE DE CARGA.....	48
3.5.1. A Abordagem Econométrica na Modelagem em Transporte de Carga.....	48
3.5.2.Modelos de Equilíbrio em Redes.....	53
3.5.2.1.Princípios da representação em rede.....	53
3.5.2.2.Técnicas de alocação de tráfego em redes.....	56
3.5.2.3. Alguns modelos preditivos de rede em transporte de carga.....	58
3.5.3. Modelos de Equilíbrio de Preços Espaciais.....	67
4.MODELOS DESAGREGADOS E COMPORTAMENTAIS NA MODELAGEM DA DEMANDA EM TRANSPORTE DE CARGA.....	70
4.1.INTRODUÇÃO.....	70
4.2.A ABORDAGEM COMPORTAMENTAL E DESAGREGADA EM TRANSPORTES.....	71
4.2.1.A Teoria Microeconômica do Consumidor .....	72
4.2.2.Utilidade, Atributos e Funções Utilidade .....	73
4.2.3.Utilidade Marginal e Taxa Marginal de Substituição.....	96
4.2.4.A Teoria da Utilidade Aleatória e o Modelo Logit Multinomial.....	84
4.3.TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS PARA A APLICAÇÃO DE MODELOS DESAGREGADOS.....	96

4.3.1. Técnica de Preferência Revelada.....	97
4.3.2. Técnica de Preferência Declarada.....	98
4.3.2.1. Etapas de um experimento de preferência declarada.....	101
4.3.2.2. O Modelo Logit Multinomial Explodido.....	105
4.3.2.3. O Modelo Logit Multinomial com Probabilidade Condicional.....	106
4.3.2.4. Ajuste por Máxima Verossimilhança dos Modelos Logit.....	107
4.4. ALGUNS MODELOS DESAGREGADOS DESENVOLVIDOS NA ÁREA DE TRANSPORTE DE CARGA.....	111
5. UMA MODELAGEM COMPORTAMENTAL DESAGREGADA COM DADOS DE PREFERÊNCIA DECLARADA APLICADA A CORREDORES AGRÍCOLAS DE EXPORTAÇÃO.....	122
5.1. INTRODUÇÃO.....	122
5.2. A ABORDAGEM EMPREGADA PARA CONSIDERAR AS ESCOLHAS DE MODOS E/OU ROTAS DE TRANSPORTE.....	124
5.3. O USO DE MODELOS DE MARKET SHARE PARA A OBTENÇÃO DAS ESCOLHAS DE MODOS E/OU ROTAS.....	125
5.4. A FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO PROPOSTO.....	127
5.5. DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ATRAÇÃO.....	128
5.6. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO PROPOSTO.....	130
5.7. FUNÇÃO DE VEROSSIMILHANÇA PARA O MODELO PROPOSTO.....	131
5.8. AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE MODELAGEM DESENVOLVIDO.....	135
6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA AO CORREDOR DE TRANSPORTE DO RIO GRANDE.....	137
6.1. UMA VISÃO DO CORREDOR DE TRANSPORTE DO RIO GRANDE.....	137



6.1.1.Principais Granéis Agrícolas Produzidos no Estado do Rio Grande do Sul.....	137
6.1.1.1. Produção de soja.....	138
6.1.1.2. Produção de arroz.....	140
6.1.1.3. Produção de milho.....	142
6.1.1.4. Produção de trigo.....	143
6.1.1.5. Produção de fertilizantes.....	145
6.1.2.Distribuição Espacial das Culturas Predominantes.....	145
6.1.3.Uma Visão da Oferta de Transporte do Corredor do Rio Grande.....	147
6.1.3.1.Principais características do modo rodoviário.....	147
6.1.3.2.Principais características do modo ferroviário.....	149
6.1.3.3.Principais características do modo hidroviário.....	154
6.1.3.4.Principais características do sistema portuário.....	157
6.2. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA REALIZADA.....	159
6.3. DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO DE PREFERÊNCIA DECLARADA.....	161
6.3.1. Identificação dos Atributos Relevantes.....	161
6.3.2. Montagem do Experimento de Preferência Declarada.....	162
6.3.3. Aplicação do Experimento de Preferência Declarada e seus Resultados.....	166
6.4. INFORMAÇÕES DE PREFERÊNCIA REVELADA.....	174
6.4.1. Determinação das Variáveis de Atração.....	178
6.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	182
7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	185
7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	185
7.2. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS.....	187
7.3. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	187
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	189
9. ANEXOS.....	195
9.1.QUESTIONÁRIO EMPREGADO NA PESQUISA EXPLORATÓRIA...	195

9.2.UM EXEMPLO DE BLOCO E SUAS RESPECTIVAS ALTERNATIVAS.....	196
9.3.ORDENAÇÕES FEITAS PELOS ENTREVISTADOS EM CADA ORGANIZAÇÃO .....	202
9.4.MODELO DA PLANILHA USADA NA PESQUISA DE PREFERÊNCIA REVELADA.....	210
9.5.QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA OFERTA DE TRANSPORTE NO CORREDOR.....	211
9.6.TELAS PRINCIPAIS DO PROGRAMA DESENVOLVIDO.....	212

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema das situações de escoamento da produção.....	14
Figura 2.2: Custos Fixos e Custos Variáveis.....	18
Figura 2.3: Comparação entre os Custos Totais nas Situações I e II.....	19
Figura 2.4: Comparação entre os Custos Médios nas Situações I e II.....	19
Figura 3.1: Representação esquemática da relação entre os vários agentes econômicos envolvidos no transporte de carga.....	26
Figura 3.2: Um exemplo de representação de rede de transporte.....	54
Figura 3.3: Representação de um caminho, um circuito e uma árvore.....	55
Figura 3.4: Uma visão do MERC.....	62
Figura 4.1: Curvas de Indiferença.....	74
Figura 4.2: Uma Curva de Indiferença no contexto dos transportes.....	76
Figura 4.3: Taxa Marginal de Substituição.....	79
Figura 4.4: A Taxa Marginal de Substituição indica a inclinação da curva de indiferença.....	80
Figura 4.5: A f.d.p. de $\varepsilon$ considerada no exemplo exposto.....	87
Figura 4.6: Modelo Linear de Probabilidade.....	88
Figura 4.7: Esquema da Função de Probabilidade Linear.....	89
Figura 4.8: Funções de Densidade das Distribuições Normal e Gumbel.....	93
Figura 4.9: Função de Utilidade Esperada para comportamentos distintos em relação ao risco.....	117
Figura 5.1: Esquema de uma situação de escolha entre alternativas para os usuários de um corredor de transporte de carga.....	124
Figura 6.1: Participação percentual dos principais produtores de soja na safra 96/97.....	139
Figura 6.2: Produção de soja no Rio Grande do Sul no período 1970 – 1997.....	139
Figura 6.3: Rendimento da produção de soja no período 1970 – 1997.....	140

Figura 6.4: Produção de arroz no Rio Grande do Sul no período 1970 – 1997.....	141
Figura 6.5: Rendimento da produção de arroz no período 1970 – 1997.....	141
Figura 6.6: Produção de milho no período 1970 – 1997.....	143
Figura 6.7: Rendimento da produção de milho no período 1970 – 1997.....	143
Figura 6.8: Produção de trigo no período 1970 – 1997.....	144
Figura 6.9: Rendimento da produção de trigo no período 1970 – 1997.....	144
Figura 6.10: Distribuição espacial das culturas predominantes – 1995.....	146
Figura 6.11: Malha rodoviária básica do corredor do Rio Grande.....	147
Figura 6.12: Os três principais eixos rodoviários no transporte de granéis....	148
Figura 6.13: Malha ferroviária no corredor.....	151
Figura 6.14: Malha hidroviária e ferroviária básicas.....	154
Figura 6.15: Principais hidrovias no Rio Grande do Sul.....	157
Figura 6.16: Localização espacial das organizações envolvidas na coleta de dados.....	160
Figura 6.17: Comparação entre os valores dos coeficientes das Funções Utilidade nos três casos considerados.....	170
Figura 6.18: Comparação entre os Valores do Tempo nos três casos considerados.....	170
Figura 6.19: Taxas Marginais de Substituição entre TEMPO DE VIAGEM e TEMPO DE RECOLHIMENTO.....	172
Figura 6.20: Taxas Marginais de Substituição entre TEMPO DE ATRASO ESPERADO e TEMPO DE RECOLHIMENTO.....	172
Figura 6.21 Taxas Marginais de Substituição entre TEMPO DE VIAGEM e TEMPO DE ATRASO ESPERADO.....	172
Figura 6.22: Comparação entre as probabilidades de escolha obtidas para o modo “1” para diferentes valores das variáveis de atração.....	179
Figura 6.23: Comparação entre o percentual observado de escolha do modo rodoviário, as probabilidades de escolha obtidas pelo modelo considerando somente dados de PD e o modelo com variáveis de atração.....	183

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Matriz Insumos-Produtos com dois setores industriais	34
Tabela 3.2: Conceitos em Redes e suas definições.....	55
Tabela 3.3: Principais Técnicas de Alocação de Tráfego.....	57
Tabela 3.4: Principais modelos preditivos de carga e suas características...	67
Tabela 6.1: Macrorregiões e Microrregiões utilizadas no estudo do GEIPOT.....	145
Tabela 6.2: Produção nas macrorregiões no ano de 1995 (t x 1000).....	146
Tabela 6.3: Principais Terminais de Carga e Descarga do Corredor do Rio Grande .....	151
Tabela 6.4: Tonelagem do complexo soja movimentada nas organizações consideradas no ano de 1999.....	161
Tabela 6.5: Atributos e níveis adotados.....	163
Tabela 6.6: Alternativas geradas com o arranjo ortogonal L18 de Taguchi...	164
Tabela 6.7: Configuração obtida com a retirada de alternativas.....	164
Tabela 6.8: Alternativas obtidas após renumeração.....	165
Tabela 6.9: Projeto final obtido para o experimento.....	162
Tabela 6.10: Resultados obtidos considerando todas as organizações.....	167
Tabela 6.11: Comparação das Alternativas considerando todas as organizações.....	168
Tabela 6.12: Valores do tempo considerando todas as organizações.....	168
Tabela 6.13: Resultados obtidos considerando somente as cooperativas....	169
Tabela 6.14: Resultados obtidos considerando somente as empresas.....	169
Tabela 6.15: Valores do tempo para as cooperativas.....	169
Tabela 6.16: Valores do tempo para as empresas.....	169
Tabela 6.17: Valores de Taxa Marginal de Substituição.....	171
Tabela 6.18: Resumo das informações obtidas na Pesquisa de Preferência Revelada.....	175

Tabela 6.19: Repartição modal observada e probabilidades de escolha estimadas com dados de preferência declarada.....	176
Tabela 6.20: Amostra com 100 decisões de envio de produtos.....	178
Tabela 6.21: Probabilidades e parâmetro $\theta$ estimados pelo modelo para diferentes valores das variáveis de atração.....	179
Tabela 6.22: Resultados obtidos da avaliação da condição da oferta de transporte pelos usuários.....	180
Tabela 6.23: Fatores de Atração estimados para cada usuário.....	181
Tabela 6.24: Comparação entre o modelo considerando dados de PD e o modelo considerando dados de PR.....	183
Tabela 6.25: Estatísticas calculadas para os modelos.....	184

## RESUMO

O objetivo principal deste trabalho consiste em elaborar uma metodologia que possa ser utilizada como instrumento auxiliar de planejamento em corredores de transporte de carga, abordando particularmente a questão de escolha modal e a escolha entre alternativas mais específicas.

A metodologia proposta combina dados de preferência declarada e preferência revelada, apresentando como “resposta” as probabilidades de escolha dos usuários de um corredor diante de uma situação de escolha entre alternativas de transporte.

A metodologia considera que as probabilidades de escolha supracitadas são explicadas por dois fatores principais, quais sejam os atributos das diversas alternativas de transporte e variáveis de atração relacionadas às condições de oferta das referidas alternativas.

A formulação matemática da metodologia proposta é realizada com a utilização de um Modelo de *Market-Share* com variáveis de atração. Tal metodologia é aplicada ao corredor de transporte do Rio Grande (RS), especificamente no caso do transporte de grãos agrícolas.

## ABSTRACT

The main objective of this work is to create a methodology that can be used as auxiliary instrument of planning in corridors of freight transport, approaching particularly the subject of modal choice and the choice more specific alternatives.

The proposed methodology combines stated preference and revealed preference data, presenting as "answer" the probabilities of choice by users of a corridor in front of a situation among transport alternatives.

The methodology considers that these probabilities of choice are explained by two main factors: the attributes of the several transport alternatives and variables of attraction related to the conditions of offer by these alternatives.

The mathematical formulation of the proposed methodology is accomplished by using a Market-Share Model of with variables of attraction. Such methodology is applied to Rio Grande (RS)'s corridor of transport specifically in the case of the transport of agricultural bulks.



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. A QUESTÃO DO PLANEJAMENTO EM TRANSPORTE DE CARGA

Para ANDRADE (1989) o *planejamento* é um processo de decisão com características próprias, pois se incumbe de definir o futuro desejado para uma organização e delinear os caminhos possíveis para atingi-lo.

Segundo este mesmo autor, o planejador geralmente necessita de ferramentas para facilitar e operacionalizar seu trabalho e fazer com que o processo de planejamento seja menos um processo de criação artística e mais um processo sistemático de decisão. Isto é um indicativo de que, tanto para a definição do futuro desejado pela organização, quanto na indicação dos caminhos a seguir, a utilização de modelos computacionais tende a ser essencial para o teste de hipóteses, a realização de previsões necessárias, a análise e avaliação de alternativas criadas, bem como a delimitação da validade de cada solução e identificação das variáveis fundamentais que devem ser consideradas.

Ainda segundo ANDRADE (1989) atualmente o planejamento é uma atividade executada formal ou informalmente por todas as organizações, como uma maneira de, no mínimo, preservar suas condições de sobrevivência. Segundo este autor, há pelo menos três boas razões para essa disseminação da atividade de planejamento entre todos os tipos de organizações:

- Com a crescente complexidade do ambiente externo à organização, atos isolados que podem vir a se revelar errados ou decisões com

fundamentação falha são capazes de destruir grandes negócios ou arruinar irremediavelmente o meio ambiente ou recursos naturais;

- Com a crescente difusão dos computadores com elevada capacidade de armazenamento de dados e grande rapidez de processamento, as informações tornam-se cada vez mais disponíveis, permitindo assim considerações cada vez mais abrangentes sobre os possíveis cursos de ação;

- Existe atualmente uma coletânea enorme de métodos quantitativos e ferramentas analíticas que possuem potencial para ser utilizada no processo de planejamento e atacar problemas reais.

O setor de transporte de carga, por sua natural complexidade, geralmente enfrenta uma série de problemas ligados à questão *planejamento*. CRAINIC (1987) apresenta uma classificação do processo de planejamento, no que diz respeito ao seu aspecto funcional:

- *Planejamento estratégico*: é voltado para a escolha dos objetivos da organização e a seleção de alternativas a serem consideradas para a realização desses objetivos. Geralmente enquadram-se nesse tipo atividades como:

- alocação de investimentos;
- projeto da rede física de transporte e sua atualização;
- localização de instalações;
- decisões sobre oferta de serviços e rotas;
- tamanho de frotas;
- previsão de demanda e reações de mercado;
- políticas de custos e preços.

- *Planejamento tático ou gerencial*: dados os objetivos a serem alcançados, as alternativas a serem consideradas e o total de recursos à disposição, o planejamento tático preocupa-se em estabelecer a forma mais eficiente de alocar os recursos. Pode-se enquadrar nesse tipo atividades como:

- projeto de redes de serviço, rotas e características de cada serviço de transporte oferecido (como horários, frequências, etc.);
- políticas para classificação de veículos e consolidação de tráfego nos terminais;
- formação de comboios de veículos;
- distribuição de veículos vazios e cargas de retorno.

• *Planejamento operacional*: é voltado mais para o desenvolvimento de mecanismos de aferição, coordenação e controle que propiciem condições ao sistema atual para alcançar os objetivos do plano estratégico, dentro das limitações estabelecidas no plano tático. Pode-se citar como exemplo:

- programação e roteirização de veículos para operações de carga e descarga;
- programação de pessoal;
- regras de expedição das mercadorias.

## **1.2. A IMPORTÂNCIA DO PROCESSO DE PREVISÃO DA DEMANDA NO CONTEXTO DE PLANEJAMENTO**

Segundo o National Cooperative Highway Research Program – NCHRP(1997) a previsão de demanda em transporte de carga é extremamente importante para o planejamento de instalações de transporte, para o planejamento de corredores e para o planejamento estratégico para os sistemas de transporte como um todo.

Para o caso de planejamento de instalações, as previsões são necessárias para determinar a capacidade apropriada de novas instalações que podem ser construídas e de instalações existentes que estão apresentando necessidade de expansão. Por exemplo, no caso de uma instalação intermodal, tal como um porto marítimo ou um aeroporto, as

previsões são necessárias para determinar o volume de carga que a instalação deverá ser capaz de movimentar, o número e tamanho de navios ou aeronaves que provavelmente usarão a instalação, e os requisitos para acessos rodoviário e ferroviário à instalação. Além disso, se um sistema de cobrança do usuário é estabelecido para cobrir os custos de construção e operação da instalação, previsões são necessárias para determinar o nível que essas cobranças devem ter para recuperar os investimentos realizados.

Para o planejamento de um corredor de transporte, previsões sobre a demanda de carga são necessárias para determinar a adequação das instalações existentes e serviços no corredor e a necessidade potencial para expansão dessas instalações e serviços. No caso específico de planejamento estratégico, previsões da demanda de carga são necessárias para avaliar a viabilidade global de possíveis estratégias alternativas e a demanda por componentes individuais dessas estratégias.

Levando-se em conta o contexto apresentado, na próxima seção serão apresentados os principais objetivos desse trabalho.

### **1.3. OBJETIVOS DO TRABALHO**

O presente trabalho está voltado à elaboração de uma metodologia que permita considerar alguns aspectos comportamentais importantes dos usuários dos chamados corredores de transporte agrícolas de exportação, quando os mesmos estão diante de uma situação de escolha entre alternativas.

Dentro dessa linha, pretende-se desenvolver uma metodologia que permita estabelecer a probabilidade de escolha de cada uma das alternativas, diante de uma situação em que uma série de alternativas é oferecida (ou já estão disponíveis) aos usuários do corredor de transporte. Assim sendo, também tem-se como objetivo chegar à implementação de uma ferramenta que possa ser útil na execução de análises e projeções para os planejadores e

usuários de um corredor agrícola de exportação, em termos do uso de alternativas de transporte.

Assim sendo, o presente trabalho pretende cumprir os seguintes objetivos específicos:

- determinar as variáveis mais importantes consideradas pelos usuários de transporte de um corredor agrícola em seu processo decisório;
- estabelecer a importância relativa de cada uma das variáveis consideradas, através da montagem de uma função utilidade, obtida usando-se a técnica de preferência declarada;
- considerar a escolha de modos e/ou rotas de transporte, dentro de um corredor agrícola de exportação, como um processo de seleção entre alternativas, associando a cada uma dessas alternativas uma utilidade aleatória;
- empregar uma formulação baseada na teoria dos Modelos de Escolha Discreta (também chamados Modelos de Utilidade Aleatória), para descrever as escolhas dos usuários entre alternativas que competem entre si;
- Acrescer variáveis de atração à formulação citada anteriormente, montando-se um modelo de market-share e usando-se dados de preferência revelada.

#### **1.4. JUSTIFICATIVA DO ESTUDO**

Acredita-se que a metodologia proposta nesse trabalho possa ser útil no processo de planejamento (principalmente planejamento estratégico) de algumas organizações, tais como:

- Órgãos públicos responsáveis pelo planejamento da infra-estrutura de transporte de carga;
- Grandes empresas de transporte (que podem ser rodoviárias, ferroviárias ou hidroviárias) e operadores multimodais, que estejam oferecendo seus serviços no corredor;
- Agências de Regulação de Serviços de transporte de carga.

É interessante frisar que o modelo de *agências de regulação* está começando a ser implantado no Brasil, tendo como exemplo recente a Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul (AGERGS) e a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

No caso da AGERGS, entende-se por *regulação* os atos de controle, fiscalização, normatização e padronização dos serviços públicos delegados, bem como os de fixação, reajustamento e revisão ou homologação de suas tarifas.

Embora o setor de transporte de carga ainda não esteja contemplado explicitamente nas áreas de atuação atuais da AGERGS, no futuro poderá haver atuação dessa agência nesse setor.

Além do exposto anteriormente, também pensa-se que o presente trabalho possa vir a ser útil no sentido de incentivar estudos usando o processo de modelagem matemática, aplicados ao setor de transporte de carga.

## 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente capítulo apresenta brevemente a questão do planejamento em transporte de carga e a importância das previsões de demanda nesse processo, o qual é a motivação principal para o desenvolvimento da metodologia aqui proposta.

O Capítulo 2 trata do conceito e concepção dos chamados corredores de transporte de carga..

No Capítulo 3 é feita uma revisão extensa dos processos mais tradicionais de modelagem usados até hoje em transporte de carga, com total ênfase aos modelos agregados.

Já o Capítulo 4 apresenta uma revisão dos modelos desagregados e comportamentais usados na modelagem da demanda em transporte de carga. Foi inserido nesse capítulo uma revisão sobre a técnica de preferência declarada e são apresentados alguns modelos desagregados desenvolvidos na área de transporte de carga.

No Capítulo 5 é apresentada a metodologia proposta, sendo desenvolvidas as equações que foram implementadas no programa de computador desenvolvido.

O Capítulo 6 apresenta uma visão do corredor de transporte agrícola do Rio Grande, e expõe a aplicação da metodologia proposta a este corredor.

No Capítulo 7, são apresentadas as principais conclusões, algumas considerações e recomendações para futuros trabalhos.

Finalmente, nos capítulos 8 e 9 são apresentados, respectivamente, a bibliografia referenciada e os anexos.

## 2. A CONCEPÇÃO DOS CORREDORES DE TRANSPORTE DE CARGA

### 2.1. INTRODUÇÃO:

BARAT (1978) conceitua *corredores de transporte* como sendo segmentos do sistema de transportes que ligam áreas e/ou pólos entre os quais ocorre (ou que deverá ocorrer em futuro próximo) intercâmbio de mercadorias numa densidade tal que justifique a adoção de modernas tecnologias de manuseio, de armazenagem e de transportes. Em geral, a adoção dessas referidas tecnologias modernas implicam em aplicações intensivas de capital, mas costumam proporcionar reduções significativas nos custos de transferências de mercadorias.

Este mesmo autor apresenta o conceito de um *corredor agrícola de exportação*, que é uma particularização do conceito mais amplo de corredores de transporte, mencionado no parágrafo anterior. Dessa forma, *corredores agrícolas de exportação* são conceituados como sendo segmentos do sistema de transportes que ligam regiões de elevado potencial de produção agrícola à portos exportadores, diretamente e/ou através de vias alimentadoras e locais.

Para a Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - GEIPOT (1997), um *corredor de transporte* pode ser conceituado como sendo um conjunto coordenado de meios e instalações que, ao longo de determinados eixos de circulação, viabiliza a movimentação de cargas em escala econômica e apresenta como componentes básicos a infra-estrutura viária, os veículos, os equipamentos e terminais modais e intermodais, os meios de operação, de gerenciamento e suporte institucional, de financiamento e os meios organizativos, assim como os demais recursos necessários ao funcionamento



do transporte em sua vinculação com as atividades de coleta, escoamento, armazenagem e distribuição de cargas.

Considerando uma situação bem geral, BARAT (1978) afirma que são as potencialidades de expansão da produção (resultante das disponibilidades de fatores de produção mobilizáveis num dado momento e em certas regiões) e as possibilidades de expansão do consumo final urbano ou intermediário-industrial, que permitirão identificar as grandes concentrações de embarque e desembarque de carga, as quais serão as responsáveis pelo dimensionamento da capacidade de transporte para atendimento a esse tráfego denso. Já no caso mais específico dos corredores agrícolas de exportação, esse mesmo autor diz que são as possibilidades do comércio internacional e seus reflexos na evolução tecnológica que determinam o dimensionamento da capacidade dos portos e de toda a estrutura de transportes (ferrovias, vias navegáveis, rodovias, etc.) para atender ao tráfego denso de superfície que normalmente é gerado.

Ainda citando BARAT (1978), a concepção de um *corredor* consiste, primeiramente, na articulação dos investimentos feitos em transportes com aqueles efetuados nas atividades dinâmicas que demandam seus serviços. O passo seguinte é a concepção de sistemas integrados entre duas ou mais modalidades de transportes (como ferrovia, hidrovia, dutovia, rodovia-tronco e/ou rodovia alimentadora local) com os portos, com os centros de beneficiamento primário, com os centros de processamento industrial e/ou com as centrais de abastecimento metropolitano. Assim, é facilitado o escoamento mais adequado dos fluxos densos de mercadorias, principalmente no caso do transporte de granéis.

Segundo RESENDE (1977a) os principais objetivos dos programas brasileiros dos *corredores de exportação e de abastecimento* eram estudar medidas relativas à otimização da rede, à adequada distribuição intermodal e racionalização de setores operacionais. Nesse mesmo trabalho, o referido autor dedica-se às repercussões do aperfeiçoamento do sistema de

transportes, em termos de incremento dos volumes de exportação e expansão de áreas produtoras, tendo desenvolvido um modelo para a análise do referido problema. Uma das hipóteses básicas considerada pelo autor em tal modelo consiste em admitir que são competitivas as atuações das empresas transportadoras, isto é, qualquer redução provocada nos custos operacionais dos sistemas de transportes seria transferida para o usuário, influenciando diretamente sobre o preço dos produtos. Também são considerados pelo autor alguns aspectos importantes, tais como sistemas integrados de transporte, corredores envolvendo uma indústria de transformação de produtos agrícolas e corredores industriais. Finalmente, o referido autor faz algumas adaptações ao processo de modelagem por ele desenvolvido, e trata a questão da configuração ideal da malha de estradas vicinais e casos em que a demanda do produto e o suprimento dos fatores de produção não são perfeitamente elásticos.

Em RESENDE (1977b) o autor analisa os benefícios decorrentes da redução nos custos de transportes, com base na metodologia por ele desenvolvida em RESENDE (1977a). Especificamente, ele estuda os benefícios decorrentes do melhoramento de rodovias-tronco, benefícios decorrentes da construção de uma rede de estradas vicinais e benefícios decorrentes da redução dos custos ferroviários. Finalmente, o autor realiza uma aplicação de sua metodologia ao corredor de exportação de soja e trigo no Rio Grande do Sul, chegando a uma série de conclusões sobre o escoamento da produção no corredor do Rio Grande, em especial na região noroeste do Rio Grande do Sul. As principais conclusões do referido autor, na época do estudo, foram:

- O transporte rodoviário se realizava segundo tarifas muito próximas dos custos econômicos reais, razão pela qual se apresentava como alternativa válida das outras modalidades, à vista das vantagens que oferecia quanto a sua maior flexibilidade, rapidez e segurança;

- O transporte rodo-hidroviário que estava sendo adotado, através do porto fluvial de Taquari, não vinha apresentando vantagens econômicas reais, como seria de se esperar, já que se estaria tirando partido, em parte do percurso, da modalidade normalmente mais econômica;

- Três projetos se evidenciavam quanto as suas expressivas repercussões nos custos do escoamento da produção, por produzirem substanciais incrementos nos benefícios aos produtores e na economia regional: (a) o projeto ferroviário relativo à conclusão da variante Roca-Sales/Passo Fundo e à construção do trecho Porto-Alegre/Pelotas, (b) a pavimentação das ligações rodoviárias Ijuí - Cruz Alta – Santa Maria – Pelotas (na época, já em fase de conclusão) e (c) a construção da variante ferroviária Dilermando Aguiar - São Gabriel.

## **2.2. MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA E INTEGRAÇÃO DE ETAPAS NO PROCESSO DE ESCOAMENTO DE CARGAS**

Enquanto na Europa e, em parte, na América do Norte, as ferrovias constituem o modal que permite o acesso a uma grande quantidade de pontos no espaço, nos países em desenvolvimento em geral (como é o caso do Brasil) as ferrovias, em virtude de condições históricas específicas, foram desenvolvidas num sentido único ou como sistemas isolados. Dessa forma, as ferrovias que se constituíram em ligações de um número reduzido de pontos com elevadas concentrações de produção, consumo ou embarque, e que se especializaram no transporte de fluxos de carga densa, foram as que, no Brasil, sobreviveram à competição rodoviária, mantendo desempenhos administrativo e operacional aceitáveis.

A infra-estrutura rodoviária, por sua vez, implantada a custos de construção mais baixos e com períodos mais curtos de maturação dos investimentos, teve maior capacidade de resposta aos estímulos decorrentes da dinâmica de expansão industrial. Assim, o Brasil assistiu à implantação de

uma malha rodoviária, cuja densidade é elevada comparada aos demais modos de transporte.

Uma vez que os veículos rodoviários podem atingir grande parte do território nacional através da malha rodoviária, ainda que existam deficiências na rede alimentadora e local, pode-se atribuir a tais veículos a maior responsabilidade pelo transporte de carga geral, pelo fato deste tráfego ser composto de maior diversidade de pontos de origem e destino, e por ter seus carregamentos feitos, geralmente, em lotes menores. Já no que se refere ao transporte de carga densa, em geral, e aos granéis, em particular, uma melhor repartição modal deve ser o objetivo de uma política de transportes, visando ao apoio aos objetivos globais de eficiência, modernização e ampliação do poder de competição do setor industrial e redução de custos no setor primário.

As ferrovias e o transporte marítimo são, pelas suas próprias características tecnológicas e operacionais, adequados ao transporte de fluxos de carga densos, para os quais existem relativamente poucos pontos de origem e destino e onde se verificam importantes reduções de custos quando melhor utilizada a capacidade instalada, embora esta especialização não exclua, evidentemente, a participação destas modalidades nos fluxos de carga geral.

No caso da navegação de cabotagem e hidroviária interior, desde que garantida a eficiência nos serviços portuários, ambas podem ter um papel importante no intercâmbio de cargas. Com efeito, se considerada, de um lado, a grande concentração que se verifica no Brasil da população urbana, da atividade industrial e da renda numa faixa litorânea, e de outro, a modernização tecnológica nos métodos de unitização de carga geral, maiores são as razões para se pensar em termos de transporte combinado, procurando usufruir do que cada modo de transporte oferece de melhor.

Levando em conta o exposto anteriormente, a concepção do Programa dos Corredores de Transporte, elaborado na década de setenta, visava principalmente:

- a uma adequada complementaridade entre malhas viárias que permitissem atingir maior diversidade de pontos de origem e destino e o transporte pesado, fosse ele por ferrovia, rodovia-tronco expressa, via navegável, duto ou uma combinação de duas ou mais dessas modalidades;
- a articulação entre produção, comercialização, armazenagem, processamento e embarque de cargas de fluxos densos;
- especificamente no caso do uso de transporte marítimo de longa distância, a uma adequada complementaridade entre as instalações portuárias e os navios.

### **2.3. AS ECONOMIAS DE ESCALA PRESENTES EM UM SISTEMA INTEGRADO DE ESCOAMENTO**

Considerando-se o problema da disponibilidade de serviços de transporte, manuseio e armazenagem de produtos agrícolas, é fato notório que somente a implantação ou melhoria de instalações de infra-estrutura e a concepção de sistemas modernos possibilitarão a desejável integração entre a região produtora e os pontos de embarque para exportação e/ou grandes pólos de consumo.

BARAT (1978) esquematiza o conceito de *corredores de transporte* a partir do confronto de duas situações alternativas de escoamento de produção de uma região, as quais, nesse trabalho, serão denotadas por Situação I e Situação II, respectivamente. Para uma maior clareza na descrição de cada

uma das situações mencionadas acima, será utilizada a Figura 2.1 e a seguinte notação:

P: um determinado ponto (ou pólo) de produção de produtos agrícolas;

$r_0$ : uma estrada rural ou vicinal;

$r_1$ : uma rodovia alimentadora (geralmente uma rodovia estadual);

$r_2$ : uma rodovia troncal (geralmente uma rodovia federal);

f: ferrovia (somente utilizada na Situação II);

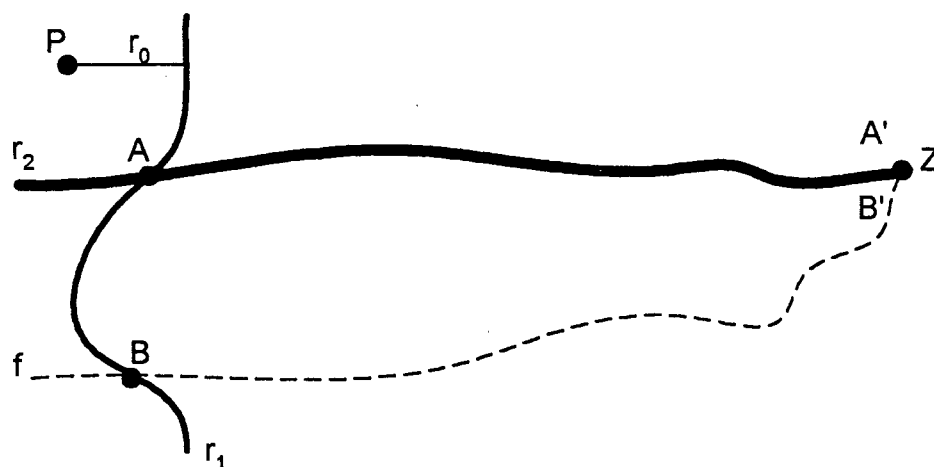
A: interseção da rodovia alimentadora com a rodovia troncal, onde tem-se situado um armazém geral.

A': ponto de localização de um armazém geral portuário;

Z: porto marítimo com capacidade de recebimento de navios de longo curso;

B: ponto de interseção da rodovia alimentadora com a ferrovia;

B': ponto de localização de silo portuário com facilidades de embarque para granéis.



**Fig. 2.1: Esquema das situações de escoamento da produção**

A seguir, serão descritas as situações I e II consideradas.

## SITUAÇÃO I

Nessa situação, o transporte e o manuseio dos grãos agrícolas são feitos em sacas, apresentando custos médios unitários crescentes a partir de um determinado volume de escoamento. A infra-estrutura, os equipamentos e instalações para o transporte, manuseio e armazenagem dos grãos agrícolas são fatores fixos de curto-prazo e a função de produção para o escoamento não permite rendimentos crescentes acima de um dado grau de utilização da capacidade instalada. Também haverá uma sobreutilização da mesma à medida que cresce o volume escoado e, além disso, a própria discrepância nas capacidades instaladas para as diferentes etapas do processo de escoamento constitui-se em limitação ao seu melhor aproveitamento. Assim, a safra de grãos é recolhida em sacas em um dos pontos de produção da região produtora (P), conforme a Figura 2.1. Este ponto de produção é ligado a uma rodovia alimentadora ( $r_1$ ), por intermédio de uma estrada rural ( $r_0$ ). A produção é levada em caminhões médios até o ponto de interseção com uma rodovia troncal ( $r_2$ ) e depois ao porto (Z). Nessa situação considerada, a safra é recolhida por caminhões médios no ponto de produção (P) e levada diretamente a Z ou concentrada em um armazém geral situado no ponto de interseção A, para o posterior transbordo para caminhões pesados que circularão na rodovia troncal. Em Z, a carga é armazenada em armazéns gerais e embarcada com a utilização de "pallets" e empilhadeiras e, na borda do cais, por meio de guindastes ou paus de carga<sup>1</sup> de bordo. Existe uma ferrovia (f) que intersecciona a rodovia alimentadora em B, mas que nessa situação considerada não está sendo convenientemente utilizada por inexistência de equipamentos e instalações de infra-estrutura especializados para o caso de grãos sólidos. Dessa forma, a utilização de vagões para transportar a produção de grãos em sacos não atrai o usuário, devido ao maior número de operações de transbordo, com as conseqüentes implicações de tempo perdido e eventuais avarias.

---

<sup>1</sup> Pau de carga: denominação dada a um aparelhamento de bordo, com função semelhante à do guindaste de terra, utilizado geralmente para movimentar carga entre o porão e o convés do navio.

## SITUAÇÃO II

Nessa situação, são feitos investimentos em instalações fixas e melhorias para a implantação de instalações para a movimentação de graneis, verificando-se reduções substanciais dos custos médios unitários a partir de uma determinada quantidade transportada.

Nesse caso, são instalados silos nos pontos B e B' (silo coletor e silo portuário, respectivamente), capazes de receber a produção, bem como de manter estoques de compensação (vide Figura 2.1). A ferrovia dispõe de instalações e equipamentos apropriados para manuseio e transporte de graneis e, com o uso dos silos, pode manter uma boa rotatividade entre os pontos B e Z. Aqui, entende-se por "boa rotatividade", uma situação tal que não ocorram problemas de falta de produtos para embarque nos navios, nem excesso de chegada de produtos, que venha a causar dificuldades de armazenamento. Em Z, por sua vez, há um terminal de embarque para graneis, dotado de condições suficientes para operar economicamente embarcações de grande capacidade, como navios graneleiros.

Para a definição do investimento necessário à efetivação de um sistema tecnologicamente avançado de escoamento da produção, tal como o concebido na idéia dos *corredores de transportes* (Situação II), uma questão importantíssima consiste em determinar as quantidades mínimas de escoamento dos graneis agrícolas produzidos, a fim de justificar o referido investimento. BARAT (1978) expõe essa questão utilizando a seguinte função:

$$Y = \gamma X^2 + \beta X + \alpha \quad (2.1)$$

onde:

Y = custo total (por exemplo, em R\$);

X = quantidade transportada de graneis em  $\frac{\text{t.km}}{\text{ano}}$ .



$\alpha$  = custos fixos totais das instalações necessárias ao escoamento da produção de grãos agrícolas;

$\beta$  = custos variáveis que podem ser considerados constantes, em termos unitários, em relação à quantidade de grãos transportados e em relação à distância percorrida. É importante salientar que estes custos podem ser considerados fixos apenas dentro de certos limites de carga transportada, como os custos de transbordos manuais de grãos em sacos, custos de operações de embarque não-mecanizado nos navios, custos de operação de ensilagem, etc.

$\gamma$  = custos variáveis que, em termos médios unitários, dependem diretamente do volume de carga e da quilometragem percorrida, como os custos de manutenção e operação dos veículos rodoviários, custo de manutenção e operação ferroviárias, etc.

BARAT (1978) salienta o fato de que a função especificada pela equação (2.1) foi especificada em seu trabalho tão somente com o propósito de facilitar a exposição teórica, a qual será resumida a seguir.

Assim, na equação (2.1),  $\alpha$  representa os custos fixos (CF), enquanto a parcela ( $\gamma X^2 + \beta X$ ) representa os custos variáveis (CV). Isto é representado no gráfico da Figura 2.2.

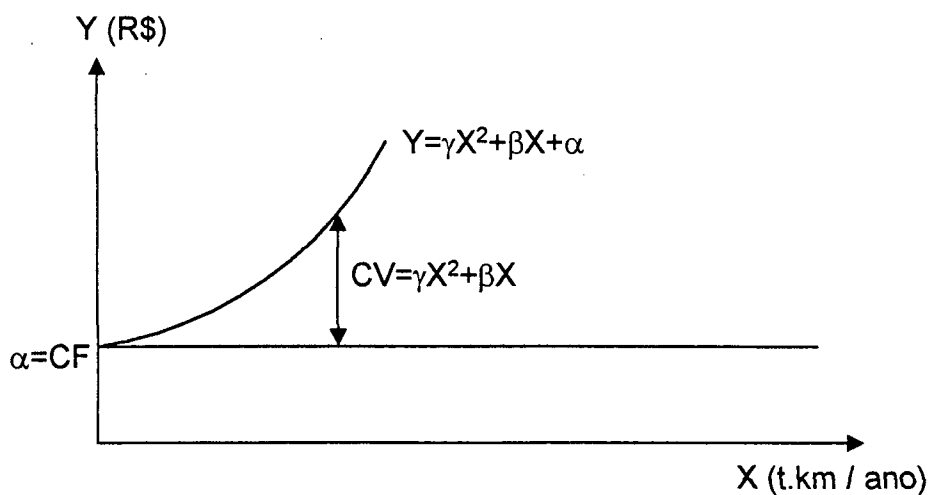
Pode-se definir, também, uma Função de Custo Médio Unitário, bastando dividir a equação (2.1) pela quantidade transportada de grãos anualmente (X):

$$\frac{Y}{X} = \gamma X + \beta + \frac{\alpha}{X} \quad (2.2)$$

onde:

$Y / X$  = rateio dos custos totais pela quantidade movimentada de grãos;

$\alpha / X$  = rateio dos custos fixos totais pela quantidade movimentada de grãos.



**Fig. 2.2: Custos Fixos e Custos Variáveis**

As equações (2.1) e (2.2) podem ser aplicadas a cada uma das situações I e II descritas anteriormente. Dessa forma, para a Situação I:

$$Y_I = \gamma_I X^2 + \beta_I X + \alpha_I \quad (2.3)$$

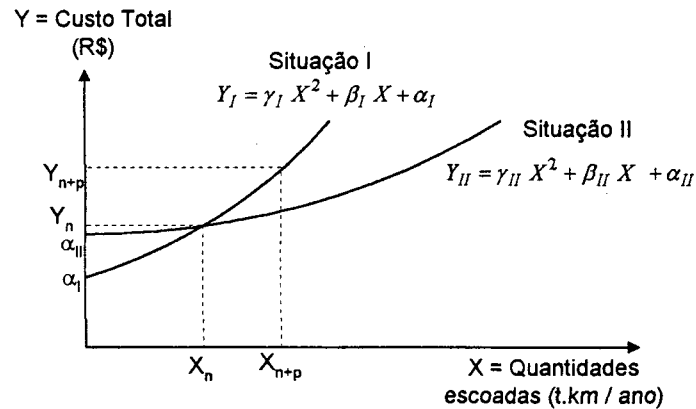
$$\frac{Y_I}{X} = \gamma_I X + \beta_I + \frac{\alpha_I}{X} \quad (2.4)$$

e para a Situação II:

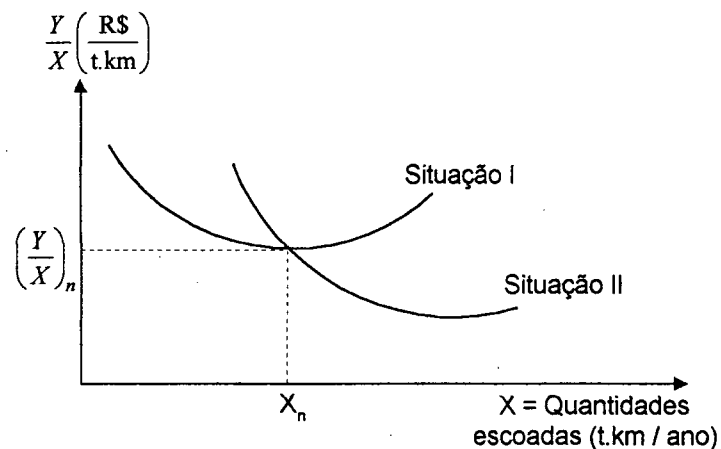
$$Y_{II} = \gamma_{II} X^2 + \beta_{II} X + \alpha_{II} \quad (2.5)$$

$$\frac{Y_{II}}{X} = \gamma_{II} X + \beta_{II} + \frac{\alpha_{II}}{X} \quad (2.6)$$

Assim sendo, as situações I e II podem ser esquematizadas com o uso de dois gráficos: um levando em conta os custos totais (Y) e o outro trabalhando com os Custos Médios Unitários (y / X). Estes gráficos são apresentados nas Figuras 2.3 e 2.4, respectivamente.



**Fig. 2.3: Comparação entre os Custos Totais nas Situações I e II**



**Fig. 2.4: Comparação entre os Custos Médios Unitários nas Situações I e II**

Raciocinando-se em termos de Custo Total (gráfico da Figura 2.3), verifica-se que existe um ponto determinado ( $X_n$ ) para o qual os custos nas duas situações tornam-se iguais. A partir desse ponto, qualquer acréscimo na tonelage transportada será feita a custos totais mais elevados no sistema de escoamento definido como Situação I, do que naquele definido como Situação II, ou seja, ( $Y_{n+p} > Y_n$ ).

Assim, tem-se no ponto  $X_n$  da Figura 2.3:

$$Y_{II} - Y_I = 0 \quad (2.7)$$

o que leva a:

$$\gamma_{II} X^2 + \beta_{II} X + \alpha_{II} - \gamma_I X^2 - \beta_I X - \alpha_I = 0 \quad (2.8)$$

Trabalhando-se na expressão (2.8) :

$$(\gamma_{II} - \gamma_I)X^2 + (\beta_{II} - \beta_I)X + (\alpha_{II} - \alpha_I) = 0 \quad (2.9)$$

Definindo-se:

$$\Psi = \gamma_{II} - \gamma_I \quad (2.10)$$

$$\varepsilon = \beta_{II} - \beta_I \quad (2.11)$$

$$\theta = \alpha_{II} - \alpha_I \quad (2.12)$$

chega-se a:

$$\psi X^2 + \varepsilon X + \theta = 0 \quad (2.13)$$

A solução da Equação (2.13), a partir dos parâmetros  $\psi$ ,  $\varepsilon$  e  $\theta$ , que são obtidos na prática através de levantamentos de custos, permitirá a estimativa da quantidade de granéis sólidos que justificará a implantação ou melhoria de instalações de transporte, armazenamento e manuseio, dentro da concepção integrada de investimentos e operações para escoamento de granéis, aqui designada como *corredores de transportes*.

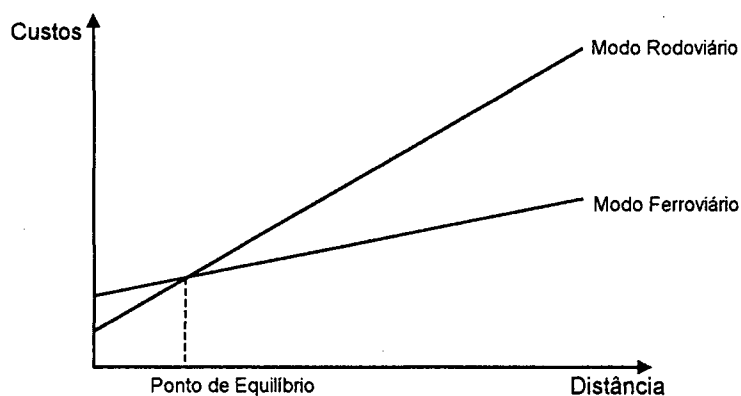
Também é importante ressaltar que a competitividade no comércio internacional é fortemente influenciada pelos custos de transporte

(BANOMYONG e BERESFORD, 2000). Dessa forma, segundo esses autores, o aparecimento dos serviços multimodais “porta a porta” têm contribuído para criar novas oportunidades comerciais, assim como aumentar a competitividade no comércio internacional.

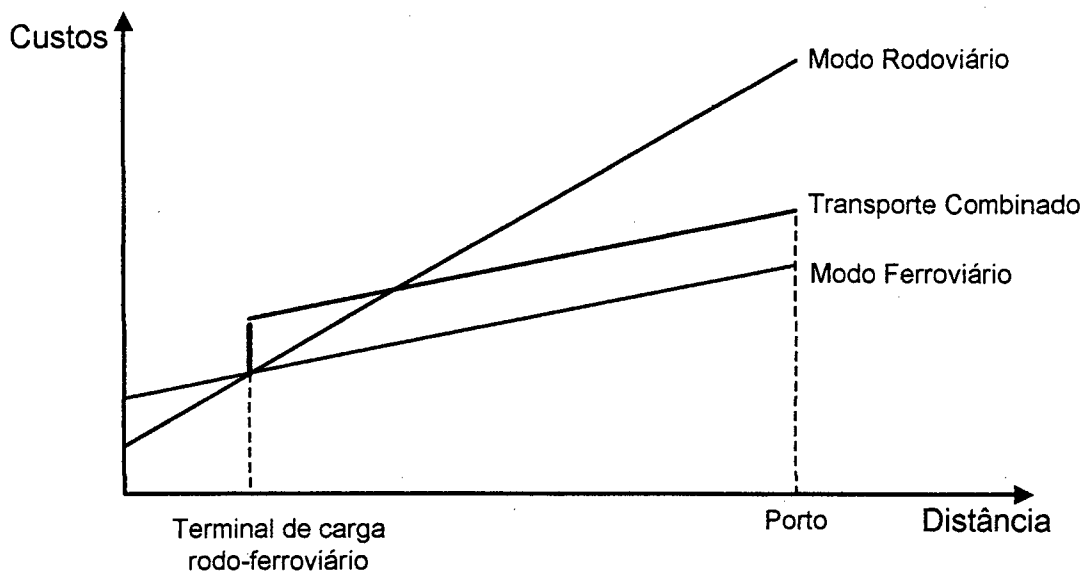
A competitividade no comércio internacional é influenciada por vários fatores, sendo um fator relevante o custo de transporte. Assim, o custo associado com a transferência física de produtos é uma informação essencial na efetivação de uma transação comercial internacional (CARTER e FERRIN, 1995; BERTAZI, GRAZIA, SPERANZA e UKOVICH, 1997).

Dentro desse contexto, uma questão importante é a escolha dos modos de transporte, os quais têm um impacto forte sobre a eficiência de um sistema de transporte multimodal. Dessa forma, dependendo do modo escolhido, o desempenho global do sistema de transporte multimodal será afetado (LIBERATORE e MILLER, 1995).

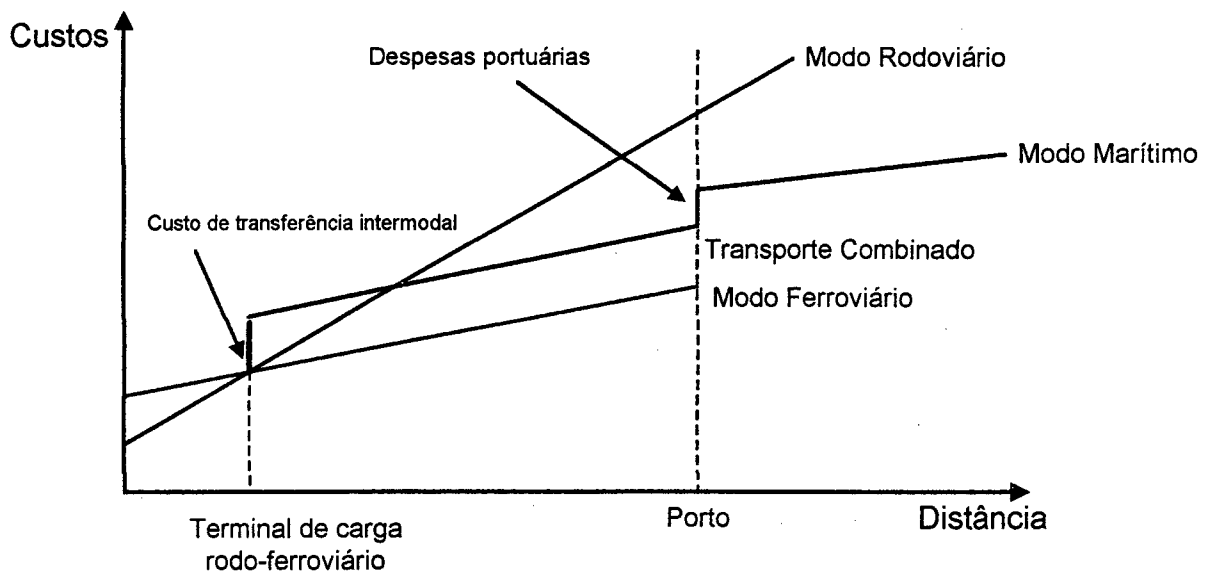
BANOMYONG e BERESFORD (2000) apresentam um estudo sobre custos de transporte considerando os custos dos diversos modos (rodoviário, ferroviário, hidroviário interior e marítimo), bem como custos nas transferências intermodais (portos, terminais de carga, etc). Tal estudo está resumido, em forma esquemática, nas figuras 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8.



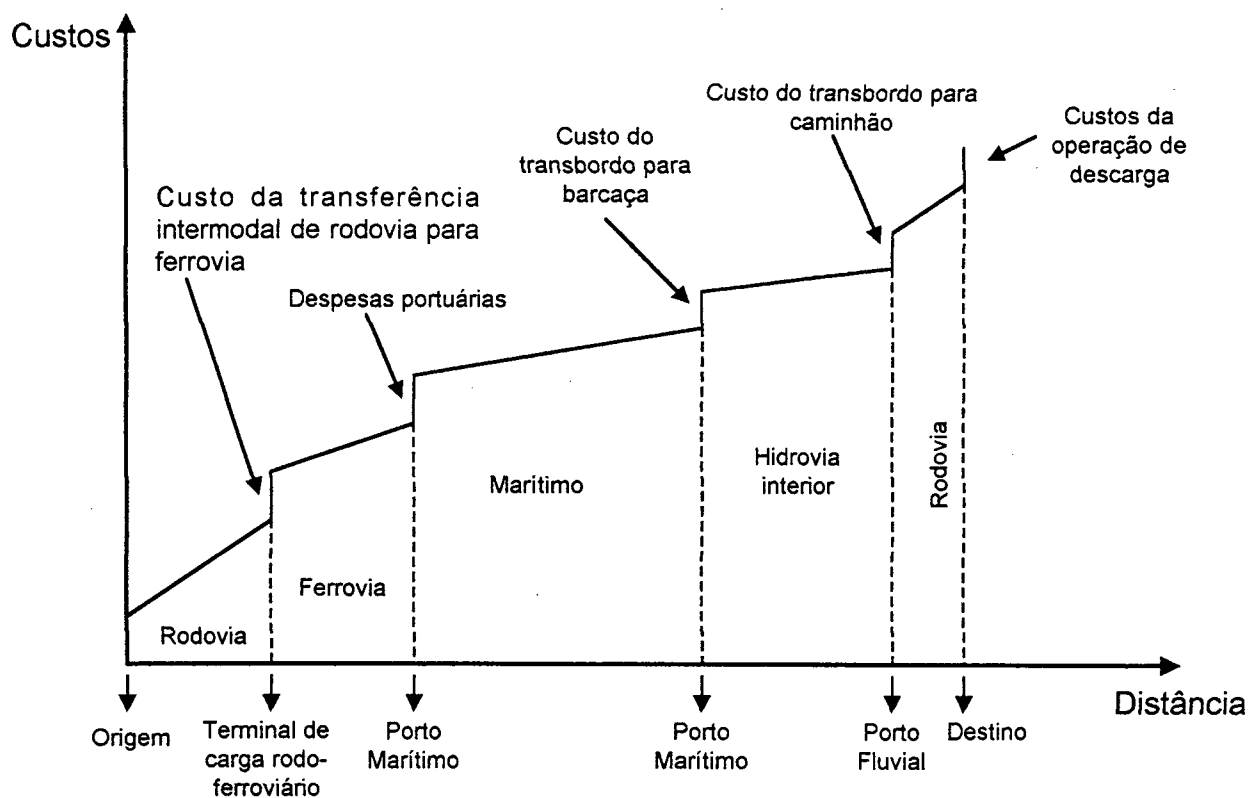
**Fig. 2.5: Custos de transporte para alternativas unimodais: rodovia x ferrovia**



**Fig. 2.6: Custos de transporte para alternativas combinadas: rodovia - ferrovia**



**Fig. 2.7: Custos de transporte para alternativas combinadas: rodovia-ferrovia-marítimo**



**Fig. 2.8: Custos de transporte para combinação de diversas alternativas, da origem ao destino**

O estudo mencionado acima baseia-se na premissa de que os custos unitários de transporte variam de um modo para outro. Assim, observando-se as figuras 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8, as inclinações das curvas de custo indicam que o transporte marítimo é o mais econômico por tonelada.km, o transporte rodoviário é, normalmente, o mais caro e os custos dos modos ferroviário e hidroviário situam-se numa posição intermediária. Quanto aos custos nos portos e terminais de transbordo, os mesmos são representados nas figuras mencionadas anteriormente por "saltos" verticais da curva de custo.

Naturalmente, dependendo das alternativas escolhidas (rotas e combinações de modos) o custo de transporte final será diferente. Assim sendo, uma questão relevante nos estudos de transporte de carga é encontrar as alternativas que são as mais convenientes para os usuários, como será visto nos capítulos posteriores deste trabalho.

### 3. UMA VISÃO DO PROCESSO DE MODELAGEM EM TRANSPORTE DE CARGA

#### 3.1. INTRODUÇÃO

No estudo dos chamados *transportes interurbanos* ou *rurais*, grande atenção é dada à movimentação de mercadorias como fator intermediário de produção. Geralmente, são estudadas medidas relativas à adequada repartição modal, à otimização da rede de transportes e à racionalização de setores operacionais.

De acordo com ORTÚZAR e WILLUMSEN (1994) a modelagem de transporte de carga normalmente desempenha um papel importante nos países em desenvolvimento, pois nesses países os esforços para aumentar as exportações e dotar regiões menos desenvolvidas de meios eficientes de abastecimento e escoamento de produção são, geralmente, muito urgentes.

No entanto, devido a natural complexidade dos sistemas de transporte de carga, os esforços de modelagem feitos até hoje aparecem sob uma extensa variedade de formas. Referindo-se a esta extensa variedade, CHIANG at all (1980), Apud HARKER (1985), diz que muitos modelos têm sido desenvolvidos por pesquisadores de muitas áreas, usando muitas abordagens diferentes, numa tentativa de resolver muitos problemas diferentes, sendo isto uma indicação de que o transporte de carga envolve processos de tomadas de decisões de grande complexidade.

Este capítulo apresenta uma revisão objetiva das pesquisas que têm sido realizadas nos últimos anos tratando da predição da movimentação de mercadorias através dos sistemas de transporte de carga interurbanos, dando ênfase à questão da modelagem da demanda agregada.



### 3.2. OS AGENTES ECONÔMICOS CONSIDERADOS NOS MODELOS DE PREDIÇÃO DE TRANSPORTE DE CARGA

Na área de transporte de carga, muitos modelos já foram desenvolvidos, que vão desde a predição detalhada de rotas até a simples movimentação de “entradas” e “saídas” de empresas, no que diz respeito à atividade de transporte. A maioria destes modelos tem como característica principal a tentativa de previsão do comportamento dos chamados *agentes econômicos* envolvidos na movimentação de cargas.

HARKER (1985) cita os seguintes agentes, como integrantes de um sistema de transporte de carga, de maneira geral:

a) *Produtores*: são aqueles agentes econômicos cujo papel no sistema é a produção de mercadorias e/ou produtos.

b) *Consumidores*: são aqueles agentes econômicos que consomem as mercadorias e/ou produtos produzidos pelos produtores.

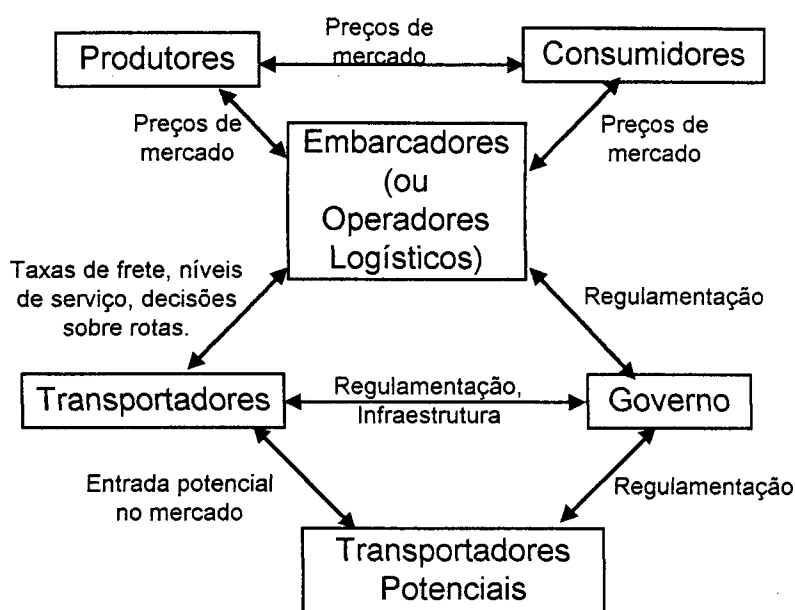
c) *Embarcadores*: são aqueles agentes econômicos que tomam as decisões sobre a geração de viagens das origens, a distribuição dessas viagens ao conjunto de destinos possíveis e a escolha sobre quem irá executar o transporte de uma determinada carga das origens aos destinos. Atualmente, tais agentes normalmente são representados pelos *operadores logísticos*.

d) *Transportadores*: são as empresas e/ou transportadores individuais de carga, incluindo todos os modos de transporte disponíveis.

e) *Transportadores potenciais*: são aqueles transportadores que, num determinado momento, não oferecem qualquer serviço de transporte no mercado sob consideração, mas que têm potencial para fazê-lo.

f) *Governo*: são os diversos órgãos municipais, estaduais e federais, envolvidos de alguma maneira com o transporte de carga, e que atuam principalmente na regulamentação, manutenção e fornecimento de infra-estrutura de transportes.

A Figura 3.1 apresenta uma representação esquemática das diversas relações existentes entre os vários agentes econômicos envolvidos no transporte de carga mencionados anteriormente.



**Fig. 3.1: Representação esquemática da relação entre os vários agentes econômicos envolvidos no transporte de carga**

Fonte: Adaptado de HARKER (1985)

### 3.3. ALGUMAS DIFERENÇAS ENTRE O TRANSPORTE DE CARGA E O TRANSPORTE DE PASSAGEIROS

Embora a grande variedade de abordagens no processo de desenvolvimento de modelos no setor de transporte de carga, existe o consenso de que a modelagem, nesta área, é bem menos desenvolvida do que no caso de transporte de passageiros, especialmente no caso urbano [SMITH (1975), FRIESZ at all (1983)

e ORTÚZAR e WILLUMSEN (1994)]. Segundo estes autores, as principais razões para isso são:

- As decisões a serem tomadas, no caso do transporte de carga, são inerentemente mais complexas e, conseqüentemente, mais difíceis de modelar do que no caso do transporte de passageiros;

- Normalmente, é difícil a obtenção de dados fidedignos sobre os diversos custos envolvidos no transporte de carga. ORTÚZAR e WILLUMSEN (1994) citam como exemplo o caso de algumas empresas transportadoras e seus usuários, na Europa, os quais tentam manter os seus custos confidenciais para fortalecerem suas posições quando do renegociamento das tarifas de frete.

O manual do TRB (1997) também afirma que a demanda, no caso do transporte de carga, é mais complexa do que no caso de transporte de passageiros, principalmente no que diz respeito aos seguintes aspectos:

- **Unidades de medida:**

No caso do transporte de passageiros, geralmente estima-se a demanda usando como unidade de medida o número de passageiros transportados ou o número de viagens realizadas. No caso do transporte de carga, várias podem ser as unidades usadas, dependendo do estudo que está sendo feito. Como exemplo, podem ser citadas unidades de peso (como toneladas, quilogramas), unidades de volume (como litros, metros cúbicos), TEU ("Twenty Feet Equivalent Unit", que é a unidade usada para medir a capacidade de navios em termos de contêineres de 20 pés), etc.

- **Valor do tempo:**

No caso do transporte de passageiros, existem diferenças substanciais entre os valores achados para o tempo, quando são considerados passageiros com características sócio-econômicas diferentes. Geralmente, também são diferentes os valores encontrados para tempo de viagem e tempo de espera. No entanto, estas diferenças mencionadas acima, geralmente são muito mais acentuadas no setor de

transporte de carga, quando é feita uma comparação entre mercadorias que possuam características diferentes.

- **Processo de carga e descarga:**

No caso do transporte de passageiros, geralmente não é necessária a ajuda de equipamentos muito complexos para o acesso dos passageiros aos veículos, bem como para a realização do transbordo nas conexões entre modais diferentes. Já no caso do transporte de carga, em geral uma grande variedade de instalações e equipamentos são exigidos, principalmente no caso do transporte intermodal de certos tipos de mercadorias.

- **Diversidade de tipos de veículos:**

No caso do transporte de passageiros, tem-se diversos tipos de veículos diferentes, principalmente devido ao nível de serviço (conforto, rapidez, segurança, etc.) que se pretende oferecer ao passageiro. No caso do transporte de carga, a situação pode ser ainda mais complexa, pois muitos tipos de mercadorias exigem veículos com atributos específicos, dependendo se as mesmas são ou não perecíveis e de características de peso e de volume.

- **Número de tomadores de decisão:**

A demanda por serviços de transporte de passageiros é determinada por um grande número de tomadores de decisão, sendo que cada indivíduo contribui com uma pequena porção na formação da demanda total. Por sua vez, a demanda por serviços de transporte de carga é determinada por um número relativamente pequeno de decisores (como embarcadores, transportadores, vendedores, compradores), os quais podem ser responsáveis por uma fração significativa da demanda total. Portanto, a análise da demanda, no setor de carga, requer, algumas vezes, uma compreensão mais apurada dos fatores que influenciam os decisores individuais.

### 3.4. MODELOS AGREGADOS TRADICIONAIS NA MODELAGEM DA DEMANDA DE TRANSPORTE DE CARGA

No setor de transporte de carga, muitos dos modelos usados nos últimos anos enquadram-se na categoria de modelos agregados. Geralmente, quando o foco é o setor público (isto é, o governo), estas aplicações seguem a metodologia clássica seqüencial de quatro fases, bastante difundida na área de planejamento de transporte urbano de passageiros, com algumas adaptações para o caso de transporte de carga. De maneira bem objetiva, pode-se dizer que tal metodologia consiste das seguintes etapas:

- Geração e atração de viagens de mercadorias (cargas) por zona de tráfego;
- Distribuição dos diversos volumes de carga gerados e atraídos pelas diversas zona de tráfego;
- Repartição modal por tipo de mercadoria;
- Alocação dos movimentos de mercadorias à rede de transporte.

É importante salientar que, em cada uma das fases citadas anteriormente, pode-se utilizar um tipo de modelo diferente.

Dentro dessa linha de abordagem agregada, SMITH (1975) faz uma revisão de alguns modelos tradicionalmente utilizados, quais sejam: Modelos de Divisão de Mercado (ou Modelos de "Market-shared"), Modelos de Entradas-saídas (ou Modelos de Insumos-Produtos), Modelos de Estoques Teóricos, Modelos Gravitacionais, Modelos de Modo Abstrato e Modelos de Programação Linear. A seguir, será feita uma descrição de cada um desses modelos.

### **3.4.1. Modelos de Divisão de Mercado ou Modelos de “Market-Share”**

Segundo CARVALHO (1993) a parcela de mercado de uma empresa é expressa pela sua representatividade no segmento em que atua; o valor dessa parcela é o resultado da quantidade e qualidade do serviço oferecido e denomina-se “Market-Share”. De acordo com SMITH (1975), os Modelos de Divisão de Mercado (ou modelos de “Market-Share”), em sua forma mais simples e aplicados ao transporte de carga, foram empregados para examinar o total de importações de uma certa mercadoria por um determinado país e com a finalidade de estudar a divisão desse mercado entre os países exportadores. Dessa forma, mudanças nas divisões de mercado puderam ser projetadas com base em diversas informações, tais como inovações, políticas comerciais, taxas de câmbio, etc. Dentro desta linha pode ser citado o trabalho de RIGAUX (1971), o qual utilizou um modelo de “Market-Share” para analisar as vendas de trigo do Canadá na década de 60. No referido trabalho a ênfase foi dada no sentido de buscar explicar as flutuações nas vendas do trigo canadense em função de alguns fatores, tais como problemas relacionados à distribuição, competitividade e o efeito dos chamados “mercados menores”.

SMITH (1975) ainda diz que análises de “Market-Share” têm sido usadas de forma isolada e às vezes em combinação com os chamados Modelos de Entradas-Saídas (ou Modelos de Insumos-Produtos), que serão vistos na próxima seção. Outro fato citado por este autor é que este tipo de modelo frequentemente oferece aproximações empíricas apropriadas para previsões de curto-prazo e em situações relativamente estáveis, sendo inadequados onde ocorram grandes variações nos fluxos de mercadorias e, portanto, para previsões de longo prazo.

Os exemplos mais recentes do uso de modelos de Market-Share estão no setor de transporte interurbano de passageiros, já no contexto dos modelos desagregados, onde podem ser citados os trabalhos de CARVALHO (1993), WILLIAMS e ABDULAAL (1993) e NOVAES e CARVALHO (1996).

De acordo com BRODIE e KLUYVER, Apud NOVAES e CARVALHO (1996) os Modelos de Market Share mais comuns trabalham com as chamadas *variáveis de atração*. Em relação a estes modelos de atração, o trabalho de NOVAES e CARVALHO (1996) apresenta um importante teorema demonstrado por BELL, KEENEY e LITTLE (1975) e que é de interesse para a compreensão da estrutura conceitual deste tipo de abordagem. Estes autores postulam que o fator determinante para a divisão de mercado é a atração que os usuários sentem por cada alternativa a eles oferecida. Dessa forma, considerando-se:

$A_i$  = atração da alternativa "i" ( $i = 1, 2, \dots, m$ );

$m$  = número de alternativas;

$s_i$  = fração do mercado alocada à alternativa "i",

são apresentados os seguintes Axiomas:

• AXIOMA 1:

$A_i \geq 0$  para todo "i" e  $\sum_{i=1}^m A_i > 0$ , ou seja, as atrações são não-negativas e o

seu somatório é positivo.

AXIOMA 2:

$A_i = 0 \Rightarrow s_i = 0$

• AXIOMA 3:

$A_i = A_j \Rightarrow s_i = s_j$  ( $i \neq j$ ), ou seja, atrações iguais implica em igual divisão de mercado.

AXIOMA 4:

Quando  $A_j$  é modificado de um valor  $\Delta_j$ , a mudança correspondente em  $s_i$  ( $i \neq j$ ) é independente de  $j$ , isto é, uma mudança na atração tem o efeito distribuído sobre a divisão de mercado das outras alternativas.

Partindo dos Axiomas vistos anteriormente foi obtida a relação clássica entre as atrações e as divisões de mercado:

$$s_i = \frac{A_i}{\sum_{j=1}^m A_j} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.1)$$

Segundo COOPER e NAKANISHI (1988), considerando-se a Equação (3.1) e também admitindo-se eventos discretos e exaustivos, pode-se dizer que os quatro axiomas apresentados anteriormente satisfazem as hipóteses para cálculo de probabilidades em um espaço amostral finito e discreto. Estes mesmos autores apresentam dois tipos de Fatores de Atração que são geralmente utilizados:

- Fator de Atração para o Modelo de Interação Competitiva Multiplicativa:

$$A_i = e^{\beta_{0i}} \prod_{k=1}^K X_{ki}^{\beta_k} \varepsilon_i \quad (3.2)$$

- Fator de Atração para o Modelo Logit Multinomial:

$$A_i = e^{\beta_{0i} + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i} \quad (3.3)$$

onde:

$X_{ki}$  = valor do  $k$ -ésimo atributo para a alternativa "i";

$\beta_{0i}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) = constantes específicas das alternativas;

$\beta_k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) = parâmetros relacionados aos atributos;



$\varepsilon_i$  = termo de erro;

m = número total de alternativas;

K = número total de atributos.

NOVAES e CARVALHO (1996) apresentam um modelo que segue a estrutura proposta por DALY (1982), na qual um modelo de escolha com formulação Logit é combinado com variáveis de atração. O objetivo principal dos referidos autores era estimar a probabilidade de que um determinado passageiro escolheria uma certa alternativa, dadas as características de todas as opções disponíveis. Assim sendo, era considerado que a probabilidade de um determinado usuário escolher uma certa alternativa era:

- diretamente proporcional a um fator de atração associado com a hora em que o serviço era oferecido;
- relacionada a um conjunto de atributos, os quais são considerados na estimação de uma função utilidade, usando o Modelo Logit Multinomial.

### **3.4.2. Modelos de Entradas-Saídas (ou Modelos de Insumos-Produtos)**

Os modelos deste tipo foram desenvolvidos inicialmente na década de 30, tendo como objetivo principal examinar os fluxos de troca interindustriais. Nesse tipo de modelo, a economia é dividida em setores industriais, e uma matriz insumo-produto descreve os fluxos de mercadorias e serviços de um setor para outro, bem como os insumos provenientes de setores externos e os produtos originados, destinados à demanda final. Desta forma, os níveis das atividades econômicas regionais são considerados dependentes da demanda final por produtos e serviços, e o modelo de insumo-produto pode ser usado para determinar o insumo total necessário por setor industrial para suprir um determinado nível especificado de demanda final.

O ponto de partida para a aplicação desse modelo é a matriz de insumo-produto, apresentando o valor dos produtos e serviços fluindo de um setor industrial para outro. Um exemplo de uma matriz insumo-produto, considerando dois setores industriais, é apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Matriz Insumo-Produto com dois setores industriais

Para o setor industrial →	1	2	Demanda Final	Total de Produtos
Do setor Industrial ↓				
1	$q_{11}$	$q_{12}$	$x_1$	$y_1$
2	$q_{21}$	$q_{22}$	$x_2$	$y_2$
Oferta Externa	$s_1$	$s_2$	-	-
Total de Insumos	$y_1$	$y_2$	-	$y_1 + y_2$

Considerando-se a segunda linha da Tabela 3.1, pode-se observar que o setor industrial 1, por exemplo, produz o valor  $q_{11}$  de produto, o qual é adquirido por outras empresas do mesmo setor industrial. O setor industrial 1 também produz o valor  $q_{12}$  de produto, que é usado como insumo pelo setor industrial 2. Um valor adicional  $x_1$  de produtos, produzido pelo setor industrial 1, vai para a demanda final deste setor. Assim, adicionando os valores através da primeira linha da matriz da Tabela 3.1, chega-se ao total de produtos produzidos pelo setor industrial 1 ( $y_1$ ):

$$q_{11} + q_{12} + x_1 = y_1 \quad (3.4)$$

De forma análoga, considerando-se a segunda coluna da Tabela 3.1, pode-se notar que o setor industrial 1 compra o valor  $q_{11}$  de insumos do próprio setor 1 e o valor  $q_{21}$  de seus insumos do setor industrial 2. Além disso, adquire o valor  $s_1$  de insumos de um setor industrial externo. Assim, adicionando-se os valores através da primeira coluna da matriz:

$$q_{11} + q_{21} + s_1 = y_1 \quad (3.5)$$

É importante observar que o total de insumos deve ser igual ao total de produtos, em uma matriz insumo-produto.

Dividindo-se os fluxos interindustriais  $q_{ij}$  pelos insumos totais  $y_j$  requeridos por cada setor industrial, tem-se o valor, em unidades monetárias, dos insumos necessários para produzir uma unidade monetária de produto. Estes *coeficientes de produção interindustriais* ou *coeficientes técnicos de troca* são denotados por  $a_{ij}$  e são definidos como:

$$a_{ij} = \frac{q_{ij}}{y_j} \quad (3.6)$$

Por exemplo,  $a_{12}$  é o valor, em unidades monetárias, dos insumos do setor industrial 1 necessário para produzir uma unidade monetária de produtos no setor industrial 2. Desta forma, a relação entre os coeficientes técnicos de troca, demanda final e total de produtos, para o setor industrial 1, pode ser expresso da seguinte forma:

$$a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + x_1 = y_1 \quad (3.7)$$

Chamando de  $b_j$  os chamados *coeficientes de insumos externos*, os mesmos podem ser definidos da seguinte maneira:

$$b_j = \frac{s_j}{y_j} \quad (3.8)$$

Geralmente, as relações vistas anteriormente entre os coeficientes interindustriais, demanda final e total de produtos, é expressa usando uma notação matricial. Assim, denotando:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \text{matriz dos coeficientes interindustriais } a_{ij};$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \text{vetor dos valores de demanda final};$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \text{vetor dos valores dos totais de produtos},$$

a relação para um modelo insumo-produto pode ser expressa como:

$$AY + X = Y \quad (3.9)$$

A determinação do total de produtos  $Y$ , que resultaria de qualquer dada demanda final  $X$ , envolve a resolução da equação (3.6) para  $Y$ . Isso pode ser expresso da seguinte forma:

$$Y = (I - A)^{-1} X \quad (3.10)$$

onde  $I$  é a matriz identidade. A matriz  $(I - A)^{-1}$  é chamada de Inversa de Leontief e é um ponto essencial do modelo insumo-produto.

Desta forma, dada uma projeção da demanda final (o vetor  $X$ ) por setor industrial, a mesma pode ser multiplicada pela matriz  $(I - A)^{-1}$  para obter-se a projeção do total de produtos (o vetor  $Y$ ) para cada setor industrial. Para obter-se a matriz completa de fluxos interindustriais, os totais de insumos (ou de produtos) de cada setor industrial necessitam somente ser multiplicados pelos coeficientes interindustriais:

$$q_{ij} = a_{ij} y_j \quad (3.11)$$

Já a quantidade de insumos externos necessários para cada setor industrial produzir o total de produtos, pode ser calculado de maneira semelhante usando o coeficiente de oferta externo:

$$s_j = b_j y_j \quad (3.12)$$

Resumindo, então, a aplicação de um modelo insumo-produto inicia com a consideração da matriz de fluxos interindustriais atuais (os  $q_{ij}$ 's) e da demanda final (os  $x_i$ 's). Estas informações são usadas para calcular os coeficientes interindustriais (os  $a_{ij}$ 's) e os coeficientes de oferta externos (os  $b_j$ 's). A matriz **A** dos coeficientes interindustriais é usada para calcular a Inversa de Leontief,  $(I - A)^{-1}$ . Então, com uma projeção de uma nova demanda final ( $X$ ), a matriz inversa é multiplicada por este vetor para calcular os totais de produtos ( $Y$ ) necessários para produção da referida demanda final. Finalmente, os coeficientes técnicos e os coeficientes de insumos externos podem ser multiplicados pela projeção do total de produtos para obter-se a nova matriz insumo-produto.

RIEFLER e TIEBOUT (1970) desenvolveram um Modelo de Insumo-Produto inter-regional aplicado às regiões da Califórnia e Washington e testaram a estabilidade dos coeficientes de troca. Esses autores conseguiram identificar o acoplamento entre as economias dessas duas regiões e concluíram que o modelo prestou uma significativa ajuda na predição a curto prazo para estas economias. Entretanto, eles preveniram que qualquer uso preditivo desse tipo de modelo para períodos longos de tempo devem levar em conta a variabilidade dos padrões das trocas (e conseqüentemente dos coeficientes da matriz **A**) ao longo do tempo.

### **3.4.3. Modelos de Estoques Teóricos**

Este tipo de modelo foi desenvolvido por BAUMOL (1970) e seu principal uso prático era o de fazer escolhas modais. Tais modelos baseavam-se na chamada Teoria Neo-Clássica da Firma, na qual as firmas são consideradas maximizando o lucro. Assim, no caso de escolha modal, era considerado que as firmas sempre escolhiam o modo de transporte de menor custo para qualquer fluxo de carga a ser transportado.

No modelo em questão, trabalhava-se com os custos anuais totais de transporte (CT), os quais eram considerados como dependentes das seguintes variáveis:

T = volume total embarcado por ano (em toneladas);

r = custo unitário direto de embarque por tonelada;

s = tempo decorrido entre embarques (em frações de um ano);

t = tempo médio para completar um embarque;

k = uma constante.

Assim:

$$CT = rt + stT + k(s + t)T \quad (3.13)$$

Derivando a equação (2.10) em relação à tonelagem total (T), obteve-se uma expressão para o Custo Marginal (CM):

$$CM = \frac{\partial(CT)}{\partial(T)} = r + st + k(s + t) \quad (3.14)$$

BAUMOL (1970) ainda lembra que o volume de mercadorias embarcadas não depende somente dos custos, mas também das receitas e do lucro. Dessa forma, ele resolveu incluir no modelo a Receita Total (RT):

$$RT = \Delta p(T) T \quad (3.15)$$

onde:

T = tonelagem embarcada anualmente (em toneladas);

$\Delta p$  = diferença de preços (para uma determinada mercadoria) entre o seu preço no destino e o seu preço na origem.

Assim sendo, a Receita Marginal (RM) será:

$$RM = \frac{\partial(RT)}{\partial T} = \frac{\partial[\Delta p(T) T]}{\partial T} \quad (3.16)$$

Aplicando a regra do produto, uma vez que  $\Delta p$  é uma função, chega-se a:

$$RM = \Delta p + T \frac{\partial \Delta p(T)}{\partial T} \quad (3.17)$$

No trabalho de BAUMOL (1970)  $\Delta p$  é assumida como sendo uma função linear:

$$\Delta p = a - bT, \text{ onde } b > 0 \quad (3.18)$$

Dessa forma, a equação (3.17) torna-se:

$$RM = \Delta p - bT \quad (3.19)$$

Igualando-se o Custo Marginal (3.14) e a Receita Marginal (3.19) chega-se a:

$$T = \frac{1}{b} [\Delta p - r - st - k(s + t)] \quad (3.20)$$

Analisando a equação (3.20) percebe-se que quanto maior a diferença entre os preços de um produto, respectivamente nos pontos de destino e origem, maior será a tonelage transportada anualmente. SMITH (1975) apresenta uma outra forma da equação (3.20), a qual pode ser obtida com o uso de técnicas econométricas:

$$T_{ijkmt} = a_0 + a_1 \Delta p_{ijkt} + a_2 r_{ijkmt} + a_3 (s_{jkt} t_{ijkmt}) + a_4 (s_{jkt} + t_{ijkmt}) \quad (3.21)$$

onde os índices indicam o seguinte:

i = origens;

j = destinos;

k = mercadorias;

m = modos de transporte;

t = período (em anos);

T = quantidade embarcada anualmente em toneladas.

SMITH (1975) afirma que uma deficiência deste modelo é o fato de ser baseado exclusivamente em considerações de maximização do lucro a curto prazo. Isto é, ele não consegue captar outras motivações que podem vir a influenciar as decisões das empresas, como, por exemplo, a maximização do lucro a longo prazo, a qual muitas vezes implica em lucros menores a curto prazo. Este é o caso típico que ocorre quando as empresas desejam penetrar ou ampliar a sua participação em um mercado competitivo.

#### 3.4.4. Modelos Gravitacionais

Os primeiros Modelos Gravitacionais foram desenvolvidos tomando por base uma analogia com a Física Newtoniana. Dessa forma, os fluxos de transporte entre dois pontos são diretamente proporcionais à “forças atrativas” (como, por exemplo, população, renda, produção, consumo) e inversamente proporcionais a um fator relacionado à separação espacial entre os pontos, geralmente chamado de “fator de impedância” (como, por exemplo, distância, custo de viagem, tempo de viagem, taxa de frete).

De maneira geral e simples, um Modelo Gravitacional pode ser representado da seguinte forma:

$$T_{ij} = f(X_i, Y_j, C_{ij}) \quad (3.22)$$

onde:

$T_{ij}$  = fluxo de “i” para “j”;



$X_i$  = produção na origem "i";

$Y_j$  = demanda no destino "j";

$C_{ij}$  = custos de transporte entre "i" e "j".

Há um grande número de especificações de Modelos Gravitacionais, sendo aplicados extensivamente nos estudos de viagens de passageiros, tanto no caso urbano como interurbano. Entretanto, o uso destes modelos em estudos de fluxos de mercadorias é menos extenso e mais recente do que no caso do transporte de passageiros (SMITH, 1975, ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994).

HEGGIE (1972), IN SMITH (1975), apresenta uma especificação de Modelo Gravitacional usada pelo Ministério dos Transportes Britânico em 1966. Nesse estudo, a equação gravitacional assume a seguinte forma:

$$T_{ij} = KO_i D_j^\alpha d_{ij}^{-\beta} \quad (3.23)$$

onde:

$T_{ij}$  = fluxo entre "i" e "j";

K = uma constante;

$O_i$  = total de carga originada em "i", igual a  $\sum_j T_{ij}$ ;

$D_j$  = total de carga destinada a "j", igual a  $\sum_i T_{ij}$ ;

$d_{ij}$  = distância entre "i" e "j";

$\alpha, \beta$  = parâmetros a serem calibrados.

O modelo dado pela equação (3.20) foi usado para tentar explicar o tráfego através dos portos americanos, obtendo resultados sofríveis.

Um outro estudo utilizando Modelo Gravitacional em transporte de carga, também usado pelo Ministério Britânico de Transporte, é citado por SMITH (1975) e apresentado em CHISHOLM e O'SULLIVAN (1973). Nesse caso, o modelo foi aplicado a um zoneamento com 78 regiões e seu desempenho comparado ao

desempenho obtido pelo Problema dos Transportes (PT) da Programação Linear (PL). Especificamente no caso em questão, a formulação de PL apresentou um desempenho bastante superior em comparação ao Modelo Gravitacional, para a explicação dos fluxos de mercadorias.

Em contraste com os resultados citados acima, SMITH (1975) cita os resultados obtidos por BLACK (1971), que obteve resultados mais satisfatórios usando um Modelo Gravitacional, em vez do Problema dos Transportes da PL, para explicar os fluxos de carga em uma região dividida em 9 zonas de tráfego e considerando 24 mercadorias distintas.

MERA (1971) também compara os resultados obtidos por um Modelo Gravitacional e o Problema dos Transportes da PL. Ele estudou a predição de fluxos inter-regionais de mercadorias, usando dados de embarques da Ferrovia Oeste do Paquistão do mês de março de 1962. Esse autor concluiu que, em geral, para grupos mais agregados de mercadorias, o modelo gravitacional obteve predições mais próximas da realidade. No entanto, a abordagem de Programação Linear obteve melhores resultados num nível mais desagregado, ou seja, para grupos mais homogêneos de mercadorias.

POLENSKE (1966), IN SMITH (1975), compara o desempenho de Modelos Gravitacionais frente aos Modelos de Divisão de Mercado (ou Modelos de "Market-Share"), na predição dos fluxos interzonais de frutas e vegetais nos Estados Unidos. Segundo este autor, o modelo gravitacional apresentou melhores resultados.

ORTÚZAR e WILLUMSEN (1994) apresentam a seguinte especificação de Modelo Gravitacional (duplamente restrito), o qual pode ser aplicado por tipo de mercadoria:

$$T_{ij}^k = A_i^k B_j^k O_i^k D_j^k e^{-\beta c_{ij}^k} \quad (3.24)$$

onde:

k = índice indicativo do tipo de mercadoria;

$T_{ij}^k$  = fluxo (geralmente em toneladas) da mercadoria "k", da origem "i" ao destino "j";

$O_i^k$  = oferta (ou produção, ou total originado) da mercadoria "k" na zona de origem "i";

$D_j^k$  = demanda (ou total destinado) da mercadoria "k" na zona de destino "j";

$A_i^k, B_j^k$  = Fatores de balanceamento relativos às origens e aos destinos, respectivamente, para a mercadoria "k";

$c_{ij}^k$  = custo generalizado de transporte (por tonelada) da mercadoria "k" entre as zonas "i" e "j";

$\beta^k$  = parâmetro de calibração relativo ao custo para a mercadoria "k".

A idéia do uso de uma função de custo generalizado de transporte, para o caso de carga, de acordo com ORTÚZAR e WILLUMSEN (1994), foi devida a KRESGE e ROBERTS (1971). Uma função desse tipo normalmente tem a seguinte forma:

$$c_{ij} = f_{ij} + b_1 t_{ij} + b_2 \sigma_{t_{ij}} + b_3 w_{ij} + b_4 p_{ij} \quad (3.25)$$

onde:

$f_{ij}$  = despesa direta para o uso de um serviço de transporte de "i" a "j";

$t_{ij}$  = tempo de viagem porta-a-porta entre "i" e "j";

$\sigma_{t_{ij}}$  = variabilidade do tempo de viagem  $t_{ij}$ ;

$w_{ij}$  = atraso provável do serviço de transporte entre "i" e "j";

$p_{ij}$  = probabilidade de perda ou de dano a uma determinada mercadoria em trânsito;

$b_1, b_2, b_3, b_4$  = parâmetros a serem determinados.

### 3.4.5. Modelos de Modo-Abstrato

Estes modelos enquadram-se na categoria dos chamados Modelos de Demanda Direta. Quandt (1970), In Hutchinson (1979) descreve estes tipos de modelos da seguinte maneira: “*Supõe-se que os consumidores tenham à disposição vários destinos e/ou modalidades de viagens que podem ser consideradas como bens econômicos, cada qual dispendo de seu próprio preço e dentre os quais o consumidor escolherá de modo a maximizar, implícita ou explicitamente, algum índice de satisfação.*” Um dos primeiros modelos de demanda direta desenvolvidos foi o Modelo de Modo-Abstrato desenvolvido por QUANDT e BAUMOL (1966). Os Modelos de Modo-Abstrato são assim denominados porque eles utilizam “atributos modais abstratos” para descrever os modos de transporte. A abordagem proposta pelos autores supra-citados é consistente com a Teoria do Consumidor da Microeconomia, e reconhece que as pessoas geralmente não adquirem um “produto simples”, mas sim diferentes combinações de atributos ou características.

Uma especificação para este tipo de modelo, aplicada a transporte de carga, é apresentada em SMITH (1975):

$$T_{mij} = \alpha_0 P_i^{\alpha_1} P_j^{\alpha_2} Y_i^{\alpha_3} Y_j^{\alpha_4} M_i^{\alpha_5} M_j^{\alpha_6} N_{ij}^{\alpha_7} f_1(H) f_2(c) \quad (3.26)$$

$$f_1(H) = (H_{ij}^b)^{\alpha_8} (H_{mij}^r)^{\alpha_9} \quad (3.27)$$

$$f_2(c) = (c_{ij}^b)^{\alpha_{10}} (c_{mij}^r)^{\alpha_{11}} \quad (3.28)$$

onde

$T_{mij}$  = fluxo de carga entre “i” e “j” pelo modo “m”;

$P_i$  e  $P_j$  = populações das zonas “i” e “j”, respectivamente;

$Y_i$  e  $Y_j$  = rendas das zonas “i” e “j”, respectivamente;

$M_i$  e  $M_j$  = índices de características industriais e/ou institucionais de “i” e “j”, respectivamente;

$H_{ij}^b$  = menor tempo de embarque (embarque mais rápido) entre "i" e "j";

$H_{mij}^r$  = tempo de embarque relativo para o m-ésimo modo;

$c_{ij}^b$  = custo mínimo de embarque para uma mercadoria;

$N_{ij}$  = número de modos servindo "i" e "j".

Geralmente, a equação (3.26) é convertida em uma forma log-linear, a qual é estimada por regressão através da técnica de mínimos quadrados. Quando usada para estimar  $T_{mij}$  de maneira direta, três dos quatro estágios tradicionais de planejamento de transporte (Geração, Distribuição e Repartição Modal) são tratados simultaneamente. No entanto, muitas vezes, estes estágios são tratados separadamente na aplicação deste tipo de modelo (MAYBERRY, 1968, IN SMITH, 1975). Este mesmo autor cita os estudos em transporte de carga feitos pela Universidade de Carnegie-Mellon e pela Universidade do Estado da Pennsylvania, os quais usam Modelos de Modo-Abstrato exclusivamente na etapa de Repartição Modal.

Voltando à especificação apresentada [equação (3.26)], SMITH (1975) cita como um problema dessa especificação o fato de, às vezes, conduzir a resultados incoerentes, como os seguintes:

- Muitas vezes, as mudanças nos atributos de um modo de transporte, que não seja o m-ésimo modo que está sendo considerado ou o melhor dentre todos os modos considerados, não afeta a demanda estimada para o m-ésimo modo;
- A introdução de um novo modo de transporte pode vir a aumentar a demanda por um modo de transporte já existente.

GRONAU e ALCALY (1969) comparam os Modelos de Modo-Abstrato e Modelos Gravitacionais e concluem que a explicação obtida pelos primeiros para a demanda de viagens por um determinado modo de transporte é, em termos de precisão dos resultados, semelhante aos resultados obtidos por um Modelo Gravitacional Simples para o volume total de viagens (isto é, por todos os modos).

SMITH (1975) conclui que estes modelos, no caso do transporte de carga, apresentam resultados parecidos com os obtidos pelos Modelos Gravitacionais mais simples, e são mais recomendados especificamente para a etapa de Repartição Modal.

### 3.4.6. Modelos de Programação Linear

A Programação Linear é uma técnica de otimização que envolve a maximização ou minimização de uma Função Objetivo linear sujeita à restrições lineares especificadas. Assim sendo, no contexto do transporte de carga, tipicamente minimizam-se os custos de transporte (ou custos de transporte mais custos de produção) sujeitos à restrições de capacidade de produção nas origens e à restrições de atendimento da demanda ou capacidade de armazenagem nos destinos.

SMITH (1975) apresenta uma formulação do Problema dos Transportes da Programação Linear para uma situação considerando uma economia multi-regional, para um único tipo de mercadoria:

$$\text{Min } C = \sum_i \sum_j c_{ij} T_{ij} \quad (3.29)$$

s.a:

$$\sum_j T_{ij} \leq O_i \quad (3.30)$$

$$\sum_i T_{ij} \geq D_j \quad (3.31)$$

onde é assumido que:

$$\sum_i O_i \geq \sum_j D_j \quad (3.32)$$

$$T_{ij} \geq 0 \quad (3.33)$$

e onde:

$c_{ij}$  = custo de produção por unidade de fluxo, na região "i", mais o custo de transporte por unidade de fluxo para "j";

$C$  = custo total do sistema;

$T_{ij}$  = fluxo entre "i" e "j" (normalmente em toneladas);

$O_i$  = capacidade de produção da mercadoria em "i";

$D_j$  = quantidade de mercadoria demandada em "j".

Na formulação vista anteriormente, a equação (3.30) indica que a capacidade de produção não é excedida para qualquer origem "i", enquanto a equação (3.31) indica que as demandas nos destinos "j" são satisfeitas. Já as considerações expressas pelas equações (3.32) e (3.33) indicam que a demanda total não excede a produção total e que os fluxos obtidos na solução devem ser não-negativos, respectivamente.

Embora a Programação Linear normalmente seja usada para obter-se um sistema de produção e distribuição eficiente, essa técnica pode também ser usada para estimar produção e fluxos de troca para dados níveis de demanda regional. Nessa linha, SMITH (1975) cita os trabalhos de HEADY e SKOLD (1966), MERA (1971) e CHISHOLM e O'SULLIVAN (1973). Segundo estes autores, para obter bons resultados na estimação de fluxos de carga, a Programação Linear deve ser aplicada somente à grupos homogêneos de mercadorias. Assim, em situações nas quais os dados sobre transporte de carga estavam bem desagregados e onde a maioria dos fluxos seguia um pequeno número de rotas, havia uma forte tendência em favor do uso dos métodos de Programação Linear para a etapa de distribuição de tráfego.

### **3.5. ALGUMAS ABORDAGENS USADAS NOS ÚLTIMOS ANOS NA ANÁLISE PREDITIVA EM TRANSPORTE DE CARGA**

HARKER (1985) faz uma revisão de três abordagens, no que diz respeito à modelagem, do problema da predição em sistemas de transporte de carga. Esta classificação pode ser resumida como segue:

- Modelos Econométricos;
- Modelos de Equilíbrio em Redes;
- Modelos de Equilíbrio de Preços Espaciais.

#### **3.5.1. A Abordagem Econométrica na Modelagem em Transporte de Carga**

A modelagem usando técnicas econométricas, para análise de sistemas de transporte de carga, geralmente envolve o uso de Séries Temporais e "Cross-Section". Em geral, modelos deste tipo não trabalham com uma descrição detalhada da rede de transporte, isto é, trabalham com esquemas bem simplificados da referida rede e, muitas vezes, acabam por ignorar uma série de complexidades presentes em um sistema real. Além disso, este tipo de abordagem tipicamente focaliza somente o relacionamento entre os agentes "embarcadores-transportadores-governo", ignorando os outros agentes e inter-relacionamentos apresentados na Figura 3.1.

WINSTON (1983) apresenta um modelo econométrico agregado que tem sido muito usado na análise da demanda em transporte de carga, especificamente na questão da divisão modal. Tal modelo pode ser especificado como:



$$\ln \frac{S_i}{S_j} = a_0 + a_1(P_i - P_j) + \sum_{k=2}^K a_k (X_{ik} - X_{jk}) \quad (3.34)$$

onde:

$\frac{S_i}{S_j}$  = razão entre as frações de mercado ocupadas pelos modos de

transporte "i" e "j", respectivamente;

$(P_i - P_j)$  = diferença de preços entre os modos "i" e "j";

$(X_{ik} - X_{jk})$  = diferença entre outras variáveis k, como por exemplo, tempo médio de viagem entre os modos.

O modelo dado pela equação (3.34) é um Modelo Logit Agregado. É interessante notar que as variáveis consideradas nesse modelo são diferenças entre os atributos dos diferentes modos, apresentando nesse sentido uma estrutura semelhante aos Modelos de Modo Abstrato apresentados na seção 3.4.5. Entretanto, como salientado por SMITH (1975), o Modelo de Modo Abstrato é mais restritivo, uma vez que a demanda pelo i-ésimo modo, nesse tipo de modelo, depende dos atributos do i-ésimo modo considerado e dos atributos do "melhor modo" (como visto na seção 3.4.5).

BOYER (1977), Apud ZLATOPER e AUSTRIAN (1989), apresenta um modelo econométrico de divisão modal, o qual foi usado para prever a repartição modal entre ferrovia e rodovia, resultantes de uma situação de desregulamentação de taxas de frete. Este autor estimou o seguinte Modelo Logit Linear, através do uso de regressão pelo método dos mínimos quadrados:

$$\ln \left[ \frac{S}{(1-S)} \right] = \sum b_i X_i + e \quad (3.35)$$

onde:

$S$  = porção de carga ferroviária, considerando o total transportado por ferrovia e rodovia entre dois estados;

$X_i$  = uma variável independente;

$e$  = termo de erro.

Nesse caso, como variáveis independentes, o autor usa tempo de transporte, quantidade transportada (em toneladas) e custo do transporte por tonelada.

Em estudo semelhante, também citado em ZLATOPER e AUSTRIAN (1989), LEVIN (1978) examina a alocação de embarques de produtos manufaturados entre modos de transporte competitivos. Este autor considera três modos de transporte: caminhões, vagões ferroviários próprios para o transporte de contêineres e os chamados "piggy-backs"<sup>1</sup>. É considerado que os embarcadores consideram uma utilidade para cada alternativa e selecionam o modo com a utilidade mais alta. A utilidade de um modo em particular é considerada depender das características do modo, das características do embarcador e das características da mercadoria embarcada. Desta forma, foi especificada a seguinte formulação Logit para o modelo:

$$\ln\left(\frac{P_i}{P_j}\right) = a_{ij} + \sum_{k=1}^K b_{ijk} X_{ijk} \quad i, j = 1, \dots, J \quad (3.36)$$

onde:

$P_i$  e  $P_j$  = porções de mercado do  $i$ -ésimo e do  $j$ -ésimo modo;

$X_{ijk}$  = diferença, entre os modos " $i$ " e " $j$ ", do  $k$ -ésimo atributo.

Na aplicação feita deste modelo, as variáveis independentes foram diferenças entre taxas de frete, tempos médios de viagem e variância dos tempos de viagem. O

---

<sup>1</sup> Sistema também conhecido como "Trailer on flatcar" (TOFC), teve origem nos primórdios da ferrovia americana. Consiste em colocar uma carreta (semi-reboque) sobre um vagão plataforma. Esta operação tem como principal benefício reduzir custos e tempo com transbordo da carga entre os modais, evitando com isso, investimentos em equipamentos de movimentação em terminais rodo-ferroviários.

modelo foi estimado usando o método dos mínimos quadrados, os coeficientes apresentaram os sinais esperados e foram estatisticamente significantes.

OUM (1979) analisa a demanda de carga interurbana no Canadá. Este autor formula um modelo que trata o transporte de carga como um insumo intermediário na produção de mercadorias e serviços, enquadrando-o na categoria dos chamados "modelos agregados econômicos neoclássicos", os quais geralmente especificam uma função de custo do tipo:

$$C = c(Y, q, w, P_t) \quad (3.37)$$

onde:

C = custos totais;

Y = saídas (produtos);

q = vetor de características do embarque ou remessa;

w = vetor de preços de diversos fatores, excluindo o fator preço de transporte;

$P_t$  = vetor de preços de transporte, correspondendo aos possíveis modos de transporte disponíveis para o traslado da carga.

De acordo com o Lema de Shephard (VARIAN, 1992), a demanda por transporte de carga pelo modo "i" ( $X_t^i$ ) é dada por:

$$\frac{\partial C(\cdot)}{\partial P_t^i} = X_t^i(Y, q, w, P_t) \quad (3.38)$$

Nesse estudo, OUM considera em seu modelo três modos de transporte: ferrovia, rodovia e hidrovía; além disso, usa uma forma funcional para a função de custo, chamada Função Translog, e chega a seguinte especificação para os três modos considerados:

$$S_{it} = a_i + \sum_{j=1}^2 b_{ij} \ln\left(\frac{P_{jt}}{P_{3t}}\right) + C_i T_t + \varepsilon_{it} \quad i = 1, 2, 3 \quad t = 3, 4, \dots, T \quad (3.39)$$

onde:

$S_{it}$  = parcela de despesas do i-ésimo modo;

$P_{it}$  = taxa de frete do i-ésimo modo no ano t;

$T_t$  = variável de tendência para representar a situação de tecnologia no ano t;

$a_i, b_{ij}, c_i$  = parâmetros;

$\varepsilon_{it}$  = termo de erro.

OUM (1979) e FRIEDLAENDER e SPADY (1980) analisam funções de demanda obtidas para transporte de carga. Nesta análise, é especificada uma função de custo variável a curto-prazo para uma firma. Os fatores independentes na função foram: produtos (as "saídas") agregados, dois insumos presumivelmente fixos (capital e energia) e os preços de três insumos (as "entradas") presumivelmente variáveis (trabalho, serviços ferroviários e serviços rodoviários). Desta forma, funções de demanda a curto-prazo para os modos de transporte ferroviário e rodoviário foram obtidas a partir da função de custo. Nesse caso, os autores também assumem que a função de custo da firma pode ser representada por uma função translog. Pela derivação desta função translog em relação aos preços dos serviços de transporte (isto é, usando o Lemma de Shephard), os autores obtêm a seguinte equação para a repartição entre os serviços rodoviário e ferroviário:

$$S_i = \alpha_i + \sum_j A_{ij} \ln(P_j) + \sum_h B_{ih} \ln(X_h) \quad i = R, F \quad (3.40)$$

onde:

$S_i$  = fração do custo para o modo "i" (isto é, divisão das despesas totais da firma pelo custo variável a curto-prazo do modo "i");

$P_j$  = preço do modo j;

$X$  = vetor dos insumos fixos (capital e energia) e produtos agregados;

R, F = modo rodoviário e ferroviário, respectivamente;

### 3.5.2. Modelos de Equilíbrio em Redes

Com a finalidade de predizer como a demanda por transportes comportar-se-á no espaço e no tempo, é importante que a infra-estrutura de transporte seja representada de uma maneira formal e simples, mas suficientemente detalhada. Desta forma, a abordagem adotada quase universalmente é representar a infra-estrutura por um conjunto de *arcos* e um conjunto de *nós*, os quais representarão formalmente a rede de transporte

#### 3.5.2.1. Princípios da representação em rede

Na representação em rede, um *arco* conecta dois *nós* e um *nó* conecta dois ou mais *arcos*. Os arcos podem ter várias características, sendo que no contexto de análise de redes de transporte, as principais características de interesse são:

- Custo do arco (por exemplo, tempo de viagem, distância de viagem ou uma combinação linear de tempo e distância);
- Capacidade do arco (isto é, o máximo fluxo que pode passar pelo arco em uma unidade de tempo).

Conceitua-se como *movimento* em uma rede de transporte ao fluxo com uma origem e um destino especificados. Origens e destinos podem corresponder a construções específicas (como um armazém, uma estação, etc) ou corresponder simplesmente a uma zona de tráfego, dependendo do nível de agregação do estudo que está sendo realizado. Dentro de uma rede de transporte, origens e destinos podem ser representados por tipos especiais de nós, chamados de *centróides*. Além disso, cada centróide é conectado a um ou mais *nós internos* através de arcos que são denominados *conectores de centróides* (ou simplesmente *conectores*). É importante frisar que, enquanto os arcos geralmente correspondem a partes perfeitamente identificáveis da infra-estrutura de transportes (como um trecho de

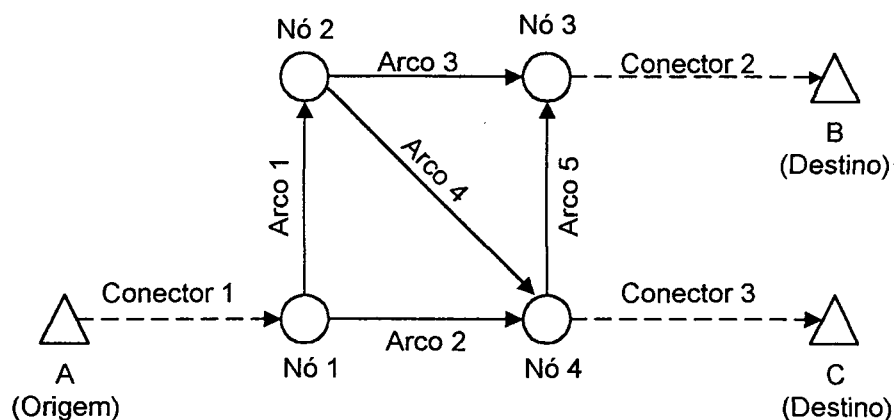
rodovia ou ferrovia, por exemplo), *conectores de centróides* são, na verdade, artificios usados quando o *centróide* corresponde a uma zona de tráfego, a qual possui, na realidade, múltiplas entradas e saídas.

BELL e IIDA (1997) apresentam um exemplo de representação de uma rede de transporte, com os seguintes elementos:

- 1 centróide origem;
- 2 centróides destinos;
- 5 arcos;
- 4 nós internos;
- 3 conectores de centróides;
- 5 caminhos.

Este referido exemplo está apresentado na Figura 3.2.

É interessante observar que a terminologia apresentada anteriormente difere um pouco da que é normalmente usada na Matemática (especificamente na Teoria dos Grafos), e é freqüentemente usada na área de Planejamento de Transportes e Engenharia de Tráfego.



**Fig. 3.2: Um exemplo de representação de rede de transporte**  
**Fonte: BELL e IIDA (1997)**

Outras definições bastante comuns e geralmente úteis são as de *caminho*, *circuito* e *árvore*, cujos esquemas podem ser vistos na Figura 3.3. A tabela 3.2, apresentada a seguir, resume os principais conceitos vistos nesta seção.

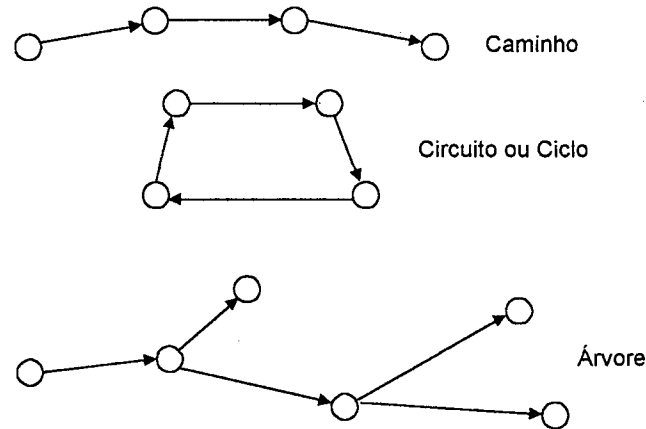


Fig. 3.3: Representação de um caminho, um circuito e uma árvore

Tabela 3.2: Conceitos em Redes e suas definições

CONCEITO	DEFINIÇÃO
1. Nó	Junção de dois ou mais arcos. Ou ele é um nó interno (nem origem, nem destino) ou um centróide (origem ou destino).
2. Arco	Canal para fluxo entre dois nós.
3. Conector de Centróide	Arco entre um centróide e um nó interno.
4. Movimento	Fluxo entre uma origem e um destino especificados.
5. Caminho	Uma seqüência de nós conectados por arcos em uma direção, sendo que um movimento é possível do primeiro nó ao último nó, na seqüência. Em geral, o primeiro e o último nó são centróides.
6. Circuito	Um caminho com o mesmo nó no início e no fim.
7. Árvore	Um grafo no qual cada par de vértices é ligado por um e somente um caminho simples.

### 3.5.2.2. Técnicas de alocação de tráfego em redes

As técnicas de alocação de tráfego baseiam-se em considerações de "equilíbrio do usuário", que postulam que os viajantes (ou os decisores sobre as rotas dos embarques, no caso do transporte de carga) escolhem suas rotas para minimizar os seus custos ou tempos de viagens individuais (WARDROP, 1952, IN EASA, 1991). Em seu trabalho, Wardrop também discute outra abordagem, referida como "equilíbrio do sistema", na qual o tráfego é alocado à rede de forma a minimizar o tempo de viagem médio (ou o custo médio) de todo o sistema. Esta última abordagem não é apropriada, em princípio, para redes rodoviárias convencionais, mas pode ser interessante para redes onde uma entidade decisora é responsável pela alocação das viagens às diversas rotas disponíveis para chegar ao equilíbrio do sistema.

EASA (1991) cita as principais técnicas baseadas em considerações de "equilíbrio do usuário":

- Alocações "tudo-ou-nada";
- Alocações de equilíbrio determinístico (restrição de capacidade e otimização matemática);
- Alocações de equilíbrio estocástico (multinomial Logit e multinomial Probit).

Maiores detalhes sobre cada uma das técnicas de alocação mencionadas anteriormente podem ser vistos em SHEFFI (1985) e BELL e IIDA (1997). Nesse trabalho, apenas será apresentada uma tabela-resumo com as principais características e restrições destas técnicas (vide Tabela 3.3).



Tabela 3.3: Principais Técnicas de Alocação de Tráfego

		TÉCNICA			
		EQUILÍBRIO DETERMINÍSTICO		EQUILÍBRIO ESTOCÁSTICO	
Alocação "tudo-ou-nada"		Alocação com restrição de capacidade	Otimização Matemática	Multinomial Logit	Multinomial Probit
Principais Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aloca toda a demanda entre cada par O-D pela rota de menor custo;</li> <li>• Uso simples e barato;</li> <li>• Resultados são facilmente interpretados;</li> <li>• Podem ser usados para investigar deficiências futuras na capacidade;</li> <li>• Disponibilidade de pacotes computacionais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais realístico do que a alocação "tudo-ou-nada", já que ela distribui viagens sobre as diversas rotas;</li> <li>• Mais aplicável para alocação no horário de pico;</li> <li>• Considera a capacidade dos arcos e variação no tempo de viagem com o fluxo;</li> <li>• Resultados são facilmente interpretados;</li> <li>• Disponibilidade de pacotes computacionais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garante convergência para uma solução de equilíbrio;</li> <li>• Considera a capacidade dos arcos e variação do tempo com o fluxo;</li> <li>• Fornece resultados semelhantes aos métodos estocásticos para redes congestionadas;</li> <li>• Disponibilidade de pacotes computacionais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de viagem percebido num caminho é considerado ser uma variável aleatória;</li> <li>• Computacionalmente eficiente: exige custos ligeiramente mais altos do que a alocação "tudo-ou-nada";</li> <li>• Disponibilidade de pacotes computacionais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de viagem num caminho é considerado ser uma variável aleatória;</li> <li>• Considera as sobreposições entre rotas;</li> <li>• Conceitualmente é o mais promissor.</li> </ul>
	Principais Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não considera a capacidade nos arcos ou variação no tempo de viagem com o fluxo;</li> <li>• Ignora totalmente o equilíbrio;</li> <li>• Pode gerar resultados não realísticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não garante convergência para uma solução de equilíbrio;</li> <li>• Exige custos computacionais bem maiores do que a alocação "tudo-ou-nada";</li> <li>• Pode exigir um número grande de iterações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulação pode ser de difícil compreensão;</li> <li>• Literatura sobre sua operação e aplicação é limitada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulação pode ser de difícil compreensão;</li> <li>• Não adequado onde as rotas alternativas estão sobrepostas;</li> <li>• Parâmetros do Logit são difíceis de estimar diretamente.</li> </ul>

### 3.5.2.3. Alguns modelos preditivos de rede em transporte de carga

No setor de transporte de carga, os modelos de rede tratam principalmente com as ações de embarcadores, transportadores e transportadores potenciais, isto é, os agentes econômicos e interações esquematizados na parte inferior da Figura 3.1. A seguir, será dada uma descrição objetiva dos principais modelos deste tipo, desenvolvidos desde a década de 60.

#### *a) Modelo de Harvard-Brookings:*

Este trabalho foi desenvolvido inicialmente em 1966, sofrendo algumas atualizações no ano de 1971 (ROBERTS, 1966 e KRESGE e ROBERTS, 1971, Apud FRIESZ et al., 1983). Nesse modelo, aplicado à rede de transporte da Colômbia, os arcos correspondem às principais rotas de transporte do país e os nós às cidades ou regiões. O modelo é multimodal, incluindo os modos rodoviário, ferroviário, aeroviário e hidroviário, e também é multiproduto, considerando vários produtos. A escolha modal dos embarcadores e as principais rotas utilizadas são obtidas através da determinação de caminhos de custo mínimo na rede intermodal, sendo que as impedâncias consideradas são os custos de embarque percebidos pelos embarcadores, as quais são usadas como unidades constantes das origens aos destinos. Estes custos, então, são usados em um Problema dos Transportes (PT) da Programação Linear (visto na seção 2.4.6) para a determinação dos fluxos de transporte entre os pares de origem-destino (isto é, na realização do processo de distribuição de viagens). Os valores globais de produção e consumo, os quais são necessários para especificar as restrições do PT, são obtidos com o uso um modelo macroeconômico ou econométrico independente. Para certos grupos de produtos, os autores optaram por usar um Modelo Gravitacional, em vez da formulação do Problema dos Transportes. Depois que o processo de distribuição de viagens é completado, os fluxos são alocados à rede intermodal pelo uso dos caminhos mínimos achados previamente.

*b) Modelo de Rede de Transporte (MRT):*

Este modelo foi desenvolvido como uma parte de um estudo denominado Estudo Nacional de Transporte e Energia, nos Estados Unidos. Embora o modelo tenha sido planejado para aplicação geral, ele não foi, como originalmente concebido, usado para prever o padrão de origens-destinos de embarques de cargas, uma vez que a demanda de transporte é considerada fixa no referido modelo. A versão original deste modelo, no entanto, considera todos os modos de transporte possíveis e pode trabalhar com vários tipos de mercadorias. Assim, são consideradas as seguintes premissas:

- As rotas usadas para o transporte das cargas resultam exclusivamente de decisões dos embarcadores, buscando encontrar as rotas de mínimo custo;
- O custo de uma rota é uma combinação linear do custo em dólares, do tempo de viagem e de custos energéticos.

É importante frisar que este modelo ignora qualquer papel que os transportadores possam ter na roteirização das cargas.

Segundo FRIESZ et al (1983), nesse modelo as "cargas de retorno" são tratadas indiretamente através de ajustamentos de funções de custo e atraso nos arcos. Além disso, a versão mais recente desse modelo emprega um submodelo independente para determinar o comportamento de roteirização dos transportadores, o qual emprega impedâncias fixas e algoritmos de caminho mínimo. Ainda segundo este mesmo autor, os carregamentos totais alocados aos arcos pelo modelo foram comparados aos carregamentos reais nos arcos, e os resultados obtidos foram insatisfatórios.

*c) Modelo de Peterson:*

HARKER (1985) e FRIESZ et al (1983) mencionam o trabalho desenvolvido por PETERSON e FULLERTON (1975), que consiste em um modelo de rede

preditivo que incorpora funções de custo e funções de atraso não-lineares para os elementos da rede. Este modelo considera apenas um produto e os movimentos de origem-destino são assumidos como fixos e são obtidos exogenamente. Também considera apenas um agente decisor. Para os autores desse trabalho, o Segundo Princípio de Wardrop de otimização de sistemas (no qual os custos totais da rede são minimizados), é preferível ao Primeiro Princípio de Wardrop de otimização do usuário (no qual os agentes envolvidos nos movimentos de origem-destino tentam minimizar os seus custos individuais) na situação onde há um transportador controlador. No entanto, se os decisores sobre rotas são os embarcadores, então a otimização do usuário parece ser a melhor opção. No modelo em questão, os autores consideram a primeira situação.

Segundo FRIESZ et al (1983) não estão disponíveis testes da capacidade preditiva deste modelo em relação a dados reais conhecidos.

*d) Modelo de Lansdowne:*

LANSDOWNE (1981) propõe um modelo de alocação de tráfego em rede tipicamente ferroviária. Ele trata com as interações entre embarcadores e transportadores, bem como as interações entre diferentes transportadores. Este modelo considera como dado de entrada uma matriz de viagens ferroviárias. Fornece como saída um conjunto de rotas ferroviárias, incluindo os pontos na linha ferroviária onde o controle da carga é transferido de um transportador para outro.

São adotadas as seguintes premissas básicas nesse modelo:

- As únicas rotas que são escolhidas por um embarcador são aquelas com o mínimo número de pontos de transbordo;
- Cada transportador usa o caminho de mínima distância em sua sub-rede;

- De todas as rotas disponíveis, a que maximiza a renda dos transportadores é a escolhida;

- Quando existe mais de um transportador servindo a um ponto de origem em particular, então os embarques são divididos igualmente entre todos os transportadores.

FRIESZ et al (1983) faz algumas considerações sobre as premissas consideradas anteriormente. Segundo este autor, a primeira premissa parece ser bastante razoável, uma vez que o aumento de pontos de parada e/ou transbordo gera despesas adicionais, atrasos e incertezas para o embarcador. Já a segunda premissa, ignora uma série de fatores que deveriam ser considerados: por exemplo, as condições de projeto e manutenção da via e atrasos causados em pátios e terminais, certamente também influenciariam na escolha da rota pelo transportador, além da simples consideração da distância. A terceira e quarta condições são consideradas serem razoáveis, uma vez que o transportador que serve um determinado ponto de origem é o que oferece os vagões e negocia as taxas de frete, estando portanto em uma situação privilegiada em relação às outras ferrovias.

Ainda de acordo com este último autor, em relação a este modelo, não são apresentados testes de sua capacidade preditiva em comparação com dados conhecidos.

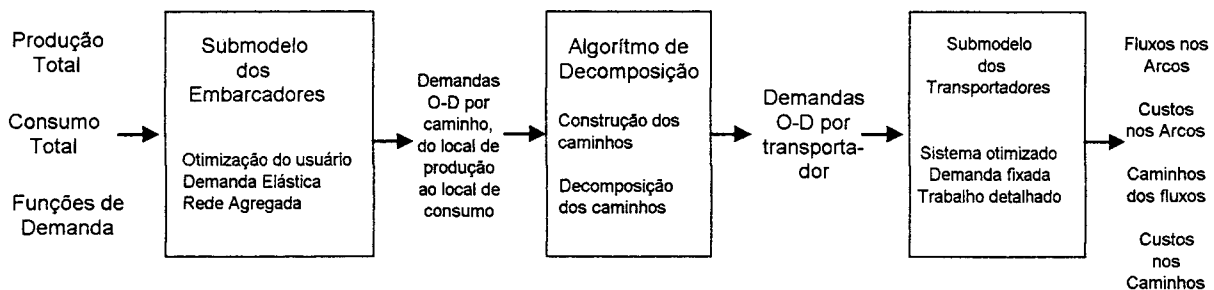
*e) Modelo de Princeton:*

Este modelo também é tipicamente ferroviário, e utiliza dois submodelos (KORNHAUSER, 1979, IN FRIESZ et al, 1983). O primeiro submodelo, chamado modelo de geração de rotas intra-transportadores, usa o critério do caminho de mínimo custo em redes ferroviárias pertencentes a um único transportador. O segundo submodelo, chamado modelo de geração de rotas inter-transportadores, trabalha sobre uma rede de vários transportadores. No entanto, os carregamentos

nos diversos arcos da rede, preditos por este modelo, não coincidiram com os carregamentos reais publicados pela "Federal Railroad Administration" (FRA).

*f) Modelo de Equilíbrio de Rede de Carga (MERC):*

Este modelo foi desenvolvido pela Universidade da Pennsylvania e pelo Laboratório Nacional de Argonne. Ele trabalha explicitamente com as decisões de embarcadores e transportadores, considerando uma rede de transporte de carga intermodal. Além disso, usa funções de custo e funções de atraso não-lineares, as quais variam com o volume de produtos. Desta forma, o modelo considera a questão do congestionamento. FRIESZ et al (1993) apresenta um diagrama esquemático para resumir o funcionamento deste modelo, que pode ser visto na Figura 3.4.



**Fig. 3.4: Uma visão do MERC**

**Fonte: FRIESZ et al (1993)**

Como pode ser visto no esquema da Figura 3.4, o modelo trata embarcadores e transportadores de forma seqüencial. Os embarcadores são considerados como sendo usuários tentando otimizar, de forma individual, os preços de entrega de seus produtos e, portanto, o Primeiro Princípio de Wardrop é usado para descrever o seu comportamento. O submodelo que trata dos embarcadores considera uma demanda de transporte elástica e o modelo de alocação de viagens à rede pelo critério de otimização do usuário é expresso como um problema de programação matemática e é resolvido através do uso dos algoritmos de Frank-Wolf (FERNANDEZ e FRIESZ,

1983). Já o submodelo que trata dos transportadores, considera que os mesmos procuram minimizar os seus custos operacionais globais na rede e a modelagem baseia-se no Segundo Princípio de Wardrop. Segundo FRIESZ et al (1983) este modelo apresenta uma resposta cerca de 50% melhor do que o modelo "MRT", visto no item (b) anteriormente.

*g) Modelo STAN:*

O Modelo STAN (Strategic Transportation Analysis) foi desenvolvido entre os anos de 1984 e 1987, como resultado de um convênio de cooperação técnico-científico envolvendo o GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes), a Universidade de Montreal (Canadá) e a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, sob o título de "Desenvolvimento de um Modelo de Alocação de Cargas em Redes de Transporte - Sistema STAN".

Este modelo constitui-se em um método gráfico interativo, multiproduto e multimodal, para ser usado como instrumento de planejamento estratégico de transporte de cargas, destinando-se, principalmente, à comparação e avaliação de sistemas alternativos de transporte. Ele possui como característica o fato de permitir a visualização instantânea, em forma gráfica, dos dados de entrada e dos resultados obtidos.

No que diz respeito à formulação matemática, o modelo STAN pode ser formulado como um problema de minimização de custos (GUÉLAT et al, 1990):

$$\text{Min } F = \sum_{p \in P} \left[ \sum_{a \in A} s_a^p(v) \cdot v_a^p + \sum_{t \in T} s_t^p(v) \cdot v_t^p \right] \quad (3.41)$$

s.a:

$$\sum_{k \in K_{od}^{m(p)}} h_k = g_{od}^{m(p)}, \quad o \in O, d \in D, m(p) \in M(p), p \in P \quad (3.42)$$

$$v_a^p = \sum_{k \in K^p} \delta_{ak} \cdot h_k, \quad a \in A, p \in P \quad (3.43)$$

$$v_t^p = \sum_{k \in K^p} \delta_{tk} \cdot h_k \quad (3.44)$$

$$h_k \geq 0 \quad (3.45)$$

onde:

F = Custo Total (é a função objetivo a ser minimizada);

p = determinado produto transportado;

P = conjunto de todos os produtos considerados;

a = arco considerado;

A = conjunto de todos os arcos da rede;

v = volume de produtos (fluxo);

$s_a^p(v)$  = custo generalizado sobre o arco "a" para o produto "p", custo este que depende do volume de produtos na transferência;

$v_a^p$  = fluxo do produto "p" sobre o arco "a";

T = conjunto de transferências (transbordos);

t = determinada transferência;

$s_t^p(v)$  = custo generalizado na transferência "t" para o produto "p", custo este que depende do volume de produtos transferidos em um nó;

$v_t^p$  = fluxo do produto "p" na transferência "t";

k = um determinado caminho;

o = uma determinada origem;

d = um determinado destino;



O = conjunto de nós de origem;

D = conjunto de nós de destino;

M = conjunto de modos;

$m(p)$  = modos utilizados pelo produto p;

$M(p)$  = conjunto dos modos disponíveis ao produto p;

$K_{od}^{m(p)}$  = conjunto de caminhos unindo a origem "o" ao destino "d" pelo uso dos modos  $m(p)$ ;

$h_k$  = fluxo no caminho k;

$g_{od}^{m(p)}$  = quantidade movimentada da origem "o" ao destino "d" para o produto "p";

$K^p$  = conjunto de todos os possíveis caminhos para o produto p;

$$\delta_{ak} = \begin{cases} 1, & \text{se o arco pertence ao caminho k;} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\delta_{tk} = \begin{cases} 1, & \text{se a transferência t pertence ao caminho k;} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

De acordo com GEIPOT (1997), no modelo STAN, os custos de transporte constituem o fator mais importante para a alocação dos fluxos à rede de transporte. Embora outros custos pudessem também ser considerados no modelo (como, por exemplo, custos devidos a perdas e avarias), foram considerados apenas três tipos de custos, quais sejam, custos operacionais, custos de tempo e custos de energia.

A utilização do modelo STAN no projeto denominado Corredores de Transporte (GEIPOT, 1997) segue, de forma resumida, as seguintes etapas principais:

- Foi feito um levantamento da situação existente, com a definição da rede de transporte básica e os níveis atuais da demanda de mercado, no ano-base de 1995. Paralelamente, visando à coleta de dados para a alimentação do modelo, foram obtidos a matriz origem-destino e os fluxos efetivamente realizados no ano-base. Ao mesmo tempo, foram desenvolvidos estudos de custos em cada rota e nas modalidades de transporte disponíveis;

- Foi realizado o processo de otimização das rotas, levando-se em conta a matriz origem-destino e a malha viária considerada no ano-base. Os resultados dessa simulação foram comparados com os fluxos efetivamente observados em cada segmento da rede, como uma maneira de identificarem-se eventuais distorções.

- Foram estimados a matriz origem-destino e a rede de transporte para o ano 2000, com a posterior simulação dos fluxos de transporte.

De maneira geral, as rotas indicadas pelo modelo STAN como sendo as mais adequadas ao transporte, foram, em sua maioria, multimodais, diferentemente do que se observou na pesquisa junto aos usuários, na qual a rodovia mostrou-se predominante (GEIPOT, 1997). Assim sendo, a não utilização das alternativas aparentemente mais econômicas deveu-se, provavelmente, à ocorrência de outros custos, os quais percebidos pelos usuários do sistema, não foram adequadamente reproduzidos pelo modelo STAN.

FRIESZ et al (1983) apresenta uma tabela-resumo, onde compara os principais modelos de rede em transporte de carga (incluindo os modelos apresentados do item (a) ao (f) nesta seção) e que pode ser vista, nesse trabalho, na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Principais modelos preditivos de carga e suas características

MODELOS	CARACTERÍSTICAS													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
a) Harvard -Brookings (1966)	S	S	S	S	N	S	S	N	NA	NA	S	N	N	N
b) MRT (1980)	S	S	S	N	S	N	S	N	NA	NA	S	N	N	N
c) Peterson (1975)	N	N	NA	NA	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N
d) Lansdowne (1981)	N	S	S	N	N	N	S	S	S	N	S	N	N	N
e) Princeton (1979)	N	S	S	N	N	N	S	S	S	N	S	N	N	N
f) MERC (1981)	S	S	S	N	S	S	S	S	S	N	S	N	S	N
S = SIM      N = NÃO      NA = NÃO APLICÁVEL														
1. Múltiplos modos. 2. Múltiplas mercadorias. 3. Carregamentos seqüenciais. 4. Carregamentos simultâneos. 5. Congestionamento. 6. Demanda de transporte elástica. 7. Considera embarcadores explicitamente. 8. Considera transportadores explicitamente.							9. Submodelos seqüenciais para embarcadores e transportadores. 10. Submodelos simultâneos para embarcadores e transportadores. 11. Modelos seqüencias macroeconômico e de rede. 12. Modelos simultâneos macroeconômico e de rede. 13. Funções não-monótonas. 14. Restrições de frota.							

### 3.5.3. Modelos de Equilíbrio de Preços Espaciais

Segundo HARKER (1985) é difícil usar modelos preditivos de rede (vistos na seção anterior) para considerar algumas questões no processo de modelagem, tais como os insumos e produtos na indústria de transporte, ajustamentos dinâmicos, etc. Da mesma forma, os modelos de rede apresentam dificuldades intrínsecas no tratamento de questões como a substituição do capital, trabalho e energia, questões estas que normalmente são tratadas pelos modelos econométricos (vistos na seção 3.5.1).

Nesse tipo de modelo, geralmente é usada uma rede simplificada, formada por um conjunto de nós e arcos, sendo que alguns desses nós representam regiões produtoras, enquanto outros representam regiões consumidoras. Em algumas situações, alguns nós podem representar regiões que são, ao mesmo tempo,

produtoras e consumidoras. Os arcos usados na representação podem conectar as diversas regiões diretamente ou através dos chamados *nós de transbordo*, nos quais não existe nem a produção, nem o consumo de mercadorias. Funções de Demanda são associadas a cada região consumidora, enquanto Funções de Oferta são associadas a cada região produtora.

O modelo considera que os embarcadores são responsáveis por um processo de trocas entre as regiões consideradas no estudo, até que um equilíbrio seja alcançado. Tal equilíbrio, segundo HARKER (1985) é caracterizado pelas duas seguintes condições:

- Se há um fluxo de determinado produto "p", de uma região "A" para uma região "B", então o preço em "A" para o produto "p", mais o custo de transporte de "A" para "B", será igual ao preço do produto "p" na região "B";
- Se o preço do produto "p" na região "A", mais os custos de transporte de "A" para "B", é maior que o preço do produto "p" em "B", então não haverá fluxo do produto "p" de "A" para "B".

Assim sendo, nesse tipo de modelo, as demandas por transporte são obtidas como resultado das *forças de mercado* que atuam nas regiões, sendo as mesmas o resultado de um processo de equilíbrio.

Dentro desta linha de modelagem, HARKER (1987) apresenta um modelo que inclui todos os agentes e interações da Figura 3.1, chamado *Modelo de Equilíbrio de Preços Espacial* (MEPE). Este modelo é capaz de prever simultaneamente:

- a produção, consumo e preços das mercadorias em cada região;
- as taxas de frete;
- as rotas usadas para o transporte das cargas.

Ainda segundo HARKER (1987), a vantagem do MEPE consiste no tratamento simultâneo de todos os agentes econômicos envolvidos no processo de transporte, o que permite que uma extensa variedade de questões relacionadas a planejamento estratégico e políticas de transportes possam ser analisadas com o uso deste modelo.

Esse mesmo autor descreve uma aplicação desse modelo num estudo do transporte de carvão nos Estados Unidos, considerando uma representação da rede ferroviária e hidroviária americana (composta de aproximadamente 3.500 nós e 15.000 arcos). Segundo ele, o problema acima foi resolvido com um esforço computacional razoável, e conseguiu reproduzir adequadamente os fluxos de transporte do carvão. Na aplicação realizada, também foi feita uma simulação considerando situações especiais, como um aumento na exportação do carvão e o fechamento de três portos americanos.

Para HARKER (1987), os resultados obtidos indicam que essa estrutura de modelagem apresenta um futuro promissor.

## **4. MODELOS COMPORTAMENTAIS E DESAGREGADOS NA MODELAGEM DA DEMANDA EM TRANSPORTE DE CARGA**

### **4.1. INTRODUÇÃO**

Os chamados Modelos Comportamentais são aqueles que procuram estabelecer relações de causa e efeito entre os principais atributos dos sistemas de transporte e as decisões possíveis de serem adotadas pelos usuários (NOVAES, 1986).

Os Modelos Comportamentais podem ser Agregados ou Desagregados. VIEIRA (1996) conceitua estes dois tipos de modelos, como segue:

- Modelos Agregados: são aqueles que utilizam como informação dados que representam a média de dezenas ou centenas de observações, baseando-se geralmente em informações zonais e interzonais;
- Modelos Desagregados: são aqueles baseados em dados individuais.

É importante ressaltar que, embora o desenvolvimento dos modelos desagregados esteja alicerçado em teorias que têm por base o comportamento de um indivíduo, suas aplicações podem ser estendidas para o caso do transporte de carga, sendo que, neste caso, o indivíduo é o tomador de decisão que responde pela empresa (AZAMBUJA, 1995, SWAIT, LOUVIERE e WILLIAMS, 1994 e VIEIRA, 1996).

Este capítulo trata da aplicação dos Modelos Desagregados ao setor de transporte de carga, com ênfase nos Modelos Comportamentais Desagregados.

## 4.2. A ABORDAGEM COMPORTAMENTAL E DESAGREGADA EM TRANSPORTES

Os modelos desagregados foram inicialmente desenvolvidos na área de transporte de passageiros e, até os dias atuais, são vastamente usados na modelagem da demanda de transporte nesse setor. Assim sendo, surgiu a idéia de estendê-los para o setor de transporte de carga (GRAY, 1982, Apud ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994).

No caso do transporte de carga, nessa abordagem, a demanda de transporte é vista como o resultado de várias consignações individuais, cada uma com suas próprias características, para as quais o embarcador tem que tomar várias decisões de transporte. Assim, toda decisão é vista como uma escolha feita de um conjunto discreto de alternativas. Desta forma, existe um número de escolhas relacionadas a serem feitas em cada situação, como, por exemplo, transportar "x" toneladas, no tempo "t", da mercadoria "k", pelo modo de transporte "m", de uma origem "i" para um destino "j". Nesse caso, uma rota deveria ser escolhida para executar essa tarefa.

A abordagem desagregada é considerada mais flexível, em comparação com a agregada, pois partindo da Teoria Econômica do Consumidor, da Microeconomia, permite a construção de *funções utilidade*, as quais podem incluir, por exemplo:

- Características dos serviços de transporte (como tarifas, tempos de viagem, atrasos, etc);
- Atributos dos produtos transportados (como tipo de produto, perecibilidade, relação entre volume e peso, etc);
- Características gerais do mercado (como tamanho da empresa, disponibilidade de instalações, etc).

Segundo ORTÚZAR e WILLUMSEN (1994), a abordagem desagregada é difícil de ser aplicada em estudos mais amplos, como em uma escala nacional, por exemplo. Entretanto, no caso de mercados particulares e/ou mercadorias

específicas, sua aplicação pode vir a fornecer diversas informações valiosas, que podem ser extremamente úteis no processo de planejamento e avaliação de políticas de transporte.

#### **4.2.1. A Teoria Microeconômica do Consumidor**

A teoria econômica clássica do consumidor é baseada na hipótese de que o homem é um ser racional. Assim, um consumidor, em princípio, escolhe um produto ou serviço pelo conjunto de atributos que o produto possui, obedecendo uma escala subjetiva de valor para cada atributo em relação ao seu custo. Desta forma, o consumidor busca um produto ou serviço cujo somatório do valor de seus atributos multiplicado pelo custo seja igual ou inferior ao valor que ele (consumidor) está disposto a pagar.

Dentro do contexto do setor de transportes, admite-se que o usuário seja um consumidor dos serviços de transporte, de maneira análoga às situações estudadas na Microeconomia clássica, onde o consumidor normalmente é responsável pelo consumo de produtos tangíveis, tais como produtos alimentícios, manufaturados, etc. (NOVAES, 1986).

Este mesmo autor explica que uma importante premissa do enfoque comportamental e desagregado é a de que o usuário estabelece (objetiva ou subjetivamente) um elenco de opções alternativas, em ordem de preferência, quando vai tomar a decisão de usar um determinado serviço de transporte. Estabelecido esse elenco de opções, o usuário escolherá sempre a opção que ele considera a mais adequada, levando em conta suas inclinações pessoais, como também restrições de ordem econômico-financeira, de oportunidades disponíveis, etc. Também é importante ressaltar que por trás dessa premissa existe a hipótese de que os indivíduos, embora muitas vezes incorporando fatores subjetivos em seu processo de decisão, mantêm o mesmo padrão comportamental ao longo do tempo. Dessa forma, supõe-se que os padrões comportamentais, mesmo tendo uma



parcela de subjetividade, não são erráticos ou totalmente aleatórios, mas conservam-se dentro de determinados padrões.

Ainda segundo NOVAES (1986) uma outra importante premissa considerada nos modelos comportamentais de demanda de transportes é a de que o "produto" que o consumidor (o usuário) adquire não é algo simples e único, mas algo mais complexo e que pode ser considerado como sendo um "pacote de opções".

Para que possam ser especificados modelos comportamentais desagregados, um passo inicial é conseguir-se uma forma de medir quantitativamente as preferências do usuário de transporte. Isso é conseguido através do uso do conceito de *utilidade* e através da montagem de *funções utilidade*.

#### **4.2.2. Utilidade, Atributos e Funções Utilidade**

O conceito de utilidade foi concebido, inicialmente, como uma medida numérica da satisfação de um indivíduo (Varian, 1994). Assim, era natural imaginar os consumidores fazendo escolhas a fim de maximizar suas utilidades, ou seja, tornando-se tão satisfeitos quanto possível. Gradualmente, os economistas foram reconhecendo que tudo o que interessava em relação à utilidade, no que diz respeito ao comportamento de escolha do consumidor, era saber se um "pacote de opções" tinha uma utilidade maior que outro, sendo que a quantidade pela qual um era maior que o outro não tinha, na verdade, importância. Para Varian (1994) a função utilidade é uma forma de atribuir um número a cada "pacote de consumo possível" de modo tal que aos "pacotes" preferidos sejam atribuídos valores maiores do que aos "pacotes" menos preferidos.

As preferências de um consumidor podem ser representadas graficamente através das chamadas *curvas de indiferença*. VASCONCELLOS e OLIVEIRA (1996) explicam de maneira objetiva como construir uma curva de indiferença, considerando um exemplo clássico da Microeconomia, onde têm-se diversas cestas de mercadorias (cada cesta contendo diferentes quantidades dos bens 1 e 2,

respectivamente) à disposição dos consumidores. Inicialmente, considerando um gráfico como o da Figura 4.1, representando as diversas cestas de mercadorias possíveis, escolhe-se uma cesta de mercadorias qualquer, como, por exemplo, a cesta denotada por **A**. Seleciona-se, então, no mesmo gráfico, outras cestas de bens que têm a propriedade de ser indiferentes à cesta **A**. A representação gráfica dessas cestas de bens é uma *curva de indiferença*. Dessa forma, uma curva de indiferença pode ser conceituada como a representação gráfica de um conjunto de cestas de mercadorias que têm a propriedade de ser indiferentes entre si. Desse modo, as cestas de bens que estão sobre a curva de indiferença que passa pela cesta **A**, como, por exemplo, as cestas **B** e **C**, são cestas de bens indiferentes à cesta **A**. É importante observar que outras curvas de indiferença podem ser construídas a partir de qualquer cesta de bens que não seja indiferente à cesta de bens **A**, como, por exemplo, a cesta **D**, na Figura 3.1. Assim, existe uma infinidade de Curvas de Indiferença.

Os conceitos de utilidade e função utilidade têm sido amplamente aplicados na área de transportes para estudar o comportamento dos usuários.

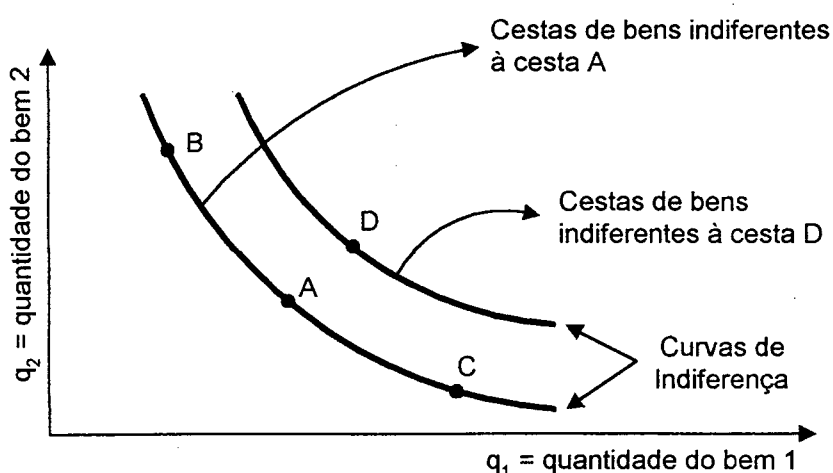


Fig. 4.1: Curvas de Indiferença

Segundo Novaes (1986), o usuário de um serviço de transporte, ao considerar os diferentes "pacotes" de opções, leva em conta, objetiva ou subjetivamente, um

certo número de variáveis ou atributos. Tais atributos, os quais influenciam na decisão do usuário, são chamados de variáveis de serviço. É importante frisar que, sendo praticamente impossível identificar todas as variáveis de serviço que afetam a demanda, geralmente procura-se selecionar um conjunto representativo delas para explicar a resposta dos usuários às diferentes características dos serviços de transporte ofertados. Representando as variáveis de serviço por  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , define-se como Nível de Serviço (NS) um conjunto de valores dessas variáveis, representado por um vetor  $NS = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ .

Ainda segundo Novaes (1986), as variáveis que mais comumente compõem o nível de serviço, tanto no caso de transporte de passageiros como de carga, são variáveis ligadas ao tempo (como tempo de deslocamento, tempo de espera e cumprimento de horários), variáveis ligadas ao custo (como custos de tarifas e custos de armazenagem) e variáveis ligadas à segurança (como custos oriundos por avarias à carga, acidentes e roubos).

NOVAES (1986) também apresenta um exemplo simples (considerando apenas dois atributos), que ajuda a esclarecer os conceitos de Curva de Indiferença e Função Utilidade, no contexto de transportes. Nesse referido exemplo são considerados como atributos o tempo total de deslocamento ( $t$ ) e o custo de transporte ( $c$ ). É suposto que um conjunto de usuários tem à disposição duas alternativas:

- Alternativa A: apresenta tempo de deslocamento " $t_A$ " e custo " $c_A$ ";
- Alternativa B: apresenta tempo de deslocamento " $t_B$ " e custo " $c_B$ ".

Assim, as duas alternativas (A e B) são colocadas em um gráfico cartesiano  $t \times c$ , conforme indica a Figura 4.2.

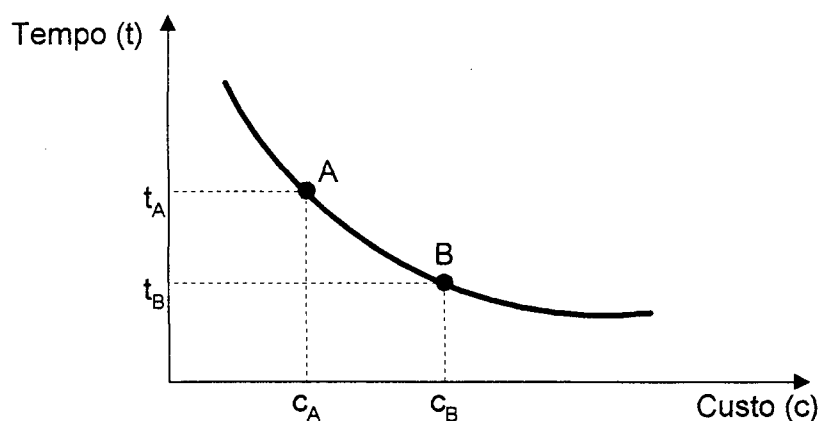


Fig. 4.2: Uma Curva de Indiferença no contexto dos transportes

Pode-se observar, na Figura 4.2, que o serviço de transporte correspondente ao ponto "A" é mais lento do que o serviço correspondente ao ponto "B", entretanto apresenta um custo menor. Já o ponto "B" corresponde a um serviço mais rápido, mas de custo maior que o serviço oferecido no ponto "A".

Numa situação como a exposta acima, geralmente ocorre o seguinte: uma parcela dos usuários tem necessidade de encurtar o tempo de viagem e está disposta a pagar um preço mais alto por um serviço mais rápido. Já outra parcela, para a qual a rapidez do serviço não é uma característica tão importante, certamente optará por um serviço de transporte mais lento, que possui um custo menor.

Se forem consideradas todas as combinações possíveis para o grupo de usuários em estudo, chega-se a uma Curva de Indiferença, como pode ser visto na Figura 4.2.

As curvas de indiferença podem ser obtidas a partir de funções utilidade, do seguinte tipo:

$$U = f(X, \beta) \quad (4.1)$$

onde:

$U$  = utilidade;

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  = vetor das variáveis de serviços (ou atributos);

$\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n)$  = vetor de parâmetros

Uma forma bastante utilizada para a função utilidade é a linear:

$$U = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n \quad (4.2)$$

### 4.2.3. Utilidade Marginal e Taxa Marginal de Substituição

Considerando um determinado consumidor que esteja consumindo alguma cesta de bens  $A(q_1, q_2)$ , conforme esquematizado na Figura 4.1, um questionamento comum é sobre a variação da utilidade deste consumidor se ele recebesse uma quantidade adicional do bem 1. Essa taxa de variação é chamada de *utilidade marginal com respeito ao bem 1*. Assim, VARIAN (1994) define:

$$UM_1 = \frac{\Delta U^{(1)}}{\Delta q_1} = \frac{U(q_1 + \Delta q_1, q_2) - U(q_1, q_2)}{\Delta q_1} \quad (4.3)$$

onde:

$UM_1$  = utilidade marginal em relação ao bem 1;

$\Delta U^{(1)}$  = variação na utilidade associada à variação no consumo do bem 1;

$\Delta q_1$  = variação na quantidade do bem 1.

Usando derivada, obtém-se:

$$UM_1 = \lim_{\Delta q_1 \rightarrow 0} \frac{U(q_1 + \Delta q_1, q_2) - U(q_1, q_2)}{\Delta q_1} = \frac{\partial U(q_1, q_2)}{\partial q_1} \quad (4.4)$$

Na equação (4.4) é importante notar que é usada a derivada parcial, uma vez que a utilidade marginal do bem 1 é calculada mantendo o bem 2 constante.

A definição dada pela equação (4.3) implica que, para calcular a variação na utilidade associada a uma pequena variação no consumo do bem 1, basta multiplicar a variação no consumo pela utilidade marginal do bem:

$$\Delta U^{(1)} = UM_1 \cdot \Delta q_1 \quad (4.5)$$

A utilidade marginal do bem 2 é definida de maneira similar:

$$UM_2 = \frac{\Delta U^{(2)}}{\Delta q_2} = \frac{U(q_1, q_2 + \Delta q_2) - U(q_1, q_2)}{\Delta q_2} \quad (4.6)$$

onde:

$UM_2$  = utilidade marginal em relação ao bem 2;

$\Delta U^{(2)}$  = variação na utilidade associada à variação no consumo do bem 2;

$\Delta q_2$  = variação na quantidade do bem 2.

De uma maneira mais formal usando derivada:

$$UM_2 = \lim_{\Delta q_2 \rightarrow 0} \frac{U(q_1, q_2 + \Delta q_2) - U(q_1, q_2)}{\Delta q_2} = \frac{\partial U(q_1, q_2)}{\partial q_2} \quad (4.7)$$

Considerando a equação (4.6) é possível calcular a variação da utilidade associada à variação no consumo do bem 2:

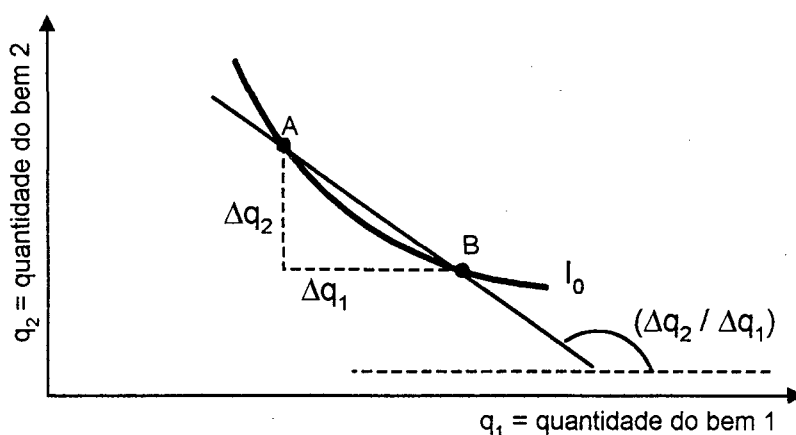
$$\Delta U^{(2)} = UM_2 \cdot \Delta q_2 \quad (4.8)$$

Um aspecto importante a ser notado é que a magnitude da utilidade marginal depende da magnitude da utilidade. Assim, se a função utilidade é multiplicada por um determinado valor, então a utilidade marginal também apresentar-se-á

multiplicada por este mesmo valor. É importante observar que, nesse caso, tem-se ainda uma função perfeitamente válida, no sentido de que ela representa as mesmas preferências da função utilidade original. Ou seja, somente a escala de medição é modificada.

Para VARIAN (1994) o exposto anteriormente indica que a utilidade marginal, por si própria, não tem conteúdo comportamental. Dessa forma, a utilidade marginal depende da função utilidade particular que é usada para representar a ordem das preferências, e a sua magnitude não tem um significado especial. Entretanto, a utilidade marginal pode ser usada para calcular outra grandeza, a qual tem conteúdo comportamental, que é a Taxa Marginal de Substituição (TMS).

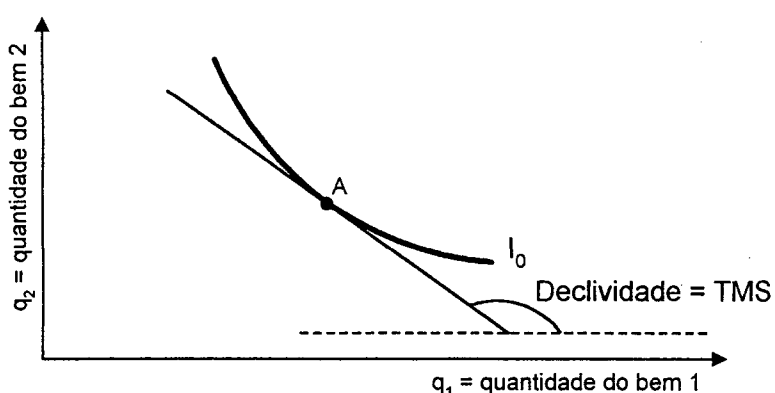
Para explicar com clareza o conceito de Taxa Marginal de Substituição (TMS) será considerada a Figura 4.3, que mostra uma curva de indiferença  $I_0$ .



**Fig. 4.3: Taxa Marginal de Substituição**

Seja a situação que, de uma pessoa que consumia a cesta de bens representada pelo ponto B, seja retirada uma quantidade  $\Delta q_1$  do bem 1. Com essa perda, o referido consumidor ficará em uma situação pior. Pode-se, todavia, compensar essa perda acrescentando uma quantidade  $\Delta q_2$  à quantidade consumida

por essa pessoa do bem 2, fazendo, assim, com que ela passe a consumir a cesta de bens A que está sobre a mesma curva de indiferença ( $I_0$ ) da cesta de bens B que ela consumia originalmente e que, portanto, é indiferente a essa cesta de bens. Assim, a relação  $(\Delta q_2 / \Delta q_1)$  pode ser vista como sendo a taxa a qual o consumidor está disposto a substituir o bem 1 pelo bem 2. Pensando em  $\Delta q_1$  e  $\Delta q_2$  como sendo variações muito pequenas (isto é, uma variações marginais), então a taxa  $(\Delta q_2 / \Delta q_1)$  mede a Taxa Marginal de Substituição (TMS) do bem 1 pelo bem 2. É importante notar o significado gráfico da TMS: na Figura 4.3, a relação  $(\Delta q_2 / \Delta q_1)$  é também a medida da inclinação da reta que passa pelos pontos A e B, isto é, ela é a tangente do ângulo formado por essa reta e o eixo horizontal. Dessa forma, à proporção que é reduzida a distância entre os pontos A e B (em outras palavras, à medida que  $\Delta q_1$  e  $\Delta q_2$  diminuem), a reta unindo esses dois pontos aproxima-se cada vez mais da reta que tangencia a curva de indiferença  $I_0$  em um desses pontos. Assim, se  $\Delta q_1$  e  $\Delta q_2$  forem muito pequenos, a TMS é aproximadamente a medida da inclinação da reta que tangencia a curva de indiferença no ponto A, isto é, a TMS se aproxima da declividade da curva de indiferença nesse ponto, como mostra a Figura 4.4.



**Fig. 4.4: A Taxa Marginal de Substituição indica a inclinação da curva de indiferença**

Considerando o exposto anteriormente, a TMS pode ser interpretada, então, como sendo a taxa a qual um consumidor está disposto a substituir uma pequena quantidade do bem 1 pelo bem 2. Levando em conta essa interpretação, VARIAN (1994) apresenta uma forma relativamente simples de calcular a TMS: este autor considera uma situação na qual uma variação no consumo de cada bem ( $\Delta q_1$ ,  $\Delta q_2$ )



mantenha, ainda, a mesma utilidade, isto é, ele considera uma variação no consumo que mova o consumidor ao longo da curva de indiferença. Assim, matematicamente:

$$UM_1 \Delta q_1 + UM_2 \Delta q_2 = \Delta U = 0 \quad (4.9)$$

Manipulando a equação (4.9) pode-se escrever:

$$TMS = \frac{\Delta q_2}{\Delta q_1} = -\frac{UM_1}{UM_2} \quad (4.10)$$

É interessante observar que o sinal algébrico da TMS é negativo, uma vez que se o consumidor obtém mais do bem 1, ele deverá ficar com menor quantidade do bem 2 para manter o mesmo nível de utilidade. No entanto, na prática, a literatura de Economia geralmente refere-se à TMS pelo seu valor absoluto.

VARIAN (1994) também apresenta uma forma mais rigorosa para o cálculo da TMS usando diferenciais. Assim, considerando uma variação ( $dq_1$ ,  $dq_2$ ) que mantenha a utilidade constante:

$$dU = \frac{\partial U(q_1, q_2)}{\partial q_1} dq_1 + \frac{\partial U(q_1, q_2)}{\partial q_2} dq_2 = 0 \quad (4.11)$$

O primeiro termo da equação (4.10) mede o acréscimo na utilidade devido à pequena variação  $dq_1$ , e o segundo termo mede o acréscimo na utilidade devido à pequena variação  $dq_2$ . Manipulando-se a equação (4.11), chega-se a:

$$\frac{dq_2}{dq_1} = -\frac{\frac{\partial U(q_1, q_2)}{\partial q_1}}{\frac{\partial U(q_1, q_2)}{\partial q_2}} \quad (4.12)$$

que é análoga à equação (4.10).

VARIAN (1994) também chama a atenção para um aspecto interessante: a função utilidade e, por conseguinte, a utilidade marginal, podem apresentar formas variadas, ou seja, qualquer transformação monotônica de uma função utilidade é outra função utilidade igualmente válida. Portanto, se a função utilidade é multiplicada por um número "n", por exemplo, a utilidade marginal também ficará multiplicada por "n". Dessa forma, a magnitude da utilidade marginal depende da seleção da função utilidade, a qual é arbitrária. Por isso, esse autor afirma que a utilidade marginal não depende somente do comportamento do indivíduo, dependendo da escala da função utilidade que está sendo usada para descrever o seu comportamento. Entretanto, a razão das utilidades marginais (isto é, a TMS) independe de alguma transformação particular da função utilidade, desde que tais transformações sejam monotônicas.

VARIAN (1994) também apresenta um exemplo bem esclarecedor dos conceitos vistos nessa seção, aplicados à área de transportes, especificamente no setor de transporte público de passageiros. É apresentada a seguinte função utilidade, obtida em 1967, num estudo realizado por McFadden nos Estados Unidos da América:

$$U = -0,147TW - 0,0411TT - 2,24C + 3,78A/W - 2,91R - 2,36Z \quad (4.13)$$

onde:

TW = tempo de percurso a pé, em minutos;

TT = tempo de viagem dentro do veículo, em minutos;

C = custo total de viagem, em dólares;

A/W = quantidade de carros por trabalhador na unidade familiar;

R = raça da unidade familiar (0, se for branca; 1, se for negra);

Z = tipo de trabalhador (1, se for trabalhador de escritório; 0, se for operário).

As três últimas variáveis consideradas na função utilidade [Equação (4.13)] são variáveis sócio-econômicas. Os coeficientes dessas variáveis indicam como as preferências pelo transporte em carro próprio variam segundo a disponibilidade de automóvel, raça e ocupação do consumidor. O coeficiente positivo de (A/W) indica

que quanto maior o número de automóveis por trabalhador em uma família, haverá maiores possibilidades de os membros dessa família irem ao trabalho de carro. Os coeficientes negativos das outras duas variáveis sócio-econômicas (R e Z) indicam que os operários negros tem menor propensão a dirigir e maior propensão a andar de ônibus.

Os coeficientes das três primeiras variáveis da função utilidade (TW, TT e C) descrevem os pesos que uma família típica americana concede às várias características de seus meios de transporte, ou seja, a utilidade marginal de cada característica.

A razão entre um coeficiente e outro é a Taxa Marginal de Substituição entre uma variável e outra. Por exemplo, a razão entre a utilidade marginal do tempo percorrido a pé (TW) e a utilidade marginal do tempo de viagem dentro do veículo (TT) é:

$$TMS_{TW,TT} = \frac{UM_{TW}}{UM_{TT}} = \frac{0,147}{0,0411} \cong 3,6 \quad (4.14)$$

onde  $TMS_{TW,TT}$  é a Taxa Marginal de Substituição de TW por TT.

Assim, a equação (4.14) indica que, do ponto de vista do consumidor típico, o tempo percorrido a pé é visto como aproximadamente 3,6 vezes mais oneroso do que o tempo dentro do veículo. Em outras palavras, o consumidor estaria disposto a adicionar 3,6 minutos ao tempo dentro do veículo a fim de poupar-se de 1 minuto de caminhada.

Semelhantemente, a razão entre o custo total de viagem (C) e o tempo de viagem dentro do veículo (TT) indica as possibilidades de substituição entre esses dois atributos:

$$TMS_{TT,C} = \frac{UM_{TT}}{UM_C} = \frac{0,0411 \frac{1}{\text{min}}}{2,24 \frac{1}{\text{dólares}}} = 0,183 \frac{\text{dólares}}{\text{min}} = 1,10 \frac{\text{dólares}}{\text{hora}} \quad (4.15)$$

Assim, de acordo com o estudo de McFadden, o passageiro norte-americano típico atribuía ao tempo de viagem dentro do veículo um valor de aproximadamente 1,10 dólares por hora. Dessa forma, é importante ressaltar que a Equação (4.15) expressa o Valor do Tempo.

Levando em conta o exposto nessa seção, fica evidente a importância da estimação de funções utilidade e Taxas Marginais de Substituição (TMS) como instrumentos auxiliares valiosos no processo de planejamento de transportes.

#### 4.2.4. A Teoria da Utilidade Aleatória e o Modelo Logit Multinomial

A Teoria do Consumidor considera a situação do indivíduo levado a tomar uma decisão frente a um conjunto de alternativas discretas, todas viáveis.

Segundo BEN-AKIVA e LERMAN (1985) uma pessoa racional tenta maximizar a utilidade (U) de acordo com os bens ou serviços oferecidos ( $x_i$ ), os preços de mercado ( $p_i$ ) e as restrições de orçamento (I), considerando um determinado período de tempo. Matematicamente, isso pode ser escrito como:

$$\text{Max } U = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4.16)$$

sujeito a:

$$p_1x_1 + p_2x_2 + \dots + p_nx_n \leq I \quad (4.17)$$

Na aplicação do critério de maximização da utilidade, a Teoria da Utilidade Aleatória considera a utilidade de cada alternativa como uma variável aleatória, devido à ignorância do analista com respeito ao conjunto completo de fatores que determinam essa utilidade.

Para explicar a Teoria da Utilidade Aleatória, pode-se considerar uma situação em que "C" seja o universo de todas as alternativas viáveis e "j" um elemento genérico desse universo. Cada membro "n" da população em estudo tem como alternativas viáveis um subconjunto de "C", denotado por "C<sub>n</sub>" e composto de "m" alternativas de ação,  $i = 1, 2, \dots, m$ . Cada indivíduo associa uma utilidade  $U_i$  a cada alternativa "i". Assim, um determinado indivíduo escolherá a alternativa "i" que apresentar o maior valor de utilidade para si. Ou seja, a alternativa escolhida "i", para o indivíduo "n", será aquela que:

$$U_{in} > U_{jn}, \quad \forall j \in C_n, \quad j \neq i \quad (4.18)$$

NOVAES (1986) diz que, na prática, os indivíduos atribuem importâncias distintas aos diversos atributos considerados, seja porque percebem de forma diferente os efeitos sobre si destes atributos ou porque alocam pesos diferenciados aos mesmos.

Dessa forma, levando em conta a Teoria da Utilidade Aleatória, a utilidade total, considerando os vários indivíduos que constituem uma determinada população em estudo, passará a ser uma variável aleatória, dada por:

$$V_{in} = U_{in} + \varepsilon_{in} \quad (4.19)$$

onde:

$V_{in}$  = utilidade aleatória, para o indivíduo "n", da alternativa "i";

$U_{in}$  = utilidade determinística, para o indivíduo "n", da alternativa "i";

$\varepsilon_{in}$  = termo de erro associado à alternativa "i" (parcela aleatória).

É interessante frisar que esta teoria veio superar o problema que surge devido ao fato dos indivíduos exibirem, muitas vezes, inconsistência em sua conduta, ou levarem em conta fatores que não são possíveis de serem identificados. Assim, o conceito de utilidade aleatória supera estas limitações mediante um termo associado ao erro na função utilidade, o qual reflete os elementos não observáveis.

Assim sendo, tendo-se a distribuição dos possíveis valores de utilidade, a probabilidade de que uma determinada alternativa será escolhida por um usuário pode ser calculada. Como os valores das utilidades dependem do vetor de atributos  $\mathbf{X}$ , a probabilidade de que a alternativa “ $i$ ” (onde  $i \in C_n$ ) será escolhida [ $P_n(i)$ ] pode ser relacionada ao vetor  $\mathbf{X}$ . A função relacionando [ $P_n(i)$ ] e  $\mathbf{X}$  é chamada de *Função de Escolha*.

A probabilidade de escolha é, então, a probabilidade que  $V_{in}$  seja maior do que a utilidade de qualquer outra alternativa:

$$P_n(i) = \text{Prob} [V_{in} \geq V_{jn}] \quad \forall j \in C_n, j \neq i \quad (4.20)$$

É importante salientar que a Função de Escolha  $P_n(i)$  tem as propriedades de uma função densidade de probabilidade (f.d.p.), isto é:

$$0 \leq P_n(i) \leq 1 \quad (4.21)$$

$$\sum_{i=1}^m P_n(i) = 1 \quad (4.22)$$

Uma vez que a distribuição do termo de erro ( $\varepsilon_{in}$ ) é especificada, a distribuição das utilidades pode ser determinada e a Função de Escolha pode ser calculada.

SHEFFI (1985) apresenta um exemplo simples e esclarecedor do uso dessa metodologia para uma situação de escolha na qual somente duas alternativas são viáveis. As utilidades da primeira e segunda alternativas são consideradas, respectivamente, como sendo:

$$V_{1n} = 3 + \varepsilon \quad (4.23)$$

$$V_{2n} = 2 \quad (4.24)$$

Nesse caso, aplicando-se a Equação (5.3), a probabilidade de que a primeira alternativa será escolhida pelo usuário "n" [ $P_n(i)$ ] é:

$$P_n(1) = \text{Prob}(V_{1n} \geq V_{2n}) = \text{Prob}(3 + \varepsilon \geq 2) = \text{Prob}(\varepsilon \geq -1) \quad (4.25)$$

Neste exemplo, SHEFFI (1985) considera que a função densidade de probabilidade (f.d.p.) de  $\varepsilon$  é uniforme entre  $-2$  e  $2$ , sendo expressa por:

$$\text{Prob}(w \leq \varepsilon \leq w + dw) = \begin{cases} \frac{1}{4}, & \text{para } -2 \leq w \leq 2 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.26)$$

onde  $w$  é qualquer número real.

Dessa forma, considerando-se a Figura 4.5 e usando-se a Equação (4.25), pode-se chegar às probabilidades de escolha de cada uma das alternativas:

$$P_n(1) = \text{Prob}(\varepsilon > -1) = \left[ \begin{array}{l} \text{Área hachurada do} \\ \text{gráfico da Figura 4.5} \end{array} \right] = \frac{2 - (-1)}{2 - (-2)} = 0,75 \quad (4.27)$$

$$P_n(2) = 1 - P_1 = 1 - 0,75 = 0,25 \quad (4.28)$$

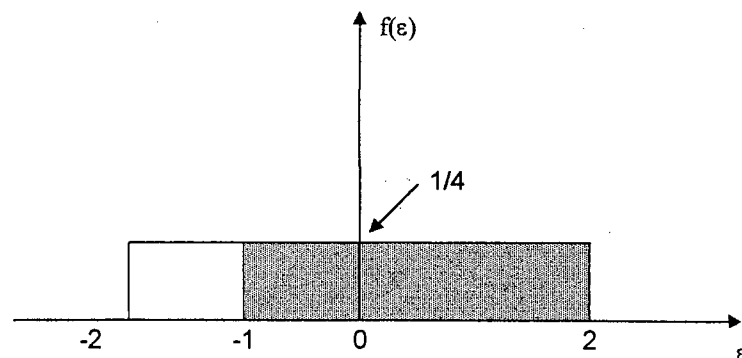


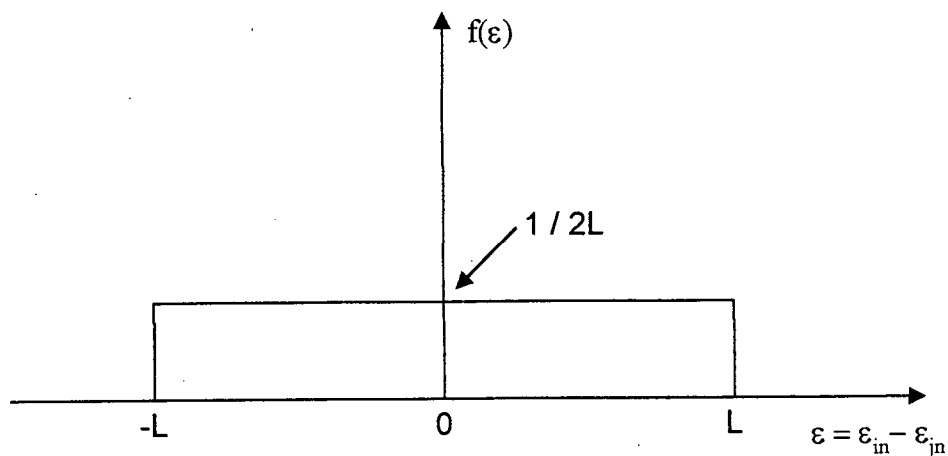
Fig. 4.5: A f.d.p. de  $\varepsilon$  considerada no exemplo exposto

Assim, no exemplo exposto anteriormente, existe uma probabilidade de 75% de que a alternativa 1 seja a escolhida, de acordo com o modelo especificado. Fica evidente, também, que a probabilidade de escolha depende, além dos atributos presentes nas funções utilidade, da distribuição da componente aleatória ( $\varepsilon$ ).

A distribuição da componente aleatória ( $\varepsilon$ ) é uma questão importante e, de acordo com a especificação desse termo, tem-se modelos de escolha discreta específicos, sendo mais citados pela literatura os seguintes (vide, por exemplo, BEN-AKIVA e LERMAN, 1985 e GEIPOT, 1982):

- Modelo Linear de Probabilidade;
- Modelo Probit;
- Modelo Logit.

No caso do Modelo Linear de Probabilidade (empregado no exemplo simples visto anteriormente) a diferença entre os termos de erro ou “perurbações” ( $\varepsilon = \varepsilon_{in} - \varepsilon_{jn}$ ) é uniformemente distribuída entre dois valores conhecidos (por exemplo,  $-L$  e  $L$ , com  $L > 0$ ), conforme ilustra a Figura 4.6.



**Fig. 4.6: Modelo Linear de Probabilidade**



De acordo com BEN-AKIVA e LERMAN (1985) a probabilidade de escolha da alternativa "i" é dada pela função de distribuição acumulada (f.d.a) de  $\varepsilon = \varepsilon_{in} - \varepsilon_{jn}$ , a qual para a distribuição uniforme dada pela Figura 4.6 é:

$$P_n(i) = \begin{cases} 0, & \text{se } U_{in} - U_{jn} < -L \\ \int_{-L}^{U_{in}-U_{jn}} f(\varepsilon_n) d\varepsilon_n = \frac{U_{in} - U_{jn} + L}{2L}, & \text{para } -L \leq U_{in} - U_{jn} \leq L \\ 1, & \text{se } U_{in} - U_{jn} > L \end{cases} \quad (4.29)$$

Quando é adotada a forma linear aditiva para U, tem-se:

$$U_{in} - U_{jn} = (\beta' X_{in} - \beta' X_{jn}) = \beta' (X_{in} - X_{jn}) \quad (4.30)$$

onde:

$U_{in}$  = utilidade determinística da alternativa "i" para o usuário "n";

$U_{jn}$  = utilidade determinística da alternativa "j" para o usuário "n";

$X_{in}$  = vetor de atributos para a alternativa "i" para o usuário "n";

$X_{jn}$  = vetor de atributos para a alternativa "j" para o usuário "n";

$\beta'$  = vetor transposto dos coeficientes do modelo para os diversos atributos.

A função de probabilidade dada pela Equação (4.29) está esquematizada na Figura 4.7.

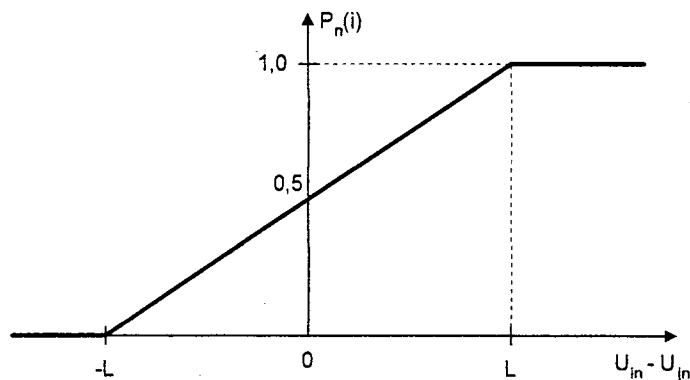


Fig. 4.7: Esquema da Função de Probabilidade Linear

GEIPOT (1982) cita como um problema do modelo linear a presença de heterocedasticidade no termo de erro ( $\varepsilon$ ), isto é, a variância do mesmo não é constante para todas as observações. Assim, observações onde a probabilidade da alternativa "i" está próxima de zero ou próxima de um, têm variância relativamente baixa, enquanto observações próximas a 0,5 apresentam variâncias mais altas.

Devido aos problemas já citados com o Modelo Linear, foram buscadas especificações mais adequadas para a distribuição do termo de erro ( $\varepsilon$ ). Uma delas foi admitir que tal distribuição apresentasse a forma Normal. Assim, supondo-se que  $\varepsilon_{in}$  e  $\varepsilon_{jn}$  sigam a distribuição normal com média zero e variâncias respectivamente iguais a  $\sigma_i^2$  e  $\sigma_j^2$  e covariância  $\sigma_{ij}^2$ , o termo  $(\varepsilon_{in} - \varepsilon_{jn})$  é também distribuído normalmente, com média zero e variância:

$$\sigma^2 = \sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2\sigma_{ij}^2 \quad (4.31)$$

Nesse caso, as probabilidades de escolha podem ser expressas como (Ben-Akiva e LERMAN, 1985):

$$P_n(i) = \text{Prob}(\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in} \leq U_{in} - U_{jn}) = \int_{\varepsilon=-\infty}^{U_{in}-U_{jn}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right)^2\right]} d\varepsilon = \quad (4.32)$$

$$= \phi\left(\frac{U_{in} - U_{jn}}{\sigma}\right), \quad \sigma > 0$$

onde  $\phi(\cdot)$  é a distribuição acumulada da Normal Padronizada. Segundo GEIPOT (1982) a origem deste modelo e suas primeiras aplicações foram no campo da toxicologia. De acordo com esta mesma publicação, os custos computacionais do modelo dado pela Equação (4.32) são elevados e a justificção teórica para a sua utilização na prática é relativamente limitada.

O Modelo Logit apresenta uma especificação que lhe atribui uma maior facilidade operacional e, por esta razão, será o modelo adotado nesse trabalho.

Voltando à equação (4.19), de acordo com a Teoria da Utilidade Aleatória, a escolha da alternativa  $i \in C_n$  passa a ser regida por um processo probabilístico, sendo que a probabilidade de escolha dessa alternativa pelo indivíduo  $n$ , isto é,  $P_n(i)$  é dada pela Equação (4.20).

Substituindo a expressão (4.19) na expressão (4.20):

$$P_n(i) = \text{prob}[U_{in} + \varepsilon_{in} \geq U_{jn} + \varepsilon_{jn}] \quad (4.33)$$

ou:

$$P_n(i) = \text{prob}[\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in} \leq U_{in} - U_{jn}] , \quad \forall j \in C_n, j \neq i \quad (4.34)$$

Admitindo-se que  $\varepsilon_{in}$  e  $\varepsilon_{jn}$  sejam independentemente e identicamente distribuídos (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985) segundo a distribuição de Gumbel (também conhecida como distribuição de duplo exponencial ou distribuição de Weibull), chega-se ao Modelo Logit Multinomial:

$$P_n(i) = \frac{e^{\mu U_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu U_{jn}}} \quad (4.35)$$

onde  $C_n$  é o conjunto de escolhas possíveis para um indivíduo  $n$  e  $P_n(i)$  é a probabilidade do indivíduo  $n$  escolher a alternativa  $i$ . O parâmetro  $\mu$  é chamado de parâmetro de escala (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985). Segundo SOUZA (1999) esse valor reflete a suposição de homocedasticidade da variância e, por conveniência, normalmente é adotado igual à unidade.

Dessa maneira, a forma comumente usada do Modelo Logit Multinomial é:

$$P_n(i) = \frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{U_{jn}}} \quad (4.36)$$

Para a função utilidade, normalmente adota-se um modelo linear aditivo (Ben-Akiva e Lerman, 1985):

$$U_{in} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ink} \quad (4.37)$$

onde:

$U_{in}$  : utilidade da alternativa  $i$  para o indivíduo  $n$ ;

$X_{ink}$  : valor do atributo  $k$  para a alternativa  $i$  para o indivíduo  $n$ ;

$\beta_k$  : coeficiente do modelo para o atributo  $k$ ;

$K$  : quantidade de atributos das alternativas.

Desta forma, o modelo Logit Multinomial pode ser escrito como:

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta_k X_{ink}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\beta_k X_{jnk}}} \quad (4.38)$$

Com respeito aos “termos de erro” ou “perturbações” ( $\varepsilon_n$ ) é assumido no Modelo Logit Multinomial que eles são:

- Independentes;
- Identicamente distribuídos;
- Distribuídos de acordo com a distribuição de Gumbel (também chamada de distribuição de duplo exponencial ou distribuição de Weibull), com parâmetros  $\eta = 0$  e  $\mu = 1$ . BEN-AKIVA e LERMAN (1985) referem-se aos parâmetros  $\eta$  e  $\mu$  como *Parâmetro de Situação* e *Parâmetro de Escala*, respectivamente.

BEN-AKIVA e LERMAN (1985) afirmam que os pressupostos de *independência e idêntica distribuição dos termos aleatórios* ( $\varepsilon$ ) representam restrições importantes ao uso do Modelo Logit. Na prática, a primeira consideração

exige que todos os termos aleatórios tenham o mesmo parâmetro de escala ( $\mu$ ), ou seja, implica que as variâncias dos componentes aleatórios das utilidades sejam iguais. Já quanto a segunda consideração, a mesma pode tornar-se difícil de ser admitida em certas situações.

DAGANZO e SHEFFI (1977) afirmam que, num contexto de alocação tradicional às rotas em uma rede, existe objeção a consideração de independência, uma vez que as diversas rotas alternativas geralmente compartilham arcos.

Segundo GEIPOT (1982) a distribuição de Gumbel é largamente utilizada na área de Hidráulica, e sua função de densidade tem a seguinte especificação:

$$f(\varepsilon) = \mu e^{-\mu(\varepsilon-\eta)} e^{-e^{-\mu(\varepsilon-\eta)}} \quad (4.39)$$

A função de densidade dada pela Equação (4.39) aproxima-se da densidade da Normal e apresenta propriedades analíticas extremamente convenientes. Como pode ser visto na Figura 4.8, a função de densidade Gumbel apresenta-se ligeiramente enviezada para a direita, fazendo com que sua média seja maior do que sua moda.

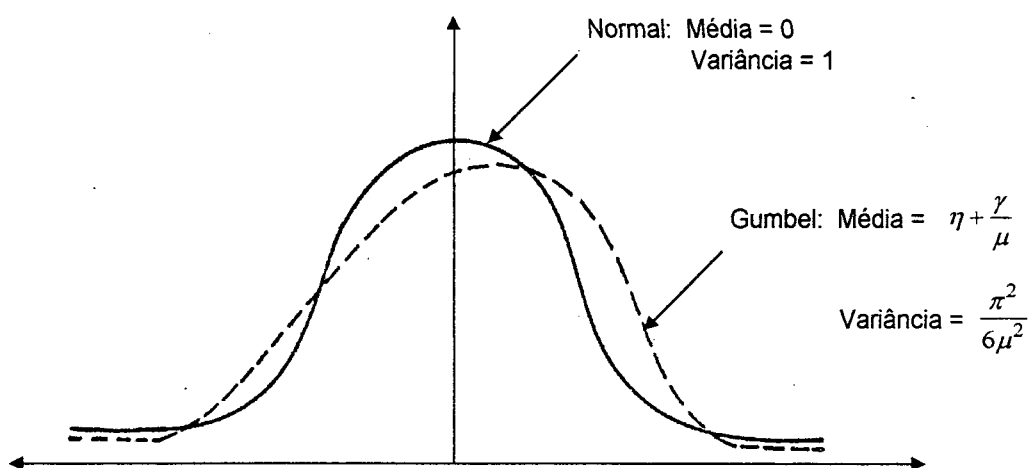


Fig. 4.8: Funções de Densidade das Distribuições Normal e Gumbel

BEN-AKIVA e LERMAN (1985) apresentam sete propriedades da Distribuição de Gumbel, as quais são usadas na obtenção da expressão matemática do Modelo Logit Multinomial. Dentre estas propriedades, três delas dizem respeito aos valores da moda, média e variância dessa referida distribuição, que são dadas, respectivamente, pelas equações apresentadas a seguir.

$$\text{Moda} = \eta \quad (4.40)$$

onde  $\eta$  é o “parâmetro de situação” (geralmente adotado igual a zero).

$$\text{Média} = \eta + \frac{\gamma}{\mu} \quad (4.41)$$

onde:

$\gamma$  = Constante de Euler ( $\cong 0,577$ );

$\mu$  = Parâmetro de escala (positivo), geralmente adotado igual à unidade.

$$\text{Variância} = \frac{\pi^2}{6\mu^2} \quad (4.42)$$

Além das propriedades do termo aleatório ( $\varepsilon$ ) do Modelo Logit Multinomial, um dos aspectos mais discutidos nesse modelo é a propriedade chamada *Independência de Alternativas Irrelevantes* (I.A.I.). De acordo com esta propriedade, para um determinado indivíduo, o quociente das probabilidades de escolha entre duas alternativas não é afetado pelas utilidades determinísticas das outras alternativas. Em outras palavras, isto significa que o quociente das probabilidades de duas alternativas é independente de todas as outras alternativas que se encontram no conjunto. Esta propriedade pode ser expressa matematicamente da seguinte maneira:

$$\frac{P_n(i)}{P_n(l)} = \frac{\frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{U_{jn}}}}{e^{U_{in}}} = \frac{e^{U_{in}}}{e^{U_{in}}} = e^{U_{in} - U_{in}} \quad (4.43)$$

Esta propriedade conduz à implicações importantes. Em alguns casos, pode até dar origem a previsões estranhas e mesmo errôneas, como no caso do *paradoxo do ônibus vermelho e do ônibus azul*, citado por BEN-AKIVA e LERMAN (1985).

Para explicar este paradoxo, suponha-se que o Modelo Logit está sendo utilizado para analisar a escolha de um modo de transporte entre duas alternativas: ônibus e carro particular. Suponha-se, ainda, que a previsão do modelo para um determinado usuário foi de que sua probabilidade de escolha de cada uma destas alternativas é exatamente 1/2.

Desejando-se realizar um experimento, pinta-se a metade da frota de ônibus de azul e a outra metade de vermelho. Usa-se, então, o Modelo Logit para prever as probabilidades de escolha em relação a três alternativas: ônibus azul, ônibus vermelho e carro.

Admitindo-se que a cor foi o único atributo dos ônibus a mudar e que este atributo, naturalmente, não tem a mínima relevância para os usuários, de acordo com a propriedade de Independência de Alternativas Irrelevantes (IAI) tem-se:

$$P_n(\text{ônibus azul}) = P_n(\text{ônibus vermelho}) = P(\text{carro}) = 1/3 \quad (4.44)$$

Dessa forma, a simples pintura dos ônibus fez com que a probabilidade de escolha da alternativa ônibus passasse de 1/2 para 2/3, o que é um absurdo, pois foi assumido que a cor do ônibus não tem a menor importância para o usuário.

O resultado absurdo obtido é explicado pelo fato de que, neste caso, é violado um dos pressupostos básicos considerados na formulação Logit: os *termos aleatórios são independentes*. Realmente, no caso dos ônibus azuis e vermelhos, suas características não observadas estão igualmente presentes em ambas as alternativas, conduzindo a uma situação onde os termos aleatórios da função utilidade nos dois tipos de ônibus podem ser considerados como sendo perfeitamente correlacionados.

BEN-AKIVA e LERMAN (1985) também chamam a atenção para uma interpretação errônea, que muitas vezes é feita sobre a propriedade I.A.I.: consiste em considerar que a mesma aplica-se a toda a população. Em outras palavras, julga-se que o quociente entre as frações da população que realizam a escolha entre duas alternativas não é afetado pelas utilidades das outras alternativas. No entanto, esta propriedade aplica-se somente a grupos homogêneos da população e não à população como um todo, se esta for heterogênea.

Levando-se em conta o exposto até aqui, pode-se dizer que, desde que sejam levadas em conta as suas propriedades e particularidades, a formulação matemática do Modelo Logit apresentada nas Equações (4.35) a (4.43) torna a abordagem comportamental proposta nesse trabalho viável de ser aplicada. Também como argumento favorável pode-se citar BELL e IIDA (1997), os quais mencionam que, para a maioria dos autores, não existem evidências suficientes de que o emprego do Modelo Logit não seja apropriado, num contexto de escolhas de modo e/ou rotas.

### **4.3. TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS PARA A APLICAÇÃO DE MODELOS DESAGREGADOS**

Os estudos destinados a prever a conduta humana frente a alternativas, visando a tomadas de decisões, podem ser considerados como sendo tarefas relativamente intrincadas e complexas. Especificamente no caso do setor de transportes, vários modelos têm sido desenvolvidos, os quais prevêm mudanças na



demanda, principalmente em função de mudanças nas condições de oferta de um determinado serviço e de variáveis sócio-econômicas.

Um ponto fundamental para a efetivação desses referidos modelos é a coleta adequada de dados e informações. Dentre as técnicas para a coleta de dados, destacam-se as técnicas de Preferência Revelada (PR) e Preferência Declarada (PD), as quais serão abordadas nessa seção.

#### **4.3.1. Técnica de Preferência Revelada**

Muitas vezes, os modelos desenvolvidos para tentar prever a demanda de transportes levam em conta as informações sobre seleções ou escolhas feitas por diferentes indivíduos em um ponto no tempo, conduzindo a situações reais observadas. Dessa forma, levando em consideração estas referidas seleções e/ou escolhas feitas pelos indivíduos no passado, pode-se tentar apurar a conduta dos mesmos ao longo do tempo. Esta técnica convencional de coleta de dados é chamada de técnica de Preferência Revelada (PR).

De acordo com CALDAS (1998) a principal característica e, ao mesmo tempo, a grande vantagem da modelagem usando dados de preferência revelada é o fato de se trabalhar com dados reais.

Segundo AZAMBUJA (1995) um problema relevante dessa técnica é que geralmente as alternativas de seleção que o indivíduo tem a sua disposição, na prática, não são suficientemente variadas de forma a produzir bons resultados.

VIEIRA (1996) menciona que uma característica básica dessa técnica é o fato de fornecer somente uma observação (dado) por indivíduo, quando este indivíduo é defrontado com um leque de opções.

KROES e SHELDON (1988) também apontam algumas limitações que geralmente restringem a adequabilidade das técnicas de Preferência Revelada:

- pode ser difícil obter variação suficiente nos dados de Preferência Revelada para permitir um exame de todos os atributos de interesse, principalmente quando a quantidade desses atributos for grande;
- a técnica de Preferência Revelada não pode ser usada para avaliar demanda sob situações que não estejam disponíveis atualmente para o indivíduo;
- muitas vezes os atributos de interesse são correlacionados (como, por exemplo, custo e tempo de viagem), o que torna a estimação dos parâmetros que refletem as relações de troca entre os atributos uma tarefa muito difícil, tornando também a estimativa menos precisa;
- a técnica de Preferência Revelada exige que os atributos de interesse sejam expressos quantitativamente, o que dificulta a possibilidade de considerar atributos mais subjetivos, tais como segurança, confiabilidade, etc.;

No contexto atual da modelagem da demanda de transporte, é notório o fato de que grande parte dos problemas mencionados anteriormente podem ser solucionados ou minimizados mediante a aplicação da técnica de Preferência Declarada, que será apresentada a seguir.

#### **4.3.2. Técnica de Preferência Declarada**

Para KROES e SHELDON (1988) as técnicas de Preferência Declarada referem-se a uma família de técnicas, as quais usam respostas individuais a respeito da preferência de entrevistados, em um conjunto de opções, com o objetivo de estimar funções utilidade.

VIEIRA (1996) apresenta três vantagens principais no uso da técnica de Preferência Declarada:

- o entrevistado pode fazer várias escolhas de opções e não somente uma, permitindo a possibilidade de identificar como os usuários irão comportar-se face a diferentes opções;
- de uma entrevista podem ser colhidos vários dados individuais que, posteriormente, poderão ser utilizados como informações no processo de modelagem matemática;
- a técnica tem mostrado-se bastante eficiente mesmo quando as variáveis de serviço consideradas não se apresentam de forma quantitativa, isto é, os valores dos atributos são subjetivos.

KROES e SHELDON (1988) afirmam que a principal vantagem da modelagem com dados de Preferência Declarada é que problemas associados com altos índices de correlação em variáveis podem ser evitados, da mesma forma que o número de variáveis a ser modelado também pode ser controlado, evitando-se situações de variáveis não observadas ou não desejadas. Além disso, esse autor diz que a modelagem com esse tipo de dado fornece mais informação sobre as preferências potenciais dos indivíduos, em comparação com a modelagem mais tradicional de Preferência Revelada. Ainda como uma vantagem adicional, é citado o fato da técnica de Preferência Declarada constituir-se num potente instrumento para a avaliação de produtos ou serviços ainda não existentes.

Apesar das inúmeras vantagens, existem algumas críticas ao uso da técnica de Preferência Declarada. A principal delas (KROES e SHELDON, 1988) diz respeito ao fato dos indivíduos entrevistados não necessariamente fazerem o que declaram. Assim, por exemplo, um indivíduo pode responder de forma afirmativa ao uso de um novo modo de transporte, quando, numa situação real, ele não o utilizaria.

CALDAS (1998) resume alguns problemas e cita alguns cuidados que devem ser tomados, quando da utilização da técnica de Preferência Declarada no processo de modelagem:

a) *Indiferença*: seria a falta de interesse ou atenção que um entrevistado pode apresentar para uma tarefa. Uma possível causa para a indiferença seria o aspecto não realístico das alternativas apresentadas. A indiferença de um entrevistado pode introduzir erros nas funções utilidade, mascarando os diversos parâmetros obtidos. Dessa forma, para evitar o problema, o conjunto de alternativas deve ser o mais realista possível e ser relacionado ao ambiente que o entrevistado está familiarizado.

b) *Tendenciosidade*: seria o caso em que os entrevistados dariam respostas parciais, objetivando afetar o resultado da análise, fazendo isso deliberadamente.

c) *Inércia*: seria o problema advindo do fato dos entrevistados deixarem-se influenciar por uma escolha atual, previamente feita.

d) *Percepção*: a forma de apresentação do conjunto de alternativas para os entrevistados também pode influenciar na escolha. Melhores resultados podem ser obtidos quando a representação das alternativas é feita usando algum recurso visual, como fotografias, figuras, etc. O uso de computadores portáteis para ajudar o entrevistador e o entrevistado tem se mostrado extremamente eficiente nesse sentido.

e) *Fadiga*: esse problema geralmente aparece em experimentos de Preferência Declarada nos quais os entrevistados enfrentam um número grande de alternativas e pode conduzir a uma confusão de idéias e decisões. Para evitar a fadiga dos entrevistados é necessária uma avaliação cuidadosa do conjunto de atributos e dos níveis desses atributos.

f) *Tamanho e representatividade da amostra*: o tamanho da amostra influi diretamente nos custos envolvidos no experimento. Em geral, os estudos usando Preferência Declarada não requerem amostras grandes, devido ao fato de uma entrevista individual, nessa técnica, ser uma rica fonte de informações. De qualquer forma, a amostra deve ser representativa e o seu tamanho deve respeitar os critérios de confiabilidade de acordo com o tamanho da população a ser pesquisada.

### 4.3.2.1. Etapas de um experimento de preferência declarada

O trabalho de ALMEIDA (1999) resume os principais procedimentos a serem seguidos na realização de um estudo usando a técnica de Preferência Declarada:

- definição do método de entrevistas;
- seleção da amostra;
- análise da forma e complexidade do experimento;
- medição das escolhas;
- análise dos dados.

A seguir, será feita uma rápida descrição dos procedimentos citados acima.

#### a) Definição do método de entrevistas:

Os principais métodos citados na literatura são:

- *Entrevistas face-a-face*: nessa situação, as entrevistas são realizadas pessoalmente junto ao indivíduo. Geralmente as alternativas são apresentadas sob a forma de cartões, sendo que cada cartão representa um cenário idealizado, onde os atributos apresentam diferentes níveis. Assim, é solicitado ao entrevistado que escolha, ordene ou avalie uma série desses referidos cartões. As desvantagens desse método são a necessidade de entrevistadores experientes e o alto custo da pesquisa;

- *Questionários auto-explicativos*: nesse caso, as pesquisas são remetidas aos entrevistados via correio, fax, correio eletrônico, etc. Embora apresente algumas vantagens, como o custo reduzido e a possibilidade de atingir um percentual maior da amostra, apresenta como séria desvantagem a baixa taxa de retorno dos questionários por parte dos entrevistados.

- *Método Híbrido*: nesse caso, os questionários também são enviados para os entrevistados via correio, fax ou correio eletrônico, mas, posteriormente, as entrevistas são conduzidas por telefone.

#### **b) Seleção da amostra:**

Nessa etapa, em geral, devem ser tomados os seguintes cuidados:

- a amostra deve ser retirada aleatoriamente da população ou de um grupo que esteja diretamente envolvido no processo;
- para fazer parte da amostra não é necessário que os indivíduos já tenham vivenciado as opções apresentadas, mas para aumentar o realismo do experimento é necessário que os entrevistados consigam visualizar as situações apresentadas como se as mesmas fossem reais.

#### **c) Forma e complexidade do experimento:**

O trabalho de AZAMBUJA (1995) afirma que um bom experimento de Preferência Declarada é aquele que tem um número de atributos e um conjunto de escolha suficientemente rico, junto com uma variação satisfatória nos níveis dos atributos, necessária para produzir respostas comportamentais significativas no contexto das estratégias em estudo.

HENSHER (1993), Apud AZAMBUJA (1995), apresenta uma seqüência lógica de tarefas requeridas para projetar um experimento de escolha discreta:

- Identificação do conjunto de atributos (variáveis de serviço) que necessita ser considerado. Bastos (1994) sugere a realização de uma pesquisa de questionários abertos, onde os entrevistados citam os atributos mais importantes a serem considerados;

- Seleção da unidade de medida para cada atributo considerado;

- Especificação do número e grandeza dos níveis dos atributos.
  - Identificação das combinações com os níveis dos atributos: cada combinação possível de níveis e atributos que possa ser implantada recebe o nome de alternativa. Ben-Akiva e Lerman (1985) alertam para o fato de que, antes de construir o esquema fatorial que resultará nos grupos de alternativas que serão submetidos aos entrevistados para o processo de escolha, pode ser necessário excluir as alternativas em condições fora da realidade e as alternativas já definidas, em princípio, como dominantes ou totalmente dominadas.
    - Especificação do número de alternativas: em geral, devido à limitação dos entrevistados em responder um grande número de alternativas, não se trabalha com a totalidade delas (fatorial completo), mas adota-se as chamadas técnicas de fracionamento, onde pode-se citar como mais importantes o fatorial fracionário e os arranjos ortogonais desenvolvidos por Taguchi (ROSS, 1991 e SOUZA, 1999).
      - Formação de subconjuntos de alternativas (blocos): para HENSHER (1994), Apud AZAMBUJA (1995) isto é particularmente importante onde há muitas alternativas para serem submetidas aos entrevistados, mesmo depois da aplicação de uma das técnicas de fracionamento. Em geral trabalha-se com os chamados blocos incompletos, os quais não incluem todas as alternativas, e que podem ser de três tipos (YATES, 1936 e SOUZA, 1999): blocos incompletos balanceados (BIB), blocos incompletos parcialmente balanceados (BIPB) e blocos incompletos não-balanceados (BINB).

#### **d) Medição das escolhas:**

Para registrar as preferências dos entrevistados, na técnica de Preferência Declarada, podem ser usadas três formas principais:

- Ordenação (“Ranking”): várias opções são apresentadas aos entrevistados de maneira que sua escolha seja uma classificação destas opções por ordem de

preferência. Neste caso, os cartões devem ser apresentados numa seqüência aleatória ao entrevistado e este escolhe a alternativa que mais lhe agrada; este cartão é, então, retirado do conjunto e o entrevistado escolhe sua segunda opção dentre os cartões remanescentes. E, assim, sucessivamente.

- Avaliação ("Rating"): esse método pode ser expresso por uma preferência relativa de uma entre duas alternativas sobre uma escala semântica, como por exemplo: *definitivamente escolheria a opção A, provavelmente escolheria A, indiferente entre as alternativas, provavelmente escolheria a opção B, definitivamente escolheria a opção B*. Outra forma de avaliação é aquela em que um conjunto de cartões é apresentado ao entrevistado e é pedido ao mesmo que avalie cada uma das alternativas através da atribuição de notas.

- Escolha Discreta ("Choice"): várias opções são apresentadas ao entrevistado, o qual escolhe a preferida.

#### **e) Análise dos dados:**

Segundo ALMEIDA (1999) a análise dos dados é uma etapa de grande importância dentro da técnica de Preferência Declarada. Segundo WILLUMSEN e VICUÑA (1990) as técnicas analíticas variam segundo a tipo de estratégia com que se desenvolve o experimento de Preferência Declarada, e o objetivo comum dessas técnicas é estabelecer o efeito relativo dos atributos sobre a função utilidade. Segundo estes autores as técnicas analíticas mais utilizadas são:

- Análise de Regressão Múltipla: esta técnica geralmente é usada quando se tem dados de avaliação ("rating"), os quais são usados como variáveis dependentes, obtendo-se como resultado final a importância relativa de cada atributo;

- Modelos de Escolha Discreta: são as técnicas mais utilizadas para estimar modelos probabilísticos desagregados, a partir de dados de Preferência Declarada.



Uma das formas mais utilizadas destes modelos é o Modelo Logit Multinomial, visto na seção 4.2.3.

#### 4.3.2.2. O Modelo Logit Multinomial Explodido

Para ajustar os dados coletados, quando o método de pesquisa de Preferência Declarada envolve a ordenação das alternativas, usa-se, em geral, o chamado Modelo Logit multinomial Explodido. Supondo que o conjunto de escolha  $C$  possui um número de  $J$  alternativas, o desdobramento do processo de escolha em  $J-1$  decisões independentes por cada entrevistado, como se fossem escolhas feitas por diferentes entrevistados, leva a esse modelo (BEN-ÁKIVA e LERMAN, 1985).

Para explodir a informação contida nos dados ordenados com  $J$  alternativas é necessário, em primeiro lugar, considerar as ordens de escolha. Se as probabilidades de escolha seguem o modelo Logit, a probabilidade de observar uma ordem de classificação para a alternativa 1 ser preferida a 2, a alternativa 2 a 3, e assim por diante, é dado pelo produto de  $J-1$  funções do Modelo Logit Multinomial:

$$P_n(1,2,\dots,J) = \prod_{i=1}^{J-1} \frac{e^{\beta' X_{ijnb}}}{\sum_{i \in C_b} e^{\beta' X_{inb}}} \quad (4.45)$$

onde:

$C_b$  é o conjunto de escolha explodido;

$\beta'$  = vetor de parâmetros (vetor transposto de  $\beta$ );

$X_{ijnb}$  = vetor dos valores dos atributos para o indivíduo "n", para a alternativa "j", no subconjunto (bloco) "b"

### 4.3.2.3. O Modelo Logit Multinomial com Probabilidade Condicional

Este modelo matemático, apresentado por SOUZA (1999), tem por finalidade as estimativas dos parâmetros da função utilidade (isto é, o vetor  $\beta$ ) no caso de ordenação de alternativas em conjuntos de escolha, que tenham sido formados com o uso das técnicas de blocos balanceados incompletos. Segundo este autor, nessa situação, o Modelo Logit Multinomial pode vir a produzir estimativas viesadas de  $\beta$ , devido a três fatores:

- conflito com a propriedade IID (alternativas Independentemente e Identicamente distribuídas);
- falta de comparação par a par entre todas as alternativas de A (conjunto de todas as alternativas), através dos  $A_i$  (subconjuntos de alternativas);
- não consideração da influência dos diversos subconjuntos, ou seja, a probabilidade condicional não é levada em conta no modelo logit multinomial.

O Modelo Logit Multinomial com Probabilidade Condicional (LMPC) tem a seguinte formulação:

$$P_n(j/C_b \subset C) = \frac{\sum_{i=1}^J e^{\beta' X_{inb}}}{\sum_{b=1}^B \sum_{i=1}^J e^{\beta' X_{inb}}} \frac{e^{\beta' X_{jn}}}{\sum_{i \in C_b} e^{\beta' X_{inb}}} \quad (4.46)$$

onde:

$$C = \sum_b C_b$$

$C_b$  = conjunto de alternativas apresentadas ao indivíduo  $n$ ;

$B$  = total de subconjuntos em  $C$ ;

$\beta'$  = vetor de parâmetros (vetor transposto de  $\beta$ );

$X_{jnb}$  = vetor dos valores dos atributos para o indivíduo "n", para a alternativa "j", no subconjunto (bloco) "b"

SOUZA (1999) desenvolveu o "software" denominado LMPC (Logit Multinomial com Probabilidade Condicional), que é usado no presente trabalho, como será visto em capítulos posteriores. O referido programa permite calcular as estimativas dos parâmetros para o Modelo Logit Multinomial (LMN) e para o Modelo Logit Multinomial com Probabilidade Condicional (LMPC). Também permite identificar dados discrepantes, dimensionar o tamanho da amostra e determinar as elasticidades direta e cruzada. Além disso, o programa também executa uma série de testes estatísticos.

#### 4.3.2.4. Ajuste por Máxima Verossimilhança dos Modelos Logit

O ajuste por máxima verossimilhança é um método de estimativa que tem por objetivo, a partir de uma amostra, estimar os parâmetros  $\beta_k$  ( $k = 1, \dots, K$ , onde  $K$  é o número total de atributos considerados), o qual, no caso de uma variável discreta, maximiza a probabilidade de se obter o evento particular analisado ou, no caso de uma variável contínua, maximiza a probabilidade de se obter a densidade de probabilidade no ponto considerado.

Dada a função densidade de probabilidade  $f(X, \beta)$  e o conjunto de valores  $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$  e  $\beta=(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$  o conjunto de parâmetros a estimar, a função de verossimilhança é dada por:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^N f(x_i, \beta) \quad (4.47)$$

onde  $N$  é o número de observações. Assim, o objetivo é determinar  $\beta=(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$  que maximize a função  $L(\beta)$ .

A função de verossimilhança para um modelo de escolha multinomial é (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985 e SOUZA, 1999):

$$L^* = \prod_{n=1}^N \prod_{j \in C_n} P_n(j/C_b)^{y_{jn}} \quad (4.48)$$

onde:

$N$  = tamanho da amostra (número de observações);

$j$  = alternativa escolhida;

$y_{jn}$  = variável indicadora =  $\begin{cases} 1, & \text{se o entrevistado } n \text{ escolheu a alternativa } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$C_b$  = conjunto de escolha apresentado ao entrevistado  $n$ .

Considerando um modelo Logit linear nos parâmetros, tem-se:

$$P_n(j/C_b) = \frac{e^{\beta' X_{jnb}}}{\sum_{i \in C_b} e^{\beta' X_{inb}}} \quad (4.49)$$

onde:

$\beta'$  = vetor de parâmetros (vetor transposto de  $\beta$ );

$X_{jnb}$  = vetor dos valores dos atributos para o indivíduo "  $n$  ", para a alternativa "  $j$  ", no subconjunto (bloco) "  $b$  "

Substituindo a equação (4.37) na (4.36) e aplicando o logarítmo, obtém-se a função de log-verossimilhança para o Modelo Logit Multinomial:

$$L = \sum_{n=1}^N \sum_{j \in C_b} y_{jn} \left[ \beta' X_{jnb} - \ln \sum_{i \in C_b} e^{\beta' X_{inb}} \right] \quad (4.50)$$

Já para o Modelo Logit Multinomial Explodido, isto é, na situação em que se tem um conjunto de escolha ordenado, ALMEIDA (1999) e SOUZA (1999) apresentam a seguinte função de verossimilhança:

$$L^* = \prod_{n=1}^N \prod_{j=1}^{J-1} \frac{e^{\beta' X_{jnb}}}{\sum_{i \in C_b} e^{\beta' X_{inb}}} \quad (4.51)$$

Aplicando o logaritmo na equação (4.39), chega-se a função de log-verossimilhança para o Modelo Logit Multinomial Explodido:

$$L = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^{J-1} \left[ \beta' X_{jnb} - \ln \sum_{i=j}^J e^{\beta' X_{inb}} \right] \quad (4.52)$$

A função de log-verossimilhança para o Modelo Logit Multinomial com Probabilidade Condicional (LMPC) é apresentada por SOUZA (1999) e os procedimentos para sua obtenção são análogos aos realizados anteriormente. Assim, a função de verossimilhança para um modelo de escolha multinomial com probabilidade condicional é dada por:

$$L^* = \prod_{n=1}^N \prod_{j \in C_n} P_n(j/C_b \subseteq C)^{y_{jn}} \quad (4.53)$$

onde:

$C = \sum_b C_b$ , onde  $C_b$  é o conjunto de alternativas apresentadas ao indivíduo  $n$ ;

$j$  = alternativa escolhida;

$B$  = total de subconjuntos em  $C$ ;

$y_{jn}$  = variável indicadora =  $\begin{cases} 1, & \text{se o entrevistado } n \text{ escolheu a alternativa } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

Para o Modelo Logit com Função Utilidade linear tem-se:

$$P_n(j/C_b \subset C) = P_{(C_b/C)} \cdot P_{(j/C_b)} = \frac{\sum_{i=1}^J e^{\beta' X_{inb}}}{\sum_{b=1}^B \sum_{i=1}^J e^{\beta' X_{inb}}} \frac{e^{\beta' X_{jnb}}}{\sum_{i \in C_b} e^{\beta' X_{inb}}} \quad (4.54)$$

Substituindo a equação (4.42) na (4.41) e aplicando o logaritmo obtém-se a função de log-verossimilhança para o modelo LMPC:

$$L = \sum_{n=1}^N \sum_{j \in C_b} y_{jnb} \left[ \ln w_b + \beta'_{jnb} - \ln \sum e^{\beta' X_{inb}} \right] \quad (4.55)$$

onde:

$C_b$  = conjunto de escolha apresentado ao entrevistado  $n$ ;

$$W = \frac{\sum_{i=1}^J e^{\beta' X_{inb}}}{\sum_{b=1}^B \sum_{i=1}^J e^{\beta' X_{inb}}}$$

Para o caso da função de verossimilhança em um conjunto de escolha explodido com probabilidade condicional, SOUZA (1999) apresenta:

$$L^* = \prod_{n=1}^N \frac{\sum_{i=1}^J e^{\beta' X_{inb}}}{\sum_{b=1}^B \sum_{i=1}^J e^{\beta' X_{inb}}} \cdot \prod_{j=1}^{J-1} \frac{e^{\beta' X_{jnb}}}{\sum_{i \in C_b} e^{\beta' X_{inb}}} \quad (4.56)$$

Aplicando o logaritmo na equação (4.44), chega-se à função de log-verossimilhança:

$$L = \sum_{n=1}^N \left[ \ln w_b + \sum_{j=1}^{J-1} \left( \beta' X_{jnb} - \ln \sum_{i=j}^J e^{\beta' X_{inb}} \right) \right] \quad (4.57)$$

A equação (4.45) é a função de log-verossimilhança maximizada no programa LMPC, desenvolvido por SOUZA (1999), o qual é usado nesse trabalho.

#### 4.4. ALGUNS MODELOS DESAGREGADOS DESENVOLVIDOS NA ÁREA DE TRANSPORTE DE CARGA

MIKLIUS, CASAVANT e GARROD (1976) desenvolveram um modelo desagregado analisando embarques individuais de cerejas e maçãs, pelos modos rodoviário e ferroviário. Para cada produto foi estimado um Modelo logit de escolha de modo, com a seguinte especificação:

$$\log \left[ \frac{p}{1-p} \right] = \alpha + \beta_{1i} C_i - \beta_{1j} C_j + \beta_{2i} T_i - \beta_{2j} T_j + \beta_{3i} VT_i - \beta_{3j} VT_j + \sum_{k=1}^t \gamma_k S_k \quad (4.58)$$

onde:

$i, j$  = modos ferroviário e rodoviário, respectivamente;

$p$  = probabilidade de embarque pelo modo  $i$ ;

$C_i$  e  $C_j$  = despesas de transporte pelo modo  $i$  e  $j$ , respectivamente;

$T_i$  e  $T_j$  = tempos de viagem pelos modos  $i$  e  $j$ , respectivamente;

$VT_i$  e  $VT_j$  = variância do tempo de viagem pelos modos  $i$  e  $j$ , respectivamente;

$S_k$  = alguma característica do vendedor ou comprador, para o  $k$ -ésimo embarque, relevante para a escolha do modo de transporte.

No caso do transporte de cerejas, MIKLIUS et al (1976) usaram informação sobre os embarques individuais de Washington, Oregon e Montana, do ano de 1972. No caso das maçãs, foram usados dados de carregamentos individuais de Washington, igualmente para o ano de 1972. Os coeficientes dos modelos especificados foram estimados usando o procedimento de máxima verossimilhança.

ALLEN (1977) utilizou um modelo desagregado baseado na chamada Teoria da Firma, da Microeconomia. De acordo com o referido modelo, o lucro da empresa embarcadora era:

$$\pi = [P - T(Q, \alpha)] Q e^{-i\alpha} - f(Q) \quad (4.59)$$

onde:

$\pi$  = lucro gerado pela empresa;

$Q$  = quantidade que a firma produz e embarca;

$\alpha$  = tempo decorrido desde o embarque das remessas, do local de produção, até a sua chegada ao mercado (um indicador do nível de serviço fornecido pela companhia transportadora);

$T(Q, \alpha)$  = despesas de transporte por unidade de produto;

$i$  = taxa de participação no mercado;

$f(Q)$  = função de custo de produção da firma.

Assumindo que o lucro deve ser maximizado, a produção e a demanda por transporte da empresa, em relação às taxas de frete ou qualquer outra característica de serviço, podem ser obtidas a partir da maximização da equação 4.47 (ZLATOPER, 1989 e ALLEN, 1977).

WINSTON (1981) apresenta um modelo de escolha de modo desagregado para a situação na qual o recebedor da mercadoria é o tomador de decisão em termos da escolha do modal a ser usado. Ele considera que a quantidade recebida é determinada exogenamente ao modelo e as localizações das empresas são consideradas fixas. Também é assumido que, por causa da incerteza associada à qualidade do serviço, o recebedor seleciona um modo pela maximização da utilidade esperada, a qual é presumida depender das características dos modos de transporte, características da mercadoria e características do próprio recebedor. Além disso, este autor assume que a função utilidade esperada tem uma formulação de utilidade aleatória.

WILSON, BISSON e KOBIA (1986) apresentam um estudo que usa dados coletados de diversas fábricas, no Canadá. A principal preocupação do trabalho diz respeito à escolha modal, sendo que as variáveis consideradas para explicar tal escolha foram divididas nas seguintes categorias: características dos modos de transporte, características dos embarques, características das empresas transportadoras e características do embarcador. Nesse trabalho, foram considerados três modos de transporte: caminhões alugados (H), caminhões pertencentes à própria empresa (P) e ferrovia (R).



Estes autores empregaram uma formulação Logit, com Função Utilidade linear, com a seguinte forma:

$$P_m = \frac{e^{U_m}}{\sum_N e^{U_n}}, \quad n=1, \dots, N \quad (4.60)$$

onde:

$P_m$  = probabilidade de escolha do modo  $m$ ;

$U_m$  = utilidade do modo  $m$ ;

$N$  = número de modos.

Para os modos de transporte considerados no referido trabalho, os autores usaram as seguintes expressões para calcular a probabilidade de uso de cada um:

$$P_H = \frac{e^{U_H}}{e^{U_H} + e^{U_P} + e^{U_R}} = \frac{1}{1 + e^{U_P - U_H} + e^{U_R - U_H}} \quad (4.61)$$

$$P_P = \frac{e^{U_P}}{e^{U_H} + e^{U_P} + e^{U_R}} = \frac{1}{1 + e^{U_H - U_P} + e^{U_R - U_P}} \quad (4.62)$$

$$P_R = \frac{e^{U_R}}{e^{U_H} + e^{U_P} + e^{U_R}} = \frac{1}{1 + e^{U_P - U_H} + e^{U_R - U_H}} \quad (4.63)$$

onde  $U_H$ ,  $U_P$  e  $U_R$  eram funções utilidade determinadas usando procedimentos de estimação de máxima verossimilhança, as quais apresentavam a seguinte forma:

$$U_m = \alpha_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j X_j \quad (4.64)$$

onde:

$\alpha_0$ ,  $\alpha_j$  = parâmetros determinados por procedimentos de estimação de máxima verossimilhança;

$X_j$  = variáveis explicativas.

AZAMBUJA (1995) estuda em seu trabalho o caso da variabilidade dos tempos de viagem no transporte de grãos e adubo no Rio Grande do Sul. Esse autor estima alguns modelos comportamentais, usando para a coleta de dados a técnica de Preferência Declarada. Na aplicação da referida técnica, foram utilizadas comparações em pares de alternativas, usando uma escala semântica (isto é, foi usada a estratégia "rating") para a medição das escolhas.

Segundo o autor supra-citado, a função utilidade em transportes tem sido considerada em diferentes abordagens. Em seu trabalho, são destacadas duas dessas abordagens:

- abordagem de média e variância do tempo;
- abordagem de utilidade esperada.

Na segunda abordagem, considerando que a incerteza nos tempos de viagem possa ser comparada a uma loteria, os indivíduos teriam um "ganho" diante de uma situação em que o tempo de viagem efetivo fosse menor do que o tempo de viagem esperado. O valor esperado da loteria é o somatório dos resultados, cada um multiplicado por sua probabilidade de ocorrência ( $p$ ). Assim pode-se escrever:

$$E(t) = p t_1 + (1 - p) t_2 \quad (4.65)$$

onde:

$E(t)$  = valor do tempo de viagem esperado;

$t_1, t_2$  = diferentes tempos de viagem.

Em termos de utilidades, pode-se escrever:

$$E[U(t)] = p U(t_1) + (1 - p) U(t_2) \quad (4.66)$$

onde:

$E[U(t)]$  = valor da utilidade esperada;

$U(t_1)$ ,  $U(t_2)$  = utilidades associadas aos tempos de viagem  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente.

Nesse contexto, um indivíduo (usuário) pode ser enquadrado em três situações distintas:

- neutro em relação ao risco (isto é, indiferente ao risco);
- avesso ao risco (isto é, não gosta do risco);
- propenso ao risco (isto é, geralmente aceita o risco).

a) Neutralidade ao risco:

Um indivíduo é dito *neutro em relação ao risco*, se ele iguala a utilidade do valor esperado da loteria e o valor esperado da utilidade, isto é:

$$U[p t_1 + (1-p) t_2] = p U(t_1) + (1-p) U(t_2) \quad (4.67)$$

Nesse caso, o indivíduo está somente interessado no valor do tempo esperado e é totalmente indiferente ao risco. Assim sendo, se uma função utilidade for especificada, por exemplo, por:

$$U = \alpha t^\beta \quad (4.68)$$

onde:

$\alpha$  = parâmetro associado à variável  $t$ ;

$t$  = tempo de viagem,

então o valor de  $\beta$  será 1 para indivíduos neutros ao risco.

## b) Aversão ao risco:

Um indivíduo é dito ser avesso ao risco se a utilidade do valor esperado do tempo de viagem é menor do que o valor esperado da utilidade, ou seja:

$$U[p t_1 + (1-p) t_2] < p U(t_1) + (1-p) U(t_2) \quad (4.69)$$

Se a equação (4.31) é válida para todos os valores entre  $0 < p < 1$  e todos "t<sub>1</sub>" e "t<sub>2</sub>" dentro do domínio da função utilidade, então  $\beta > 1$  na equação (4.68).

Nessa situação, o indivíduo prefere um "resultado certo" para a loteria e não toma parte em situações desfavoráveis ou pouco prováveis.

## c) Propensão ao risco:

Um indivíduo é dito propenso ao risco em relação a um tempo de viagem incerto, se a utilidade de seu valor esperado é maior do que o valor esperado da utilidade. Assim:

$$U[p t_1 + (1-p) t_2] > p U(t_1) + (1-p) U(t_2) \quad (4.70)$$

Nessa situação,  $\beta < 1$  na equação (4.68) e o indivíduo prefere um resultado incerto (desde que tenha uma probabilidade de ganho) em vez de um resultado certo com o mesmo valor esperado.

A Figura 4.9 apresenta uma visão da Função Utilidade Esperada para as três situações expostas anteriormente.

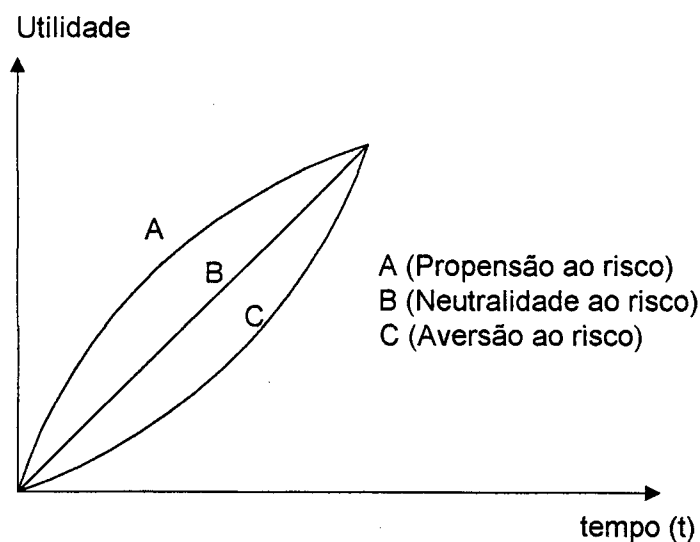


Figura 4.9: Função de Utilidade Esperada para comportamentos distintos em relação ao risco

Dentro da primeira abordagem AZAMBUJA (1995) utiliza o Modelo Generalizado de Jackson e Jucker:

$$U = \alpha E(t^\beta) + \gamma V(t^\beta) + \delta C \quad (4.71)$$

onde:

U = utilidade;

$\beta$  = variável indicadora do comportamento em relação ao risco;

$E(t^\beta)$  = tempo de viagem esperado;

$V(t^\beta)$  = variância do tempo de viagem;

C = custo;

$\alpha, \gamma, \delta$  = parâmetros a serem calibrados.

Dentro da Segunda linha de abordagem, o autor usa dois modelos, quais sejam o Modelo de Utilidade Esperada com Variáveis Média e Desvio-Padrão (MUEVDP) e uma versão “expandida” do mesmo.

O Modelo MUEVDP apresenta a seguinte formulação:

$$E(U) = \alpha E(t^\beta) = \alpha \left\{ \left[ E(t^{\beta/2}) \right]^2 + \left[ \sigma(t^{\beta/2}) \right]^2 \right\} + \tau C \quad (4.72)$$

onde:

$E(U)$  = utilidade esperada;

$E(t^{\beta/2})$  = tempo de viagem esperado;

$\sigma(t^{\beta/2})$  = desvio-padrão do tempo de viagem;

$C$  = custo;

$\alpha, \tau$  = parâmetros a serem calibrados.

Já para o chamado modelo MUEVDP Expandido, AZAMBUJA (1995) apresenta:

$$E(U) = \alpha E(t^\beta) = \alpha \left\{ \left[ E(t^{\beta/2}) \right]^2 + \left[ \sigma(t^{\beta/2}) \right]^2 \right\} + \lambda [\sigma(t)^2] + \delta C \quad (4.73)$$

onde:

$E(U)$  = utilidade esperada;

$E(t^{\beta/2})$  = tempo de viagem esperado;

$\sigma(t^{\beta/2})$  = desvio-padrão do tempo de viagem;

$\sigma(t)^2$  = margem de segurança;

$C$  = custo;

$\alpha, \lambda, \delta$  = parâmetros a serem calibrados.

Este último modelo apresentado foi desenvolvido por SENNA (1994).

Para tentar verificar a influência que certas situações poderiam exercer no comportamento dos usuários, AZAMBUJA (1995) incluiu algumas variáveis "dummy" no modelo dado pela equação (4.55), chegando a seguinte forma:

$$E(U) = \alpha E(t^\beta) = \alpha \left\{ \left[ E(t^{\beta/2}) \right]^2 + \left[ \sigma(t^{\beta/2}) \right]^2 \right\} + \lambda [\sigma(t)^2] + \delta C + \eta_1 D_1 + \dots + \eta_5 D_5 \quad (4.74)$$

onde:

$E(U)$  = utilidade esperada;

$E(t^{\beta/2})$  = tempo de viagem esperado;

$\sigma(t^{\beta/2})$  = desvio-padrão do tempo de viagem;

$\sigma(t)^2$  = margem de segurança;

$C$  = custo;

$D_1, D_2, \dots, D_5$  = variáveis "dummy" associadas a determinadas características (as quais assumem o valor 0 ou 1);

$\alpha, \lambda, \delta, \eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5$  = parâmetros a serem calibrados.

AZAMBUJA (1995) apresenta os resultados obtidos com a aplicação dos diversos modelos (para diferentes valores de  $\beta$ ) e, como uma de suas principais conclusões, afirma que o modelo que melhor explicou a decisão dos usuários foi o Modelo MUEVDP Expandido, usando uma variável "dummy" referente a *multas aplicadas no caso de atrasos*.

VIEIRA (1996) estudou os atributos mais importantes no processo de movimentação de produtos containerizados em Santa Catarina. Para a coleta de dados, esse autor usou a técnica de Preferência Declarada e a estratégia de ordenação ("ranking").

A função utilidade linear estimada nesse trabalho apresentava a seguinte forma:

$$U = \beta_1 \frac{(C_{tp} - C_{tpo})}{V_c} + \beta_2 \frac{(F_{rt} - F_{rto})}{V_c} + \beta_3 (I_{nv} - I_{nvo}) + \beta_4 (T_{pp} - T_{ppo}) + \beta_5 S_s + \beta_6 S_a + \beta_7 S_{p1} + \beta_8 S_{p2} + \beta_9 S_{p30} \quad (4.75)$$

onde:

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_9$  = parâmetros a serem calibrados;

$C_{tp}$  = custo do transporte terrestre (custo rodoviário e custo portuário, em dólares);

$C_{tpo}$  = valor do custo terrestre para a situação atual praticada pela empresa;

$V_c$  = valor médio da carga de um contêiner cheio, em dólares;

$F_{rt}$  = frete marítimo (dólares/TEU);

$F_{rto}$  = valor do frete marítimo para a situação atual praticada pela empresa;

$I_{nv}$  = freqüência de navios atendendo as linhas em questão (em dias);

$I_{nvo}$  = freqüência de navios para a situação atual enfrentada pela empresa;

$T_{pp}$  = tempo porta à porta (tempo de deslocamento da fábrica ao destino, em dias);

$T_{ppo}$  = valor do tempo porta à porta para a situação atual praticada pela empresa;

$S_s$  = variável "dummy" Segurança Portuária

$$S_s = \begin{cases} 0, & \text{situação da segurança no porto inalterada.} \\ 1, & \text{situação da segurança no porto melhorada} \end{cases}$$

$S_a$  = variável "dummy" Atendimento Portuário

$$S_a = \begin{cases} 0, & \text{situação inalterada.} \\ 1, & \text{situação melhorada} \end{cases}$$

$S_{p1}$  = variável "dummy" Porto de São Francisco do Sul;

$S_{p2}$  = variável " dummy" Porto de Itajaí;

$S_{p3}$  = variável "dummy" Porto de Imbituba.

No trabalho em questão, o ajuste dos coeficientes foi feito através da maximização da função de verossimilhança logarítmica aplicando o método de Newton-Raphson vetorial. A função utilidade obtida foi:

$$U = -0,24760 \frac{(C_{tp} - C_{tpo})}{1000V_c} - 0,26938 \frac{(F_{rt} - F_{rto})}{1000V_c} - 0,12610(I_{nv} - I_{nvo}) - 0,11569(T_{pp} - T_{ppo}) + \quad (4.76)$$

$$+ 0,14041S_a + 0,71878 S_{p1} + 0,52659 S_{p2} - 0,27655 S_{p3}$$



É interessante observar que a variável Segurança Portuária ( $S_p$ ) não foi estatisticamente significativa e foi retirada do modelo. Isso foi justificado por VIEIRA (1996) pelo fato do contêiner, por si só, fornecer um alto grau de segurança às mercadorias transportadas.

Após esta revisão de literatura das abordagens agregada (Capítulo 3) e desagregada comportamental (Capítulo 4), apresenta-se no capítulo seguinte (Capítulo 5) uma proposta de modelagem comportamental e desagregada a ser aplicada em corredores agrícolas de exportação, onde serão usados muitos dos conceitos vistos nos capítulos anteriores.

## **5. UMA MODELAGEM COMPORTAMENTAL DESAGREGADA COM DADOS DE PREFERÊNCIA DECLARADA APLICADA A CORREDORES AGRÍCOLAS DE EXPORTAÇÃO**

### **5.1. INTRODUÇÃO**

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar uma metodologia que possa servir como instrumento auxiliar no planejamento dos chamados corredores de transporte agrícolas de exportação.

Um corredor do tipo mencionado acima pode ser definido como um segmento do sistema de transportes, que liga regiões de elevada produção agrícola à portos exportadores, onde normalmente estabelecem-se fluxos intensos de transferência de produtos, os quais geralmente justificam a adoção de tecnologias modernas de manuseio, armazenagem e transporte. Este tipo de sistema é, geralmente, objeto de estudos por parte de órgãos públicos de planejamento de transporte, fato este que pode ser visto em várias publicações (GEIPOT, 1982, 1994 e 1997).

Do ponto de vista do processo de planejamento, a previsão da demanda futura de cada uma das modalidades de transporte disponíveis no corredor é uma condição essencial para uma adequada política de investimentos. Por outro lado, em termos da operação do sistema, deve-se buscar o uso eficiente da infra-estrutura e dos equipamentos existentes, para que a movimentação dos fluxos de produtos seja efetuada da melhor maneira possível.

Tanto a previsão da demanda futura pelas diversas modalidades de transporte como a formulação de novas medidas para a operação do sistema, só podem ser efetuadas de maneira adequada a partir do conhecimento dos

fatores determinantes do comportamento dos usuários, tendo em vista que as movimentações que ocorrem dentro de um corredor de transporte deste tipo são o resultado de um processo decisório destes usuários, buscando movimentar seus produtos da forma mais satisfatória possível. Dentro desta linha de preocupação com o comportamento dos usuários e com a competição modal, no caso do transporte de carga, podem ser citados os trabalhos de Winston (1981), Wilson et al. (1988) e Abdelwahab e Sargious(1992).

Conforme foi exposto no Capítulo 4, os modelos comportamentais procuram estabelecer relações de causa e efeito entre os principais atributos dos sistemas de transportes e as decisões possíveis de serem adotadas pelos usuários, sendo que as referidas relações causais são estabelecidas através da Teoria Econômica do Consumidor, associada ao conceito de utilidade.

Dentro desse contexto, o presente trabalho:

- considera a escolha de modos e/ou rotas de transporte, dentro de um corredor agrícola de exportação, como um processo de seleção entre alternativas, associando a cada uma dessas alternativas uma utilidade aleatória;
- emprega uma formulação baseada na teoria dos Modelos de Escolha Discreta (também chamados Modelos de Utilidade Aleatória), para descrever as escolhas dos usuários entre alternativas que competem entre si;
- emprega uma formulação logit multinomial, usando dados obtidos com o uso da técnica de preferência declarada, para estimar a repartição modal de transporte em um corredor agrícola de exportação;
- Acresce variáveis de atração à formulação citada anteriormente, montando um modelo de *Market-Share* e usando dados de preferência revelada.

## 5.2. A ABORDAGEM EMPREGADA PARA CONSIDERAR AS ESCOLHAS DE MODOS E/OU ROTAS DE TRANSPORTE

Nesse trabalho adota-se uma abordagem probabilística para as escolhas de modos e/ou rotas dentro de um corredor de transporte agrícola de exportação.

A hipótese fundamental dos Modelos de Utilidade Aleatória é que, numa situação de escolha entre várias alternativas, as preferências dos usuários em relação a cada uma dessas alternativas podem ser descritas por uma medida de utilidade associada a cada alternativa. Tal utilidade é uma função dos atributos das alternativas e, muitas vezes também, das características dos usuários, que são os tomadores da decisão de enviar um determinado produto, de um ponto de origem para um destino pré-estabelecido, utilizando uma alternativa de transporte disponível. É importante frisar que, no caso de um corredor agrícola de exportação, os usuários geralmente são empresas exportadoras e cooperativas. Esta situação é esquematizada na Figura 5.1, para uma situação onde o usuário "n" tem a sua disposição três alternativas e onde são considerados "m" atributos.

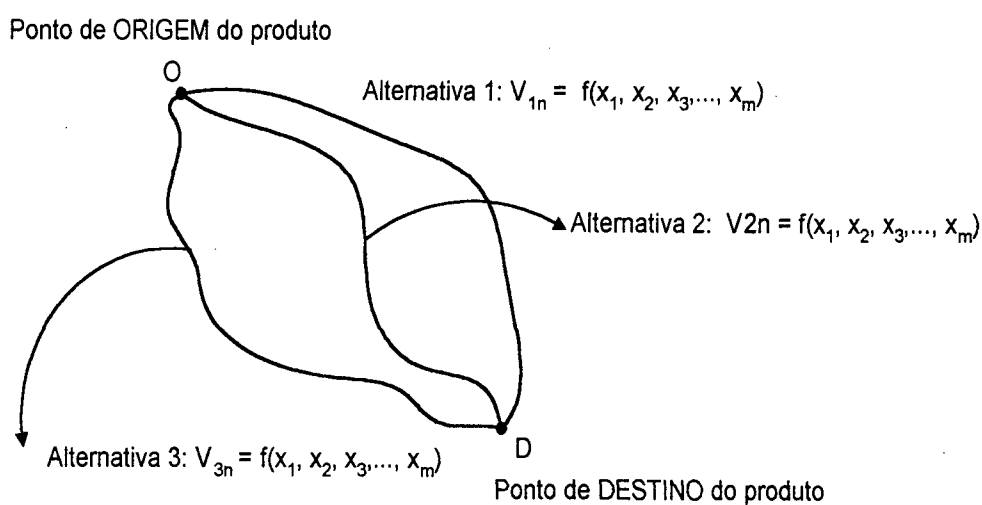


Fig. 5.1: Esquema de uma situação de escolha entre alternativas para os usuários de um corredor de transporte de carga

Na situação esquematizada na Figura 5.1 considera-se uma utilidade  $V_{in}$ , onde “i” indica a alternativa e “n” o usuário.

Nesse contexto é considerado que o tomador de decisão escolherá a alternativa que produzir o maior valor de utilidade. As utilidades, entretanto, não podem ser observadas ou medidas diretamente. Além disso, existem muitos fatores que influenciam as escolhas que não podem ser observados e devem, conseqüentemente, ser tratados como aleatórios. Assim sendo, as utilidades são modeladas como aleatórias e os modelos de escolha obtidos dão somente a *probabilidade* com que as alternativas são escolhidas e não a escolha propriamente dita.

### **5.3. O USO DE MODELOS DE *MARKET-SHARE* PARA A OBTENÇÃO DAS ESCOLHAS DE MODOS E/OU ROTAS**

A abordagem mencionada na seção 5.2 tenta explicar as escolhas das alternativas por parte dos usuários (embarcadores e operadores logísticos, por exemplo) como uma função de uma série de atributos relacionados ao nível de serviço oferecido pelos transportadores, como tempo de viagem, valor do frete, etc.

Entretanto, no setor de transporte de graneis agrícolas, notadamente existem outros fatores que também podem influenciar a escolha dos usuários entre as diferentes alternativas. Tais fatores, muitas vezes, relacionam-se às condições da oferta de um determinado modo de transporte: em algumas situações, por exemplo, o modo ferroviário oferece um nível de serviço aceitável, mas por questões operacionais ou de política da companhia operadora, a oferta é limitada, obrigando o usuário a escolher outra opção.

Para contemplar no processo de modelagem situações como a exposta anteriormente, foi feita a introdução de *Modelos de Market-Share com*

*Variáveis de Atração*, como uma maneira de melhorar e aperfeiçoar a metodologia apresentada na seção 5.2.

Assim sendo, será considerado que a probabilidade de que um determinado usuário escolha um determinado modo e/ou rota para transportar o seu produto, será explicada por dois fatores principais:

- um conjunto de atributos das opções de transporte, os quais formarão uma função utilidade, sendo que a referida probabilidade de escolha e estes atributos serão relacionados através de uma formulação logit;
- um *Fator de Atração*, relacionado às condições de oferta de serviço das alternativas envolvidas.

Para COOPER e NAKANISHI (1988) o objetivo de um Modelo de *Market-Share* é estimar, de forma efetiva, as ações do mercado em ambientes onde existe competição. Dessa forma, este tipo de modelo parece ser, em princípio, adequado para ser usado no caso do transporte de grãos em corredores agrícolas de exportação, pois nessa situação a competição é uma das principais forças atuando sobre os transportadores e embarcadores (onde estes últimos são os usuários do sistema de transporte).

Os exemplos mais recentes do uso de modelos de *Market-Share*, aplicados a transportes, são encontrados na área de transporte de passageiros. CARVALHO (1993) e NOVAES e CARVALHO (1996) citam o modelo empírico usado pela Companhia Boeing no setor de operações de linhas aéreas. Já no setor de transporte interurbano de ônibus podem ser citados os trabalhos de CARVALHO (1993) e WILLIAMS e ABDULAAL (1993).

Segundo NOVAES e CARVALHO (1996) a modelagem de *Market-Share* é geralmente feita quando se está procurando desenvolver um sistema de suporte à decisão. Assim, com a finalidade de prever os resultados de uma

certa linha de ação, podem ser usados modelos deste tipo para simular uma situação futura e, assim, ter uma perspectiva do caminho a seguir. É importante frisar que uma série de variáveis ligadas às condições de mercado podem ser representadas no modelo, permitindo que os resultados obtidos possam ser usados como base para a tomada de decisões estratégicas.

No caso do setor de transportes, o objetivo da elaboração de um Modelo de *Market-Share*, na prática, é determinar a fração do mercado de transporte que será alocada a cada alternativa de transporte disponível. De acordo com BRODIE e KLUYVER, Apud NOVAES e CARVALHO (1996), os Modelos de *Market-Share* mais comuns usam as chamadas variáveis de atração.

Nesse trabalho, é empregada uma formulação análoga a usada por DALY (1982) e NOVAES e CARVALHO (1996). Estes autores utilizaram um modelo de escolha Logit combinado com variáveis de atração.

#### 5.4. A FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO PROPOSTO

O modelo aplicado nesse trabalho, tem a seguinte formulação matemática:

$$P_i(n) = \frac{F_i e^{\theta V_{in}}}{\sum F_j e^{\theta V_{jn}}} \quad (5.1)$$

onde:

$P_i(n)$  = probabilidade de que um determinado usuário (um embarcador de granéis, que em geral é uma cooperativa ou empresa exportadora) escolha a opção "i" de um conjunto de alternativas possíveis;

$F_i$  = variável de atração associada com as condições de oferta da alternativa "i";

$\theta$  = parâmetro a ser calibrado.

A utilidade  $V_{in}$  é expressa matematicamente por:

$$V_{in} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ink} \quad (5.2)$$

onde:

$V_{in}$  : utilidade da alternativa  $i$  para o usuário  $n$ ;

$X_{ink}$  : valor do atributo  $k$  para a alternativa  $i$  para o usuário  $n$ ;

$\beta_k$  : coeficiente do modelo para o atributo  $k$ ;

$K$  : quantidade de atributos das alternativas.

Considerando-se uma *função utilidade transformada* do mesmo tipo que a apresentada nos trabalhos de DALY (1982) e NOVAES e CARVALHO (1996):

$$U_j = \theta V_j + \ln(F_j) \quad (5.3)$$

pode-se chegar a seguinte forma equivalente a Equação (5.1):

$$P_n(i) = \frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{U_{jn}}} \quad (5.4)$$

## 5.5. DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ATRAÇÃO

Uma questão importante para a aplicação dos modelos expostos nas seções 5.3 e 5.4 é a determinação da variável de atração  $F_i$ . Nesse trabalho,  $F_i$  é considerada como sendo uma variável relacionada à capacidade de oferta de transporte dos modais, no corredor agrícola de exportação considerado.



Para a determinação da variável  $F_i$ , considera-se, inicialmente, uma classificação da situação de oferta de transporte, para cada usuário, em cinco classes distintas:

- Classe I: Situação EXCELENTE;
- Classe II: Situação BOA;
- Classe III: Situação RAZOÁVEL;
- Classe IV: Situação RUIM;
- Classe V: Situação PÉSSIMA.

As classes anteriormente mencionadas correspondem a intervalos de notas, que são atribuídas pelos usuários das diversas alternativas de transporte, considerando-se uma escala de zero a cem, conforme resume a Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Classes adotadas e notas correspondentes

<b>CLASSES</b> (Situações da oferta de transporte)	<b>INTERVALO DE NOTAS</b> <b>CORRESPONDENTE</b>	<b>PONTO MÉDIO DA</b> <b>CLASSE</b>
I) EXCELENTE	[80 – 100]	90,0
II) BOA	[60 – 80)	70,0
III) RAZOÁVEL	[40 - 60)	50,0
IV) RUIM	[20 – 40)	30,0
V) PÉSSIMA	[0 – 20)	10,0

Dessa forma, pode-se definir:

$$F_{i,n} = \frac{N_{i,n}}{\sum_{j \in C_n} N_{j,n}} \times 100 \quad (5.5)$$

onde:

$F_{i,n}$  = Fator de atração da alternativa "i" para o usuário "n";

$N_{i,n}$  = Nota atribuída à alternativa "i" pelo usuário "n";

$C_n$  = Conjunto de alternativas consideradas.

É importante observar que adota-se como valor para  $N_{i,n}$  o ponto médio da classe apontada pelo usuário.

Finalmente, define-se um Fator de Atração Global para cada alternativa, usando-se o conceito de Média Ponderada. Assim:

$$F_i = \frac{\sum t_{i,n} F_{i,n}}{\sum t_{i,n}} \times 100 \quad (5.6)$$

onde:

$F_i$  = Fator de atração para a alternativa "i";

$F_{i,n}$  = Fator de atração da alternativa "i" para o usuário "n";

$t_{i,n}$  = Tonelagem transportada pelo usuário "n", usando a alternativa "i".

## 5.6. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO PROPOSTO

Nesse trabalho, os parâmetros do modelo dado pela Equação (5.1) são determinados em duas etapas distintas e seqüenciais: na primeira etapa, os dados coletados num experimento de preferência declarada são ajustados usando-se o Modelo Logit Multinomial Explodido (vide Capítulo 4, Seção 4.3.2.2, Equação 4.33), calibrado através do procedimento estatístico de maximização de verossimilhança. Na segunda etapa, são adotados os valores dos parâmetros " $\beta$ " obtidos e busca-se o valor do parâmetro " $\theta$ " que maximiza a função de verossimilhança para o modelo dado pelas Equações (5.1) e (5.4), as quais são equivalentes.

## 5.7. FUNÇÃO DE VEROSSIMILHANÇA PARA O MODELO PROPOSTO

Nesta seção do trabalho será apresentada a obtenção da função de log-verossimilhança do modelo dado pela Equação (5.4), bem como as expressões da sua primeira e segunda derivadas, as quais permitirão a obtenção do parâmetro "θ", a partir da maximização da função de log-verossimilhança usando-se o Método de Newton-Raphson.

Uma vez que as decisões de transporte no corredor agrícola em estudo envolvem geralmente duas opções modais (modais rodoviário e ferroviário), o desenvolvimento aqui apresentado será para uma situação particular envolvendo apenas duas alternativas, ou seja, um caso binomial. Posteriormente, baseando-se nos resultados obtidos para o caso binomial, as expressões obtidas serão generalizadas para o caso multinomial.

Considere-se, inicialmente, as *funções utilidades transformadas* para as alternativas "1" e "2", dadas respectivamente por:

$$U_{1n} = \theta V_{1n} + \ln(F_1) \quad (5.7)$$

$$U_{2n} = \theta V_{2n} + \ln(F_2) \quad (5.8)$$

Assim, usando-se a Equação (5.4) pode-se escrever:

$$P_n(1) = \frac{e^{U_{1n}}}{e^{U_{1n}} + e^{U_{2n}}} \quad (5.9)$$

$$P_n(2) = \frac{e^{U_{2n}}}{e^{U_{1n}} + e^{U_{2n}}} \quad (5.10)$$

A função de verossimilhança ( $L^*$ ) para o modelo Logit binomial convencional é:

$$L^* = \prod_{n=1}^N P_n(1)^{y_{1n}} P_n(2)^{y_{2n}} \quad (5.11)$$

onde “n” representa uma observação e “1” e “2” representam as alternativas disponíveis. Já  $y_{1n}$  e  $y_{2n}$  são variáveis indicadoras, sendo que terão o valor 1 ou zero, conforme a alternativa seja ou não a escolhida.

Dessa forma, a função de log-verossimilhança (L) será:

$$L = \sum_{n=1}^N \{y_{1n} \ln[P_n(1)] + y_{2n} \ln[P_n(2)]\} \quad (5.12)$$

onde N é o número total de observações.

Substituindo-se os valores de  $P_n(1)$  e  $P_n(2)$ , dados pelas Equações (5.9) e (5.10), respectivamente, chega-se a:

$$L = \sum_{n=1}^N \left\{ y_{1n} \ln \left[ \frac{e^{U_{1n}}}{e^{U_{1n}} + e^{U_{2n}}} \right] + y_{2n} \ln \left[ \frac{e^{U_{2n}}}{e^{U_{1n}} + e^{U_{2n}}} \right] \right\} \quad (5.13)$$

Aplicando as propriedades operatórias dos logaritmos:

$$L = \sum_{n=1}^N \left\{ y_{1n} [\ln e^{U_{1n}} - \ln(e^{U_{1n}} + e^{U_{2n}})] + y_{2n} [\ln e^{U_{2n}} - \ln(e^{U_{1n}} + e^{U_{2n}})] \right\} \quad (5.14)$$

e fazendo algumas simplificações:

$$L = \sum_{n=1}^N \left\{ y_{1n} [U_{1n} - \ln(e^{U_{1n}} + e^{U_{2n}})] + y_{2n} [U_{2n} - \ln(e^{U_{1n}} + e^{U_{2n}})] \right\} \quad (5.15)$$

Substituindo na Equação (5.15) os valores das utilidades  $U_{1n}$  e  $U_{2n}$  dados pelas Equações (5.7) e (5.8), respectivamente, chega-se à expressão matemática da função de log-verossimilhança para o modelo proposto, para o caso binomial:

$$L = \sum_{n=1}^N \left\{ \begin{array}{l} y_{1n} [\theta V_{1n} + \ln(F_1) - \ln(F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}})] + \\ y_{2n} [\theta V_{2n} + \ln(F_2) - \ln(F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}})] \end{array} \right\} \quad (5.16)$$

Generalizando a equação (5.16) para o caso multinomial chega-se a:

$$L = \sum_n \sum_{i \in C_n} y_{in} \left[ \theta V_{in} + \ln(F_i) - \ln \left( \sum_j F_j e^{\theta V_{jn}} \right) \right] \quad (5.17)$$

A primeira derivada da Equação (5.16) será:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = \sum_{n=1}^N \left\{ \begin{array}{l} y_{1n} \left[ V_{1n} - \frac{F_1 V_{1n} e^{\theta V_{1n}} + F_2 V_{2n} e^{\theta V_{2n}}}{F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}}} \right] + \\ y_{2n} \left[ V_{2n} - \frac{F_1 V_{1n} e^{\theta V_{1n}} + F_2 V_{2n} e^{\theta V_{2n}}}{F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}}} \right] \end{array} \right\} \quad (5.18)$$

Generalizando para o caso multinomial:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = \sum_n \sum_{i \in C_n} y_{in} \left[ V_{in} - \frac{\sum_{j \in C_n} F_j V_{jn} e^{\theta V_{jn}}}{\sum_{j \in C_n} F_j e^{\theta V_{jn}}} \right] \quad (5.19)$$

Derivando-se a Equação (5.18) obtém-se a derivada segunda para o caso binomial:

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \theta^2} = - \sum_{n=1}^N \left\{ \begin{array}{l} y_{1n} \left[ \frac{\left( F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}} \right) \left( F_1 V_{1n}^2 e^{\theta V_{1n}} + F_2 V_{2n}^2 e^{\theta V_{2n}} \right) - \left( F_1 V_{1n} e^{\theta V_{1n}} + F_2 V_{2n} e^{\theta V_{2n}} \right)^2}{\left( F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}} \right)^2} \right] + \\ y_{2n} \left[ \frac{\left( F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}} \right) \left( F_1 V_{1n}^2 e^{\theta V_{1n}} + F_2 V_{2n}^2 e^{\theta V_{2n}} \right) - \left( F_1 V_{1n} e^{\theta V_{1n}} + F_2 V_{2n} e^{\theta V_{2n}} \right)^2}{\left( F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}} \right)^2} \right] \end{array} \right\} \quad (5.20)$$

A expressão mais genérica para o caso multinomial será:

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \theta^2} = - \sum_n \sum_{i \in C_n} y_{in} \left[ \frac{\left( \sum_{j \in C_n} F_j e^{\theta V_{jn}} \right) \left( \sum_{j \in C_n} F_j V_{jn}^2 e^{\theta V_{jn}} \right) - \left( \sum_{j \in C_n} F_j V_{jn} e^{\theta V_{jn}} \right)^2}{\left( \sum_{j \in C_n} F_j e^{\theta V_{jn}} \right)^2} \right] \quad (5.21)$$

Na aplicação prática realizada da metodologia proposta, a determinação dos parâmetros “ $\beta$ ” da função utilidade “ $V_{in}$ ” [Equação (5.2)] foi feita usando-se o programa LMPC (Souza, 1999). Tal programa foi alimentado com os dados obtidos em um experimento de preferência declarada (PD), realizado no corredor de transporte do Rio Grande. Já o parâmetro “ $\theta$ ” foi determinado usando um programa desenvolvido pelo próprio autor na linguagem Visual Basic 6.0. No referido programa foi utilizado o Método de Newton-Raphson e foram usadas as Equações (5.16), (5.18) e (5.20) obtidas anteriormente. O programa foi alimentado com dados de preferência revelada (PR), também obtidos no corredor de transporte do Rio Grande. Esta aplicação, bem como os resultados obtidos, serão apresentados com pormenores no Capítulo 6.

## 5.8. AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE MODELAGEM DESENVOLVIDO

Nesse trabalho, são usadas algumas estatísticas para avaliar o processo de modelagem desenvolvido. Tais estatísticas podem ser vistas com mais detalhes nos trabalhos de GONÇALVES (1992), BEZ (2000) e SPIEGEL (1971).

Será feita aqui uma breve descrição dessas estatísticas, sendo que antes será necessário introduzir algumas notações:

$y_{obs}$  = valor observado da variável;

$y_{est}$  = valor estimado da variável;

$\bar{y}_{obs}$  = valor médio observado da variável, que é dada por:

$$\bar{y}_{obs} = \frac{\sum y_{obs}}{n} \quad (5.22)$$

onde  $n$  é o número de observações.

Assim sendo, as estatísticas consideradas são:

a) Erro Médio Absoluto Normalizado (EMAN):

$$EMAN = \sum_n \left| \frac{y_{obs} - y_{est}}{\bar{y}_{obs}} \right| \quad (5.23)$$

b) Soma Média dos Erros Quadrados (SMEQ):

$$SMEQ = \sum_n \frac{(y_{obs} - y_{est})^2}{n} \quad (5.24)$$

c) Erro Padrão da Estimativa (EPE):

$$EPE = \sqrt{\sum_n \frac{(y_{obs} - y_{est})^2}{n}} \quad (5.25)$$

d) Erro Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ):

$$\chi^2 = \sum_n \frac{(y_{obs} - y_{est})^2}{y_{est}} \quad (5.26)$$

É interessante salientar que, quanto menor for o valor obtido para cada uma das estatísticas supracitadas, melhor é o ajuste entre os valores observados e estimados.

Também são consideradas as tradicionais estatísticas de estimação do Modelo Logit, como o Teste de Razão de Verossimilhança e o Teste "t".



## **6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA AO CORREDOR DE TRANSPORTE DO RIO GRANDE**

### **6.1. UMA VISÃO DO CORREDOR DE TRANSPORTE DO RIO GRANDE**

A área de influência do *Corredor do Rio Grande* pode ser considerada como sendo a região produtora de grãos agrícolas compreendida entre as cidades paraguaias de Ciudad del Este, Asunción e Encarnación, o nordeste argentino e o estado do Rio Grande do Sul. Este corredor funciona, primordialmente, no sentido de exportação, através do porto da cidade do Rio Grande (RS) , além de cumprir função de abastecimento do mercado interno.

Os produtos agrícolas de fluxos mais significativos na região são a soja em grão, seus derivados (farelo e óleo) e o arroz. Em menor escala aparecem o trigo e o milho. Ainda no campo dos granéis, também pode ser destacado o transporte de fertilizantes.

#### **6.1.1. Principais Granéis Agrícolas Produzidos no Estado do Rio Grande do Sul**

A cultura de grãos no estado do Rio Grande do Sul é tradicional e sempre mostrou níveis consideráveis de produção e de rendimentos.

Embora se diversifique bastante a variedade de grãos cultivados no Estado, ocorre a predominância do cultivo de *soja, arroz, milho e trigo*. Conjuntamente, esses quatro produtos respondem por mais de 90 % da produção de grãos do estado.

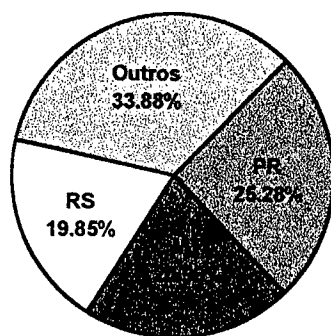
### **6.1.1.1. Produção de soja**

A lavoura de soja foi o principal agente modernizador da agricultura do Rio Grande do Sul. O desenvolvimento da indústria de óleos vegetais e sobretudo os altos preços alcançados pelo produto no mercado internacional propiciaram uma grande expansão da sojicultura, particularmente nos anos 70. Nessa década, a soja ocupou as terras até então cultivadas com outros produtos, chegando em algumas áreas a ocorrer a monocultura.

O cultivo da soja é feito no verão, em lavouras mecanizadas, geralmente em médias e grandes propriedades, uma vez que os pequenos imóveis rurais não comportam os altos investimentos necessários à obtenção da desejada lucratividade. A produção destina-se em grande parte à exportação, principalmente sob a forma de grãos, farelo e óleo.

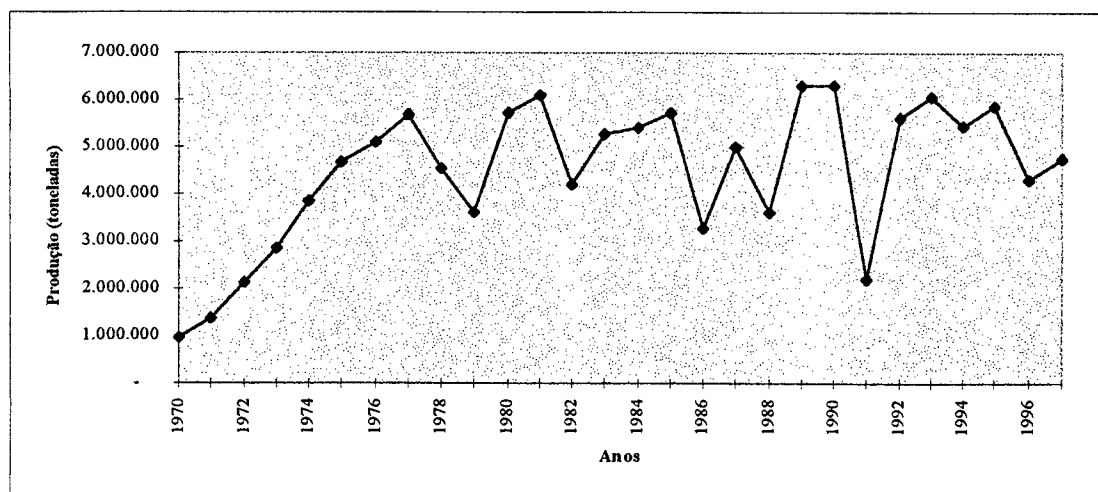
Embora possa ser encontrada em outras regiões, a cultura da soja está concentrada no planalto Norte-Rio-Grandense, onde é uma das bases da economia, particularmente na Região das Missões (Giruá, São Miguel das Missões, São Luís Gonzaga) e no Planalto Médio, onde fica a chamada zona da produção (Palmeira das Missões, Carazinho), no Alto Jacuí (Cruz Alta, Santa Bárbara do Sul, Fortaleza dos Valos) e em parte da Região Central do estado (Tupanciretã).

A soja é o principal produto agrícola do estado em termos quantitativos. No entanto, de acordo com dados da EMATER e FECOTRIGO de julho/97, o Rio Grande do Sul, que nos últimos três anos vinha ocupando o primeiro lugar, passou para o terceiro. Já o estado do Paraná, que ocupava o segundo lugar, passou para o primeiro, enquanto o Mato Grosso (que ocupava a terceira posição) passou para o segundo lugar, conforme mostra a Figura 6.1.



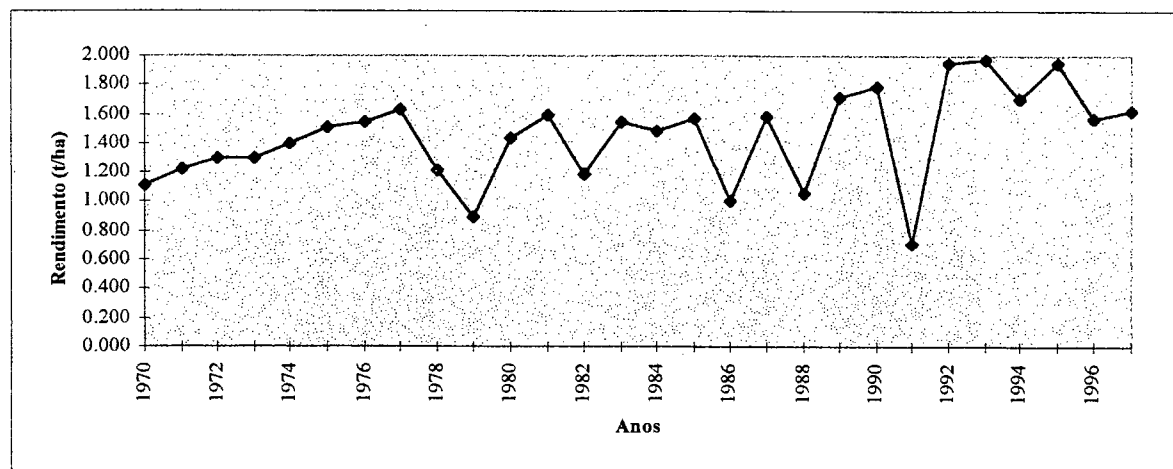
**Fig. 6.1: Participação percentual dos principais produtores de soja na safra 96/97**  
 Fonte: EMATER e FECOTRIGO (1997)

As Figuras 6.2 e 6.3 mostram, respectivamente, a produção de soja (em toneladas) e o rendimento desta produção (em tonelada/ha). Convém salientar que obtém-se o valor do rendimento de uma cultura pela divisão da produção total pela área total colhida da mesma.



**Fig. 6.2: Produção de soja no Rio Grande do Sul no período 1970 - 1997**

Fonte: IBGE / EMATER - RS / FECOAGRO - RS



**Fig. 6.3: Rendimento da produção de soja no período 1970-1997**

**Fonte: IBGE / EMATER - RS / FECOAGRO -RS**

No corredor em estudo, é o produto que gera os fluxos de transporte mais significativos entre as zonas de produção e os locais de beneficiamento e, desses, aos portos exportadores.

Também é importante frisar que grande parte da soja em grão é destinada ao esmagamento, sendo que a maior parte da soja esmagada destina-se à produção de farelo para alimentação animal, a qual, em quase sua totalidade, é destinada à exportação.

Por exemplo, no estado no ano de 1992 foram esmagadas 3.248.100 toneladas de soja, que produziram 2.549.600 toneladas de farelo. É interessante observar que a produção de farelo de soja pode ser obtida pela multiplicação da quantidade de soja esmagada pelo fator 0,785.

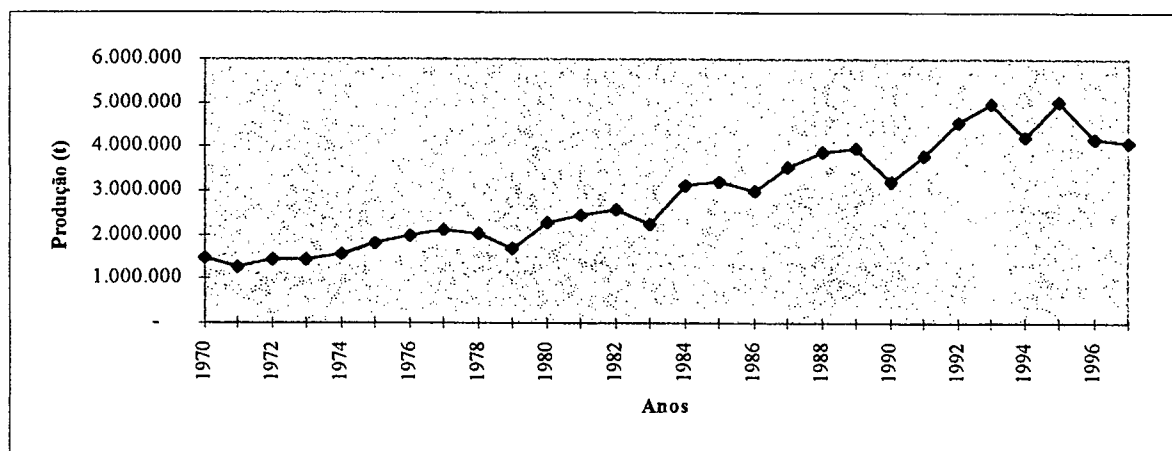
### **6.1.1.2. Produção de arroz**

O cultivo de arroz foi a primeira lavoura moderna a se desenvolver no estado do Rio Grande do Sul. É uma cultura mecanizada e irrigada, aparecendo em terrenos planos e baixos, próximos a rios ou lagoas. As áreas de cultivo mais antigas são a Depressão Central, principalmente o vale do

Jacuí, a margem oeste das lagunas e lagoas costeiras e o médio vale do Uruguai. Posteriormente, a lavoura expandiu-se por quase todos os vales fluviais da metade sul do estado.

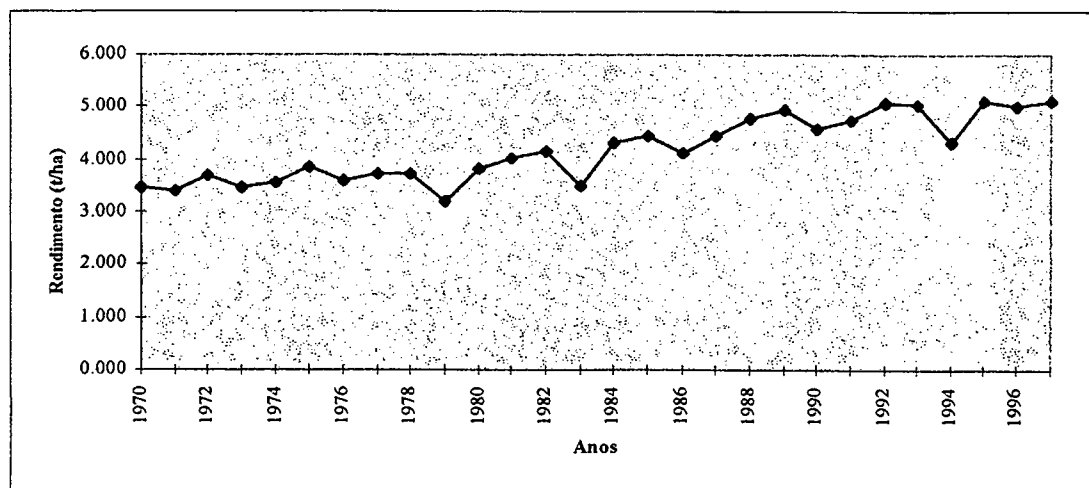
O Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 40% da produção nacional de arroz, e os maiores produtores são os municípios de Uruguaiana, Santa Vitória do Palmar, Itaqui, Alegrete e Arroio Grande.

Nas Figuras 6.4 e 6.5 são apresentados, respectivamente, a produção de arroz (em toneladas) e o rendimento desta produção (em tonelada/ha).



**Fig. 6.4: Produção de arroz no Rio Grande do Sul no período 1970 - 1997**

Fonte: IBGE / EMATER - RS / FECOAGRO - RS



**Fig. 6.5: Rendimento da produção de arroz no período 1970-1997**

Fonte: IBGE / EMATER - RS / FECOAGRO - RS

### 6.1.1.3. Produção de milho

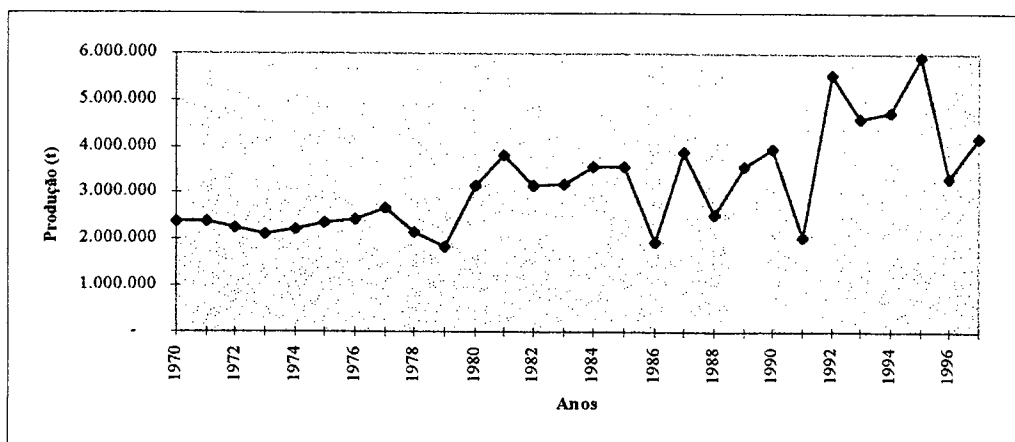
O milho é plantado em muitas áreas do Rio Grande do Sul, sobretudo no planalto e na encosta, tradicionalmente como cultivo de subsistência. É cultivado também nas áreas coloniais, associado à suinocultura.

Nos anos 70, o milho perdeu parte da sua importância, pois muitas plantações foram substituídas por soja. Mas já na década seguinte, com o desenvolvimento da avicultura, da pecuária leiteira e da suinocultura empresarial, esse cereal voltou a merecer a preferência de numerosos agricultores. Trata-se, agora, de lavoura moderna, quase sempre mecanizada e voltada para a alimentação animal, seja para consumo direto, seja para o abastecimento da indústria de rações.

Muitos municípios do estado destacam-se na produção de milho, notadamente Erechim (no norte), Canguçu (no sul), Sananduva (no nordeste), Chapada, Casca e Marau (na chamada zona da produção, no planalto médio).

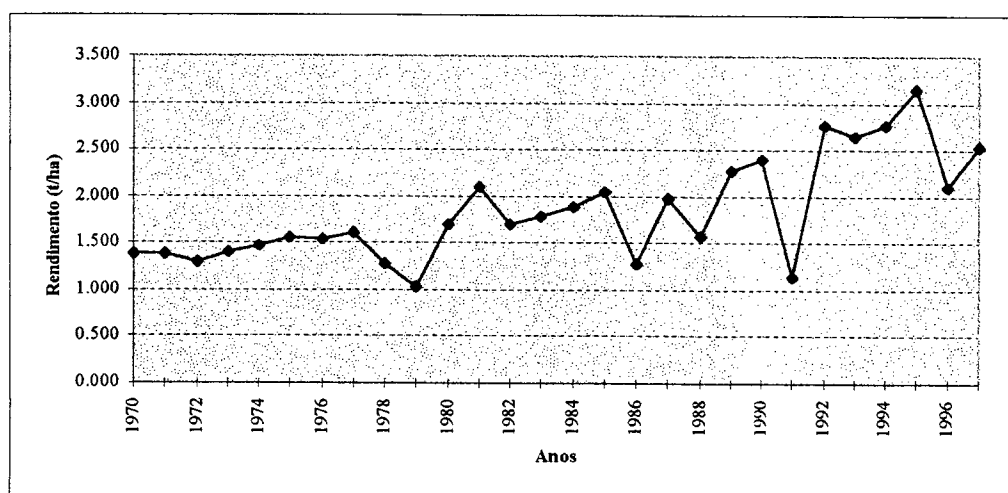
Em termos quantitativos, o milho ocupa o segundo lugar entre os grãos produzidos no Rio Grande do Sul. No entanto, apesar da significativa produção, o estado não é auto-suficiente, importando, frequentemente, os excedentes do Paraná para atender as suas necessidades de consumo.

Nas Figuras 6.6 e 6.7 são apresentados, respectivamente, a produção de milho (em toneladas) e o rendimento desta produção (em tonelada/ha), desde 1970.



**Fig. 6.6: Produção de milho no período 1970-1997**

Fonte: IBGE / EMATER - RS / FECOAGRO -RS



**Fig. 6.7: Rendimento da produção de milho no período 1970-1997**

Fonte: IBGE / EMATER - RS / FECOAGRO -RS

Este cereal também não gera volumes significativos de transporte, havendo uma movimentação muito pulverizada entre os pólos de produção e de consumo.

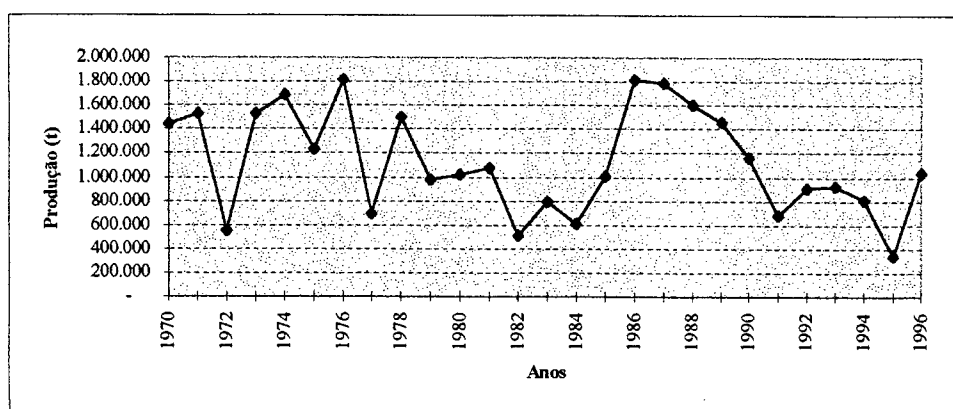
#### 6.1.1.4. Produção de trigo

O trigo geralmente aparece associado com a soja, como cultura de inverno. Portanto, seu cultivo também é feito no planalto, destacando-se a

produção de Giruá, Palmeira das Missões, São Borja, Ijuí e Cruz Alta. As lavouras são altamente mecanizadas, e boa parte da produção gaúcha é vendida para outros estados.

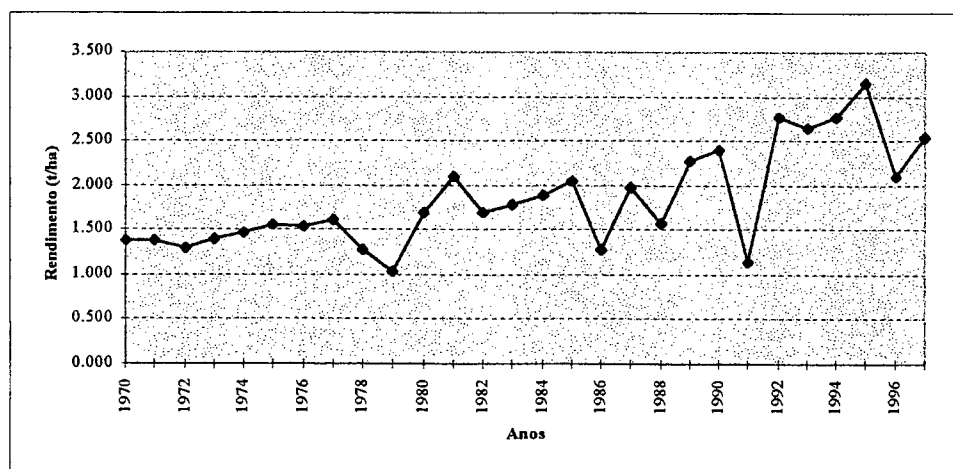
O trigo ocupa o quarto lugar na produção estadual, sendo a produção tradicionalmente deficitária frente ao consumo estadual. Dessa forma, este produto é tipicamente de importação, oriundo de países como Argentina, Canadá e França.

Nas Figuras 6.8 e 6.9 são apresentados, respectivamente, a produção de trigo (em toneladas) e o rendimento desta produção (em tonelada/ha), desde 1970.



**Fig. 6.8: Produção de trigo no período 1970-1997**

Fonte: IBGE / EMATER - RS / FECOAGRO -RS



**Fig. 6.9: Rendimento da produção de trigo no período 1970-1997**

Fonte: IBGE / EMATER - RS / FECOAGRO -RS



### 6.1.1.5. Produção de fertilizantes

As principais indústrias de granulação e aglomeração dos produtos intermediários para produção dos fertilizantes localizam-se na cidade do Rio Grande, enquanto tem-se unidades de mistura em Rio Grande, Porto Alegre e Pelotas.

O estado é auto-suficiente na produção de fertilizantes, embora receba algumas matérias-primas de outros estados, como Santa Catarina, São Paulo e Bahia e, principalmente, do exterior, através do porto do Rio Grande. Deve-se destacar que uma pequena parcela do fertilizante produzido no Rio Grande do Sul é exportado para o Uruguai e Argentina.

### 6.1.2. Distribuição Espacial das Culturas Predominantes

Em estudo realizado pelo GEIPOT em 1997, o estado do Rio Grande do Sul foi dividido em 8 macrorregiões. Tais macrorregiões foram subdivididas em microrregiões. A tabela 6.1 apresenta os *pólos* das macrorregiões selecionadas no estado, bem como suas microrregiões componentes.

Tabela 6.1: Macrorregiões e Microrregiões utilizadas no estudo do GEIPOT

MACRORREGIÕES (PÓLOS)	MICRORREGIÕES (PÓLOS)
CRUZ ALTA	Cruz Alta, Ijuí, Santa Rosa, Três Passos, Cerro Largo e Santo Ângelo
PASSO FUNDO	Passo Fundo, Carazinho, Frederico Westphalen, Não-me-Toque, Soledade, Erechim, Sananduva e Guaporé.
PELOTAS	Pelotas, Campanha Meridional, Jaguarão, Serras de Sudeste e Litoral Lagunar
PORTO ALEGRE	Porto Alegre, Camaquã, Caxias do Sul, Gramado/Canela, Osório, Montenegro e São Jerônimo
SANTA MARIA	Santa Maria, Cachoeira do Sul, Santa Cruz do Sul, Restinga Seca, Santiago e Lajeado/Estrela
SANTANA DO LIVRAMENTO	Campanha Central
URUGUAIANA	Campanha Ocidental
VACARIA	Vacaria

No referido estudo, são apresentados os volumes dos grãos produzidos em cada macrorregião no estado, para o ano de 1995, como apresentado na Tabela 6.2 e na Figura 6.10, mostradas a seguir.

Tabela 6.2: Produção nas macrorregiões no ano de 1995 (t x 1000)

MACRORREGIÃO	ARROZ	MILHO	SOJA	TRIGO	TOTAL
Porto Alegre	1004,4	661,4	48,6	1,5	1715,9
Cruz Alta	55,3	1290,8	2709,8	208,0	4263,4
Passo Fundo	29,9	2794,0	2275,7	125,7	5225,3
Pelotas	1587,5	387,3	103,3	2,0	2079,6
Santana do Livramento	260,8	27,9	54,6	0,2	343,5
Santa Maria	740,5	575,6	448,7	17,5	1782,3
Uruguaiana	1359,4	76,1	109,7	17,2	1562,4
Vacaria	0,8	122,6	98,1	10,2	231,7
<b>TOTAL</b>	<b>5038,1</b>	<b>5935,7</b>	<b>5848,0</b>	<b>382,3</b>	<b>17204,1</b>

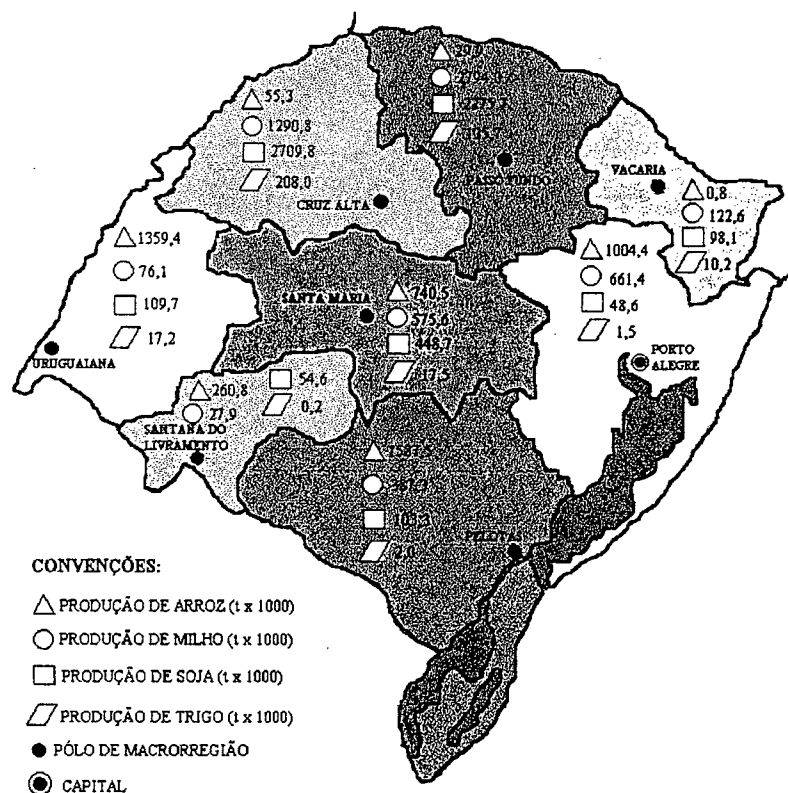


Fig. 6.10: Distribuição espacial das culturas predominantes - 1995  
Fonte: GEIPOP (1997)

### 6.1.3. Uma Visão da Oferta de Transporte do Corredor do Rio Grande

#### 6.1.3.1. Principais características do modo rodoviário

As rotas rodoviárias que compõem o corredor do Rio Grande são utilizadas, basicamente, no escoamento do arroz, soja (e derivados), milho, trigo e fertilizantes, para o mercado interno e para exportação, através do Porto do Rio Grande. Na Figura 6.11, apresenta-se a malha rodoviária básica deste corredor de transporte.

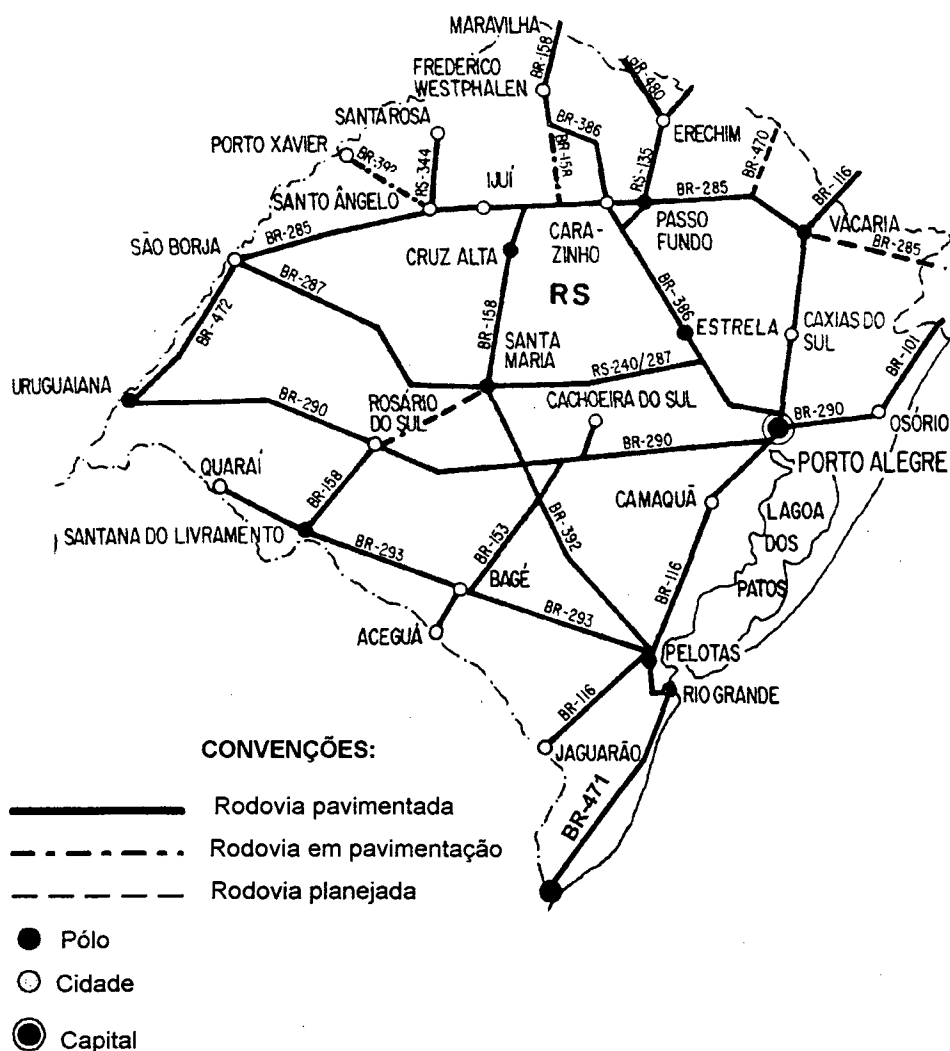


Fig. 6.11: Malha rodoviária básica do corredor do Rio Grande

Fonte: GEIPOT (1997)

A malha rodoviária federal mostrada na Figura 6.11 possui uma extensão de aproximadamente 5.600 km. Na movimentação dos granéis considerados, podem ser destacados três grandes eixos, os quais ligam as regiões produtoras aos ports e aos pólos de beneficiamento:

- Eixo Cruz Alta - Rio Grande;
- Eixo Uruguaiana - Porto Alegre;
- Eixo Cruz Alta / Passo Fundo - Porto Alegre.

Estes três eixos principais são destacados na Figura 6.12.

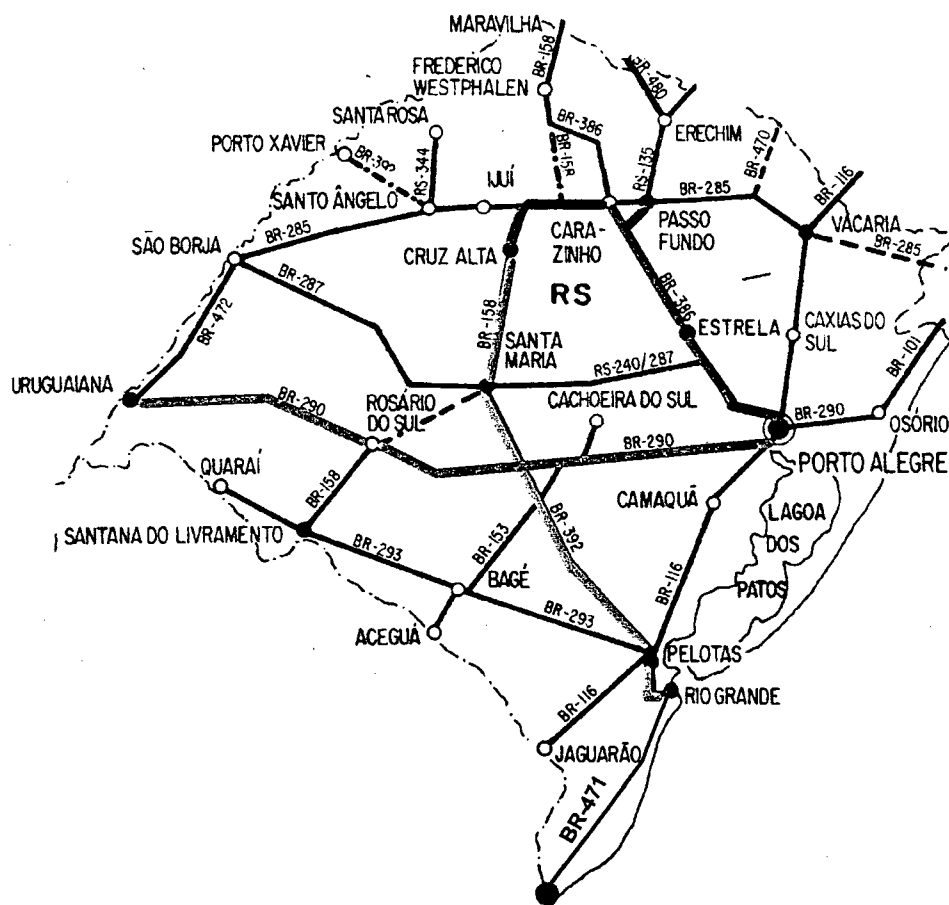


Fig. 6.12: Os três principais eixos rodoviários no transporte de granéis

Fonte: GEIPOT (1997)

Segundo GEIPOT (1994) os principais problemas detectados neste corredor, no que diz respeito ao subsistema rodoviário, referiam-se principalmente a:

- superfície de rolamento e acostamentos em acelerado processo de desgaste em vários trechos componentes da malha rodoviária do corredor;
- deficiência de sinalização horizontal e vertical;
- Alguns trechos críticos, no que diz respeito à capacidade de tráfego;
- conflitos entre o tráfego de carga (longa distância) e a circulação urbana;
- sistema de verificação de peso deficiente por falta de postos de pesagem em pontos de maior movimentação.

### **6.1.3.2. Principais características do modo ferroviário**

O Corredor do Rio Grande concentra a totalidade das linhas da antiga SR-6 (hoje privatizada), sendo que os principais pontos de intercâmbio ferroviário estão localizados em Santana do Livramento (com as ferrovias uruguaias), em Uruguiana (com as ferrovias argentinas) e em Marcelino Ramos ( com linhas da antiga SR-5 da RFFSA).

Considerando-se dados do ano de 1995, quanto aos equipamentos de transporte de cargas, a antiga SR-6 dispunha de 140 locomotivas diesel-elétricas, das quais 64 disponíveis para o tráfego, com um índice de imobilização médio de 57%. Dispunha, também, de 2919 vagões para o transporte de grãos, tendo-se observado, neste ano considerado, um índice

médio de imobilização de 15%. Esses altos percentuais de imobilização deviam-se principalmente à carência de material de reposição.

Em 1995, a movimentação dos grânéis que estão sendo considerados envolveu cerca de 1,5 milhões de toneladas (26 % da carga tracionada na SR-6), tendo a soja apresentado o maior volume, com 690 mil toneladas. É interessante observar que, ao contrário do que ocorre em outras ferrovias, nas quais o volume de farelo de soja transportado por esta modalidade é bem maior que o de soja em grãos, no Rio Grande do Sul, devido à concentração das principais indústrias de beneficiamento junto aos portos de Porto Alegre e Rio Grande, houve registro de movimentação de apenas 58 mil toneladas de farelo. Na Figura 6.13, pode ser vista a malha ferroviária deste corredor.

As principais ligações ferroviárias do corredor do Rio Grande são:

- Uruguaiana - Cacequi - Santa Maria - Porto Alegre;
- Cacequi - Pelotas - Rio Grande;
- Lages - Roca Sales - General Luz;
- Santa Rosa - Santo Ângelo - Cruz Alta - Santa Maria;
- São Luís Gonzaga - Santiago - Dilermando Aguiar;
- Erechim - Passo Fundo - Roca Sales;
- Entroncamento Cacequi - Santana do Livramento.

Os principais pátios e terminais, situados ao longo dessas rotas e que movimentaram os grânéis considerados no ano de 1997, são mostrados na Tabela 6.3.

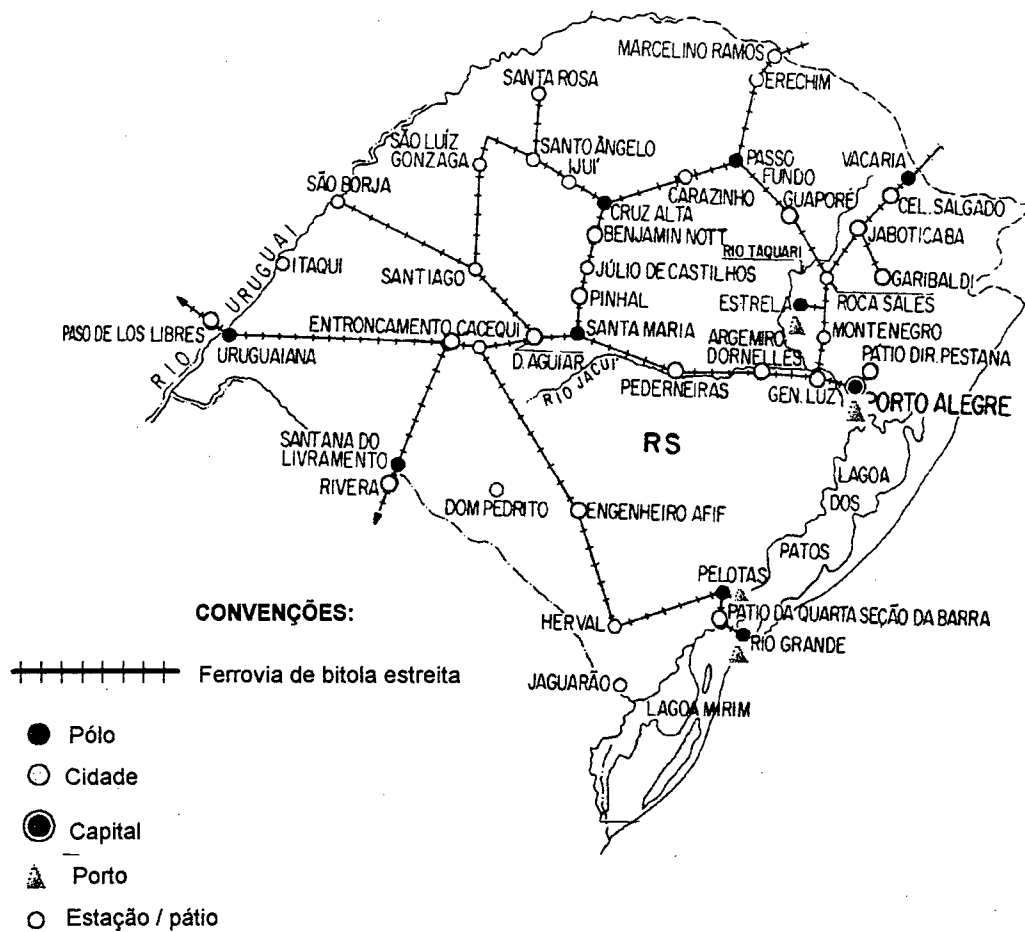


Fig. 6.13: Malha ferroviária do corredor

Fonte: GEIPOT (1997)

Tabela 6.3: Principais Terminais de Carga e Descarga do Corredor do Rio Grande

LOCALIZAÇÃO	OPERAÇÃO DISPONÍVEL
Uruguaiana	Carga e armazenamento
Estação Alfandegada de Uruguaiana	Transbordo e intercâmbio internacional
Santana do Livramento	Transbordo e intercâmbio internacional
Rio Grande	Carga e armazenagem Descarga e armazenagem
São Luís Gonzaga	Transbordo rodoferroviário
Santa Rosa	Transbordo rodoferroviário
Cruz Alta	Transbordo rodoferroviário
Diretor Pestana	Carga Descarga
Passo Fundo	Carga Descarga
Erechim	Carga
Santa Maria	Carga
Garibaldi	Transbordo
Guaporé	Carga
Estrela	Transbordo

A estratégia adotada pelo modo de transporte ferroviário, para movimentar os graneis considerados, antes do processo de privatização das ferrovias, era resumidamente a seguinte no corredor do Rio Grande:

- a produção de soja da região de Santa Rosa, Santo Ângelo, Cruz Alta, São Luiz Gonzaga e Santiago era embarcada em vagões em trens coletores nos terminais particulares das cooperativas e transportada para os pátios de Santa Maria, Dilermando Aguiar e Cacequi, onde eram formadas as composições que se destinavam às indústrias localizadas nos portos de Porto Alegre e Rio Grande e aos armazéns exportadores;

- a soja proveniente do paraguai era quase totalmente carregada em Uruguiana, seguindo para formação de novo trem em Cacequi com destino ao porto do Rio Grande;

- o fluxo gerado na região de Erechim era transferido para Passo Fundo onde era somado à produção desta área para formar as composições destinadas a Porto Alegre.

- o arroz produzido no Rio Grande do Sul, bem como o oriundo da Argentina (via Uruguiana) e o oriundo do Uruguai (via Jaguarão), era, em sua maior parte, transportado para os centros consumidores de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte por rodovia. A participação da ferrovia nesse transporte, no ano de 1995, foi de 303 mil toneladas, embarcadas principalmente em Uruguiana e Santana do Livramento e direcionadas a Pelotas e a São Paulo. O escoamento ocorria durante todos os meses do ano. De acordo com GEIPOT (1997) existia a perspectiva de utilização da ferrovia com maior intensidade no transporte de arroz beneficiado destinado ao porto do Rio Grande, desde que se ampliasse significativamente o transporte multimodal, inserindo-se inclusive a cabotagem, para atender às demandas das regiões sudeste e central do país.



- A ferrovia transportou, em 1995, apenas 67 mil toneladas de milho, das quais 34 mil de Guarapuava (PR) para Porto Alegre. A movimentação realizou-se entre os meses de novembro e abril.

- no transporte de trigo, o modal ferroviário alcançou, em 1995, cerca de 73 mil toneladas, verificando-se os principais fluxos entre São Borja e Porto Alegre, com 11 mil toneladas, e de Santana do Livramento a Estrela, com 8 mil toneladas. A demanda desse transporte na área de influência da ferrovia foi bastante pulverizada, o que dificultou a utilização desse modal. O escoamento foi realizado durante todo o ano, sendo que, em 1995, a maior concentração verificou-se no mês de janeiro.

- a movimentação de fertilizantes deu-se a partir das áreas portuárias de Rio Grande e Porto Alegre, onde se concentram as indústrias químicas e misturadoras, para as regiões consumidoras. Em Rio Grande os trens eram formados e destinados a Cacequi e Santa Maria, de onde partiam novas composições dirigidas aos terminais privativos das cooperativas em Santa Rosa, Santo Ângelo, Ijuí, Cruz Alta, Santiago e São Luiz Gonzaga. De Porto Alegre saíam comboios destinados a Passo Fundo e Lages. Este transporte foi realizado durante todos os meses do ano, com maior concentração nos meses de agosto, setembro e outubro.

GEIPOT (1997) cita como principais problemas do subsistema ferroviário no corredor do Rio Grande, antes do processo de privatização:

- a malha ferroviária apresentava cerca de 25% da extensão total de suas linhas em mau estado de conservação, devido a deficiências de manutenção;

- apresentava altos índices de imobilização do material rodante, decorrentes da falta de peças de reposição, deficiência dos equipamentos de manutenção e da elevada frequência de acidentes;

- apresentava alta frequência de acidentes, resultantes das más condições do material rodante e do estado da via permanente.

### 6.1.3.3. Principais características do modo hidroviário:

O modal hidroviário do Corredor do Rio Grande abrange as hidrovias do Rio Guaíba e dos Rios Taquari e Jacuú. Conta, ainda, com a Lagoa dos Patos, esta última um manancial hídrico com cerca de 230 km de extensão e 35 km de largura em média. Na Figura 6.14 pode-se visualizar este subsistema, em conjunto com a malha ferroviária.

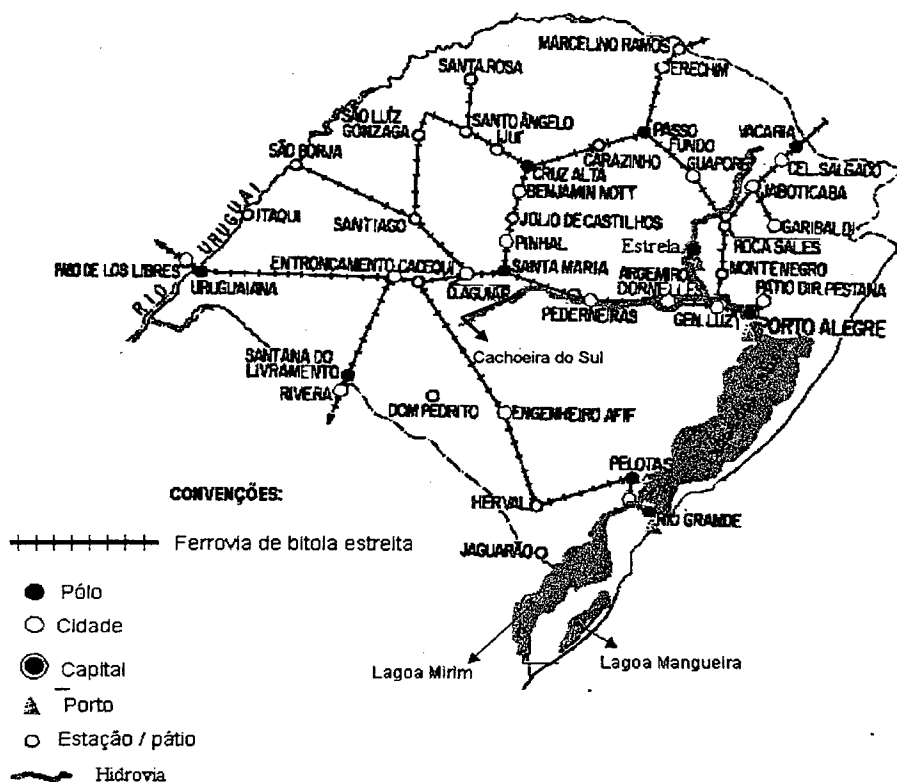


Fig. 6.14: Malha hidroviária e ferroviária básicas

As principais hidrovias do corredor do Rio Grande são:

• **Hidrovia dos Rios Taquari/Jacuí:**

O Rio Taquari é afluente do Jacuí pela margem esquerda, estando a sua foz localizada junto à cidade de São Jerônimo, sendo navegável daquele ponto até o porto fluvial de Estrela, perfazendo 86 km de extensão.

As principais características dos segmentos que compõem essa hidrovia são (vide Figura 6.15):

a) *Subtrecho São Jerônimo - Taquari*: com 30 km de extensão, no qual o rio apresenta ótimas condições de navegabilidade em sua maior parte, apresentando como exceção o segmento entre a Ilha do Pai José e a Ilha dos Macacos, onde é exigido algum cuidado dos navegantes. No restante, possibilita a navegação noturna, com balizamento pouco denso.

b) *Subtrecho Taquari - Barragem de Bom Retiro do Sul*: com 34 km, esse segmento apresenta algumas restrições à navegação na maior parte de sua extensão, devido ao fato de ter sido implantado artificialmente através de barragens de regularização, para possibilitar a navegação com calado de até 2,5 m em canais com largura de 30m em alguns pontos e, em outros, onde a sinuosidade não permite boas condições de navegação, o que restringe o trânsito noturno de embarcações carregadas, principalmente em épocas de águas mínimas e de neblina.

c) *Subtrecho Bom Retiro do Sul - Estrela*: com 22 km de extensão, apresenta ótimas condições de navegabilidade, propiciadas pela barragem de Bom Retiro, que permite o trânsito de embarcações com calado até 3,20 m sem necessidade de serviços complementares de regularização ou de balizamento.

A frota que vinha operando nesta hidrovia, em 1995, era formada por 72 embarcações automotoras, com capacidades que variavam de 1500 a 2800

toneladas e capacidade total estimada de 130000 TPB (Tonelagem de Peso Bruto). Os produtos mais movimentados eram grãos agrícolas e óleos.

A movimentação na hidrovia no sentido de Cachoeira do Sul, encontra-se praticamente paralisada. Entretanto, pode voltar a funcionar, no momento em que haja boas condições de navegabilidade no rio Jacuí, o que pode ser conseguido através de dragagem. Estima-se que, após a reabertura da hidrovia, serão necessários investimentos anuais de US\$ 350 mil para conservá-la satisfatoriamente.

#### • Hidrovia do Rio Guaíba:

O Rio Guaíba desenvolve-se entre o delta do Rio Jacuí, junto à Porto Alegre e a Ponta de Itapoã, onde tem início a Lagoa dos Patos. O canal navegável está sujeito à formação de depósitos sedimentares, que exigem constantes dragagens para a manutenção de um calado de 5,10 m e uma largura útil de 80 m, feitas para atender a navegação de cabotagem e longo curso, com origem ou destino ao porto de Porto Alegre. O Rio Guaíba possui uma extensão de aproximadamente 50 km.

#### • Hidrovia da Lagoa dos Patos:

Com área aproximada de 9800 km<sup>2</sup>, de forma alongada e desenvolvendo-se paralelamente ao litoral do Rio Grande do Sul, do qual está separada por uma longa restinga, a Lagoa dos Patos é o elo natural de ligação do sistema de navegação interior do estado com o porto marítimo do Rio Grande. Comunica-se com o mar entre os municípios de Rio Grande e São José do Norte, ao sul daquelas cidades, pelo chamado "Canal do Norte", protegido por dois molhes destinados a dar melhores condições de transposição da barra.

Em 1995, a movimentação de granéis através da Lagoa atingiu aproximadamente 356 mil toneladas, das quais 256 mil de farelo de soja e 68 mil toneladas de trigo.

A Figura 6.15 evidencia, em maiores detalhes, as hidrovias mencionadas anteriormente.

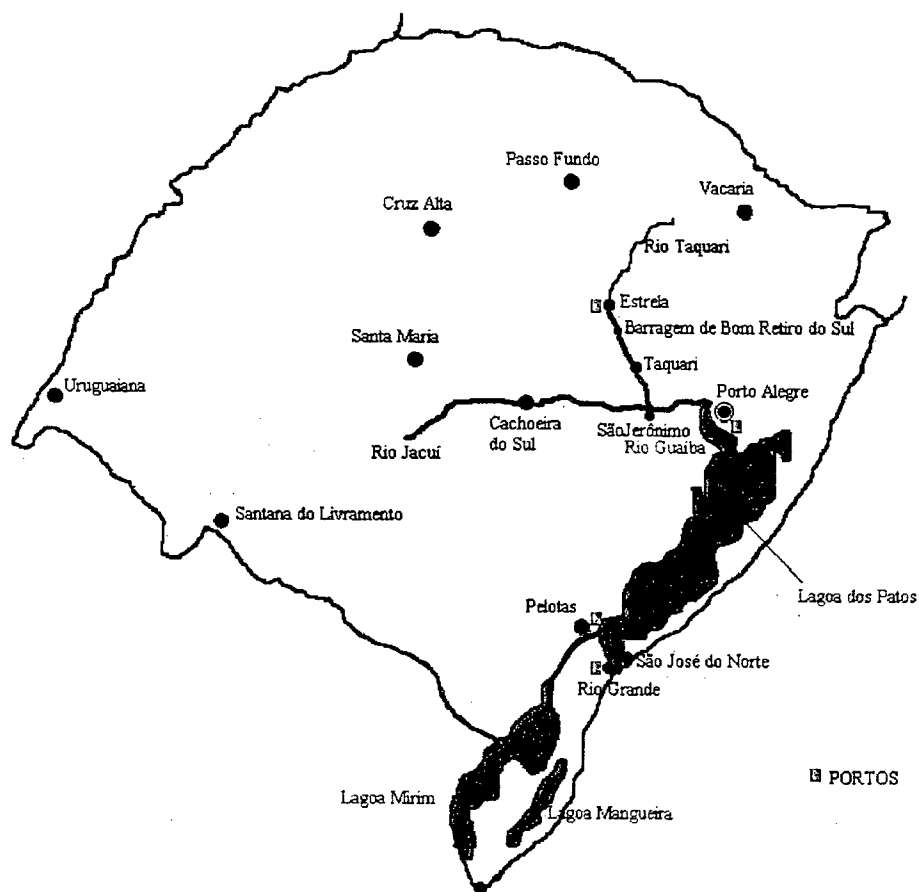


Fig. 6.15: Principais hidrovias do Rio Grande do Sul

#### 6.1.3.4. Principais características do sistema portuário:

No corredor do Rio Grande, três são os portos que movimentam granéis sólidos: o Porto do Rio Grande, o Porto de Porto Alegre e o Porto de Estrela. A seguir serão expostas algumas características destes portos.

### **Porto do Rio Grande:**

Este porto está localizado na margem oeste do chamado Canal do Norte, que é o escoadouro natural da Lagoa dos Patos. Sua área de influência abrange todo o estado do Rio Grande do Sul, e para ali converge todo o intercâmbio de exportação e importação.

O canal de acesso desenvolve-se por meio da barra e ao longo do Canal do Norte. A largura varia de 200 a 300 m, com profundidades entre 14 e 15 m. Esse canal é dragado numa extensão de 5 km. Em 1997, possuía a profundidade de 14 m e o calado oficial de 40 pés.

No que diz respeito à área portuária, o Porto do Rio Grande desenvolve-se em três áreas distintas: Porto Velho, Porto Novo e Superporto. É na área do chamado Superporto que ocorre a movimentação dos granéis que estão sendo considerados, onde existe uma série de terminais especializados.

### **Porto de Porto Alegre:**

O Porto de Porto Alegre está localizado na zona noroeste da capital, à margem esquerda do Rio Guaíba, distando 310 km do mar.

O canal de acesso desenvolve-se ao longo da Lagoa dos Patos e do Rio Guaíba, com um calado mínimo de 5 m em alguns pontos, o que limita o carregamento dos navios de cabotagem e de longo curso que o frequentam.

Conta com 8.014 m de cais acostável, com profundidades que variam de 4 a 6 m. Sua área coberta de estocagem, abrangendo 26 armazéns, é de 66000 m<sup>2</sup>, possuindo, em sua área de administração e jurisdição, 180 terminais privativos.

Em 1995, o Porto de Porto Alegre movimentou cerca de 393 mil toneladas de granéis.

### **Porto de Estrela:**

O porto fluvial de Estrela, situado a 150 km de Porto Alegre e a 450 km de Rio Grande, possui um cais acostável com 550 m de extensão e seis berços de atracação com 2,5 m de calado, às margens do Rio Taquari.

Este porto movimentou, em 1995, 181 mil toneladas de granéis, com destaque para o farelo de soja com 150 mil toneladas.

## **6.2. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA REALIZADA**

No presente trabalho, optou-se por realizar a aplicação da metodologia desenvolvida especificamente no setor de transporte do complexo soja.. Foi escolhido o complexo soja, devido ao fato da soja ser o principal produto agrícola do estado em termos quantitativos e de exportação, e o que gera os fluxos de transporte mais significativos dentro do corredor de transporte em estudo, conforme foi visto na Seção 6.1.

A coleta de dados foi realizada junto a 16 organizações que trabalham com o complexo soja, sendo 9 cooperativas e 7 empresas exportadoras. Tais empresas estão localizadas na região produtora de soja do estado do Rio Grande do Sul, conforme pode ser visualizado na Figura 6.16.

A Tabela 6.4 apresenta a relação das referidas organizações, com o total movimentado pelas mesmas no ano de 1999.

Para se ter uma idéia da significância do total movimentado por estas organizações, o total movimentado pelo Porto do Rio Grande, com destino à exportação, em 1999, foi de aproximadamente 3.107.746 toneladas, enquanto que as empresas envolvidas nessa pesquisa movimentaram nesse mesmo ano 1.497.600 toneladas.

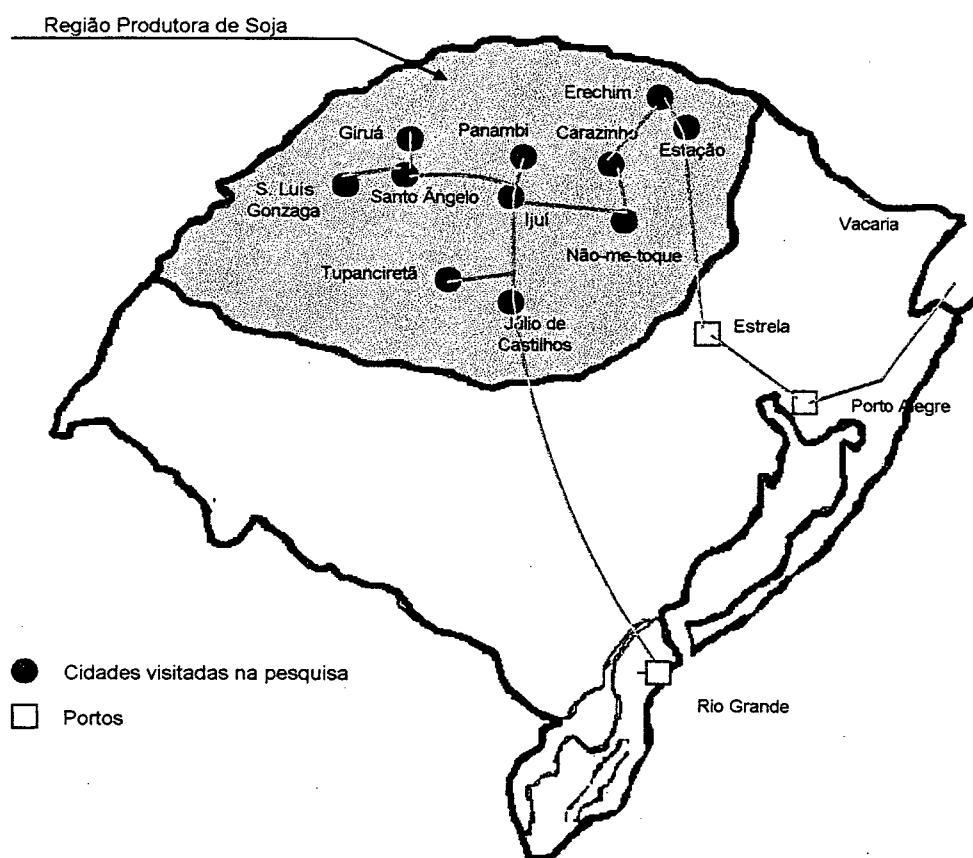


Fig. 6.16: Localização espacial das organizações envolvidas na coleta de dados



Tabela 6.4: Tonelagem do complexo soja movimentada nas organizações consideradas no ano de 1999

ORGANIZAÇÕES E LOCALIZAÇÕES	TONELAGEM MOVIMENTADA	ORGANIZAÇÕES E LOCALIZAÇÕES	TONELAGEM MOVIMENTADA
1. COTRIPAL (Panambi)	120.000	9. COTRIJUC (J. de Castilhos)	66.000
2. CEVAL (Unid. S. Ângelo)	65.000	10. COPAGRIL (S. L. Gonzaga)	4.800
3. COTRIJUÍ (Ijuí)	280.000	11. ROOS Ltda (Carazinho)	12.000
4. COOPATRIGO (S. L. Gonzaga)	70.000	12. Granóleo (Unidade Estrela)	202.800
5. COTRIJAL (Não-me-toque)	110.000	13. Granóleo (Unidade Carazinho)	10.000
6. COTRIGO (Estação)	90.000	14. COTAP (Giruá)	22.000
7. COTREL (Erechim)	120.000	15. BIANCHINI S/A (Unidade Carazinho)	15.000
8. AGROPAN (Tupanciretã)	120.000	16. CEVAL (Unidade Esteio)	190.000

### 6.3. DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO DE PREFERÊNCIA DECLARADA

#### 6.3.1. Identificação dos Atributos Relevantes

Para a identificação do conjunto de atributos, os quais são considerados pelos usuários do corredor para tomar as suas decisões de transporte, foi realizada uma pesquisa utilizando-se questionários do tipo proposto no trabalho

de BASTOS (1994). Tais questionários foram aplicados junto às organizações relacionadas na Tabela 6.4. Nessa pesquisa, os entrevistados citaram os atributos mais importantes a serem considerados, em ordem de importância. O questionário empregado nessa pesquisa pode ser visto no Anexo 9.1.

Com base na pesquisa citada acima, resolveu-se trabalhar com os seguintes atributos no experimento de preferência declarada:

- *Tempo de Recolhimento*: expressa o tempo que o contratante do transporte tem que esperar, desde a data da contratação do transportador até o recolhimento do produto para ser transportado.
- *Tempo de viagem*: expressa o tempo total de deslocamento da carga, desde o momento do recolhimento até a chegada ao porto de destino.
- *Atraso Esperado*: expressa o tamanho do atraso que poderá ocorrer durante o transporte, expressando uma confiabilidade do modal.
- *Valor do Frete*: é o valor pago ao transportador em R\$/t.

### **6.3.2. Montagem do Experimento de Preferência Declarada**

A montagem do experimento foi realizada de acordo com o exposto no Capítulo 4, Seção 4.3.2.1, considerando-se os quatro principais atributos (ou variáveis de serviço) apurados na pesquisa exploratória citada na seção anterior. Foram estabelecidos diferentes valores que os referidos atributos podem assumir, denominados *níveis*. Tais atributos e seus respectivos níveis são apresentados na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Atributos e níveis adotados

ATRIBUTOS	NÍVEIS	DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS
Tempo de Recolhimento - $X_1$	1	1 dia
	2	5 dias
	3	10 dias
Tempo de Viagem - $X_2$	1	1 dia
	2	2 dias
Atraso Esperado (Confiabilidade) - $X_3$	1	Sem Atrasos
	2	Até 1 dia
	3	Até 3 dias
Valor do Frete - $X_4$	1	14,00 R\$/Tonelada
	2	18,00 R\$/Tonelada
	3	22,00 R\$/Tonelada

Para a realização do processo de montagem do delineamento do experimento trabalhou-se com os quatro atributos apresentados na Tabela 6.5, o que levou a um fatorial completo do tipo  $3^3.2^1$ , que resultou em 54 combinações possíveis.

Para diminuir o número de combinações, usou-se um arranjo ortogonal desenvolvido por Taguchi, o delineamento L18 apresentado em ROSS (1991). Tal delineamento conduziu, inicialmente, a 18 alternativas, como indica a Tabela 6.6.

Posteriormente, com a retirada de alternativas consideradas dominadas, dominantes e/ou em condições fora da realidade (assinaladas com \* na Tabela 6.6), chegou-se a 11 alternativas, como indica a Tabela 6.7.

Tabela 6.6: Alternativas geradas com o arranjo ortogonal

L18 de Taguchi

ATRIBUTOS →	Tempo de Recolhimento (X <sub>1</sub> )	Tempo de Viagem (X <sub>2</sub> )	Atraso Esperado (X <sub>3</sub> )	Valor do Frete (X <sub>4</sub> )
ALTERNATIVAS ↓				
1*	1 dia	1 dia	Sem Atrasos	R\$ 14,00
2	1 dia	1 dia	Até 1 dia	R\$ 18,00
3*	1 dia	1 dia	Até 3 dias	R\$ 22,00
4*	5 dias	1 dia	Até 1 dia	R\$ 18,00
5*	5 dias	1 dia	Até 3 dias	R\$ 22,00
6	5 dias	1 dia	Sem Atrasos	R\$ 14,00
7	10 dias	1 dia	Sem Atrasos	R\$ 22,00
8	10 dias	1 dia	Até 1 dia	R\$ 14,00
9*	10 dias	1 dia	Até 3 dias	R\$ 18,00
10	1 dia	2 dias	Até 3 dias	R\$ 18,00
11	1 dia	2 dias	Sem Atrasos	R\$ 22,00
12	1 dia	2 dias	Até 1 dia	R\$ 14,00
13	5 dias	2 dias	Até 3 dias	R\$ 14,00
14	5 dias	2 dias	Sem Atrasos	R\$ 18,00
15*	5 dias	2 dias	Até 1 dia	R\$ 22,00
16*	10 dias	2 dias	Até 1 dia	R\$ 22,00
17	10 dias	2 dias	Até 3 dias	R\$ 14,00
18	10 dias	2 dias	Sem Atrasos	R\$ 18,00

Tabela 6.7: Configuração obtida com a retirada de alternativas

ATRIBUTOS →	Tempo de Recolhimento (X <sub>1</sub> )	Tempo de Viagem (X <sub>2</sub> )	Atraso Esperado (X <sub>3</sub> )	Valor do Frete (X <sub>4</sub> )
ALTERNATIVAS ↓				
2	1 dia	1 dia	Até 1 dia	R\$ 18,00
6	5 dias	1 dia	Sem Atrasos	R\$ 14,00
7	10 dias	1 dia	Sem Atrasos	R\$ 22,00
8	10 dias	1 dia	Até 1 dia	R\$ 14,00
10	1 dia	2 dias	Até 3 dias	R\$ 18,00
11	1 dia	2 dias	Sem Atrasos	R\$ 22,00
12	1 dia	2 dias	Até 1 dia	R\$ 14,00
13	5 dias	2 dias	Até 3 dias	R\$ 14,00
14	5 dias	2 dias	Sem Atrasos	R\$ 18,00
17	10 dias	2 dias	Até 3 dias	R\$ 14,00
18	10 dias	2 dias	Sem Atrasos	R\$ 18,00

Finalmente, as alternativas foram renumeradas, originando a configuração da Tabela 6.8.

Tabela 6.8: Alternativas obtidas após renumeração

ATRIBUTOS → ALTERNATIVAS ↓	Tempo de Recolhimen to (X <sub>1</sub> )	Tempo de Viagem (X <sub>2</sub> )	Atraso Esperado (X <sub>3</sub> )	Valor do Frete (X <sub>4</sub> )
1	1 dia	1 dia	Até 1 dia	R\$ 18,00
2	5 dias	1 dia	Sem Atrasos	R\$ 14,00
3	10 dias	1 dia	Sem Atrasos	R\$ 22,00
4	10 dias	1 dia	Até 1 dia	R\$ 14,00
5	1 dia	2 dias	Até 3 dias	R\$ 18,00
6	1 dia	2 dias	Sem Atrasos	R\$ 22,00
7	1 dia	2 dias	Até 1 dia	R\$ 14,00
8	5 dias	2 dias	Até 3 dias	R\$ 14,00
9	5 dias	2 dias	Sem Atrasos	R\$ 18,00
10	10 dias	2 dias	Até 3 dias	R\$ 14,00
11	10 dias	2 dias	Sem Atrasos	R\$ 18,00












Observou-se que, mesmo com a aplicação de uma técnica de fracionamento (no caso, o arranjo ortogonal L18 de Taguchi), ainda tinha-se um número muito grande de alternativas para serem consideradas pelos entrevistados. Assim sendo, resolveu-se pela formação de subconjuntos de alternativas (blocos).

Para a montagem dos diversos blocos empregou-se um projeto de blocos balanceados incompletos (BBI) sugeridos por YATES (1936). O referido projeto indicou o uso de 11 blocos, sendo cada bloco composto por 5 alternativas.

Os blocos e as alternativas correspondentes são apresentados na Tabela 6.9, onde cada alternativa é representada por um símbolo e cada bloco por uma cor.

Dessa forma, foram confeccionados diversos cartões (cada cartão correspondendo a uma alternativa), os quais foram apresentados aos entrevistados. A técnica de ordenação adotada foi a ordenação das alternativas ("ranking"). A título de exemplo, no Anexo 9.2 é apresentado o Bloco número 1 (vide Tabela 6.9) e suas respectivas alternativas (cartões).

Tabela 6.9: Projeto final obtido para o experimento

Alternativas → Blocos ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
											
1 (verde)	X	X	X	X	X						
2 (azul)	X	X				X	X	X			
3 (violeta)	X		X			X			X	X	
4 (amarelo)	X			X			X		X		X
5 (laranja)	X				X			X		X	X
6 (verde Br.)		X	X				X			X	X
7 (rosa)		X		X				X	X	X	
8 (vermelho)		X			X	X			X		X
9 (preto)			X	X		X		X			X
10 (branco)			X		X		X	X	X		
11 (marrom)				X	X	X	X			X	

### 6.3.3. Aplicação do Experimento de Preferência Declarada e seus Resultados

O experimento montado na seção anterior foi aplicado junto às organizações listadas na Tabela 6.4.

O procedimento utilizado foi a realização de entrevistas face-a-face, solicitando a cada entrevistado que ordenasse, segundo suas preferências, um conjunto de 5 cartões. O número de conjuntos (blocos) apresentado a cada um dos entrevistados variou de entrevistado para entrevistado. No entanto, como todos os entrevistados ocupavam cargo gerencial e possuíam grande conhecimento a respeito do assunto em questão, a maioria deles apresentou

grande facilidade e disposição para realizar a ordenação dos 11 blocos obtidos no experimento. Nas poucas situações em que era percebida uma situação de cansaço por parte do entrevistado, uma menor quantidade de blocos era apresentada. É importante frisar que os blocos eram apresentados de forma aleatória. As ordenações feitas pelos entrevistados em cada empresa podem ser vistas no Anexo 9.3.

As estimativas dos parâmetros do modelo utilizado foram executados usando o programa de computador *Logit Multinomial com Probabilidade Condicional (LMPC)*, o qual foi desenvolvido por SOUZA (1999), e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.10.

Tabela 6.10: Resultados obtidos considerando todas as organizações

Atributo	$\beta$	t-student
Tempo de Recolhimento ( $X_1$ )	-0,2852	-14,1950
Tempo de Viagem ( $X_2$ )	-0,3839	-3,0354
Atraso Esperado ( $X_3$ )	-0,3165	-5,8573
Valor do Frete ( $X_4$ )	-0,3260	-12,6673
Outras Estatísticas:		
Número de entrevistas: 154	Número de Casos: 616	
$L(0) = -737,2737$	$L(\beta) = -511,1794$	
$\chi^2 = (-2[F(\beta_0) - F(\beta_1)]) = 452,1886$	$\rho^2 = 0,3012$	
Tamanho mínimo estimado para a amostra: 66		

Considerando-se um nível de significância de 0,05 (ou seja, 95% de confiança) os valores obtidos para o teste t-Student mostraram que todos os coeficientes dos parâmetros " $\beta$ " foram significativos. Algumas outras estatísticas também confirmaram a significância dos resultados. No teste de Razão de Verossimilhança foi obtido  $\chi^2 = 452,1886$ , rejeitando-se a hipótese de nulidade de todos os parâmetros simultaneamente. Já o teste da estatística  $\rho^2$  apresentou valor igual a 0,3012.

Também foi obtida uma classificação das alternativas em ordem decrescente de preferência. Para as 11 alternativas que foram consideradas nesta aplicação, os resultados estão expostos na Tabela 6.11.

Tabela 6.11: Comparação das Alternativas considerando todas as organizações

Classificação em ordem decrescente de preferência	Alternativa e sua utilidade		Atributos das Alternativas			
			Tempo de Recolhimento em dias ( $X_1$ )	Tempo de Viagem em dias ( $X_2$ )	Atraso Esperado em dias ( $X_3$ )	Valor do Frete em R\$/t ( $X_4$ )
1 <sup>a</sup>	7	-5,93	1	2	Até 1	14,00
2 <sup>a</sup>	2	-6,37	5	1	Sem Atrasos	14,00
3 <sup>a</sup>	1	-6,85	1	1	Até 1	18,00
4 <sup>a</sup>	8	-7,71	5	2	Até 3	14,00
5 <sup>a</sup>	5	-7,87	1	2	Até 3	18,00
6 <sup>a</sup>	9	-8,06	5	2	Sem Atrasos	18,00
7 <sup>a</sup>	4	-8,12	10	1	Até 1	14,00
8 <sup>a</sup>	6	-8,23	1	2	Sem Atrasos	22,00
9 <sup>a</sup>	10	-9,13	10	2	Até 3	14,00
10 <sup>a</sup>	11	-9,49	10	2	Sem Atrasos	18,00
11 <sup>a</sup>	3	-10,41	10	1	Sem Atrasos	22,00

Sob o ponto de vista econômico, usando os conceitos de Utilidade Marginal e Taxa Marginal de Substituição vistos no Capítulo 4, Seção 4.2.3, um aspecto interessante que pôde ser determinado foi o valor atribuído pelos usuários, no período da safra, aos três atributos de tempo usados no modelo. Tais valores foram calculados e são apresentados na Tabela 6.12.

Tabela 6.12: Valores do tempo considerando todas as organizações

Atributos de tempo	Valor do tempo (R\$/t.dia)
Tempo de Recolhimento	0,87
Tempo de Viagem	1,18
Tempo de atraso	0,97

Adicionalmente, foram aplicados os procedimentos vistos anteriormente segmentando-se a amostra em dois tipos de organizações:

- Organizações que são cooperativas;
- Organizações que são empresas esmagadoras e exportadoras de soja.



Os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 6.13 e 6.14 para cada tipo de organização.

Tabela 6.13: Resultados obtidos considerando somente as cooperativas

Atributo	$\beta$	t-student
Tempo de Recolhimento ( $X_1$ )	-0,2755	-10,4045
Tempo de Viagem ( $X_2$ )	-0,3892	-2,3184
Atraso Esperado ( $X_3$ )	-0,2766	-3,8857
Valor do Frete ( $X_4$ )	-0,3178	-9,4511
Outras Estatísticas:		
Número de entrevistas: 87	Número de Casos: 348	
$L(0) = -416,5118$	$L(\beta) = -292,9436$	
$\chi^2 = (-2[F(\beta_0)-F(\beta_1)]) = 247,1364$	$\rho^2 = 0,2871$	
Tamanho estimado para a amostra: 38		

Tabela 6.14: Resultados obtidos considerando somente as empresas

Atributo	$\beta$	t-student
Tempo de Recolhimento ( $X_1$ )	-0,2978	-9,6537
Tempo de Viagem ( $X_2$ )	-0,3759	-1,9534
Atraso Esperado ( $X_3$ )	-0,3695	-4,4355
Valor do Frete ( $X_4$ )	-0,3381	-8,4372
Outras Estatísticas:		
Número de entrevistas: 67	Número de Casos: 268	
$L(0) = -320,7619$	$L(\beta) = -217,6474$	
$\chi^2 = (-2[F(\beta_0)-F(\beta_1)]) = 206,2291$	$\rho^2 = 0,3090$	
Tamanho estimado para a amostra: 56		

Os valores do tempo para as cooperativas e empresas exportadoras são apresentados nas tabelas 6.15 e 6.16, respectivamente.

Tabela 6.15: Valores do tempo para as cooperativas

Atributos de tempo	Valor do tempo (R\$/t.dia)
Tempo de Recolhimento	0,86
Tempo de Viagem	1,22
Tempo de atraso	0,87

Tabela 6.16: Valores do tempo para as empresas

Atributos de tempo	Valor do tempo (R\$/t.dia)
Tempo de Recolhimento	0,88
Tempo de Viagem	1,11
Tempo de atraso	1,09

As Figuras 6.17 e 6.18, apresentadas a seguir, comparam respectivamente os valores dos coeficientes das funções utilidade e os valores de tempo, obtidos nos três casos considerados, quais sejam o caso geral (considerando conjuntamente cooperativas e empresas exportadoras), o caso considerando apenas cooperativas e o caso considerando somente as empresas exportadoras.

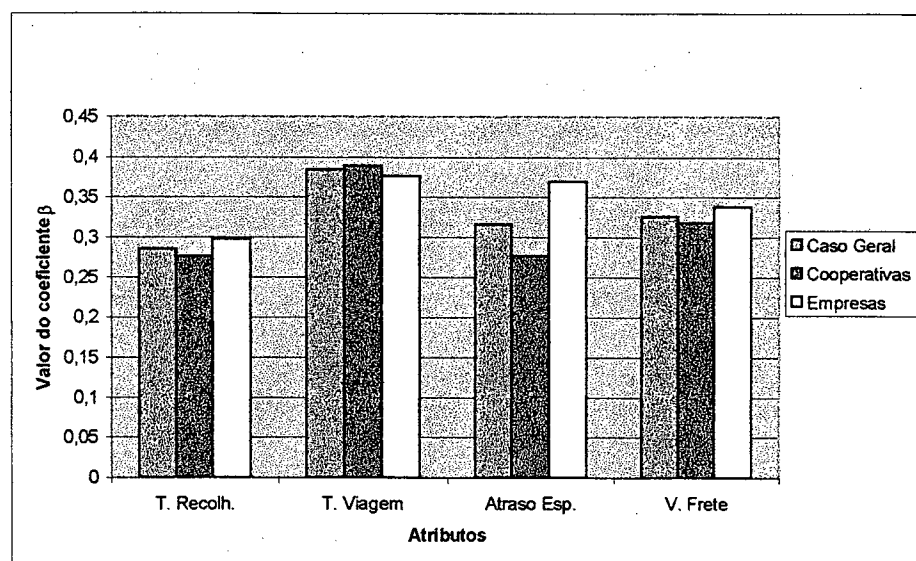


Fig. 6.17: Comparação entre os valores dos coeficientes das Funções Utilidade nos três casos considerados

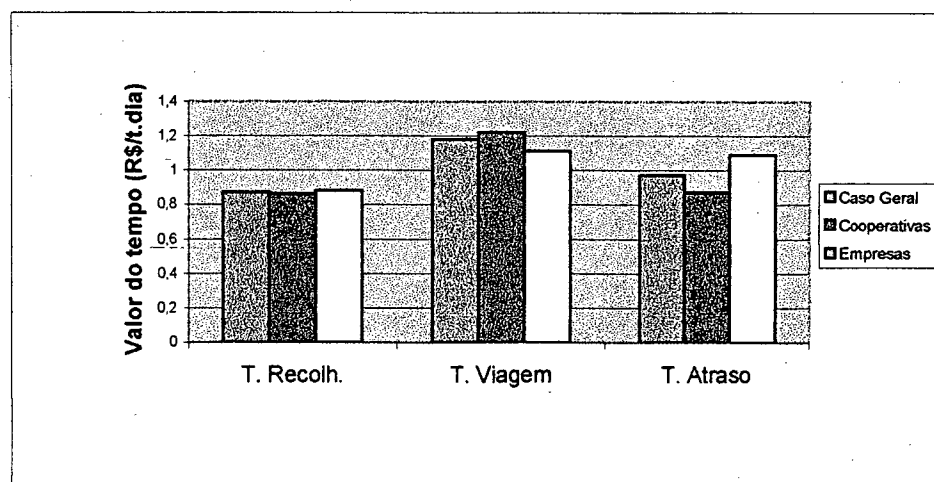


Fig. 6.18: Comparação entre os Valores do Tempo nos três casos considerados

Adicionalmente, também foram calculadas as Taxas Marginais de Substituição (TMS) entre as variáveis  $X_1$  (Tempo de Recolhimento),  $X_2$  (Tempo de Viagem) e  $X_3$  (Tempo de Atraso Esperado). Assim:

$$TMS_{X_2, X_1} = \frac{UM_{X_2}}{UM_{X_1}} \quad (6.1)$$

$$TMS_{X_3, X_1} = \frac{UM_{X_3}}{UM_{X_1}} \quad (6.2)$$

$$TMS_{X_2, X_3} = \frac{UM_{X_2}}{UM_{X_3}} \quad (6.3)$$

onde:

$TMS_{X_2, X_1}$  = Taxa Marginal de Substituição de "X<sub>2</sub>" por "X<sub>1</sub>";

$TMS_{X_3, X_1}$  = Taxa Marginal de Substituição de "X<sub>3</sub>" por "X<sub>1</sub>";

$TMS_{X_2, X_3}$  = Taxa Marginal de Substituição de "X<sub>2</sub>" por "X<sub>3</sub>";

$UM_{X_1}$  = Utilidade Marginal de "X<sub>1</sub>";

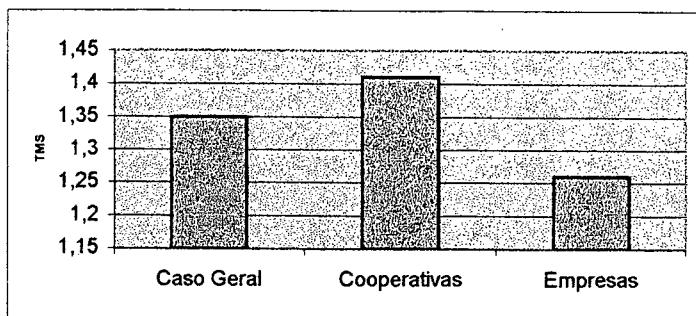
$UM_{X_2}$  = Utilidade Marginal de "X<sub>2</sub>";

$UM_{X_3}$  = Utilidade Marginal de "X<sub>3</sub>".

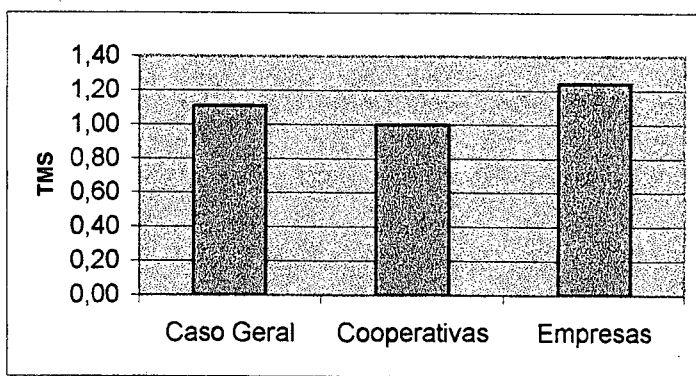
Os valores obtidos para cada segmento considerado estão resumidos na Tabela 6.17 e são apresentados gráficos comparativos nas Figuras 6.19, 6.20 e 6.21.

Tabela 6.17: Valores de Taxa Marginal de Substituição

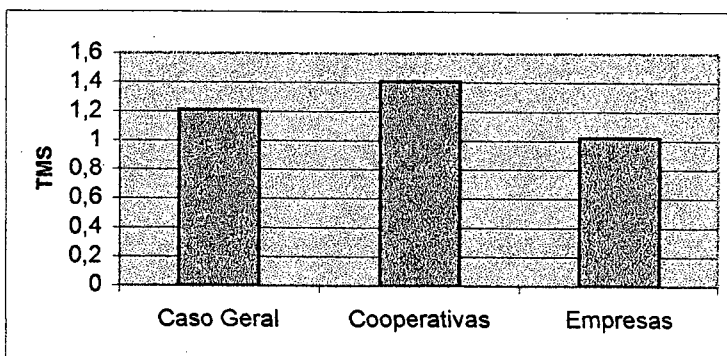
CASO CONSIDERADO	$TMS_{X_2, X_1}$	$TMS_{X_3, X_1}$	$TMS_{X_2, X_3}$
Caso Geral	1,35	1,11	1,21
Cooperativas	1,41	1,00	1,41
Empresas Exportadoras	1,26	1,24	1,02



**Fig. 6.19: Taxas Marginais de Substituição entre TEMPO DE VIAGEM e TEMPO DE RECOLHIMENTO**



**Fig. 6.20: Taxas Marginais de Substituição entre TEMPO DE ATRASO ESPERADO e TEMPO DE RECOLHIMENTO**



**Fig. 6.21: Taxas Marginais de Substituição entre TEMPO DE VIAGEM e TEMPO DE ATRASO ESPERADO**

Levando-se em conta as Taxas Marginais de Substituição obtidas, pode-se analisar as possibilidades de substituição entre os atributos de tempo para os usuários do corredor de transporte.

Percebe-se, assim, que os usuários, em geral, estariam dispostos a adicionar 1,35 dias ao Tempo de recolhimento a fim de poupar 1 dia de viagem. Considerando-se separadamente os setores cooperativas e *empresas exportadoras*, observa-se uma mudança na possibilidade de substituição: as cooperativas estariam dispostas a adicionar 1,41 dias e as empresas exportadoras 1,26 dias no Tempo de Recolhimento para poupar 1 dia no Tempo de Viagem.

De maneira análoga, pode-se dizer que haveria a disposição de adicionar-se 1,11 dias ao Tempo de recolhimento com a finalidade de poupar 1 dia no Tempo de Atraso Esperado, para o caso em que todas as organizações são consideradas conjuntamente. Já as cooperativas adicionariam 1 dia ao Tempo de Recolhimento para poupar 1 dia no Tempo de Atraso Esperado. No caso das empresas exportadoras, as mesmas estariam dispostas a acrescentar 1,24 dias ao tempo de Recolhimento diante da possibilidade de poupar 1 dia no Tempo de Atraso Esperado.

Finalmente, considerando-se as possibilidades de substituição entre Tempo de Viagem e Tempo de Atraso Esperado, pode-se notar que os usuários, em geral, estariam dispostos a adicionar 1,21 dias ao Tempo de Atraso Esperado para poupar 1 dia no Tempo de Viagem. Quanto às cooperativas especificamente, as mesmas aceitariam acrescentar 1,41 dias ao Tempo de Atraso Esperado para poupar 1 dia no Tempo de Viagem, enquanto que as empresas exportadoras somente aceitariam acrescentar 1,02 dias para efetivar a referida poupança no Tempo de Viagem.

Levando-se em conta as comparações realizadas, pode-se notar que pode ser importante a consideração de expressões diferentes para a Função Utilidade, dependendo do grau de homogeneização da população. No caso particular desse trabalho são usadas três expressões para a função utilidade:

$$V_{Geral} = -0,2852X_1 - 0,3839X_2 - 0,3165X_3 - 0,3260X_4 \quad (6.4)$$

$$V_{Coop} = -0,2755X_1 - 0,3892X_2 - 0,2766X_3 - 0,3178X_4 \quad (6.5)$$

$$V_{Emp} = -0,2978X_1 - 0,3759X_2 - 0,3695X_3 - 0,3381X_4 \quad (6.6)$$

onde:

$V_{Geral}$  = Função Utilidade obtida considerando-se todas as organizações;

$V_{Coop}$  = Função Utilidade obtida considerando-se apenas as cooperativas;

$V_{Emp}$  = Função Utilidade obtida considerando-se apenas as empresas exportadoras;

$X_1$  = Tempo de Recolhimento em dias;

$X_2$  = Tempo de Viagem em dias;

$X_3$  = Atraso Esperado em dias;

$X_4$  = Valor do Frete em R\$/tonelada.

## 6.4. INFORMAÇÕES DE PREFERÊNCIA REVELADA

Durante o processo de coleta dos dados de Preferência Declarada também foram coletados dados de Preferência Revelada.

Sistematicamente, logo após cada entrevistado realizar a ordenação dos diversos cartões do experimento de Preferência Declarada, era apresentado ao mesmo uma planilha, na qual eram registradas informações referentes ao último período de safra ocorrido. Em tal planilha, foram coletados os valores mais comuns observados dos diversos atributos na última safra, bem como a repartição modal observada em cada empresa. O modelo de planilha utilizada pode ser observado no Anexo 9.4. As informações obtidas nessa pesquisa de Preferência Revelada podem ser vistas na Tabela 6.18, apresentada a seguir.

Tabela 6.18: Resumo das informações obtidas na Pesquisa de Preferência Revelada

ORGANIZAÇÃO PESQUISADA	ALTERNATIVA RODOVIÁRIA Valores observados dos atributos (em dias)				ALTERNATIVA FERROVIÁRIA Valores observados dos atributos (em dias)				REPARTIÇÃO MODAL OBSERVADA (%)	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Rodov.	Ferrov
1. COTRIPAL (Panambi)	0	1	0	25,00	1	3	0	17,50	80	20
2. CEVAL (Santo Ângelo)	0,5	0,5	0	22,00	1	1	0	20,00	50	50
3. COTRIJUI (Ijuí)	0	1	0	18,00	0	3	0	16,00	70	30
4. COOPATRIGO (S.L. Gonzaga)	0	1	0	20,00	1	2	0	15,00	40	60
5. COTRIJAL (Não-me-toque)	0	1	0	22,00	8,5	3	2	15,50	90	10
6. COTRIGO (Estação)	0	1	0	26,00	2	3	0	23,00	60	40
7. COTREL (Erechim)	0	1	0	25,00	2	3	1	18,00	63	37
8. AGROPAN (Tupanciretã)	0	1	0	18,00	0	2	0	14,00	30	70
9. COTRIJUC (J. de Castilhos)	0	1	0	19,00	1	2	0	14,50	40	60

É importante salientar que na Tabela 6.18 constam apenas as organizações que possuem disponibilidade de oferta dos modais rodoviário e ferroviário. Assim, das empresas pesquisadas, somente 9 tinham a sua disposição os modais rodoviário e ferroviário, simultaneamente. Dessa forma, o tamanho da amostra ficou reduzido a 9 organizações.

Empregando os valores mais comuns obtidos na pesquisa de preferência revelada para os diversos atributos, para cada indivíduo (no caso, para cada organização), e usando o Modelo Logit Multinomial, dado por:

$$P_n(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_j}} \quad (6.7)$$

calculou-se a probabilidade de escolha de cada alternativa (alternativa rodoviária ou ferroviária) para cada empresa. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.19.

Tabela 6.19: Repartição modal observada e probabilidades de escolha estimadas com dados de preferência declarada

ORGANIZAÇÃO PESQUISADA (Tipo)	Repartição Modal Rodoviária Observada (%)	Probabilidade de, Escolha Calculada da Alternativa Rodoviária, em %, usando dados de PD e Função Utilidade para o caso geral	Probabilidade de, Escolha Calculada da Alternativa Rodoviária, em %, usando dados de PD e Função Utilidade específica para cada caso
1. COTRIPAL (Cooperativa)	80	19,91	20,92
2. CEVAL (Empresa Exportadora)	50	42,13	41,60
3. COTRIJUI (Cooperativa)	70	52,89	53,56
4. COOPATRIGO (Cooperativa)	40	27,67	28,41
5. COTRIJAL (Cooperativa)	90	84,63	83,31
6. COTRIGO (Cooperativa)	60	58,91	59,29
7. COTREL (Cooperativa)	63	34,81	35,01
8. AGROPAN (Cooperativa)	30	28,49	29,28
9. COTRIJUC (Cooperativa)	40	31,05	31,75

Observando-se a Tabela 6.19 nota-se que, em termos do valor calculado da probabilidade de escolha de cada modo de transporte, a segmentação da amostra praticamente não modificou os resultados obtidos. Dessa forma, a partir desse ponto, será empregada neste trabalho a Função Utilidade dada pela Equação (6.4), a qual será denotada simplesmente por "V".

Considerando-se, agora, o modelo proposto no Capítulo 5, expresso pela Equação (5.1), e particularizando-o para um caso com somente duas alternativas (no caso, alternativas rodoviária e ferroviária), chega-se a:

$$P_1(n) = \frac{F_1 e^{\theta V_{1n}}}{F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}}} \quad (6.8)$$



$$P_2(n) = \frac{F_2 e^{\theta V_{1n}}}{F_1 e^{\theta V_{1n}} + F_2 e^{\theta V_{2n}}} \quad (6.9)$$

ou mais simplificadamente:

$$P_1(n) = \frac{1}{1 + \frac{F_2}{F_1} e^{\theta(V_{2n} - V_{1n})}} \quad (6.10)$$

$$P_2(n) = \frac{1}{1 + \frac{F_1}{F_2} e^{\theta(V_{1n} - V_{2n})}} \quad (6.11)$$

onde:

$P_1(n)$  = Probabilidade do usuário "n" escolher o modo "1";

$P_2(n)$  = Probabilidade do usuário "n" escolher o modo "2";

$F_1$  = Variável de Atração ligada ao modo "1";

$F_2$  = Variável de Atração ligada ao modo "2";

$\theta$  = parâmetro a ser estimado.

Para calibrar o parâmetro " $\theta$ " do modelo proposto, usando os dados de preferência revelada disponíveis, foram usadas as informações apresentadas na Tabela 6.20.

Como pode ser visto na Tabela 6.20, resolveu-se trabalhar com uma amostra com 100 decisões de transporte ( $N = 100$ ). Tais decisões foram rateadas entre as 9 empresas consideradas, proporcionalmente à tonelage movimentada por cada uma delas. O número de escolhas (resultado do processo de decisão) atribuídas a cada modal, foi feito de acordo com a repartição modal observada na pesquisa de preferência revelada realizada. Por exemplo, para as 12 tomadas de decisão atribuídas à empresa "1", levou-se em conta que a mesma transportou aproximadamente 80% pelo modal

rodoviário e 20% pelo modal ferroviário, chegando-se à atribuição de 10 escolhas rodoviárias e 2 escolhas ferroviárias.

Tabela 6.20: Amostra com 100 decisões de envio de produtos

Organização	Tonelagem Movimentada	Peso relativo atribuído a cada empresa	Número de decisões (envios) atribuídas a cada empresa	Número de escolhas atribuídas ao modo 1 (Rodoviário)	Número de escolhas atribuídas ao modo 2 (Ferroviário)
1. COTRIPAL	120.000	0,115	12	10	2
2. CEVAL	65.000	0,062	6	3	3
3. COTRIJUI	280.000	0,269	26	18	8
4. COOPATRIGO	70.000	0,067	7	3	4
5. COTRIJAL	110.000	0,107	11	10	1
6. COTRIGO	90.000	0,087	8	5	3
7. COTREL	120.000	0,115	12	8	4
8. AGROPAN	120.000	0,115	12	4	8
9. COTRIJUC	66.000	0,063	6	2	4
TOTAL	1.041.000	1,00	100	63	37

Assim sendo, estes dados de preferência revelada foram usados para estimar o parâmetro  $\theta$  da função utilidade transformada dada pela Equação (5.3), no Capítulo 5. Foi empregada a abordagem de máxima verossimilhança, buscando-se o valor de  $\theta$  que maximiza a função de log-verossimilhança dada pela Equação (5.16) Para isso, foi utilizado um programa desenvolvido em Visual Basic 6.0 pelo próprio autor, cujas telas principais podem ser vistas no Anexo 9.6.

#### 6.4.1. Determinação das Variáveis de Atração

Uma questão importante na modelagem proposta é o valor das variáveis de atração  $F_1$  e  $F_2$ . Inicialmente, calibrou-se o modelo para valores iguais das

variáveis de atração ( $F_1 = F_2 = 50$ ). Após, o modelo foi calibrado para duas outras situações arbitrárias, uma onde  $F_1 < F_2$  ( $F_1 = 40$  e  $F_2 = 60$ ) e outra onde  $F_1 > F_2$  ( $F_1 = 60$  e  $F_2 = 40$ ). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.21, em termos de probabilidades de escolhas do modo "1" (rodoviário). A Figura 6.22 confronta os resultados obtidos.

Tabela 6.21: Probabilidades e parâmetro  $\theta$  estimados pelo modelo para diferentes valores das variáveis de atração

ORGANIZAÇÃO	$P_1(n)$ para $F_1 = F_2$ (%)	$P_1(n)$ para $F_1 = 40$ e $F_2 = 60$ (%)	$P_1(n)$ para $F_1 = 60$ e $F_2 = 40$ (%)
1. COTRIPAL	41,71	35,83	47,02
2. CEVAL	48,09	39,03	57,09
3. COTRIJUI	50,69	40,35	61,04
4. COOPATRIGO	44,24	37,10	51,08
5. COTRIJAL	60,11	45,29	74,05
6. COTRIGO	52,16	41,10	63,21
7. COTREL	46,23	38,10	54,21
8. AGROPAN	44,48	37,22	51,46
9. COTRIJUC	45,21	37,59	52,61
Parâmetro " $\theta$ " estimado $\rightarrow$	0,241	0,127	0,377

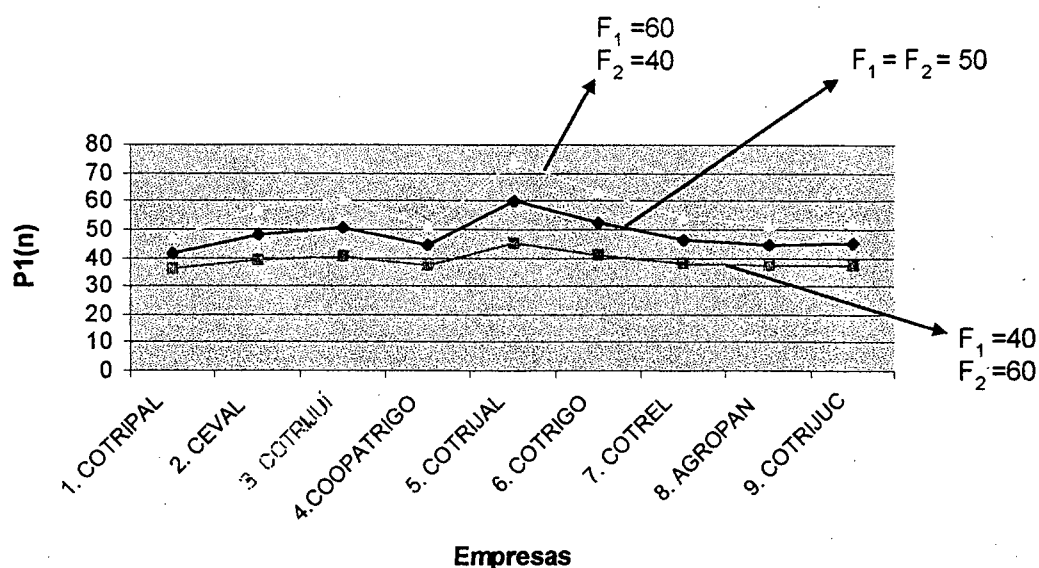


Fig. 6.22: Comparação entre as probabilidades de escolha obtidas para o modo "1" para diferentes valores das variáveis de atração

Observando-se a Figura 6.22 pode-se notar que os resultados são coerentes no sentido de que, à medida que aumenta o Fator de Atração do modo considerado, ocorre um aumento na sua probabilidade de escolha. Da mesma forma, à medida que o Fator de Atração do modo diminui, ocorre uma diminuição de sua probabilidade de escolha.

Conforme já foi mencionado anteriormente, uma questão relevante na metodologia proposta é a definição dos Fatores ou Variáveis de Atração das alternativas consideradas (no caso em questão, tem-se apenas duas alternativas, quais sejam os modais rodoviário e ferroviário), pois tais fatores representam uma “medida de atratividade” das alternativas.

Nesse trabalho, para a determinação dos Fatores de Atração  $F_i$ , foi usada a metodologia apresentada na Seção 5.5 do Capítulo 5. Para a realização da coleta de dados foi usada a planilha que é apresentada no Anexo 9.5. Em tal planilha, o usuário assinalava uma das cinco classes oferecidas para a condição da oferta de transporte, para cada um dos modais. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.22.

Tabela 6.22: Resultados obtidos da avaliação da condição da oferta de transporte pelos usuários

Empresa	Condição da Oferta de Transporte			
	RODOVIA		FERROVIA	
	Condição	Nota	Condição	Nota
1. COTRIPAL	EXCELENTE	90,0	PÉSSIMA	10,0
2. CEVAL	BOA	70,0	RAZOÁVEL	50,0
3. COTRIJUI	EXCELENTE	90,0	RUIM	30,0
4. COOPATRIGO	BOA	70,0	EXCELENTE	90,0
5. COTRIJAL	EXCELENTE	90,0	PÉSSIMA	10,0
6. COTRIGO	EXCELENTE	90,0	BOA	70,0
7. COTREL	EXCELENTE	90,0	RUIM	30,0
8. AGROPAN	BOA	70,0	EXCELENTE	90,0
9. COTRIJUC	BOA	70,0	BOA	70,0

Para a determinação dos Fatores de Atração para cada um dos modais considerados ("1" = modo rodoviário e "2" = modo ferroviário) foi usada a Equação (5.5) para o caso binomial:

$$F_{1,n} = \frac{N_{1,n}}{N_{1,n} + N_{2,n}} \times 100 \quad (6.12)$$

$$F_{2,n} = \frac{N_{2,n}}{N_{1,n} + N_{2,n}} \times 100 \quad (6.13)$$

onde:

$F_{1,n}$  = Fator de Atração para o modo rodoviário para a empresa "n";

$F_{2,n}$  = Fator de Atração para o modo ferroviário para a empresa "n";

$N_{1,n}$  = Nota atribuída ao modo Rodoviário pela empresa "n" (ponto médio da classe assinalada pelo usuário);

$N_{2,n}$  = Nota atribuída ao modo ferroviário pela empresa "n" (ponto médio da classe assinalada pelo usuário).

Os valores calculados para os Fatores de Atração, usando-se as Equações (6.12) e (6.13) podem ser vistos na Tabela 6.23.

Tabela 6.23: Fatores de Atração estimados para cada usuário

EMPRESA	$F_{1,n}$	$F_{2,n}$
1. COTRIPAL	90,00	10,00
2. CEVAL	58,33	41,67
3. COTRIJUI	75,00	25,00
4. COOPATRIGO	43,75	56,25
5. COTRIJAL	90,00	10,00
6. COTRIGO	56,25	43,75
7. COTREL	75,00	25,00
8. AGROPAN	43,75	56,25
9. COTRIJUC	50,00	50,00

Usando-se os valores da Tabela 6.23 pôde-se calcular um Fator de Atração para cada modo de transporte, empregando-se a Equação (5.6) para o caso binomial. Assim:

$$F_1 = \frac{t_{1,1} F_{1,1} + t_{1,2} F_{1,2} + \dots + t_{1,n} F_{1,n}}{t_{1,1} + t_{1,2} + \dots + t_{1,n}} \times 100 = \frac{\sum t_{1,n} F_{1,n}}{\sum t_{1,n}} \times 100 \quad (6.14)$$

$$F_2 = \frac{t_{2,1} F_{2,1} + t_{2,2} F_{2,2} + \dots + t_{2,n} F_{2,n}}{t_{2,1} + t_{2,2} + \dots + t_{2,n}} \times 100 = \frac{\sum t_{2,n} F_{2,n}}{\sum t_{2,n}} \times 100 \quad (6.15)$$

onde:

$F_1$  = Fator de Atração para o modo "1" (rodoviário);

$t_{1,n}$  = Tonelagem movimentada pela empresa "n" pelo modo "1" (rodoviário);

$F_{1,n}$  = Fator de Atração para o modo "1" (rodoviário);

$F_2$  = Fator de Atração para o modo "2" (ferroviário);

$t_{2,n}$  = Tonelagem movimentada pela empresa "n" pelo modo "2" (ferroviário);

$F_{2,n}$  = Fator de Atração para o modo "2" (ferroviário) para a empresa "n".

Para o caso em estudo, aplicando-se as Equações (6.14) e (6.15) chegou-se a  $F_1 = 68,40$  e  $F_2 = 31,60$ .

No presente trabalho foi feita a aplicação da metodologia proposta usando-se os Fatores de Atração calculados acima.

## 6.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos foram comparados àqueles obtidos usando-se o Modelo Logit somente com dados de preferência declarada e usando-se a metodologia proposta com fatores de atração iguais para os dois modos

considerados. Tais resultados são apresentados na Tabela 6.24 e é feita uma comparação visual na Figura 6.23.

Tabela 6.24: Comparação entre o modelo considerando dados de PD e o modelo considerando dados de PR

ORGANIZAÇÃO	Percentual de escolha observado do modal rodoviário	$P_1(n)$ calculado somente com dados de PD (%)	$P_1(n)$ para $F_1 = F_2$ (%)	$P_1(n)$ para $F_1 = 68,40$ e $F_2 = 31,60$ (%)
1. COTRIPAL	80	19,91	41,71	50,61
2. CEVAL	50	42,13	48,09	64,60
3. COTRIJUI	70	52,89	50,69	69,73
4. COOPATRIGO	40	27,67	44,24	56,37
5. COTRIJAL	90	84,63	60,11	84,40
6. COTRIGO	60	58,91	52,16	72,43
7. COTREL	63	34,81	46,23	60,71
8. AGROPAN	30	28,49	44,48	56,90
9. COTRIJUC	40	31,05	45,21	58,51
Parâmetro "θ" estimado →	-	-	0,241	0,537

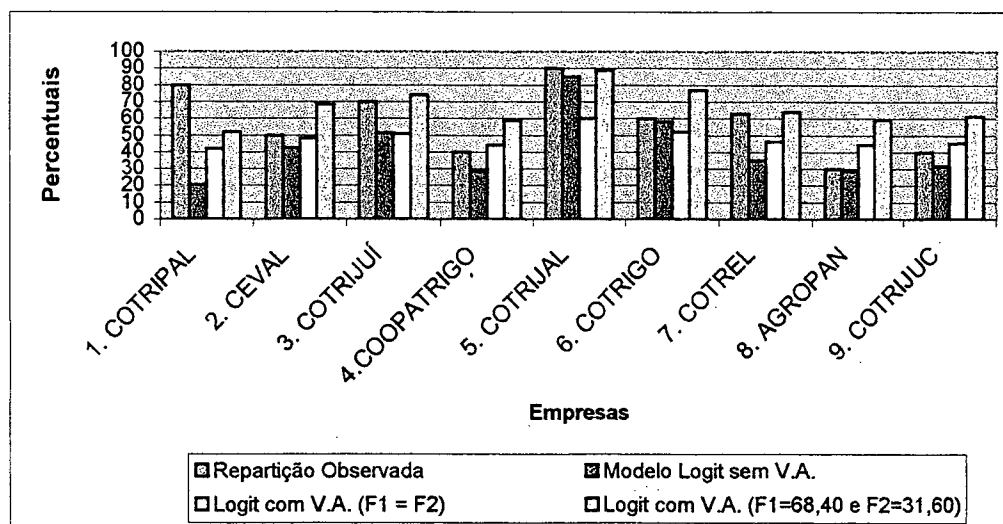


Fig. 6.23: Comparação entre o percentual observado de escolha do modo rodoviário, as probabilidades de escolha obtidas pelo modelo considerando somente dados de PD e o modelo com variáveis de atração

Para avaliar mais objetivamente os resultados obtidos foram usadas as estatísticas apresentadas na Seção 5.8 do Capítulo 5. A Tabela 6.25 apresenta os valores calculados das diversas estatísticas para os três modelos que foram considerados.

Tabela 6.25: Estatísticas calculadas para os modelos

ESTATÍSTICAS	Modelo Logit somente com dados de PD	Modelo Logit com Fatores de Atração iguais	Modelo Logit com Fatores de Atração Estimados ( $F_1=68,40$ e $F_2=31,60$ )
Erro Médio Absoluto Normalizado (EMAN)	2,452	2,374	2,174
Soma Média dos Erros Quadrados (SMEQ)	558,290	370,395	289,147
Erro Padrão da Estimativa (EPE)	23,628	19,246	17,00
Erro Qui-Quadrado ( $\chi^2$ )	219,706	70,428	46,286

Levando-se em conta as estatísticas apresentadas na Tabela 6.25, pode-se notar o melhor desempenho do Modelo de *Market-Share* proposto.

Já as estatísticas obtidas no processo de calibração do Modelo Logit com Fatores de Atração (estimados como  $F_1 = 68,40$  e  $F_2 = 31,60$ ) foram as seguintes:

- Número de Observações: 100;
- $L(0) = -66,55$ ;
- $L(\theta) = -64,07$ ;
- $\chi^2 = -2[L(0)-L(\theta)] = 4,9536$ ;
- t-Student: 2,187.

Assim sendo, considerando-se um nível de significância de 0,05 (ou seja, 95 % de confiança) tanto o teste t-Student quanto o teste de Razão de Verossimilhança ( $\chi^2$ ) indicaram a significância do parâmetro " $\theta$ ".



## 7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

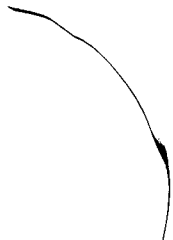
O presente trabalho estuda a questão da escolha entre alternativas de transporte, na área de carga, por parte das empresas usuárias, nos chamados corredores agrícolas de exportação.

Dentro deste contexto é desenvolvido um experimento de preferência declarada e também um processo de modelagem usando conjuntamente dados de preferência declarada e preferência revelada, dando origem à concepção de um Modelo de *Market-Share*.

As metodologias acima citadas foram aplicadas ao caso específico do transporte do complexo soja, com destino à exportação, no corredor de transporte do Rio Grande.

Assim sendo, no que diz respeito à aplicação de um processo de modelagem em transporte de carga, usando-se o Modelo Logit Multinomial com Probabilidade Condicional e a técnica de Preferência Declarada para coleta de dados, ficaram evidentes os seguintes resultados:

- A adoção de uma técnica de fracionamento (no caso, o arranjo ortogonal L18 de Taguchi) e o uso dos chamados Blocos Balanceados Incompletos (BIB) mostraram-se viáveis de serem aplicados e bastante adequados para o caso em estudo;



- As estimativas obtidas para os parâmetros da função utilidade linear aditiva, obtidas através do uso do Modelo LMPC, foram coerentes e estatisticamente significantes;

- Através do uso do conceito microeconômico de Taxa Marginal de Substituição foi possível calcular o valor atribuído pelos usuários, no período de safra, aos três atributos de tempo considerados (Tempo de Recolhimento, Tempo de Viagem e Tempo de Atraso Esperado), bem como analisar as “possibilidades de substituição” entre estes atributos;

- O uso do Modelo Logit Multinomial, somente empregando dados de Preferência Declarada, para a previsão da repartição modal no corredor de transporte em estudo, em algumas situações levou a resultados distantes da realidade observada.

No que tange ao Modelo de *Market-Share* implementado, algumas conclusões importantes foram:

- O acréscimo de Fatores de Atração à formulação Logit convencional (originando o referido Modelo de *Market-Share* com Variáveis de Atração) mostrou ser operacionalmente viável;

- Na aplicação realizada, o processo desenvolvido para a determinação dos Fatores de Atração mostrou ser adequado e relativamente fácil de ser aplicado;

- A comparação feita usando-se quatro estatísticas, entre o Modelo Logit convencional e o Modelo de *Market-Share* com Variáveis de Atração, indicou que o último conduziu a melhores resultados na aplicação realizada, em termos de previsão da repartição modal.

Adicionalmente, no que diz respeito ao comportamento dos usuários do corredor de transporte estudado, uma importante conclusão foi a de que o resultado final do processo de escolha de um modo de transporte não depende exclusivamente dos valores dos atributos oferecidos diretamente por esses modos,

mas também depende da capacidade e condições de oferta dos referidos modos ao longo do período de safra.

## **7.2. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS**

Embora os resultados obtidos na aplicação realizada com o Modelo de *Market-Share* com Variáveis de Atração tenham sido melhores do que aqueles obtidos com a aplicação do Logit Multinomial convencional, certamente os resultados preditivos do primeiro poderiam ser melhorados, se um conjunto de dados mais detalhados e precisos de Preferência Revelada estivesse disponível. Assim, acredita-se que, havendo uma coleta sistemática de dados de embarques no corredor em estudo, a metodologia desenvolvida nesse trabalho poderá conduzir a resultados superiores aos já evidenciados.

Outro fato importante a ser ressaltado é que o tipo de metodologia aqui apresentada (a qual foi aplicada a um caso de escolha modal binomial) certamente poderá ser empregada com sucesso para estimar probabilidades de escolha entre alternativas mais específicas, que possam ser oferecidas pelos transportadores aos usuários do corredor. Nesse caso, onde existiriam "n" alternativas, bastaria estender a implementação do programa desenvolvido nesse trabalho (implementado especificamente para o caso binomial) para o caso multinomial.

## **7.3. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

Certamente, a metodologia desenvolvida neste trabalho poderá ser melhorada e aperfeiçoada.

Uma maneira de melhorar o poder preditivo do modelo proposto possivelmente seria através da consideração de um fator de atração não só associado à alternativa (no caso, um modo de transporte), mas também às classes de usuários. Dessa forma, num caso de escolha modal binomial (como é o caso da

aplicação feita neste trabalho), em vez dos fatores  $F_1$  e  $F_2$  (associados aos modos "1" e "2", respectivamente), sugere-se, como um futuro estudo, a determinação e o uso de fatores  $F_{1,n}$  e  $F_{2,n}$  (isto é, fatores associados às alternativas e também a cada usuário individualmente ou a cada classe de usuários).

Outra questão que também merece ser investigada futuramente é o relacionamento entre as variáveis de atração e as constantes específicas de alternativa (que no caso da aplicação realizada são constantes específicas de modo), sendo que estas últimas poderiam ser incorporadas à função utilidade.

Finalmente, também sugerem-se como futuras possibilidades de pesquisa, a inclusão de novos atributos na função utilidade, e aplicações comparativas em duas situações bem distintas nos corredores agrícolas de exportação, quais sejam as situações de *período de safra* e *período fora de safra*.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELWAHAB, W. and SARGIOUS, M. (1992). Modelling the demand for freight transport. *Journal of Transport Economics and Policy*, 49-70, London.
- ALLEN, W. B. (1977). The demand for freight transportation: a micro approach, *Transportation Research*, 11, 9-14.
- ANDRADE, E. L. de (1989) Introdução à pesquisa operacional: métodos e técnicas para análise de decisão, LTC., Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, L. M. W. (1999) *Desenvolvimento de uma Metodologia para Análise Locacional de Sistemas Educacionais Usando Modelos de Interação Espacial e Indicadores de Acessibilidade*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis.
- AZAMBUJA, A. M. V. (1995) *Estimação de Modelos Comportamentais Utilizando a Técnica de Preferência Declarada: o caso da variabilidade dos tempos de viagem no transporte de grãos no Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre.
- BANOMYOUNG, Ruth e BERESFORD, A. K. C. (2000) *Multimodal transport systems: the case of Laotian Garment Exporters*. Third International Meeting for Research in logistics, Trois-Rivières.
- BARAT, Josef. (1978) A evolução dos transportes no Brasil. IBGE/IPEA, Rio de Janeiro.
- BASTOS, Lia Caetano. *Planejamento da rede escolar: uma abordagem utilizando preferência declarada*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis.
- BAUMOL, W. J. e VINOD, H. D. (1970) An Inventory-Theoretic Model of Freight Transport Demand, *Management Science*, 16, p. 413-421.
- BELL, M. G. H. e IIDA, Y. (1997) *Transportation Network Analysis*. John Wiley & Sons, Chichester.
- BERTAZZI, L., SPERANZA, M. G. and UKOVICH, W. (1997). Minimization of logistic costs with given frequencies. *Transportation Research B*, v. 31, n. 4, p. 327-340, USA.
- BEZ, E. T. (2000) *Um Estudo Sobre os Procedimentos de Calibração de Alguns Modelos de Distribuição de Viagens*. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis.

- BLACK, W. R. (1971) The Utility of the Gravity Model and Estimates of its Parameters in Commodity Flow Studies, *Proceedings of the Association of American Geographers*, 3, p. 28-32.
- BOYER, K. D. (1977) Minimum rate regulation, modal split sensitivities and the railroad problem. *Journal of Political Economy*, n. 85, v. 3, p. 493-512
- CALDAS, M. A. F. (1998) Curso de Modelagem com Dados de Preferências Reveladas e Declaradas: Notas de Aula. XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Fortaleza.
- CARVALHO, M. C. M. (1993) Transporte rodoviário de passageiros: um modelo de divisão de mercado. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, SC.
- CARTER, J. R. e FERRIN, B. G. (1995) The Impact of Transportation Costs on Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, v. 16, n. 1, p. 189-212.
- CHISHOLM, M e O'SULLIVAN, P. (1973) Freight Flows and Spatial Aspects of the British Economy, Cambridge University Press.
- COOPER, L.G. e NAKANISHI, M. (1988) Market Share Analysis, Kluwer Academic Publishers, Norwell, Mass, USA.
- CRAINIC, T. (1987) Operations Research Models of Intercity Freight Transportation: the Current State and Future Research Issues. *Logistics and Transportation Review*, v. 23, n. 2, p. 189-206.
- DAGANZO, C. F. e SHEFFI, Y. (1977) On Stochastic models of traffic assignment. *Transportation Science*, v. 11, n. 3, p. 253-274.
- DALY, A. J. (1982a). Estimating choice models containing attraction variables. *Transportation Research*, 16B(1), 5-15.
- EASA, S. M. (1992) Traffic Assignment in Practice: Overview and Guidelines for Users. *Journal of Transportation Engineering*, v. 117, N. 6.
- FERNÁNDEZ, J.E. and FRIEZ, T.L. (1983). Equilibrium predictions in transportation markets: the state of the art. *Transportation Research*, 17B(2), 155-72.
- FRIEDLAENDER, A. F. e SPADY, R. H. (1980) A Derived Demand Function for Freight Transportation. *The Review of Economics and Statistics*, n. 62, v.3, p. 432-441.
- FRIESZ, T. L., GOTTFRIED, J. and TOBIN, R. L. (1983). Analyzing the transportation impacts of increased coal haulage: two case studies. *Transportation Research*, 17A(6), 505-525, Great Britain.

- FRIESZ, T. L., TOBIN, R. L. e HARKER, P. T. (1983). Predictive intercity freight network models: the state of the art. *Transportation Research*, 17A (6), pp. 409-417, Great Britain.
- GEIPOT (1982) *Modelos Comportamentais Desagregados: Estimativa da demanda e Avaliação de Políticas em Transportes Urbanos*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- GEIPOT (1994) *Corredores de Transporte: Corredor do Rio Grande*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- GEIPOT (1997) *Corredores de Transporte: proposta de ações para adequação da infra-estrutura e para racionalização do transporte de granéis agrícolas*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- GONÇALVES, M. B. (1992) *Desenvolvimento e Teste de um Novo Modelo Gravitacional de Oportunidades de Distribuição de Viagens*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis.
- GRONAU, R. e ALCALY, R. E. (1969) The Demand for Abstract Transport Modes: Some Misgivings. *Journal of Regional Science*, Vol. 9, n. 1, pp. 153-157.
- GUÉLAT, J. , FLORIAN, M. e CRAINIC, T. G. (1990). A multimode multiproduct network assignment model for strategic planning of freight flows. *Transportation Science*, Vol. 24, N. 1, USA.
- HARKER, P. T. (1985). The state of the art in the predictive analysis of freight transport systems. *Transport Reviews*. Vol. 5, N. 2, pp. 143-164, USA.
- HARKER, P.T. (1987) *Predicting Intercity Freight Flows*. VNU Science Press, Utrech.
- HEADY, E. O. e SKOLD, M. D. (1966) Analysis to specify the regional distribution of farm products, *Research and Education for Regional and Area Development*, Iowa University Press, p. 175-192.
- HUTCHINSON, B. G. (1979) *Princípios de planejamento dos sistemas de transporte urbano*. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois.
- KORNHAUSER, A. L. et al (1979) *The Princeton Railroad Network Model: Application of Computer Graphics in the Analysis of a Changing Industry*. Transportation Program, Princeton University, Princeton, N. J.
- KRESGE, D. T. e ROBERTS, P. O. (1971) *Systems Analysis and Simulation Models. Techniques of Transport Planning*. The Brookings Institute, Washington, D.C.
- KROES, E. P. e Sheldon, R. J. (1988) Stated Preference Methods: An introduction. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. XXII, n. 1, p. 11-25.

- LANSDOWNE, Z. F. (1981) Rail Freight Traffic Assignment. *Transportation Research*, 15(A), p. 183-190.
- LEVIN, R. C. (1978) Allocation in surface freight transportation: does rate regulation matter? *Bell Journal of Economics*, 9 (1), p. 18-45.
- LIBERATORE, M. J. e MILLER, T. (1995) A Decision Support Approach for Transport Carrier and Mode Selection. *Journal of Business Logistics*, v. 16, n. 2, p. 85-111.
- MAYBERRY, J. P. (1968) Variants of Abstract Mode Models, *Mathematica*, n. 1006.
- MERA, K. (1971) An Evaluation of Gravity and Linear Programming Transportation Models for predicting Interregional Commodity Flows. *Techniques of Transport Planning*, Vol. 1.
- MIKLIUS, W., CASAVANT, K. L. e GARROD, P.V. (1976) Estimation of Demand for transportation of agricultural commodities. *American Journal of Agricultural Economics*, 58(2) May: 217-223.
- MURTHY, A. S. Narasimha e ASHTAKALA, B. (1987) Modal Split Analysis Using Logit Models, *Journal of Transportation Engineering*, v. 113, N. 5.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (1997) *A Guidebook for Forecasting Freight Transportation Demand*. National Academy Press, Washington, D.C.
- NOVAES, A. G. (1986) *Sistemas de Transportes: Análise da Demanda*. Edgard Blücher, São Paulo.
- NOVAES, A. G. e CARVALHO, M. C. (1996) Market Share Analysis of transport Services with Stated Preference Data. *Revista Brasileira de Tecnologia e Ciência*, v. 1, p. 78-91.
- ORTÚZAR, J. de D. e WILLUMSEN, L. G. (1994). *Modeling Transport*, John Wiley & Sons, Chichester.
- OUM, T. H. (1979) Derived demand for freight transportation and inter-modal competition in Canada. *Journal of Transport Economics and Policy*, 13(2), p. 149-168.
- PETERSON, E. R. e FULLERTON, H. V. (1975) *The Railcar Network Models*. Canadian Institute of Guided Ground Transport. Report No. 75-11. Queens's University, Kingston, Ontario.
- POLENSKE, K. R. (1966) *A Case Study of Transportation Models Used in Multiregional Analysis*, Ph.D. Dissertation, Harvard University.
- QUANDT, R.E. e BAUMOL, W. J. (1966) The Demand for Abstract Transport Modes: Theory e Measurement, *Journal of Regional Science*, v. 6, n. 2, p. 13-26.



- RIEFLER, R. e TIEBOUT, C.M. (1970) Interregional Input-Output: An Empirical California-Washington Model. *Journal of Regional Science*, Vol. 10, n. 2, pp. 135-152.
- RESENDE, Eliseu. (1977a) Transporte e Produção. GEIPOT, Brasília.
- RESENDE, Eliseu (1977b) Benefícios da Redução dos Custos de Transporte. GEIPOT, Brasília.
- RIGAUX, L. R. (1971) Market Share Analysis Applied to Canadian Wheat Exports. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 19, n. 1, pp. 22-34.
- ROBERTS, P. O. (1966) Transport Planning: Models for Developing Countries. Ph.D. Dissertation, Civil Engineering Department, Northwestern University.
- ROSS, P. J. (1991) *Aplicações das Técnicas de Taguchi na Engenharia da Qualidade*. Makron Books, São Paulo
- SENN, L. A. S. (1994) The influence of travel time variability on the value of time. *Transportation*, n. 21, p. 203-228.
- SHEFFI, Y. (1985) Urban Transportation Networks. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- SMITH, P. L. (1975) Forecasting Freight Transport Demand: The State of the Art. *The Logistics and Transportation Review*, 10, 236-311.
- SOUZA, O. A. (1999) *Delineamento Experimental em Ensaios Fatoriais Utilizados em Preferência Declarada*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis
- SPIEGEL, M. R. (1977) Estatística. McGraw-Hill, São Paulo.
- SWAIT, J., LOUVIERE, J. J. e WILLIAMS, M. (1994) A sequential approach to exploiting the combined strengths of SP and RP data: application to freight shipper choice. *Transportation*, n. 21, p. 135-152.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1997) A Guidebook for Forecasting Freight Transportation Demand, Report 388, Washington.
- VIEIRA, H. F. (1996) *Uma Visão Empresarial do Processo de Exportação de Produtos Containerizados Catarinenses e Análise do Nível de Serviço Logístico*. Dissertação de mestrado, UFSC, Florianópolis.
- VARIAN, H. R. (1992) Microeconomic Analysis. Norton & Company, New York.
- VASCONCELLOS, M. A. S. e OLIVEIRA, R. G. (1996) Microeconomia, Atlas, São Paulo.

- WARDROP, J. (1952) Some theoretical aspects of road traffic research. Proc. of the Inst. of Civ. Engrs., 2(1), p. 325-378.
- WILLIAMS, H.C.W.L. e ABDULAAL, J. (1993) Public transport services under market arrangements, Part I: a model of competition between independent operators. *Transportation Research*, v. 27B, n. 5, p. 369-387.
- WILLUMSEN, L. e VICUÑA, G. (1990) Nuevas tecnicas para la modelacion de demanda. In: SEMINAR ON TRANSPORTATION PLANNING METHODS. University of Sussex.
- WILSON, F. R., BISSON, B. G. e KOBIA, K. B. (1986) Factors that Determine Mode Choice in the Transportation of General Freight, *Transportation Research Record*, n. 1061, p. 26-31.
- WINSTON, C. (1981). Disaggregate model of the demand for intercity freight transportation, *Econometrica*, Vol. 49, N. 4, 981-1006.
- WINSTON, C. (1983). The demand for freight transportation: models and applications. *Transport Research*, 17A (6), pp. 419-427, Great Britain.
- YATES, F. (1936) *Incomplete Randomized Blocks*. In: *Experimental design: selected papers of Frank Yates*. Charles Griffin, London.
- ZLATOPER, T. J. e ZIONA, A. (1989) Freight transportation demand: a survey of recent econometric studies. *Transportation*, n. 16, p. 27-46.

## 9. ANEXOS

### 9.1. QUESTIONÁRIO USADO NA PESQUISA EXPLORATÓRIA

**Objetivo:** O objetivo deste questionário é identificar os atributos e/ou características que V.Sa. considera os mais importantes quando escolhe a maneira como irá transportar o seu produto.


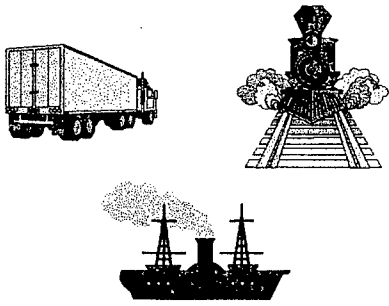

Abaixo, V.Sa. encontra uma lista de atributos. Pedimos que faça o seguinte:

1º) Se existir algum atributo que V.Sa. considere importante e que não esteja na lista, por favor acrescente-o a mesma;



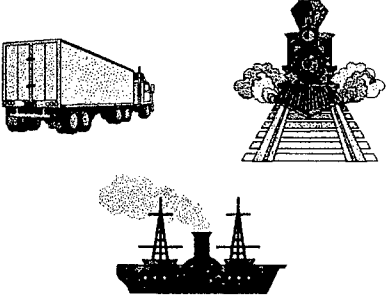


2º) Numere em ordem de importância (no quadrado à esquerda) os 5 (cinco) atributos que V.Sa. considera os mais importantes quando vai escolher a maneira de enviar/receber os seus produtos (1= o mais importante; 2 = o segundo mais importante, etc).



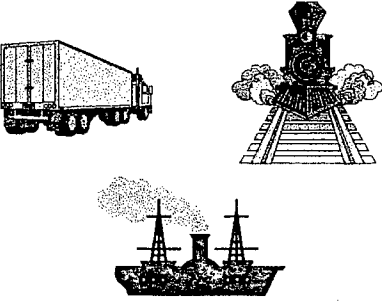


LISTA DE ATRIBUTOS	
	Frequência de oferecimento do serviço.
	Recolhimento do produto “na porta”.
	Preservação da integridade da mercadoria durante o transporte.
	Cumprimento do prazo estipulado para a entrega do produto no destino final.
	Tempo de duração da viagem.
	Valor do frete.
	Capacidade de carga do sistema utilizado para o transporte.
	Tempo de espera entre contratação e realização do transporte.

## **9.2. UM EXEMPLO DE BLOCO E SUAS RESPECTIVAS ALTERNATIVAS**


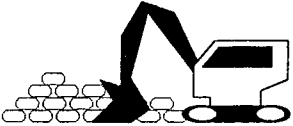
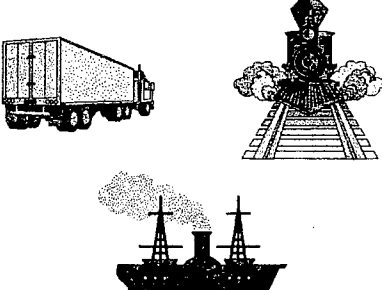

<b>CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE OFERECIDO</b>			
<b>ESPERA ATÉ O RECOLHIMENTO DO PRODUTO</b>	<b>TEMPO DE VIAGEM</b>	<b>ATRASO ESPERADO</b>	<b>VALOR DO FRETE</b>
			
<b>1 dia</b>	<b>1 dia</b>	<b>Até 1 dia</b>	<b>RS 18,00 por tonelada</b>

 <b>CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE OFERECIDO</b>			
<b>ESPERA ATÉ O RECOLHIMENTO DO PRODUTO</b>	<b>TEMPO DE VIAGEM</b>	<b>ATRASO ESPERADO</b>	<b>VALOR DO FRETE</b>
			
<b>5 dias</b>	<b>1 dia</b>	<b>SEM ATRASOS</b>	<b>R\$ 14,00 por tonelada</b>

 <b>CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE OFERECIDO</b>			
<b>ESPERA ATÉ O RECOLHIMENTO DO PRODUTO</b>	<b>TEMPO DE VIAGEM</b>	<b>ATRASO ESPERADO</b>	<b>VALOR DO FRETE</b>
			
<b>10 dias</b>	<b>1 dia</b>	<b>SEM ATRASOS</b>	<b>RS 22,00 por tonelada</b>

 <b>CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE OFERECIDO</b>			
<b>ESPERA ATÉ O RECOLHIMENTO DO PRODUTO</b>	<b>TEMPO DE VIAGEM</b>	<b>ATRASO ESPERADO</b>	<b>VALOR DO FRETE</b>
			
<b>10 dias</b>	<b>1 dia</b>	<b>Até 1 dia</b>	<b>RS 14,00 por tonelada</b>



 <b>CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE OFERECIDO</b>			
<b>ESPERA ATÉ O RECOLHIMENTO DO PRODUTO</b>	<b>TEMPO DE VIAGEM</b>	<b>ATRASO ESPERADO</b>	<b>VALOR DO FRETE</b>
			
<b>1 dia</b>	<b>2 dias</b>	<b>Até 3 dias</b>	<b>RS 18,00</b> <b>por tonelada</b>

### 9.3. ORDENAÇÕES FEITAS PELOS ENTREVISTADOS EM CADA ORGANIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO: Roos Ltda.

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
■ 1	2	4	1	5	3
■ 2	7	2	8	1	6
■ 3	10	1	9	6	3
□ 4	7	4	1	9	11
□ 5	8	10	5	1	11
■ 6	7	2	10	11	3
■ 7	2	4	8	10	9
■ 8	2	11	9	5	6
■ 9	4	8	11	6	3
□ 10	7	9	5	8	3
■ 11	7	4	10	6	5












ORGANIZAÇÃO: COPAGRIL

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
■ 1	1	2	5	4	3
■ 2	1	7	6	2	8
■ 3	1	6	9	3	10
□ 4	7	1	9	4	11
□ 5	1	5	8	11	10
■ 6	7	2	3	11	10
■ 7	2	9	8	4	10
■ 8	6	5	2	9	11
■ 9	6	8	3	4	11
□ 10	7	5	9	8	3
■ 11	7	6	5	4	10

## ORGANIZAÇÃO: GRANÓLEO (Unidade Estrela)

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
 1	1	5	2	4	3
 2	7	1	6	2	8
 3	1	6	9	3	10
 4	7	1	9	4	11
 5	1	5	8	11	10
 6	*****	*****	*****	*****	*****
 7	*****	*****	*****	*****	*****
 8	*****	*****	*****	*****	*****
 9	*****	*****	*****	*****	*****
 10	*****	*****	*****	*****	*****
 11	*****	*****	*****	*****	*****

## ORGANIZAÇÃO: Granóleo (Unidade Carazinho)

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
 1	2	4	1	5	3
 2	7	2	8	1	6
 3	10	9	1	6	3
 4	7	4	9	1	11
 5	8	10	1	5	10
 6	7	2	10	11	3
 7	2	8	4	10	9
 8	2	9	5	11	6
 9	8	11	4	6	3
 10	7	8	9	5	3
 11	7	4	5	10	6

**ORGANIZAÇÃO: Cooperativa Tritícola Panambi Ltda (COTRIPAL)**

<b>BLOCOS</b>	<b>ORDENAÇÃO</b>				
■ 1	2	4	1	5	3
■ 2	7	2	8	1	6
■ 3	10	1	9	6	3
□ 4	7	1	4	9	11
□ 5	8	10	1	5	11
■ 6	7	2	10	11	3
■ 7	2	4	8	10	9
■ 8	2	9	5	11	6
■ 9	8	4	11	6	3
□ 10	7	8	9	5	3
■ 11	7	4	10	5	6










**ORGANIZAÇÃO: Cooperativa Regional Tritícola Serrana Ltda (COTRIJUÍ)**

<b>BLOCOS</b>	<b>ORDENAÇÃO</b>				
■ 1	1	2	3	4	5
■ 2	2	7	8	1	6
■ 3	6	9	3	1	10
□ 4	4	7	1	9	11
□ 5	1	11	5	8	10
■ 6	2	7	11	10	3
■ 7	2	9	4	8	10
■ 8	2	9	11	6	5
■ 9	6	11	3	8	4
□ 10	9	3	7	5	8
■ 11	7	6	4	5	10










**ORGANIZAÇÃO: Cooperativa Tritícola Júlio de Castilhos (COTRIJUC)**

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
 1	*****	*****	*****	*****	*****
 2	*****	*****	*****	*****	*****
 3	1	6	10	9	3
 4	7	1	9	4	11
 5	*****	*****	*****	*****	*****
 6	*****	*****	*****	*****	*****
 7	*****	*****	*****	*****	*****
 8	5	6	2	9	11
 9	6	8	4	11	3
 10	*****	*****	*****	*****	*****
 11	7	5	6	4	10

**ORGANIZAÇÃO: Cooperativa Tritícola Alto Jacuí Ltda (COTRIJAL)**

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
 1	1	5	3	4	3
 2	7	1	6	2	8
 3	1	6	9	10	3
 4	7	1	9	4	11
 5	1	5	8	10	11
 6	7	2	10	11	3
 7	2	8	9	4	10
 8	5	6	2	9	11
 9	8	6	4	11	3
 10	7	5	8	9	3
 11	7	5	6	4	10

**ORGANIZAÇÃO: Cooperativa Tritícola de Getúlio Vargas Ltda (COTRIGO)**

<b>BLOCOS</b>	<b>ORDENAÇÃO</b>				
 1	1	2	4	5	3
 2	7	2	8	1	6
 3	1	10	9	3	6
 4	1	7	4	9	11
 5	1	8	10	11	5
 6	7	2	10	11	3
 7	2	8	4	10	9
 8	2	9	11	5	6
 9	4	8	6	11	3
 10	7	8	5	9	3
 11	7	4	10	5	6

**ORGANIZAÇÃO: Cooperativa Tritícola Erechim Ltda (COTREL)**

<b>BLOCOS</b>	<b>ORDENAÇÃO</b>				
 1	1	2	5	4	3
 2	7	1	2	8	6
 3	1	6	9	10	3
 4	7	1	9	4	11
 5	1	5	8	10	11
 6	7	2	11	10	3
 7	2	9	8	4	10
 8	5	2	6	9	10
 9	6	8	4	11	3
 10	7	5	9	8	3
 11	7	6	5	4	10

**ORGANIZAÇÃO:** Cooperativa Triticola e Agro-Pastoril Giruá Ltda. (COTAP)

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
■ 1	1	2	5	4	3
■ 2	7	2	1	6	8
■ 3	1	6	10	9	3
□ 4	1	9	7	4	11
□ 5	1	5	8	10	11
■ 6	7	2	11	3	10
■ 7	8	4	2	9	10
■ 8	5	6	2	9	11
■ 9	6	4	8	11	3
□ 10	7	8	5	9	3
■ 11	7	6	5	4	10

**ORGANIZAÇÃO:** Cooperativa Triticola Regional Sãoluizense (COOPATRIGO)

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
■ 1	2	4	1	5	3
■ 2	7	2	8	1	6
■ 3	10	1	9	6	3
□ 4	4	7	1	11	9
□ 5	8	10	1	11	5
■ 6	2	7	11	10	3
■ 7	2	4	8	10	9
■ 8	2	9	10	5	6
■ 9	4	8	6	3	11
□ 10	7	8	9	5	3
■ 11	7	4	5	10	6

## ORGANIZAÇÃO: CEVAL (Unidade Santo Ângelo)

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
■ 1	1	2	5	4	3
■ 2	7	1	6	2	8
■ 3	1	6	9	3	10
□ 4	7	1	9	4	11
□ 5	1	5	8	10	11
■ 6	7	2	11	3	10
■ 7	2	9	4	8	10
■ 8	2	6	9	11	5
■ 9	6	11	4	8	3
□ 10	7	9	8	5	3
■ 11	7	6	5	4	10

## ORGANIZAÇÃO: CEVAL (Unidade Esteio)

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
■ 1	2	1	5	4	3
■ 2	7	2	1	6	8
■ 3	1	9	10	6	3
□ 4	7	1	9	4	11
■ 5	1	8	5	10	11
■ 6	2	7	10	11	3
■ 7	2	8	4	9	10
■ 8	2	9	5	11	6
■ 9	8	4	11	6	3
□ 10	7	9	8	5	3
■ 11	7	5	4	6	10



**ORGANIZAÇÃO: Bianchini S/A (Unidade Carazinho)**

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
 1	1	5	2	3	4
 2	7	1	6	2	8
 3	1	9	6	10	3
 4	7	1	9	4	11
 5	1	8	10	5	11
 6	*****	*****	*****	*****	*****
 7	2	8	4	10	9
 8	*****	*****	*****	*****	*****
 9	8	4	6	11	3
 10	*****	*****	*****	*****	*****
 11	*****	*****	*****	*****	*****

**ORGANIZAÇÃO: Cooperativa Agrícola Tupanciretã (AGROPAN)**

BLOCOS	ORDENAÇÃO				
 1	*****	*****	*****	*****	*****
 2	*****	*****	*****	*****	*****
 3	*****	*****	*****	*****	*****
 4	*****	*****	*****	*****	*****
 5	1	5	8	11	10
 6	*****	*****	*****	*****	*****
 7	*****	*****	*****	*****	*****
 8	5	6	2	9	11
 9	6	8	4	11	3
 10	7	5	9	8	3
 11	7	6	5	4	10




### 9.4. MODELO DE PLANILHA USADA NA PESQUISA DE PREFERÊNCIA REVELADA

EMPRESA: \_\_\_\_\_

Período de Safra - ANO: \_\_\_\_\_

DESTINO DAS REMESSAS: \_\_\_\_\_

TOTAL REMETIDO (Aproximado, em Toneladas): \_\_\_\_\_

% DE UTILIZAÇÃO DO MODAL	VALORES OBSERVADOS DOS ATRIBUTOS			
	Tempo de Recolhimento (dias)	Tempo de Viagem (dias)	Atraso (dias)	Valor do Frete (R\$ / t)
  _____ %				
  _____ %				
  _____ %				

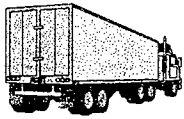
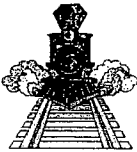

## 9.5. QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA OFERTA DE TRANSPORTE NO CORREDOR

EMPRESA: \_\_\_\_\_

LOCALIZAÇÃO: \_\_\_\_\_

Senhor usuário:

Pedimos que V. S<sup>a</sup> avalie as condições da oferta de transporte dos diversos modais a sua empresa, no período da safra, assinalando a situação correspondente no quadro abaixo:

Situação quanto à oferta de transporte	Faixa de Nota correspondente	Modal Rodoviário 	Modal Ferroviário 	Modal Hidroviário 
I) EXCELENTE	[80 – 100]			
II) BOA	[60 – 80)			
III) RAZOÁVEL	[40 – 60)			
IV) RUIM	[20 – 40)			
V) PÉSSIMA	[0 – 20)			

## 9.6. TELAS PRINCIPAIS DO PROGRAMA DESENVOLVIDO

Programa LOGIT BINOMIAL com VARIÁVEIS DE ATRAÇÃO por MODO

Fatores de Atração F1 = 68.40 F2 = 31.60

Após indicar os Fatores de Atração, selecionar um arquivo de entrada e depois EXECUTAR

c: [MILTON]

Arquivos selecionados: C:\Dados\ENTRADA3.bt

ARQUIVO SELECIONADO: C:\Dados\ENTRADA3.bt

EXECUTAR Usar o Modelo para fazer Previsões

TERMINAR

Número de Iterações = 20 Teta = 5371833

VEJA OUTROS RESULTADOS NO ARQUIVO DE SAÍDA

Previsões com o Modelo Logit com Variáveis de Atração

F1 = 68.40 F2 = 31.60  $\theta = 0.537$

Valores dos Atributos para cada modo de transporte:

	Tempo de Recolhimento	Tempo de Viagem	Atraso Esperado	Valor do Frete
MODO 1:	05	05	0	22
MODO 2:	1	1	0	20

Calcular Probabilidade de Escolha em %

P1 = 64.61

P2 = 35.39

Limpar Tudo

Limpar Valores dos Atributos e Resultados