

JOSÉ GERALDO MADERNA LEITE

**DECISÕES DE INVESTIMENTOS ENVOLVENDO
DIFERENTES MODALIDADES DE TRANSPORTE.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico. Setor de Ciências Sociais Aplicadas. Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Ademir Clemente

CURITIBA
1995

JOSÉ GERALDO MADERNA LEITE

DECISÕES DE INVESTIMENTOS ENVOLVENDO DIFERENTES MODALIDADES DE TRANSPORTE.

Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre.
Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento
Econômico. Setor de Ciências Sociais Aplicadas.
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Ademir Clemente

CURITIBA
1995

JOSÉ GERALDO MADERNA LEITE

**DECISÕES DE INVESTIMENTOS ENVOLVENDO DIFERENTES
MODALIDADES DE TRANSPORTE.**

DISSERTAÇÃO APROVADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE NO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ,
PELA COMISSÃO FORMADA PELOS PROFESSORES:



Orientador Prof. Dr. Ademir Clemente.
Departamento de Economia - UFPR



Prof. Dr. Cássio Frederico Camargo Rolim.
Departamento de Economia - UFPR



Prof. Dr. Raul de Bonis Almeida Simões.
Consultor, Engenheiro de Transportes.

Curitiba, 7 de dezembro de 1995

A meus pais, Ismael e Saura, minha
esposa Silvia, e meus filhos.

AGRADECIMENTOS.

Este trabalho se deve a dedicação e orientações que recebi de meus professores e particularmente do Professor Ademir Clemente, meu professor na disciplina de Métodos Quantitativos e insubstituível orientador na elaboração deste trabalho.

Outro dedicado mestre, a quem também cabem agradecimentos muito especiais foi o Professor Cássio Frederico Camargo Rolim das disciplinas de Desenvolvimento e Políticas Regionais e Economia do Paraná e que também proporcionou-me orientações valiosas para a realização deste estudo.

O Professor Blás Enrique Caballero Nunez das disciplinas de Metodologia de Pesquisa em Economia e Econometria, também ensinou-me muito, incluindo o uso de programas de computador e orientações para este estudo.

Também agradeço os ensinamentos e orientações recebidas dos demais professores do Curso de Mestrado em Desenvolvimento Econômico e do Departamento de Economia da Universidade Federal do Paraná e em especial:

-Aos Professores Aldair Tarcísio Rizzi e José H. do Carmo da disciplina de Economia Mundial Contemporânea.

-Ao Professor Gelson Varella Gomes da disciplina de Metodologia de Pesquisa em Economia.

-Ao Professor Divonsir Lopes Beloto da na disciplina Economia Brasileira.

-Ao Professor Francisco Paulo Cipolla da disciplina de Desenvolvimento Econômico.

-Ao Professor Luiz Vamberto de Santana da disciplina de Política Pública e Planejamento.

-Ao Professora Katherine Hennings da disciplina de Macroeconomia.

-Ao Professor José Moraes da disciplina de Microeconomia.

Agradeço também aos Professores Luiz Antonio Lopes e Nilson Maciel de Paula, Coordenadores do Curso de Mestrado em Desenvolvimento Econômico, pelo constante apoio e valiosas orientações.

Aos professores Fábio Dória Scatolin, Luiz Carlos Pereira Tourinho e Jurimar Cavichiolo nossos agradecimentos pela revisão e valiosas sugestões.

Agradeço também a todos professores, meus colegas do Departamento de Transportes, do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná e em particular aos professores chefes do departamento, durante a realização do

curso: Euler Merlin, Hamilton Costa Junior e Lúcia Regina Assumpção Montanhini pelos constantes incentivos e apoio.

Cabe também, um agradecimento muito especial à secretária, Rosa Leandro, do Curso de Desenvolvimento Econômico por toda sua atenção e dedicação.

As bibliotecárias do Setor de Ciências Sociais Aplicadas e do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, do Departamento de Estradas de Rodagem, da Superintendência Regional 5 da Rede Ferroviária Federal S.A. e do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico Social com seu apoio e atenção para a obtenção das referências técnicas utilizadas na elaboração deste trabalho também merecem boa parte dos créditos.

Agradeço a todos os colegas do curso de mestrado em Desenvolvimento Econômico turmas de 92 e 93 e alunos da disciplina de Econometria do curso de Economia, turma da manhã de 93 pelo apoio e inclusive pela ajuda na coleta de dados para este trabalho .

Agradeço a todos os funcionários e técnicos da UFPR e das entidades visitadas que ajudaram na elaboração deste trabalho e na apresentação de dados e sugestões.

Agradeço também ao Ricardo Marcel Schiavinato da Silva nosso estagiário no Departamento de Transportes pelo apoio na elaboração de tabelas e figuras.

Não poderia deixar também de agradecer ao colega e amigo professor Raul de Bonis Almeida Simões por suas opiniões e contribuições para com o aperfeiçoamento deste trabalho.

Agradeço finalmente à minha mãe Saura Maderna Leite e minha esposa Sílvia Farinhaque Maderna Leite pela dedicação, acompanhamento, correção e mesmo digitação do trabalho.

O entusiasmo, e neste particular não me esqueço de meu colega Ricardo Sérgio de Oliveira e Silva de quem recebi inúmeros ensinamentos, a harmonia e a dedicação de todos são os únicos credores deste trabalho.

SUMÁRIO

	PÁG.
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUÇÃO.....	1
1 REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2 ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	11
2.1 INTRODUÇÃO.....	11
2.2 MOTIVAÇÃO.....	12
2.3 OBJETIVOS.....	13
2.4 METODOLOGIA.....	14
3 MÉTODOS GERAIS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS.....	20
3.1 INTRODUÇÃO.....	20
3.2 MÉTODOS APROXIMADOS.....	21
3.3 MÉTODO DO CUSTO ANUAL.....	22
3.4 MÉTODO DO VALOR ATUAL.....	24
3.5 MÉTODO DA TAXA INTERNA DE RETORNO.....	27
4 MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS PÚBLICOS EM INFRA-ESTRUTURA VIÁRIA.....	31
4.1 INTRODUÇÃO.....	31
4.2 PROCESSO DE PLANEJAMENTO.....	32
4.3 DEFINIÇÃO DE ALTERNATIVAS.....	34
4.4 EXEMPLO DO MÉTODO DE BENEFÍCIO - CUSTO (B-C).....	35
4.5 EXEMPLO DO MÉTODO DE BENEFÍCIO/CUSTO (B/C).....	36
4.6 EXEMPLO DO MÉTODO DA RELAÇÃO INCREMENTAL DE BENEFÍCIO/CUSTO ($\Delta B/\Delta C$).....	37
4.7 TÉCNICAS OU CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO.....	38
4.8 MÉTODO DO CUSTO-EFICÁCIA.....	38
4.9 INTERDEPENDÊNCIA ENTRE OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	42
4.10 ASPECTOS QUE INFLUENCIAM OS TIPOS DE AVALIAÇÃO....	44
5 APLICAÇÕES DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES.....	46
5.1 INTRODUÇÃO.....	46
5.2 EXEMPLO 1 - CONSTRUÇÃO DE VIAS DE TRANSPORTES.....	46
5.3 EXEMPLO 2 - TRANSPORTE DE MERCADORIAS - MINIMIZAR CUSTOS.....	49
5.4 EXEMPLO 3 - TRANSPORTE DE MERCADORIAS - MAXIMIZAR LUCROS.....	51
5.5 CRÍTICAS À UTILIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	52

6	APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA EM INVESTIMENTOS DE TRANSPORTES.....	55
6.1	INTRODUÇÃO.....	55
6.2	EXEMPLO DE MALHA DE TRANSPORTES.....	56
6.3	CONCLUSÕES.....	60
7	CONCEITOS ECONÔMICOS DE CUSTOS E BENEFÍCIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES.....	62
7.1	EXCEDENTE DO CONSUMIDOR.....	63
7.2	DISTINÇÃO ENTRE BENEFÍCIOS E PAGAMENTOS POR TRANSFERÊNCIA E DUPLA CONTAGEM DE BENEFÍCIOS.....	64
7.3	PREÇO-SOMBRA.....	65
7.4	ECONOMIAS E DESECONOMIAS EXTERNAS.....	66
7.5	CRITÉRIOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTE.....	67
7.6	PROBLEMAS DE INCERTEZA.....	68
7.7	PROBLEMAS DE RISCOS DE ACIDENTES.....	69
7.8	BENEFÍCIOS INTANGÍVEIS.....	69
7.9	CUSTOS MARGINAIS SOCIAIS.....	70
8	CONSIDERAÇÕES SOBRE A FUNÇÃO PRODUÇÃO.....	74
8.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	74
8.2	CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS SOBRE A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO.....	75
8.3	FUNÇÃO DE COBB E DOUGLAS.....	76
8.4	A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E OS TRANSPORTES.....	78
8.5	PRODUÇÃO COM DOIS FATORES VARIÁVEIS - ISOQUANTAS E FUNÇÃO DE ISOCUSTO.....	78
8.6	DETERMINAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PRODUÇÃO E DE CUSTOS.....	80
8.7	EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DE FUNÇÃO DE PRODUÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DE VIAS DE TRANSPORTE.....	82
9	O PRINCÍPIO DA SUBSTITUIÇÃO APLICADO À ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES.....	87
9.1	TEORIA DA LOCALIZAÇÃO DE WALTER ISARD.....	90
10	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	93
10.1	EXEMPLO DE CURVAS ISOQUANTAS COM BASE NO NÚMERO DE USUÁRIOS X Km X DIA.....	93
10.2	EXEMPLO DE CURVAS ISOQUANTAS COM BASE NO NÚMERO DE TONELADAS X Km X DIA.....	100
10.3	EXEMPLO DE CURVAS DE ISOQUANTAS COM BASE EM VALORES MONETÁRIOS DE BENEFÍCIOS MENOS CUSTOS...	104
10.4	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	112
10.5	EXEMPLO PRÁTICO DE APLICAÇÃO.....	113
10.6	ESTUDO DOS GANHOS.....	119

11	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	121
11.1	VANTAGENS.....	121
11.2	DESVANTAGENS.....	122
12	NOVOS CAMPOS DE ESTUDO PARA O APERFEIÇOAMENTO DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES.....	124
13	CONCLUSÕES.....	126
	ANEXOS.....	131
	DEDUÇÃO DE EQUAÇÕES.....	131
	SIGLAS DE ENTIDADES.....	132
	NOTAÇÃO UTILIZADA.....	133
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134

LISTA DE FIGURAS

4	MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS PÚBLICOS EM INFRA-ESTRUTURA VIÁRIA	Pág.
Fig. 4.1	O Processo de Planejamento.....	33
Fig. 4.2	Interdependência entre os Critérios pelo Método dos Triângulos.....	43
Fig. 4.3	Interdependência entre os Critérios pelo Método dos Triângulos.....	43
Fig. 4.4	Interdependência entre os Critérios pelo Método dos Triângulos.....	44
5	APLICAÇÕES DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES	
Fig. 5.1	Resolução Gráfica.....	48
Fig. 5.2	Solução Gráfica - Minimização de Custos de Transporte de Materiais para Construção de Vias.....	51
Fig. 5.3	Solução Gráfica - Exemplo de Maximização de Lucros no Transporte de Materiais para a Construção de Vias.....	52
6	APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA EM INVESTIMENTOS DE TRANSPORTES	
Fig. 6.1	Sequência de Decisões para Otimização das Malhas de Transporte.....	55
Fig. 6.2	Exemplo de Malha de Transporte.....	56
7	CONCEITOS ECONÔMICOS DE CUSTOS E BENEFÍCIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES	
Fig. 7.1	Excedente do Consumidor.....	63
Fig. 7.2	Determinação do Pedágio de uma Via.....	71
Fig. 7.3	Alargamento de Rodovias.....	72
8	CONSIDERAÇÕES SOBRE A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO	
Fig. 8.1	Esquema Geral de um Processo Produtivo.....	75
Fig. 8.2	Curva de Demanda de Fator Produtivo.....	76
Fig. 8.3	Função de Produção Cobb-Douglas.....	77
Fig. 8.4	Linhas Isoquantas representando Funções de Produção....	77
Fig. 8.5	Função de Produção Expressa por Isoquantas.....	79
Fig. 8.6	Trechos de Rodovias e Acesso Ferroviário a serem construídos.....	82
Fig. 8.7	Função de Produção para Variação de um Único Fator de Produção.....	84
Fig. 8.8	Produção Marginal e Produção Média ao variar um único Fator de Produção.....	84
Fig. 8.9	Retornos de Escala Expressos por Isoquantas.....	85
Fig. 8.10	Retornos de Escala na Função de Produção.....	86

9	O PRINCÍPIO DA SUBSTITUIÇÃO APLICADO À ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES	
Fig. 9.1	O Problema do Triângulo de Localização, Interpretado por uma Estrutura de Substituição- ISARD.....	92
Fig. 9.2	O Problema do Triângulo de Localização, Interpretado por uma Estrutura de Substituição- ISARD.....	92
Fig. 9.3	O Problema do Triângulo de Localização, Interpretado por uma Estrutura de Substituição- ISARD.....	92
10	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	
Fig. 10.1	Alocação de Recursos entre Vias Troncais e Secundárias.	95
Fig. 10.2	Alocação de Recursos entre Vias Troncais e Secundárias equação Multiplicativa.....	97
Fig. 10.3	Alocação de Recursos entre Vias Troncais e Secundárias equação da Parábola.....	99
Fig. 10.4	Alocação de Recursos entre Rodovias e Ferrovias.....	102

LISTA DE QUADROS

		Pág.
3	MÉTODOS GERAIS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS	
Quadro 3.1	Exemplo - Método do Valor Atual - Fluxo de Caixa com as diferentes atividades.....	24
Quadro 3.2	Exemplo - Método do Valor Atual - Fluxo de Caixa Alternativa 2.....	25
Quadro 3.3	1a. Alternativa: (Fluxo de Caixa Repetido após 3 anos).....	26
Quadro 3.4	Fluxo de Caixa da 2a. Alternativa.....	26
Quadro 3.5	Exemplos de Alternativas de Investimentos.....	28
4	MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS PÚBLICOS EM INFRA-ESTRUTURA VIÁRIA	
Quadro 4.1	Exemplos de projetos - Método Benefício - Custo.....	35
Quadro 4.2	Exemplos de projetos e Relações B/C.....	36
Quadro 4.3	Exemplos de projetos - Método ($\Delta B/\Delta C$).....	37
Quadro 4.4	Exemplos de projetos - Método ($\Delta B/\Delta C$).....	37
Quadro 4.5	Critérios para Avaliação de Alternativas.....	39
Quadro 4.6	Exemplo de Aplicação do Método de Avaliação Custo-Eficácia no Corredor Sul da Cidade de Calgary, Canada.....	41
Quadro 4.7	Síntese dos Modelos de Representação de Métodos de Avaliação.....	45
5	APLICAÇÕES DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES	
Quadro 5.1	Equipes e Tempo de Realização dos Serviços.....	46
Quadro 5.2	Custos e Benefícios dos Projetos.....	47
Quadro 5.3	Número de Carregamentos Necessários.....	52
6	APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA EM INVESTIMENTOS DE TRANSPORTES	
Quadro 6.1	Benefícios Líquidos.....	57
Quadro 6.2	Decisão Ótima para o 3o. Ano.....	58
Quadro 6.3	Decisão Ótima para o 2o. Ano.....	59
Quadro 6.4	Decisão Ótima para o 1o. Ano.....	59
Quadro 6.5	Trechos a serem Implantados conforme a decisão do 1o. Ano.....	60
8	CONSIDERAÇÕES SOBRE A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO	
Quadro 8.1	Exemplo da Função de Produção aplicada aos Transportes e Variação de somente 1 modalidade....	83
Quadro 8.2	Exemplo da Função de Produção aplicada aos Transportes e Variação de 2 modalidades.....	85

10	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	
Quadro 10.1	Relação Prioritária de Vias Troncais e Secundárias conforme a Meta (passxkmxdia) desejada.....	93
Quadro 10.2	Relação Prioritária de Rodovias Troncais e Ferrovias conforme a Meta (t x km x dia) desejada....	100
Quadro 10.3	Relação Prioritária de Novas Rodovias, Rodovias a Recuperar e Rodovias para Manutenção Preventiva com Custos e Benefícios.....	104
Quadro 10.4	Conjuntos e Alternativas Construtivas.....	105
Quadro 10.5	Elasticidades x Variação das quilometragens por tipo de obra.....	108
Quadro 10.6	Custos Médios Unitários x Resultados em Quilometragens por tipo de Obra.....	110
Quadro 10.7	Intervenções previstas no Programa de Concessão de Rodovias.....	113
Quadro 10.8	Investimentos previstos no Programa de Concessão de Rodovias.....	113
Quadro 10.9	Projetos Piloto do Programa de Estradas Rurais - Os Caminhos da Educação.....	114
Quadro10.10	Projetos Escolhidos para o Exemplo Prático.....	115
Quadro10.11	Projetos e Alternativas Construtivas do Exemplo Prático.....	116

RESUMO

Neste trabalho analisam-se metodologias utilizadas nos estudos de viabilidade dos investimentos em transportes e propõe-se a utilização de uma metodologia, baseada na Teoria Econômica, para a análise em conjunto de investimentos em diversos setores de uma mesma modalidade de transportes ou em diferentes modalidades de transportes. A metodologia estudada visa evitar que os investimentos prioritários para determinados setores ou modalidades de transportes não sejam considerados, ou seja, que as alternativas de investimentos não sejam consideradas de forma global. A metodologia estudada considera em conjunto, desde investimentos na manutenção de vias existentes até a construção de novas vias em diferentes modalidades de transportes. No início do trabalho, são apresentados os métodos usuais de análise de investimentos com as peculiaridades da área dos transportes, constituídas pelas análises do excedente dos volumes de tráfego, separação de benefícios e transferências, preços-sombra, economias e deseconomias externas, critérios de análise dos investimentos, problemas de incerteza e de riscos comuns nos investimentos de transportes, benefícios intangíveis e as considerações a serem dadas aos custos marginais sociais no caso dos investimentos em transportes. Conceitos econômicos relativos à função de produção, elementos do processo produtivo, linhas isoquantas, linha de orçamento ou de isocusto e leis da redução e da igualdade das receitas marginais são revistos e é mostrada, através de exemplos, sua analogia com a área dos transportes. São apresentados exemplos de análise de alternativas de investimentos em diferentes tipos de vias e modalidades de transporte ao mesmo tempo, mostrando-se as soluções gráfica e analítica. As equações similares as funções de produção são obtidas com o uso dos programas de estatística disponíveis para computador, no caso são utilizados os programas MicroTSP e TOOLS. As equações que se mostraram mais adequadas para a obtenção de funções análogas às funções de produção foram as da forma multiplicativa ou de Cobb e Douglas. O trabalho é composto pelas seguintes partes principais: revisão da literatura, síntese da metodologia proposta baseada nas curvas isoquantas, métodos gerais de análise de investimentos, métodos de análise de investimentos públicos em infra-estrutura viária, exemplos de investimentos em transportes, analisados pelos métodos de programação linear e programação dinâmica, conceitos econômicos de custos e benefícios utilizados na análise de investimentos em transportes, considerações sobre conceitos da teoria econômica, apresentação teórica do método estudado, exemplos de aplicação para vias troncais e secundárias, rodovias principais e ferrovias e rodovias pavimentadas novas, rodovias pavimentadas a serem recuperadas e rodovias a receberem manutenção preventiva, vantagens e desvantagens da metodologia proposta e novos campos de estudo para o aperfeiçoamento das metodologias de análise de investimentos em transportes. Conclui-se que a metodologia é simples de ser aplicada sobretudo com a disponibilidade dos dados dos diferentes setores e o uso de computadores com programas estatísticos já desenvolvidos. Recomenda-se que a metodologia desenvolvida constitua-se em ferramental de apoio às autoridades para a otimização dos investimentos no setor dos transportes.

ABSTRACT

This work is concerned with methodologies used for transportation investment analysis, a methodology based on Economic Theory is proposed in order to consider at the same time a set of projects on different sectors of the same transportation mode or of different modes. This proposal is to evitate that priority investments for determined sectors or transportation modes are not considered, or to evitate that the investments alternatives are not considered in a global way. The studied methodology take in account a set of investments going from existing roads maintenance to the construction of new roads for different transportation modes. In the beginning of the report, usual investment analysis methods are presented with the peculiarities of the transportation area like analysis of excess traffic volumes, separation of benefits from transferences, shadow-price, external economies and deseconomies, special criteria for investment analysis in transportation, uncertainty and risk problems, intangible benefits and considerations about social marginal costs for transportation investments. Economic concepts related to the production function, parts of the productive process, isoquants lines, budget or isocost line and laws of marginal income reduction and equality are reviewed and they are showed, with examples showing analogous applications for transportation. Investments alternatives analysis are presented including different roads and transportation modes at the same time, with graphic and analytical solutions. The equations analogous to productions functions are derived with the use of computer statistics programs; MicroTSP and TOOLS programs are used. The more adequate equations similar to production functions were the parabola and the multiplicative form or Cobb-Douglas's equations. The work is composed of the following principal parts: literature review, synthesis of the proposed methodology based on isoquants curves, general methods for investments analysis, methods for public roads infrastructure investments analysis, examples of transportation investments alternatives solved by linear and dynamic programming, economic concepts of costs and benefits utilized for transportation investments analysis, economic theory concepts, theory presentation of the method studied, examples for troncal and secondary roads, principal highways and railways and paved new highways, rehabilitation of paved highways and assuming preventive maintenance, advantages and disadvantages of the proposed methodologies and new studies fields to improve transportation investments analysis methodologies. As conclusion the methodology is simple to be utilized especially with data of different sectors and the use of statistical computer programs. It is recommended that the studied methodology becomes a tool to support authority decisions to optimize transportation investments.

INTRODUÇÃO

Neste ítem são apresentadas algumas considerações sobre o tema, estudado mostrando os objetivos do trabalho, o problema analisado e a justificativa do estudo realizado.

Quanto ao **tema** desenvolvido, trata-se de uma metodologia para a avaliação de investimentos em transportes, considerando ao mesmo tempo diferentes setores de uma mesma modalidade ou mesmo diferentes modalidades.

A metodologia desenvolvida é dirigida aos investimentos do setor público, levando em conta os custos e benefícios para a coletividade como um todo; não sendo analisados aspectos relativos à decisão individual dos usuários ou consumidores.

Cada modalidade de transporte possui características próprias sendo mais ou menos adequado para uma dada situação de transporte. Cada uma delas tem campos de atuação, onde apresentam vantagens líquidas para a coletividade como um todo.

A rede de transporte de certa região deveria ser formada pelas diversas modalidades, promovendo-se as condições de integração para melhor aproveitamento das vantagens oferecidas.

O **problema** analisado relaciona-se com a necessidade de serem avaliados economicamente os investimentos do setor público, em diversos setores de uma mesma modalidade e em várias modalidades de transporte ao *mesmo tempo*; refere-se, portanto, à necessidade de suprir a falta de uma metodologia abrangente, porém simples e acessível, que permita tratar os investimentos do setor público, nos diversos setores e modalidades de transporte, de forma conjunta.

Mesmo, dentro de uma só modalidade, necessita-se de uma metodologia que considere em conjunto com os projetos de novas obras, as obras de conservação e de recuperação de vias existentes e que leve em conta também, ao mesmo tempo, vários tipos de vias.

A metodologia desenvolvida poderá contribuir para reduzir algumas **distorções** que ocorrem, nas aplicações dos recursos públicos na área dos transportes regionais e urbanos, tais como:-

- 1)- As decisões envolvendo várias modalidades de transporte apresentam poucas similaridades com a teoria econômica.
- 2)- Investimentos em transportes são analisados de forma isolada (em termos dos meios de transporte) na área técnica de cada setor, através de metodologias usuais sem considerar as demais modalidades de transporte ou as facilidades de integração.

- 3)- Há descontinuidade na aplicação dos recursos, com a troca imediata de prioridades, à medida que novas autoridades assumem o poder decisório.
- 4)- Há reduzido uso do transporte intermodal, que apresenta vantagens; por exemplo, para as cargas à granel transportadas em longos percursos.
- 5)- Há falta de manutenção apropriada das facilidades existentes, com grandes prejuízos para toda a coletividade.
- 6)- Há falta de otimização dos meios de transporte na análise de novos investimentos.
- 7)- Investimentos em novas construções são realizados sem a consideração das malhas futuras previstas para cada um dos meios de transporte.

O uso de metodologias mais abrangentes, como a deste estudo possibilitará redução nos custos de transporte; deve-se mencionar que estes custos quando desnecessariamente elevados, comprimem o nível de bem-estar da população como um todo, e freiam todo o desenvolvimento econômico e social do país.

Para demonstrar, ainda nesta introdução, a importância do assunto, descreve-se, a seguir, um exemplo dos custos adicionais para a coletividade devido a falta de investimentos adequados na conservação preventiva de rodovias:-

Sabe-se que os custos de operação do transporte rodoviário elevam-se em mais de 3 vezes se a via pavimentada não tiver uma conservação adequada e vir a deteriorar-se - Seminário Pro-Vial do I.P.C. em São Paulo 93¹.

Da mesma forma R\$ 1,00 que não se gaste em conservação preventiva representa pelo menos R\$ 3,00 reais a serem gastos na conservação corretiva futura que será necessária - Pro-Vial².

Multiplicando-se as diferenças entre estes custos pela quilometragem das rodovias pavimentadas e os volumes de tráfego, chega-se a valores elevadíssimos.

Por exemplo:-

De acordo o DNER³, podemos dizer que o custo de operação médio em rodovia pavimentada em boas condições para um veículo representativo da frota, (um caminhão médio para até 15 t de carga) seja de R\$ 0,50, subindo este valor para R\$ 1,50 na via pavimentada deteriorada, ou seja, pode-se poupar R\$ 1,00 por km, por veículo, se a conservação da via for adequada.

¹IPC - Instituto Panamericano de Carreteras. Anais do **Seminário pró-vial**. São Paulo, 1993.

²IPC - idem anterior.

³DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de custo de operação**. Rio de Janeiro, 1976.

O custo de conservação de uma rodovia pavimentada é bastante variável, porém pode-se assumi-lo como 2% - KAMPSAX⁴ ao ano, em relação ao investimento inicial. Considerando-se um investimento de R\$ 100.000,00 por quilômetro para via pavimentada, em média temos R\$ 2.000,00 ao ano, para a conservação preventiva; este custo subiria para pelo menos R\$ 6.000,00 ao ano, se a conservação fosse corretiva.

Considerando um terço da malha pavimentada do Estado do Paraná mal conservada, tem-se em valores atuais:-

1) Perdas em custos de operação:-

$1 \text{ real} \times 4.000 \text{ km} \times 100 \text{ veículos.dia} \times 300 \text{ dias} = 120 \text{ milhões de reais anuais}$ (equivalente à construção de cerca de 1.200 km de novas rodovias pavimentadas por ano).

2) Perdas em custo de conservação:-

$4.000 \text{ reais} \times 4.000 \text{ km} = 16 \text{ milhões de reais anuais}$ (equivalentes a cerca de 160 km de novas rodovias pavimentadas por ano).

Os países mais desenvolvidos, tendo em vista estes valores, evitam estas perdas, efetuando de forma adequada a conservação de suas rodovias. No Seminário Pro-Vial do Instituto Panamericano de Carreteras - IPC de 1993, em São Paulo, o representante mexicano do IPC mencionou que o custo das perdas, caso a conservação das rodovias não seja efetuada de forma adequada, correspondia, em dois anos, ao valor da dívida externa de seu país.

Cálculos como esse contribuíram para que, no México e na Argentina, fossem privatizadas diversas rodovias. No caso brasileiro, também existem estudos neste sentido, inclusive no Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER/PR.

Em nosso exemplo, também poderiam ser incluídos os custos adicionais, devido ao aumento do número de acidentes que ocorrem devido à má conservação das rodovias. Mesmo no Brasil, já existem ocorrências (por exemplo, no DER/PR) em que a coletividade tem que fazer indenizações vultuosas, se a causa principal do acidente tenha sido o mau estado da rodovia.

⁴ KAMPSAX, Consulting Engineers & Economists. **Estudos de transportes do Brasil - fase II - estudos rodoviários**. Rio de Janeiro. Grupo de Estudos Para Integração da Política de Transportes - GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes). 1969, 414 p. vol. XII - B. Coordenação dos Estudos, Princípios, Metodologias e Procedimentos. II.

No desenvolvimento dos trabalhos as seguintes atividades foram realizadas:-

- a) Análise das metodologias de avaliação de investimentos em infraestrutura de transportes.
- b) Análise da teoria econômica, em particular da teoria de produção, função de produção e curvas isoquantas.
- c) Proposição de uma metodologia para a análise conjunta de investimentos em diferentes modalidades de transporte.
- d) Apresentação de exemplos teóricos, mostrando a aplicação da metodologia em diversos investimentos em transportes.
 - d-1) Verificação da existência, coleta e organização de dados socio-econômicos de diferentes órgãos públicos, que puderam ser correlacionados com as previsões de volumes de transporte, para uma análise conjunta de segmentos distintos.
 - d-2) Constatação de dificuldades quanto à compatibilização e natureza dos dados e disponibilidades.
 - d-3) Uso de computadores na análise de dados, e em especial dos programas MicroTSP e TOOLS.
 - d-4) Especificação de Modelos (variáveis, sinais e magnitudes dos parâmetros, forma matemática dos modelos).
 - d-5) Estimativas de Modelos (reunião dos dados; análises de multicolinearidade, heterocedasticidade, erros nas variáveis - dados discrepantes, max. verosimilhança e autocorrelação; escolha de técnicas econométricas apropriadas)
 - d-6) Avaliação de Estimativas (critério econômico, critério estatístico-coeficientes de determinação e testes de significância, critério econométrico).
- e) Elaboração de exemplo prático, envolvendo rodovias no Estado do Paraná.
- f) Apresentação das vantagens e desvantagens da metodologia proposta.
- g) Proposição de novos campos de estudo para o aperfeiçoamento das metodologias de análise de investimentos em transportes.

1 - REVISÃO DA LITERATURA.

Neste item, apresenta-se um resumo do estado atual do conhecimento sobre as técnicas de investimentos em modalidades de transportes, indicando-se o marco de referência teórico para o desenvolvimento do tema proposto.

A análise de investimentos em transportes é efetuada através da aplicação de metodologias próprias, que se baseiam nos métodos clássicos apresentados nos livros de Engenharia Econômica e de Análise de Investimentos que, por sua vez, aplicam conhecimentos de Matemática Financeira.

Entre os livros mais conhecidos na área de Engenharia Econômica, têm-se: EUGENE e IRESON GRANT⁵, TAYLOR⁶ e TARKIN⁷ nos Estados Unidos e PEUMANS⁸ e MASSÉ⁹ na França. No Brasil, entre inúmeros autores citam-se os seguintes:-

- Clovis de FARO¹⁰ - Matemática Financeira e Engenharia Econômica.
- Cesar das NEVES¹¹ - Análise de Investimentos e Engenharia Econômica.
- Nelson CASAROTTO Filho e Bruno Hartmut KOPITKE¹² - Análise de Investimentos.
- Henrique HIRSCHFELD¹³ - Engenharia Econômica e Análise de Custos.
- HESS, MARQUES, PAES e PUCCINI¹⁴ - Engenharia Econômica.

Além destes livros tem-se o recente lançamento da Editora Atlas: Decisões Financeiras e Análise de Investimentos, Fundamentos, Técnicas e Aplicações dos professores Ademir CLEMENTE, orientador deste trabalho e Alceu SOUZA¹⁵, ambos da Universidade Federal do Paraná.

⁵ GRANT, Eugene L. e IRESON, W. Grant. **Principles of engineering economy**. New York, EUA, 1964.

⁶ TAYLOR, George A. **Ingeniería económica**. Cidade do México. Editorial Limusa, 2a. edição, 1985, 640 p.il.

⁷ BLANK, Leland e TARQUIN, Anthony. **Ingeniería económica**. Editorial Calypso, S.A., México, 1986.

⁸ PEUMANS, Herman. **Théorie et pratique des calculs d'investissement**. Editora Dunod, Paris, 1971.

⁹ MASSÉ, Pierre. **Le choix des investissements**. Editora Dunod, Paris, 1968.

¹⁰ FARO, Clovis de. **Elementos de engenharia econômica**. Editora Atlas. São Paulo, 1979.

¹¹ NEVES, César das. **Análise de investimentos - projetos industriais e engenharia econômica**. Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 1982.

¹² CASAROTTO, Nelson Filho e KOPITKE, Bruno Harmut. **Análise de investimentos**. 5a. Edição. São Paulo. Editora Revista dos Tribunais Ltda. 1992, 350 p.il.

¹³ HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia econômica e análise de custos**. 5a. ed. São Paulo. Editora Atlas, 1992, 465 p.il.

¹⁴ HESS, Geraldo; MARQUES, José Luiz; PAES, L.C. Rocha e PUCCINI, Abelardo. **Engenharia econômica**. Editôra Forum, Rio de Janeiro. 2a. Edição, 1971.

¹⁵ CLEMENTE, Ademir e SOUZA, Alceu. **Decisões financeiras e análise de investimentos, fundamentos, técnicas e aplicações**. São Paulo. Editora Atlas S.A., 1995, 142 p.il.

Estes livros apresentam vários métodos clássicos de análise de investimentos, tais como: Método do Custo Anual ou Valor Anual Uniforme Equivalente; Método do Valor Presente Líquido; Método da Taxa Interna de Retorno, além de muitos métodos expeditos como o do Tempo de Retorno do Capital Investido. No livro de HESS, MARQUES, PAES E PUCCINI¹⁶ aparecem os métodos de Benefício - Custo e Benefício/Custo, este último inclusive na forma incremental, que aplica as mesmas técnicas do Método do Valor Presente (formas de transladar os valores monetários no tempo) e que são muito utilizadas nas análises de investimentos em transporte. Estas técnicas, por sua vez, baseiam-se no princípio de equivalência de capitais.

Estes métodos foram aperfeiçoados pelos técnicos das entidades responsáveis pelos investimentos públicos em transportes, muitas vezes assessorados por técnicos de entidades financeiras, principalmente quanto a melhor definição e cálculos dos tipos de custos e benefícios. Houve, inclusive, uma generalização do emprego do método do Benefício/Custo, muito usado para priorização de investimentos em transportes, porém, sem considerar, muitas vezes, a análise incremental, o que pode levar a escolha de obras com menores retornos socio-econômicos.

No Brasil, a partir de 1965, com a criação do GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes (Antigo Grupo Executivo da Política dos Transportes), foram contratadas empresas internacionais de consultoria em transportes, como a Kampsax¹⁷ que desenvolveram planos diretores e orientações metodológicas, para subsidiarem os estudos técnicos na determinação dos custos e benefícios dos investimentos em vias de transportes.

Em 1971, foi realizado um Simpósio do IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, no Rio de Janeiro, onde o Eng. Fernando L. C. Mac Dowell da Costa¹⁸, apresentou metodologias para o cálculo dos custos de operação dos veículos rodoviários. A diferença entre os custos de operação dos veículos na via existente e na nova via prevista ou melhorada, constitui até hoje, o benefício mais importante utilizado nas metodologias de avaliação dos investimentos em transportes.

Ainda em 1971, o Eng. Fernando MacDowel, com base em suas experiências no GEIPOT, viria a publicar através da empresa de consultoria TRANSPLAN¹⁹ orientações para o cálculo dos custos de operação para nas ferrovias.

¹⁶ HESS, Geraldo; MARQUES, José Luiz; PAES, L.C. Rocha e PUCCINI, Abelardo. **Engenharia econômica**. Editora Forum, Rio de Janeiro. 2a. Edição, 1971.

¹⁷ KAMPSAX, Consulting Engineers & Economists. **Estudos de transportes do Brasil - Fase II - Estudos Rodoviários**. Publicação citada anteriormente.

¹⁸ GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Custos operacionais rodoviários para estudos econômicos e de viabilidade**. Rio de Janeiro, 1971.

O DNER já publicava diversos manuais sobre as técnicas construtivas de estradas, como o Manual de Pavimentação e manuais sobre os cálculos dos custos de construção rodoviária²⁰; com base nos trabalhos apresentados nos simpósios do IPR, publicou a partir de 1976 seu Manual de Custo de Operação²¹ e um novo manual para cálculo dos custos de construção²².

O Banco Mundial (BIRD - Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), desenvolveram muitas contribuições nesta área. Hans Adler²³, técnico do Banco Mundial, apresenta, por exemplo, vários casos de análise de viabilidade socio-econômica de investimentos em transportes.

O Banco Mundial também financiou a PICR - Pesquisa Sobre o Inter-Relacionamento dos Custos de Construção e Utilização de Rodovias²⁴, desenvolvida pelo GEIPOT e o DNER, com a participação de vários Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem, nos últimos anos da década de 70. Esta pesquisa veio a constituir-se em um marco mundial para esta área.

Com base na PICR, o Banco Mundial desenvolveu o HDM III - Highway Design and Maintenance Standards Model²⁵ que vem sendo usado mundialmente nos estudos de avaliação para os investimentos rodoviários após 1987. Esta metodologia tem dado origem a vários estudos e trabalhos de simplificação da mesma.

O Banco Mundial vem também patrocinando o IPC - Instituto Panamericano de Carreteras que reúne anualmente os técnicos do setor de transportes em seminários para a divulgação de novas metodologias²⁶.

Os cálculos dos custos de operação dos veículos, considerando a metodologia do HDM III, podem ser facilitados através do uso de tabelas desenvolvidas pelo GEIPOT²⁷ como também, podem ser utilizados gráficos, desenvolvidos recentemente pelo prof. Amir Mattar Valente²⁸ da Universidade Federal de Santa Catarina.

¹⁹ MAC DOWELL, Fernando L.C. da Costa. **Ferrovias: estudos econômicos e de viabilidade - custos de operação de locomotivas e de trens rebocados**. TRANSPLAN - Planejamento de Transportes. Rio de Janeiro, 1971.

²⁰ DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de composição de custos rodoviários**. Rio de Janeiro, 1972.

²¹ DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de custo de operação**. Rio de Janeiro, 1976.

²² DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de custo de construção**. Rio de Janeiro, 1976.

²³ ADLER, Hans A., **Economic appraisal of transport projects - a manual with case studies**. Edição Revisada e Expandida. Baltimore, E.U.A. Economic Development Institute - EDI e The John Hopkins University Press. 1987, 235 p. Series in Economic Development II.

A partir de 1976, com a criação da EBTU - Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos, extinta em 1989, foram implantados diversos projetos de transportes, nas áreas, sobretudo metropolitanas, tais como os sistemas de eixos estruturais, com facilidades exclusivas para os transportes públicos de Curitiba, Porto Alegre, Salvador, Belo Horizonte, Recife, Fortaleza, etc. e os trens de subúrbio de Porto Alegre (Trensurb), Recife (Metrorec) e Belo Horizonte (Metrobel). Também foram financiadas as obras dos metrô do Rio de Janeiro e de São Paulo. Na avaliação destes projetos começaram a ser considerados outros benefícios, como a redução dos tempos de percurso e do número de acidentes de trânsito.

As metodologias, incluindo outros tipos de benefícios além da redução dos custos de operação, como a redução dos tempos de viagem e do número de acidentes, que foram desenvolvidas inicialmente para o setor de transportes urbanos²⁹, também são consideradas para os projetos rurais.

Uma grande contribuição para o desenvolvimento de novos métodos de avaliação dos investimentos em transportes, foi trazida pela AASHTO - American Association Of State Highways And Transportation Officials³⁰, entidade dos Estados Unidos, que apresenta grande número de publicações na área dos transportes, onde são apresentadas formas de cálculo para os principais benefícios dos investimentos em rodovias.

Nos investimentos públicos da área dos transportes, hoje, além dos métodos mencionados, utiliza-se também o de Custo-Eficácia que, ao contrário dos anteriores, não é um método de decisão. Neste, são utilizados os métodos anteriores para cálculos econômicos e listados também uma série de outros benefícios que, muitas vezes, não são passíveis de serem quantificados economicamente, tais como, a ruptura de relações da comunidade, deslocamentos de residências, redução da poluição, etc.³¹

²⁴ GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Pesquisa sobre o inter-relacionamento dos custos de construção, conservação e utilização de rodovias**. Brasília, 1981. Volume 1 - Síntese. Volume 2 - Métodos e Organização. Volume 3 - Instrumental de Medição. Volume 4 - Indicador Estatístico. Volume 5 - Estudo sobre Custos dos Usuários. Volume 6 - Estudo de Tráfego. Volume 7 - Estudo sobre Deterioração de Pavimentos. Volume 8 - Modelo de Inter-relacionamento dos Custos Rodoviários - MICR. Volume 9 - Modelo de Tempo e Combustível - MTC. Volume 10 - Modelo de Simulação de Tráfego - MST. Volume 11 - Equações Fundamentais. Volume 12 - Indicador Documental.

²⁵ BIRD - Banco Mundial, **The highway design and maintenance standards model**. Editora:- The Johns Hopkins University Press, Baltimore, EUA, 1987 Volume 1 - Description of the HDM-III Model Vehicle Operating Costs Evidence from Developing Countries- Vehicle Speeds and Operating Costs Models for Road Planning and Management- Road Deterioration and Maintenance Effects Models for Planning and Management. Volume 2 - User's Manual for the HDM -III Model.

²⁶ IPC - Instituto Panamericano de Carreteras. **Anais do seminário pró-vial**. São Paulo, 1993.

²⁷ GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Metodologia de cálculo de custos operacionais de veículos rodoviários; cálculos simplificados com o uso de tabelas**. Brasília, 1989. 105p. il.

As publicações específicas da área de transporte citadas não apresentam metodologias de análise dos investimentos, similares as Curvas Isoquantas da Teoria de Produção. Encontra-se no livro do Prof. Edwin Mansfield, de Microeconomia³², um pequeno exemplo do alcance que podem ter curvas análogas as Curvas Isoquantas, inclusive para a análise, em conjunto, de investimentos em diferentes modos de transporte.

Também nas aulas de Economia Regional, do Prof. Cássio Frederico Camargo Rolim, tomou-se conhecimento da publicação de Walter Isard³³ e viu-se a possibilidade do uso de equações análogas às da Teoria Econômica, considerando o transporte como um insumo (ou mesmo uma das formas de apresentação do fator de produção, capital) como na Teoria da Produção.

Com as aulas de Métodos Quantitativos Aplicados em Economia, do Prof. Ademir Clemente³⁴ e as aulas de Econometria, assistidas na graduação, com o Prof. Blás Enrique Caballero Nunez³⁵ viu-se que é possível, desde que se escolha a unidade adequada, obter curvas semelhantes as curvas isoquantas e de isocusto para os investimentos em transportes, conforme apresenta-se no item referente à metodologia.

Para a definição das curvas e equações matemáticas pode-se utilizar os ensinamentos dos livros de CHANG³⁶ ou de KLEIN³⁷, por exemplo, relativos à matemática e econometria.

Para a análise da otimização dos investimentos em vias de transportes no Estado do Paraná levando-se em conta a integração modal, podem ser utilizados os estudos de avaliação do Plano de Intervenções para o Desenvolvimento Integrado da Infra-estrutura Portuária, de Armazenagem e Transporte no Estado do Paraná³⁸. Neste plano, realizado em 1992, que contou com a assessoria técnica da Universidade de Trieste da Itália, foram estudados vários investimentos em ferrovias, rodovias e mesmo em centrais de mercadorias. Outra fonte importante para investimentos no Estado do Paraná em transportes intermodais, são os estudos de integração desenvolvidos pelo Prof. Edison Wayne³⁹.

²⁸ VALENTE, Amir Mattar. **Um método prático para a escolha do traçado mais econômico de uma rodovia**. Estado de Santa Catarina. Secretaria de Estado dos Transportes e Obras. Departamento de Estradas de Rodagem. Diretoria de Estudos e Projetos. 1993

²⁹ EBTU - Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos. **Manual operacional** - Vol. I - Avaliação de Projetos de Transportes Urbanos. Brasília, 1987.

³⁰ AASTHO - American Association of State Highways and Transportation Officials, **A manual on user benefit analysis of highway and bus-transit improvements**. Washington, E.U.A. 1977, 189 p.il.

³¹ ODIER, Lionel. **Os benefícios econômicos das realizações rodoviárias**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR/DNER - Publicação 512, Rio de Janeiro, 1970.

³² MANSFIELD, Edwin. **Microeconomia - teoria e aplicações**. Rio de Janeiro. Editora Campus Ltda. 1978, 481p. il.

Para a aplicação da metodologia desenvolvida no Estado do Paraná, necessita-se das projeções de dados de tráfego dos veículos e de dados socio-econômicos, para o que podem ser obtidas informações junto ao Departamento Estadual de Estradas de Rodagem - DER⁴⁰, junto ao Departamento de Trânsito - DETRAN, junto ao banco de dados do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES⁴¹ e também junto à Companhia Paranaense de Energia - COPEL⁴².

Neste trabalho, para a elaboração de exemplo de aplicação foram obtidos dados de custos de construção de rodovias e de volumes de tráfego junto à Secretaria de Estado dos Transportes do Paraná. Foram utilizadas informações constantes do Programa de Concessão de Rodovias⁴³ e do Programa de Estradas Rurais - Os Caminhos da Educação⁴⁴ ambos do Governo do Estado do Paraná.

³³ ISARD, Walter. **Locacion and space economy**, The MIT Press, Cambridge, Mass. 1956. Massachusetts Institute of Technology. Citado em SMITH, D. M., **INDUSTRIAL LOCATION: An Economic Geographical Analysis**. John Wiley & Sons. N.Y. 1971 (cap. 8 - pg. 148 - 156).

³⁴ CLEMENTE, Ademir. **Notas de aula da disciplina de metodos quantitativos em economia**. - 1992.

³⁵ CABALLERO, Blás Enrique Caballero Nunez. **Notas de aula da disciplina de econometria** - 1993

³⁶ CHANG, Yih-Long and SULLIVAN, Robert S. **Quantitative systems for bussiness - QSB** - version 1.5.-: Prentice Hall, Inc., 1986.

³⁷ KLEIN, Lawrence Robert - **Introdução à econometria**. Tradução de Carlos Roberto Viera de Araújo, São Paulo, Atlas, 1978, 304 p. il. Biblioteca de Economia 330.182 K64

³⁸ ENTE AUTONOMO DEL PORTO DI TRIESTE. **Plano de intervenções para o desenvolvimento integrado da infraestrutura portuária, de armazenagem e transporte no Estado do Paraná** - Brasil. Curitiba. Governo do Estado do Paraná - Brasil e Ministero Degli Affari Esteri - Itália. Seção III - Tomo IV Projeto do Centro de Mercadorias na Área de Curitiba e Projeto dos Terminais de Calcário. 1992, 283 p. il.

³⁹ WAYNE, Edison. **Plano intermodal de transportes para o Estado do Paraná**. Revista do Instituto de Engenharia do Paraná.

⁴⁰ DER - PR, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, Divisão de Estudos e Projetos, Seção de Estudos Especiais - **Anuários estatísticos de tráfego**. 1980 até 1994.

⁴¹ IPARDES, Fundação Edison Vieira. **Banco de dados do Estado BDE**, Curitiba, 1990.

⁴² COPEL- Companhia Paranaense de Energia Elétrica e IPARDES - Fundação Edison Vieira . **Articulação socio-econômica e energética no Paraná**. -1986

⁴³ SECRETARIA DO ESTADO DOS TRANSPORTES DO PARANÁ. **Programa de concessão de rodovias**. Versão Preliminar 04/95.

⁴⁴ SECRETARIA DO ESTADO DOS TRANSPORTES DO PARANÁ. **Programa de estradas rurais - Os caminhos da educação**. 06/95.

2 - ASPECTOS METODOLÓGICOS.

Neste item, apresenta-se os procedimentos utilizados para a definição de uma metodologia de análise de investimentos, envolvendo diferentes modalidades de transporte ou diferentes setores de uma mesma modalidade de transporte.

2.1 - INTRODUÇÃO.

Os métodos de análise de investimentos econômicos, tais como, os métodos do Valor Atual, Custo Anual, Taxa Interna de Retorno, Relação Benefício/Custo, Benefício - Custo, Técnicas de Classificação, Custo - Eficácia e outros, consideram a análise de diferentes alternativas, em geral, para um mesmo modo de transporte; por exemplo, para a definição de prioridades entre diferentes rodovias.

Contudo, as autoridades de maior nível necessitam dispôr de apoio técnico para tomarem decisões entre alternativas relativas a projetos em áreas distintas; por exemplo, para escolher entre rodovias e ferrovias, ou, mesmo no caso de áreas urbanas, como distribuir os recursos entre vias em bairros e vias centrais ou grandes corredores com prioridades para os transportes públicos, ou para decidir entre implantar semáforos ou pavimentar novas vias.

Nem mesmo as necessidades de conservação, de modo apropriado, das vias existentes de uma mesma modalidade de transporte, são consideradas por ocasião da aplicação de novos investimentos; priorizando-se, em muitos casos somente novas vias.

Sabe-se que, nestes casos, os projetos podem ou não ser mutuamente exclusivos, dentro de uma mesma modalidade; não sendo exclusivos, poderão ser escolhidos os mais prioritários de cada modalidade. Teoricamente, pode-se pensar que, à medida que sejam construídas muitas facilidades de um determinado tipo; por exemplo, muitas rodovias troncais, esta parte específica desta modalidade comece a apresentar rendimentos decrescentes (sendo válida a lei das utilidades marginais decrescentes) e outras partes ou setores desta mesma modalidade de transporte ou de outros comecem a merecer maior prioridade. Isto, certamente, ocorre na prática, porém seria importante analisar este fato de forma semelhante à teoria econômica, de forma a evitar grandes distorções que possam estar ocorrendo, quando a escolha é feita de forma intuitiva.

Muitas vezes, um dos segmentos de uma modalidade é muito priorizado, sendo abandonados quase totalmente os demais; por exemplo, as rodovias de ligação não pavimentadas, não são conservadas, sendo aplicados todos os recursos nas novas; ou, em uma maior escala, a própria modalidade pode ser desprezada; por exemplo as ferrovias recebem menos recursos, durante um determinado período. Estes fatos poderiam ser evitados com a disponibilidade de uma metodologia que permita uma melhor análise das viabilidades econômicas,

efetuadas em conjunto, o que, inclusive, poderá levar a um maior entrosamento entre equipes de diferentes órgãos, visando a melhor aplicação dos recursos.

Em alguns casos, mesmo a conservação preventiva é deixada de lado, pois, nas metodologias, as obras neste setor não são avaliadas em conjunto com a construção de novas vias. Sabe-se que os custos totais aumentam muitas vezes quando a manutenção é só corretiva. No caso das rodovias, através de técnicas especiais, pode-se medir as deflexões dos pavimentos asfálticos e adotar medidas pouco onerosas de correção, somente na capa de rolamento (por exemplo, aumentar a flexibilidade através de uma pintura com asfalto - lama asfáltica), antes que o pavimento comece a rachar (formando o chamado couro de crocodilo); quando a correção pode exigir uma estrutura totalmente nova de todo o pavimento.

Em recente seminário do IPC - Instituto Panamericano de Carreteras, em São Paulo⁴⁴, menciona-se que ao deixar de ser gasto R\$ 1 na manutenção preventiva de rodovias, é gasto futuramente, em média R\$ 3 na manutenção corretiva, além do custo de operação dos veículos também ser maior. Esta diferença, quando são considerados os gastos totais em uma malha de vias pavimentadas, representa valores muito elevados. No referido seminário o representante do México mencionou que, com a mesma, é possível pagar a dívida externa de seu país em poucos anos. No item correspondente à introdução, apresenta-se um pequeno exemplo, com dados bem a favor da segurança, onde pode-se ver a veracidade desta afirmação.

2.2- MOTIVAÇÃO.

Para a própria localização de empresas industriais, Walter Isard⁴⁵ desenvolveu metodologia com analogia na teoria econômica (ver item 9.1), que pode ser aplicada também aos investimentos em transportes.

Os métodos atuais poderão ser complementados com analogias na teoria da firma, com funções semelhantes às funções de produção, para a escolha das quantidades otimizadas de *insumos* de transporte, através das curvas semelhantes às curvas isoquantas, definindo em cada modalidade, as quantidades otimizadas de capital (custo de infra-estrutura) e trabalho (custos de operação, por exemplo) para a escolha dos tipos otimizadas das infra-estruturas da malha futura, conforme o tráfego.

Utilizando-se a metodologia desenvolvida neste estudo, pretende-se, após a análise das prioridades dentro de uma mesma modalidade, usar analogias com a teoria de produção para a escolha dos trechos a serem construídos utilizando-se as curvas isoquantas dos tipos de vias de diferentes modalidades.

⁴⁴ IPC - Instituto Panamericano de Carreteras. Anais do Seminário pró-vial. São Paulo, 1993.

⁴⁵ ISARD, Walter. Publicação citada anteriormente.

Certamente, pode-se mostrar que à medida que sejam construídas muitas rodovias de um dado tipo, diminui a relação de substituição entre quilômetros, deste tipo de rodovias e dos demais. A medida que se construam novas rodovias e se relegue a conservação preventiva ou corretiva, diminui a relação de substituição entre quilômetros de novas rodovias e de conservação.

Acredita-se, inclusive, que em alguns segmentos de rodovias troncais, o aumento das mesmas pode significar uma diminuição da relação de substituição das mesmas por quilômetros de ferrovias. Todos estes exemplos podem ser analisados pelas curvas isoquantas, já que esta redução da relação de substituição depende da variação da taxa de substituição que é representada graficamente pela inclinação destas curvas em cada um de seus pontos.

Considerando-se as toneladas x quilômetros de transporte como uma variável representativa para o nível de produção das isoquantas, é possível a representação e formulação matemática relacionando projetos de modalidades diferentes. As toneladas x quilômetros, sendo referidas aos tipos de mercadorias e valor, tornam possível a escolha dos projetos mais adequados, do ponto de vista econômico.

Também, há necessidade de serem considerados os custos de terminais, ou seja, as decisões devem ser baseadas no custo total do transporte porta a porta, porém, não se pode fazer comparações sem otimizar as facilidades existentes. Na área dos transportes, no Brasil, existe uma grande defasagem, sobretudo no que se refere aos aspectos operacionais dos transportes de carga; sendo necessário examinar também a viabilidade de implantação das operações de transbordo; por exemplo, a implantação de Centros de Mercadorias próximos a grandes áreas urbanas, como existem nas grandes cidades de países mais desenvolvidos (Paris e Tóquio, por exemplo) o que permite examinar melhor o transporte intermodal.

Verifica-se que é possível relacionar as decisões práticas com a teoria econômica, no caso dos transportes regionais, desde que os mesmos sejam comparados aproveitando ao máximo as vantagens de cada modalidade. Além disso, a metodologia desenvolvida não aborda somente os aspectos construtivos, os aspectos operacionais e gerenciais também poderão ser considerados.

Sabe-se que todos os segmentos de meios e modalidades de transporte são importantes, cada um deles tem seu lugar e todos devem ser otimizados, não somente do ponto de vista construtivo mas também, deve ser despendido um grande esforço para que os aspectos operacionais e gerenciais sejam aprimorados.

2.3 - OBJETIVOS.

O objetivo básico deste estudo se constitui na demonstração da possibilidade de que a análise de viabilidade de investimentos em diferentes tipos de vias e mesmo em diferentes modalidades de transporte seja feita em conjunto.

Demonstra-se a necessidade de continuidade nos investimentos de cada uma das modalidades, definindo as prioridades em conjunto, sempre que possível, para os vários segmentos e modalidades.

São apresentados exemplos teóricos e práticos mostrando que com a utilização de programas de computador, a obtenção de equações e o uso de muitos dados das diferentes alternativas é bastante simples.

2.4 - METODOLOGIA.

O trabalho foi iniciado com uma revisão dos métodos tradicionais existentes, de análise de investimentos em transportes, descritos na literatura disponível; tecendo-se considerações sobre algumas particularidades, vantagens e desvantagens ou deficiências apresentadas por estes métodos, sobretudo quando utilizados para definirem investimentos nas infra-estruturas de transportes.

Foram analisados os diversos conceitos que podem intervir na definição dos investimentos já particularizados para a área dos transportes; ou seja, foram estudados os seguintes conceitos, relacionados com a área de análise de investimentos em transportes:

- Mensuração do excedente dos consumidores.
- Distinção entre benefícios e pagamentos por transferências.
- Preços-Sombra.
- Economias e Deseconomias Externas.
- Critérios Específicos de Análise de Investimentos.
- Problemas de Incertezas.
- Problemas de Riscos.
- Benefícios Intangíveis.
- Custos Marginais Sociais.

No item seguinte, são apresentadas considerações, ainda teóricas, sobre as curvas isoquantas e como equações similares, representando funções de isoquantas, podem ser utilizadas para a decisão de investimentos nos transportes, considerando ao mesmo tempo, diferentes modalidades de transporte e as malhas globais futuras de cada modalidade.

São também definidos orçamentos e os custos médios da construção das vias, por modalidade, a serem considerados para definição da "linha de isocustos ou de orçamento".

São determinadas as equações, com os respectivos coeficientes, que melhor se adaptam na representação das funções de isoquantas propostas, para a análise dos diferentes tipos de investimentos em transporte.

É demonstrada a aplicação da metodologia proposta, inicialmente através de exemplos teóricos, considerando investimentos em: 1) tipos de vias transportes

urbanos, 2) em segmentos de malhas rodoviárias e ferroviárias e 3) em diferentes setores do transporte rodoviário, vias novas a serem implantadas, vias a serem recuperadas e vias necessitando de conservação. A seguir é apresentado um exemplo prático de aplicação considerando os programas de investimentos rodoviários da Secretaria de Estado dos Transportes do Paraná. Nestes exemplos são analisados novos investimentos, do ponto de vista dos transportes, levando-se em conta custos médios de implantação.

Na análise dos resultados, são apresentadas conclusões, demonstrando as vantagens e desvantagens do emprego da metodologia estudada, para apoiar as decisões das autoridades. São apresentados resultados previstos com o uso da nova metodologia e dos métodos tradicionais, mostrando os ganhos possíveis.

Nas conclusões, são enumeradas as possíveis aplicações da metodologia e as recomendações no sentido de que o trabalho seja aperfeiçoado.

O trabalho concentrou-se na obtenção da metodologia de análise pelo que, na parte aplicativa não foram efetuadas projeções de dados de tráfego e avaliações individuais de vias de transporte. Com as projeções de tráfego são determinados os benefícios, em geral anuais, dos investimentos; as mesmas são efetuadas utilizando-se projeções de dados socio-econômicos. Ou seja, projetam-se as variáveis socio-econômicas e, em seguida, as mesmas são relacionadas com os dados de transportes para o conhecimento das demandas das diferentes modalidades.

Com as projeções de tráfego e obtenção dos benefícios, as vias em cada modalidade e/ou setores de uma mesma modalidade, são priorizadas com o uso dos métodos convencionais de análise de investimentos. Com base nas relações de obras prioritárias de cada modalidade e/ou setores da mesma modalidade são montadas as tabelas para elaboração de curvas análogas as curvas isoquantas de produção e aplicação da metodologia estudada.

As projeções de dados de transporte são utilizadas para priorizar e definir a melhoria ou a construção de novas vias de transporte. Qualquer via de transporte só deve ser realizada se for economicamente viável. Esta viabilidade depende dos custos de construção, custos de manutenção e dos benefícios, sendo que estes últimos são obtidos pelas diferenças entre os custos de operação e tempos de viagem, previstos nas vias existentes e nas vias novas ou a serem melhoradas.

Neste trabalho, além dos benefícios anteriores que são quantificados economicamente, foram também apresentados outros benefícios que podem ocorrer no campo dos transportes, além de métodos para reduzir a quantidade dos critérios (tipos de benefícios) utilizados, evitando-se a interdependência entre os mesmos.

Neste estudo foram aplicados métodos econométricos com o auxílio dos programas "MicroTSP"⁴⁶ e "TOOLS"⁴⁷, ferramentas computacionais para regressões e obtenção das curvas isoquantas.

Os trabalhos foram desenvolvidos nos computadores do Centro de Computação do Departamento de Economia- Setor de Ciências Sociais Aplicadas e nos computadores do Departamento de Transportes- Setor de Tecnologia da UFPR.

Foram obtidos dados socio-econômicos e de transportes, para os anos de 1980 até 1995, junto ao IPARDES- Fundação Edison Vieira, DER-PR- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, DETRAN- PR - Departamento de Trânsito - Paraná e RFFSA - SR-5 Rede Ferroviária Federal S.A. Superintendência Regional no.5. Esses dados foram obtidos com o auxílio dos alunos da disciplina de Econometria do Prof. Blás Enrique Caballero Nunez, turma da manhã de 1993.

Posteriormente para a elaboração de exemplos mais simples foram obtidos dados de custos de construção de rodovias e volumes de tráfego junto à Secretaria de Estado dos Transportes do Paraná. Foram utilizados dados dos programas de Concessão de Rodovias⁴⁸ e Estradas Rurais - Os Caminhos da Educação⁴⁹.

Caso fossem utilizados os dados socio-econômicos, de início, seriam montadas equações que relacionem cada uma das variáveis socio-econômicas a serem obtidas com a "data", de forma a poder projetá-las isoladamente. Para alguns dados socio-econômicos, como os relativos à população são aproveitadas, após a devida análise, projeções já existentes.

Num segundo passo, as variáveis socio-econômicas bem representadas pelos modelos adotados, seriam relacionadas com o movimento dos veículos nas rodovias e com o volume de cargas transportadas por outras modalidades como, pela RFFSA - Rede Ferroviária Federal S.A.

Neste trabalho, foi dada ênfase ao aspecto de desenvolvimento da metodologia, contudo os seguintes dados foram obtidos e poderão ser utilizados em trabalhos futuros, nos quais queira-se dar um maior aprofundamento no tratamento dos dados e suas projeções:

⁴⁶ HALL, Bronwyn H e Hall, Robert Ernest. **MicroTSP for regression and forecasting for use with the IBM personal computer**. EUA, McGraw-Hill, 1983.

⁴⁷ PETERSEN, Craig H.; LEWIS, Cris W. **Tools ware for Managerial Economics**. New York: Macmillan Publishing Company, 1990.

⁴⁸ SECRETARIA DO ESTADO DOS TRANSPORTES DO PARANÁ. **Programa de concessão de rodovias**. Versão Preliminar 04/95.

⁴⁹ SECRETARIA DO ESTADO DOS TRANSPORTES DO PARANÁ. **Programa de estradas rurais - os caminhos da educação**. 06/95.

1) IPARDES - BDE - CEE -

Base de Dados do Estado, Centro Estadual de Estatística

Neste órgão foram obtidos os seguintes dados:-

- Produção de Soja, Milho, Algodão, Trigo, Consumo de Água e de Energia Elétrica, População, Valor da Produção no Estado do Paraná por microrregião homogênea do IBGE de 1980 até 1993.

2) RFFSA - SR-5

Departamento de Planejamento, Gerencia de Estatística

Neste órgão verificou-se a disponibilidade dos seguintes dados:-

- Toneladas úteis transportadas pela SR-5 para as principais mercadorias de 1980 até 1995.
- Tonelagem média diária anual nos trechos Curitiba-Paranaguá, Cianorte- Maringá e Guarapuava-Ponta Grossa para os anos de 1980 até 1995.
- Tonelagem média diária anual por mercadorias principais transportadas nos trechos acima de 1980 até 1995.

3) DER

Secretaria dos Transportes, Governo do Estado do Paraná

Dados obtidos junto à biblioteca com consultas aos Anuários Estatísticos de Tráfego de 1980 até 1995.

Foram obtidos os volumes diários médios anuais para caminhões e totais para os seguintes trechos considerados importantes sob o ponto de vista da necessidade de sua duplicação:-

- Br - 376 - Ponta Grossa - Apucarana.
- Br-277 - Santa Tereza - Céu Azul (Foz do Iguaçu - Cascavel)
- Br- 369 - Cascavel - Campo Mourão
- Pr- 151 - Piraí do Sul - Castro
- Br - 369 - Rolândia - Mandaguari
- Br- 153 - Jacarézinho - Santo Antonio da Platina
- Pr-410 - Pr-410 - Quatro Barras (Curitiba - Quatro Barras).

4) DETRAN

Evolução da frota de veículos nos municípios do Paraná de 1988 até 1995.

Quanto a parte dos modelos matemáticos a serem utilizados para um melhor tratamento dos dados sugere-se que inicialmente sejam testados, pela análise dos parâmetros estatísticos, os modelos convencionais utilizados para a projeção das demandas de tráfego como os a seguir:-

Modelo Linear:-

$$Y = a + b.X$$

Modelo tipo Hipérbole:-

$$1/Y = a + b/X \quad \text{linearizados adotando-se } y = 1/Y \quad \text{e} \quad x = 1/X$$

Modelo tipo Hipérbole Equilátera:-

$$1/Y = a + b.X$$

Modelo Exponencial:-

$$X$$

$$Y = a.b^X \quad \text{linearizar adotando-se } \log(Y) = \log(a) + X.\log(b)$$

Modelo Logarítmico:-

$$Y = a + b.\log(X)$$

Modelo tipo Parábola do 2o. Grau:-

$$Y = a + b.X + c.X^2$$

Modelo tipo logística:-

$$Y = a / (1 + e^{b - cX})$$

Modelo Gompertz :-

$$Y = a \frac{b^X}{b^X + 1}$$

$$Y = 1 / (a + b.X)$$

Também deverão ser testados alguns modelos com o uso de mais de uma variável independente, que deverão ser sempre linearizados, para se apresentarem sob a seguinte forma geral:-

$$Y = d + a.X + b.Z + c.W$$

Obs. Nestas equações as letras "a"; "b" , "c " e "d" se referem a coeficientes determinados, com a calibração dos modelos.

e = Base dos logaritmos neperianos.

Y = Tráfego atual ou futuro.

X ; Z e W = Variáveis socio-econômicas que melhor se ajustam aos modelos de projeção do tráfego (população, consumo de energia elétrica, produção agrícola, frota de veículos, etc.)

Neste trabalho foi dada ênfase à determinação das curvas análogas as curvas isoquantas, conforme a seguir.

Posteriormente, na elaboração das curvas análogas as curvas isoquantas das funções de produção, foram utilizadas neste trabalho funções lineares, de Cobb- Douglas e da parábola conforme a seguir:

$$Q = a.R + b.F \quad Q = a.R^b.F^c$$

ou

$$Q = a + b.R + c.F + d.R^2 + e.F^2 + f.R.F$$

A linha de orçamento é representada por modelo linear da forma:-

$$O = a'.R + b'.F$$

Nos exemplos estudados, com projetos em diferentes setores de uma mesma modalidade, foram desenvolvidas equações com mais de 2 (duas) opções de investimentos, como a seguir:

$$O = c'.KmN + d'.KmR + e'.KmM$$

Sendo:- "a" ;" b"; "c"; "d"; "e" e "f" coeficientes determinados com o ajuste dos modelos.

a' = custo médio por km de rodovia de determinado tipo.

b' = custo médio por km de ferrovia de determinado tipo.

R = quilômetros de rodovias.

F = quilômetros de ferrovias.

Q = quantidade transportada (t.km ou pass.km por ano).

O = orçamento a ser destinado aos transportes num certo período.

c' = custo médio por km para novas vias pavimentadas.

d' = custo médio por km para recuperação de vias.

e' = custo médio por km para manutenção de vias.

KmN = número de quilômetros de novas vias pavimentadas.

KmR = número de quilômetros de vias recuperadas.

KmM = número de quilômetros de vias com manutenção preventiva.

EXEMPLOS.

Os exemplos de aplicação da metodologia desenvolvida, onde são aplicadas as equações anteriores são apresentados no item 10.

3 - MÉTODOS GERAIS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS.

Neste item são apresentadas algumas considerações sobre os principais métodos utilizados para a comparação de alternativas de investimentos, sobretudo em infra-estrutura de transportes.

3.1 - INTRODUÇÃO.

A escolha entre alternativas de investimentos pode ser feita com o uso de métodos aproximados, ditos também, expeditos, tais como:-

- 1- Período Fixo para Retorno do Investimento.
- 2- Período de Reembolso.
- 3- Taxa de Retorno do Período de Desembolso.
- 4- Taxa média de Retorno.
- 5- Taxa média Líquida de Retorno.

Os métodos considerados exatos, mais utilizados na análise de investimentos do ponto de vista econômico, por pessoas físicas ou empresas privadas, são:-

- 6 - Método do Custo Anual.
- 7 - Método do Valor Atual.
- 8 - Método da Taxa Interna de Retorno.

No caso de investimentos de grandes empresas ou de empresas públicas e principalmente para investimentos em infra-estrutura de transportes, além destes, são utilizados outros métodos mais completos, tais como:-

- 9 - Método de Benefício - Custo.
- 10 - Método de Relação Incremental de Benefício/Custo.
- 11 - Método de Custo-Eficácia.
- 12 - Técnicas de Classificação.
- 13 - Método de Curvas de Isoquantas (desenvolvido neste estudo).

Existem outros métodos menos utilizados. Na prática, a decisão é feita entre as alternativas, considerando-se, além dos custos e receitas, outros fatores, inclusive subjetivos ou imponderáveis, tais como:

- Mão-de-obra que ficaria sem trabalho, por exemplo, devido à aquisição de determinado equipamento.
- Falta de confiança no equipamento por falta de peças de reposição, por exemplo.
- Prejuízos ao meio ambiente, poluição do ar ou ruídos.

No caso das infra-estruturas de transporte podem ser considerados, também, os seguintes aspectos:

- Ruptura de comunidades; por exemplo, a nova via dificulta os percursos a pé dos residentes.
- Desapropriações e deslocamentos de moradias e outras atividades.

- Prejuízos ao meio ambiente em termos também de estética; por exemplo, viadutos que reduzam a visão para os moradores.

Além da análise de viabilidade econômica (busca de ganhos máximos), outras viabilidades deverão também ser consideradas, tais como:-

- Viabilidade Financeira - analisa a disponibilidade de recursos e os encargos financeiros assumidos.
- Viabilidade Técnica - correto dimensionamento em termos de capacidade de produção, dimensionamento correto de áreas de estoque, dimensionamento correto das instalações.
- Viabilidade Institucional - disponibilidade de pessoal capacitado pela empresa.
- Viabilidade Ambiental - análise do meio ambiente.
- Viabilidade Política - apoio de autoridades políticas, caso necessário, etc..

3.2 - MÉTODOS APROXIMADOS.

No Método de Período Fixo, escolhe-se um período, no qual os recursos investidos devem ser inteiramente recuperados. Pode ser aconselhável, no caso de empresas que vendem um dado produto e o mesmo não possa ser protegido por patentes; quando os lucros futuros podem ser incertos e crescentemente improváveis.

O período escolhido pode ser de dez anos porém, em geral, são escolhidos períodos menores, como de cinco anos e mesmo de três anos.

No Método do Período de Reembolso, as alternativas são classificadas conforme o tempo necessário para recuperar o valor do investimento inicial, porém, sem considerar juros. São ignorados os custos ou receitas que venham a ocorrer após este período.

No caso do método da Taxa de Retorno do Período de Desembolso, simplesmente divide-se o período de tempo (em geral anos) do método anterior por 100.

No método da Taxa média de Retorno é simplesmente dividida a soma das receitas pelos custos para um determinado período fixo.

No método da Taxa Líquida de Retorno, é feita a diferença entre os benefícios e os custos, num dado período, sendo este valor dividido pelos custos, tomando-se o resultado em termos percentuais.

Todos os métodos acima são considerados expeditos; nos grandes investimentos públicos, representados pelas vias de transporte, estes métodos não são utilizados.

3.3 - MÉTODO DO CUSTO ANUAL.

Neste método não há, em geral, a preocupação de alterar a receita; analisa, muitas vezes, somente os valores de custos. É escolhida a alternativa que proporcione o custo mínimo.

Exemplo:- Seja uma empresa pública onde é considerada a taxa mínima de retorno $i = 12\%$ ao ano e que, para a execução de determinado serviço de conservação em uma dada via de transporte, possa optar por 3 (três) alternativas diferentes.

1a. Alternativa. Uso somente de mão-de-obra, com equipamentos rudimentares.

Suponha-se, neste primeiro caso, um custo anual de $C1 = 10.000$ u.m. (unidades monetárias); neste caso, no custo estariam incluídos salários, horas extras, previdência social; férias; 13o. salários, etc.

2a. Alternativa. Neste caso, a empresa compraria um equipamento, com valor inicial $V_i = 16.000$ u.m., valor residual, $V_r = 1.000$ u.m., após a vida econômica, prevista como sendo de 10 (dez) anos.

Com esse equipamento haverá uma redução no custo total da mão-de-obra que passaria a ser de 3.000 u.m. por ano. Nesta alternativa, deve-se considerar também os seguintes gastos adicionais, devido ao equipamento:-

Energia = 400 u.m.

Manutenção = 1.000 u.m.

Seguro = 300 u.m.

O custo anual do equipamento é dado pelo juro sobre o capital não depreciado no início do ano, mais a depreciação, que podem ser calculados pela seguintes fórmulas deduzidas nos livros de matemática financeira (ref. 19 ou 26 por exemplo):

$C.A = V_i \times (A/P; i; n) - V_r \times (A/F; i; n)$ onde

$(A/P; i; n) = \{[(1+i)^n \times i] / [(1+i)^n - 1]\}$ e $(A/F; i; n) = \{i / [(1+i)^n - 1]\}$

ou

$C.A. = (V_i - V_r) \times (A/P; i; n) + V_r \times i$

O valor de " $(A/P; i; n)$ " pode ser obtido em tabelas de juros que fazem parte dos livros de Matemática Financeira ou de Economia de Engenharia, considerando $i = 12\%$ e $n=10$ anos ou efetuando-se os cálculos.

$C.A. = (16.000 - 1.000) \times 0,17698 + 1.000 \times 0,12 = 2.777$ u.m.

Os custos totais anuais da 2a. alternativa são:- 3.000 (mão-de-obra) + 400 (energia) + 1.000 (manutenção) + 300 (seguro) + 2.777 (equipamento) = 7.477 u.m.

Comparando os custos anuais totais dos planos "1" e "2", vê-se que o plano "2" é o melhor.

3a. Alternativa. Considerando um equipamento maior, mais caro, porém com vida econômica maior e que reduz ainda mais o gasto com a mão-de-obra.

Dados do equipamento:- $V_i = 25.000$ u.m.; valor residual = $V_r = 2.000$ u.m. após 20 (vinte) anos. Com esse novo equipamento, supõe-se que os demais custos anuais sejam:-

Custo da mão-de-obra = 2.500 u.m.

Energia = 500 u.m.

Manutenção = 1.200 u.m.

Seguro = 500 u.m.

Custo anual do equipamento = $(V_i - V_r) \times (A/P; i; n) + V_r \times i =$
 $= (25.000 - 2.000) \times 0,13388 + 2.000 \times 0,12 =$
 $= 8.020$ u.m.

A 2a. alternativa é a melhor, desde que as receitas sejam iguais em todas as alternativas.

Observação:- No método do custo anual, é válido comparar o custo anual de equipamentos com vida útil diferentes; desde que não se entre com outros fatores, tais como: obsolescência, previsões de futuros trabalhos, etc. No caso do exemplo dado, com a alternativa escolhida, após 10 (dez) anos seria comprado um outro equipamento igual ao inicial, desde que a empresa continuasse com o mesmo tipo de trabalhos.

Mesmo o método sendo chamado de Custo Anual, pode-se utilizá-lo para custos mensais ou qualquer que seja o período de tempo considerado.

O método também pode ser utilizado para a análise de investimentos que tenham receitas diferentes, caso em que as mesmas seriam sempre consideradas. Neste caso, as receitas terão que ser maiores que os custos.

Este método é também conhecido pelo nome de Método do Valor Anual Uniforme Equivalente = VAUE.

Vantagens deste método:-

1) Compara equipamentos com vidas econômicas diferentes, desde que os investimentos possam ser considerados repetitivos.

2) Facilidade de cálculo, quando o valor inicial for igual ao residual, pois neste caso, o valor anual é dado por $C.A = V_i \times i$. Por exemplo, na compra de terrenos ou imóveis que não tenham tendência a se desvalorizarem.

3) Aplicado no cálculo da vida econômica de veículos, equipamentos e instalações.

Este método não considera custos ou benefícios que não possam ser quantificados monetariamente, sendo mais uma regra de decisão do que um método de avaliação socio-econômica que possa ser utilizado; por exemplo, nos grandes investimentos da área de transportes.

3.4 - MÉTODO DO VALOR ATUAL

Neste método também é estipulada uma taxa mínima de retorno para os investimentos sendo mais utilizado quando existe uma série de custos e receitas diferentes, nos vários períodos de tempo.

Os custos e receitas são sempre considerados no final dos períodos, o que representa uma aproximação porém, os erros introduzidos são pequenos tendo em vista os outros valores que também são estimados: valor residual, vida econômica, etc..

Neste método, calcula-se o valor atual do fluxo de caixa formado pelas parcelas de receitas e custos da empresa, levando-se em conta todas as atividades, em cada período de tempo.

Exemplo:- Seja uma empresa pública ligada à construção de vias de transporte que tenha as seguintes operações, na realização de uma dada obra:

1a. Alternativa.

A) Compra de um terreno - 100 u.m. de entrada e mais duas parcelas anuais de 100 u.m.

B) Execução de obras do canteiro de trabalho - 200 u.m. ao longo de 2 anos.

C) Compra de equipamentos - 400 u.m. à vista.

D) Financiamento de 300 u.m., para pagar com 1 (um) ano de carência em 3 prestações anuais de 150 u.m. cada uma.

E) Despesas operacionais - 50 u.m. ao fim do primeiro ano e 200 u.m. nos anos seguintes.

F) Lucros de 500 u.m. ao fim do 1o. ano e 600 u.m. nos anos seguintes.

G) Valor residual dos equipamentos = 500 u.m. , após 5 anos, quando a firma espera terminar o serviço.

Resolução :

Quadro 3.1 Exemplo Método do Valor Atual - Fluxo de Caixa com as diferentes atividades.

ANO	A	B	C	D	E	F	G	FLUXO DE CAIXA	VALOR ATUAL*
0	-100	0	-400	300	0	0	0	-200	-200
1	-100	-100	0	0	-50	500	0	250	223,21
2	-100	-100	0	-150	-200	600	0	50	39,86
3	0	0	0	-150	-200	600	0	250	177,94
4	0	0	0	-150	-200	600	0	250	158,88
5	0	0	0	0	-200	600	500	900	510,68
								TOTAL:	910,58

* O Valor atual de cada parcela é obtido, considerando a fórmula de juros compostos:

$$P = F \times (P/F; i; n) = F / (1+i)^n$$

Sendo "F" o valor futuro ou montante, que corresponde, neste caso, a cada uma das parcelas; "P" é o valor presente ou valor atual, que se busca encontrar; "i" é a taxa de juros considerada como de 12% ao ano, neste exemplo, e "n" é o período (ano neste caso) onde se encontra o valor de "F". Podem ser efetuados os cálculos ou obtido o valor de "(P/F;i;n)" em tabelas de juros.

Supondo que, numa 2a. alternativa, o fluxo de caixa fosse dado pelos valores do quadro 3.2.

Quadro 3.2 Exemplo Método do Valor Atual - Fluxo de Caixa Alternativa 2.

ANO	0	1	2	3	4	5	TOTAL
FLUXO DE CAIXA	-500	200	500	-100	150	800	—
VALOR ATUAL	-500	178,57	398,60	-71,18	95,33	453,94	555,26

Neste exemplo é escolhida a 1a. alternativa, pois apresenta maior valor atual.

Observação: Como as parcelas de cada período dos fluxos de caixa são diferentes, leva-se ao valor presente ou valor atual cada uma delas de forma isolada, efetuando-se em seguida a soma, conforme aparece na última coluna dos quadros anteriores.

Caso os valores do fluxo de caixa de cada período fossem iguais, o valor presente, seria calculado ao mesmo tempo para todos, utilizando-se a fórmula:

$$P = A \times [(1+i)^n - 1] / [(1+i)^n \times i] = A \times (P/A;i;n)$$

ou encontrando-se em tabelas o valor representado simbolicamente por: "(P/A;i;n)".

Vantagens do método do valor atual ou valor presente:-

- 1) Apresenta o valor final (lucro ou prejuízo) do projeto.
- 2) Análise de investimentos isolados ou com poucos períodos, onde o Valor Anual Uniforme Equivalente teria pouco significado prático para uma tomada de decisão.
- 3) Valores diferentes em cada período e análise de alternativas de mesma duração.

No exemplo anterior foi considerado que ambos os projetos tinham a mesma vida útil, ou seja, seriam executados no mesmo período de tempo (5 anos).

Caso os projetos tenham vida diferentes, é preciso considerar a sua repetição até que terminem ao mesmo tempo.

Exemplo:- Sejam os dois fluxos de caixa abaixo, um para uma alternativa de 3 anos de vida útil e outro para 6 anos de vida útil, sendo a Taxa de Mínima Atratividade considerada como de 12% ao ano.

Quadro 3.3 - Fluxo de Caixa da 1a. Alternativa: (valores repetidos após 3 anos).

ANO	FLUXO DE CAIXA	VALOR ATUAL
0	-200	-200
1	300	267,86
2	400	318,87
3	(+200-200)	0
4	300	190,65
5	400	226,97
6	200	101,33
	TOTAL	905,69

Quadro 3.4 Fluxo de Caixa da 2a. Alternativa.

ANO	FLUXO DE CAIXA	VALOR ATUAL
0	-1000	-1000
1	200	178,57
2	300	239,16
3	500	355,89
4	600	381,31
5	700	397,20
6	50	25,33
	TOTAL	577,46

Neste exemplo a 1a. alternativa, de 3 anos, foi repetida para que ambas terminassem ao mesmo tempo. A primeira alternativa é melhor, desde que sua repetição após os 3 anos seja possível.

Se não fosse possível repetir a alternativa, poderia ser considerado que após sua vida útil os valores seriam aplicados no mercado com a Taxa de Mínima Atratividade; o valor atual permaneceria constante, após o terceiro ano, no caso do exemplo acima, e conforme cálculo a seguir, verifica-se que a segunda alternativa seria melhor do que a primeira.

Valor Atual da 1a. Alternativa sem repetição:-

$$\begin{aligned}
 V.A &= -200 + 267,86 + 318,87 + 200 \times (P/F; i; 3) = \\
 &= -200 + 267,86 + 318,87 + 200 \times 0,71178 = 529,08 \text{ u.m.}
 \end{aligned}$$

Exemplos de ambos os casos podem ser dados pela construção de uma estrada. Pode-se fazer um pavimento com maior ou menor duração (prevendo-se um recapeamento mais cedo, por exemplo). Neste caso, a alternativa pode ser repetida. Se as alternativas se referissem ao tempo de construção de uma mesma estrada, não seria possível repeti-las.

Este método, como o anterior, também considera somente os custos e benefícios que sejam quantificados monetariamente, sendo mais um critério de decisão do que um método de avaliação socio-econômica para grandes investimentos públicos, como aqueles relacionados com a infra-estrutura de transportes.

3.5 - MÉTODO DA TAXA INTERNA DE RETORNO.

A taxa interna de retorno (TIR) corresponde a taxa de juros que zera o valor presente do fluxo de caixa da alternativa. Corresponde também à remuneração de cada unidade monetária investida no projeto e conduz o fluxo de caixa igualmente a um valor futuro igual a zero ou a valores anuais iguais, equivalentes, também iguais a zero.

Todos os projetos que apresentem TIR maior do que a taxa de mínima atratividade (TMA), ou taxa de mercado, são considerados rentáveis e deverão ser analisados.

Nem sempre o projeto que apresenta a maior TIR é o melhor, do ponto de vista econômico. Se o projeto que apresenta o maior investimento tiver uma TIR menor, há necessidade de ser considerada a taxa interna de retorno do investimento adicional (devendo a análise ser efetuada de modo incremental) conforme pode-se ver através dos exemplos.

Exemplo:- Uma dado equipamento de construção, que pode ser adquirido por 30.000 u.m. apresenta receitas brutas mensais de 5.000 u.m. e custos mensais de operação de 2.000 u.m.. É estimado que o valor de revenda do equipamento, depois de 10 meses, seja de 15.000 u.m.. Se o empresário tem outros investimentos onde recebe juros sobre os investimentos de 4% ao mês, verificar se o equipamento mencionado deve ser adquirido.

Solução:- O equipamento deverá ser adquirido se produzir uma taxa de juros sobre o capital investido, maior do que 4% ao mês.

Para encontrar a taxa interna de retorno do investimento procura-se o valor anual (mensal, no caso do exemplo) uniforme equivalente ou o valor atual (ou valor presente) **arbitrando-se** valores para a taxa de juros.

Arbitrando-se $i = 6\%$ ao mês tem-se:

$C.A. = VAUE = 15.000 (A/P; 0,06; 10) + 15.000 \times 0,06 + 2000 = 4.938 < 5.000$ u.m.

Como os custos mensais são inferiores a 5.000 u.m. a taxa interna de retorno é superior a 6% ao mês.

Arbitrando-se $i = 7\%$ ao mês tem-se:

$$VAUE = 15.000 (A/P; 0,07; 10) + 15.000 \times 0,07 + 2000 = 5.186 > 5.000 \text{ u.m.}$$

Como com a taxa de 7% os custos são maiores que os ganhos anuais a TIR é menor que 7% .

A TIR aproximada pode ser obtida por interpolação conforme abaixo:-

$$i = 6\% + [62 / (62 + 186)] \times 1\% = 6,25\%$$

Contudo nem sempre a alternativa de maior taxa interna de retorno deve ser a escolhida, conforme pode-se verificar pelo exemplo a seguir.

Exemplo:- No quadro 3.5 a seguir, são apresentadas alternativas de investimentos que podem ser realizados por uma dada empresa. A menor taxa de juros requerida ou taxa de mínima atratividade é de 10% .

Quadro 3.5 Exemplos de Alternativas de investimentos.

Alternativa	Investimento Inicial (u.m.)	Receita Bruta anual (u.m.)	Custos anuais (u.m.)	Valor Atual (u.m.)	Taxa Interna (TIR) %	TIR sobre Investimento Adicional %
A	1.000	800	500	843	27,3	27,3
B	1.500	650	650	1.572	31,1	38,5
C	2.300	825	825	1.694	25,3	13,4
D	3.300	1.025	1.025	1.462	19,6	4,3
E	4.500	1.250	1.250	938	14,7	0

Os valores atuais foram calculados conforme abaixo:-

$$V.P = (800 - 500) \times (P/A; 0,10; 10) - 1.000 = 843 \text{ u.m.}$$

Pelo método do valor atual verifica-se que a alternativa "C" é a melhor.

Pela taxa interna de retorno, a alternativa "B" seria a melhor, contudo, neste método, sempre que investimentos maiores resultarem em taxas de retorno menores, há necessidade de calcular a taxa de retorno do investimento adicional (os investimentos para isso são colocados em ordem crescente).

Enquanto a taxa de retorno do investimento adicional for maior do que a taxa de mínima atratividade, compensa realizar o investimento maior, ainda que sua taxa de retorno, seja inferior à do investimento menor

Portanto, no caso do exemplo, também pelo método da taxa interna de retorno, a melhor alternativa é a "C".

A necessidade do cálculo da taxa do investimento adicional ficará mais clara no seguinte exemplo.

Exemplo:- Qual a melhor alternativa: adquirir um caminhão por 50.000 u.m. que apresente ganhos líquidos, mensais, constantes, durante 7 anos de 5.000 u.m ou adquirir um caminhão por 100.000 u.m que apresente ganhos líquidos, mensais, constantes, durante 7 anos de 8.000 u.m.

Neste exemplo, vamos supor que os veículos sejam vendidos ao final de sua vida econômica, considerada como igual a 7 anos em ambos os casos, por um valor residual equivalente a 20% do valor inicial.

O empresário possui o dinheiro para a aquisição de qualquer dos dois veículos, só pretende adquirir 1 (um) e seu dinheiro se acha aplicado a uma taxa de 5% ao mês.

Resolução:-

Inicialmente observa-se que o valor presente do valor residual dos veículos pode ser desprezado, pois encontra-se há muitos períodos de tempo (meses) distante da data atual:-

$$P = F / (1 + i)^n$$

$$P_1 = 50.000 \times 0,2 / (1 + 0,05)^{7 \times 12} = 10.000 \times 0,02 = 200$$

$$P_2 = 100.000 \times 0,2 / (1 + 0,05)^{7 \times 12} = 20.000 \times 0,02 = 400$$

Igualmente nestes casos, a fórmula usada para calcular o valor presente, de valores iguais, é simplificada:-

$$(P/A; i; n) = \{[(1+i)^n - 1] / [(1 + i)^n \times i]\} = 1/i \text{ para "n" muito elevado.}$$

Logo, o cálculo da taxa interna de retorno ou do valor presente é bastante simplificado como a seguir:-

Valor Atual para o 1o. Caminhão = $-50.000 + 5.000 / 0,05 = 50.000$ u.m.

Valor Atual para o 2o. Caminhão = $-100.000 + 8.000 / 0,05 = 60.000$ u.m.

Valor Atual do Investimento Adicional = $-50.000 + 3.000 / 0,05 = 10.000$ u.m.

O melhor caminhão por este método seria o 2o.

Pelo método da taxa interna de retorno temos, neste caso:

$$P = A/i \quad \text{donde} \quad i = A/P$$

Sendo "P" o valor presente (investimento), "A" a receita mensal no caso e "i" a taxa interna de retorno procurada.

$$\text{Para o 1o. Caminhão} \quad i = 5.000 / 50.000 = 0,1 = 10\%$$

$$\text{Para o 2o. Caminhão} \quad i = 8.000 / 100.000 = 0,08 = 8\%$$

$$\text{Para o investimento adicional} \quad i = 3.000 / 50.000 = 0,06 = 6\%$$

Como a taxa do investimento adicional é maior que 5%, o 2o. caminhão também deveria ser o escolhido por este método.

No caso, a empresa investindo no 2o. caminhão, estaria ganhando, ao mês, a taxa de 8% ou 10% sobre os primeiros 50.000 e 6% (um pouco mais que no mercado) sobre os 50.000 adicionais.

Observa-se que, neste exemplo, se a empresa pudesse comprar dois caminhões menores e manter para ambos os mesmos lucros de 5.000 u.m., (o que nem sempre acontece) esta seria então a melhor alternativa.

Vantagens do Método da Taxa Interna de Retorno.

- 1) Apresenta o lucro por unidade de capital investido.
- 2) Facilidade de cálculo, quando o valor das receitas forem iguais e em grande número.
- 3) Pode ser aplicado em investimentos de tempos de duração diferentes, desde que possam ser considerados repetitivos.

Uma das dificuldades do método da taxa interna de retorno é quando ocorrem fluxos de caixa com várias inversões de sinal (períodos de lucros e períodos de prejuízos). Nestes casos, existem taxas múltiplas de retorno, sendo preferível o uso dos métodos anteriores.

Este método, como os anteriores, considera somente os custos e os benefícios que possam ser quantificados de forma monetária, sendo também mais um critério de decisão do que um método de avaliação socio-econômica para grandes investimentos públicos, como os dos projetos de vias de transportes.

4 - MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS PÚBLICOS EM INFRA-ESTRUTURA VIÁRIA.

4.1 - INTRODUÇÃO.

Os métodos mais utilizados na análise de investimentos, do ponto de vista econômico, por empresas públicas, grandes empresas privadas e para a análise de alternativas viárias, são baseados nos métodos anteriores (Método do Custo Anual, Método do Valor Atual e Método da Taxa Interna de Retorno); sendo que procuram introduzir considerações adicionais, sobretudo para levar em conta fatores não quantificáveis economicamente, nos métodos mais completos.

No caso de investimentos de grandes empresas ou de empresas públicas, são utilizados, entre outros, os seguintes métodos:-

- 1 - Método de Benefício - Custo.
- 2 - Método de Relação Benefício/Custo
- 3 - Método da Relação Incremental de Benefício/Custo.
- 4 - Técnicas de Classificação
- 5 - Método de Custo-Eficácia.
- 6 - Método de Curvas Isoquantas (desenvolvido neste trabalho).

Normalmente, a diferença entre as avaliações de alternativas para as empresas privadas e públicas está em que, no caso das últimas, os benefícios devem ser calculados para a comunidade como um todo. Por exemplo, os benefícios da construção de novas estradas devem ser obtidos por toda a comunidade, sejam os próprios usuários da estrada, que terão custos de operação mais baixos, menores tempos de transporte, menos acidentes, sejam os habitantes das cidades que consomem as mercadorias transportadas que com a nova estrada, terão custos mais baixos.

A finalidade básica das empresas públicas e privadas é em última análise, a mesma ou seja, proporcionar benefícios para toda a comunidade.

Uma diferença importante entre as empresas públicas e privadas é que muitas vezes, os investimentos públicos beneficiam pessoas que não efetuaram contribuições ou que não pagaram os impostos necessários para a construção das obras.

Outro aspecto que distingue a análise de investimentos públicos dos privados, é que no caso dos investimentos públicos, são considerados custos econômicos ao invés de custos financeiros. Os custos econômicos ou governamentais são os custos financeiros ou de mercado menos os impostos e taxas cobrados pelo governo.

Os construtores para a realização das obras, compram insumos sobre os quais incidem impostos que o governo arrecada, fazendo com que o custo da obra para o governo seja menor.

Na análise de grandes investimentos, deve-se considerar também, que os mesmos, influem nos preços praticados.

A avaliação das alternativas, no entanto, deve ser efetuada como um investimento que produza ganhos, ou seja só deverão ser construídas estradas, escolas ou parques que resultarem benéficos para a sociedade. É sempre escolhida a alternativa que proporcione os benefícios máximos, pois os recursos são escassos.

Os investimentos públicos devem resultar de um processo de interação entre os técnicos de planejamento com as autoridades, empresários e toda a comunidade. Os técnicos ajudam as autoridades, que decidem elaborando avaliações que, neste caso, serão bastante amplas, incluindo vários aspectos quantificados de forma monetária ou mesmo os que não podem ser quantificados; porém, os resultados e análises devem ser apresentados de maneira adequada.

Na análise de investimentos públicos devem ser observados os **3 "Cs"** relativos a necessidade de continuidade, cooperação com as autoridades e análise que compreenda toda a área de influência.

Sobretudo nestes investimentos, as alternativas podem considerar projetos de natureza diferentes, por exemplo, comparar rodovias com ferrovias ou metrô com ônibus em vias exclusivas ou mesmo comparar escolas com hospitais. Nestes casos, a complexidade do processo de avaliação pode levar à análise de aspectos complementares, tais como:-

- Características físicas do território.
- Características sócio-econômicas da população.
- Situação atual das facilidades existentes.
- Escala dos investimentos.
- Níveis de serviço.
- Aspectos ambientais (poluição visual e sonora, por exemplo).
- Aspectos de avanço da tecnologia nacional.
- Redução de importações ou aumento de exportações.
- Geração de empregos (considerando o número e os tipos), etc..

Desta maneira, embora possa até haver um julgamento intuitivo a respeito das alternativas, na maioria dos casos, sobretudo para elevados investimentos, há a necessidade de técnicas mais completas, como as que serão apresentadas.

Os textos e exemplos deste item serão voltados para a área dos transportes, objeto deste trabalho e onde ocorrem, normalmente, grandes investimentos públicos; contudo, estes métodos são utilizados nos mais diversos setores.

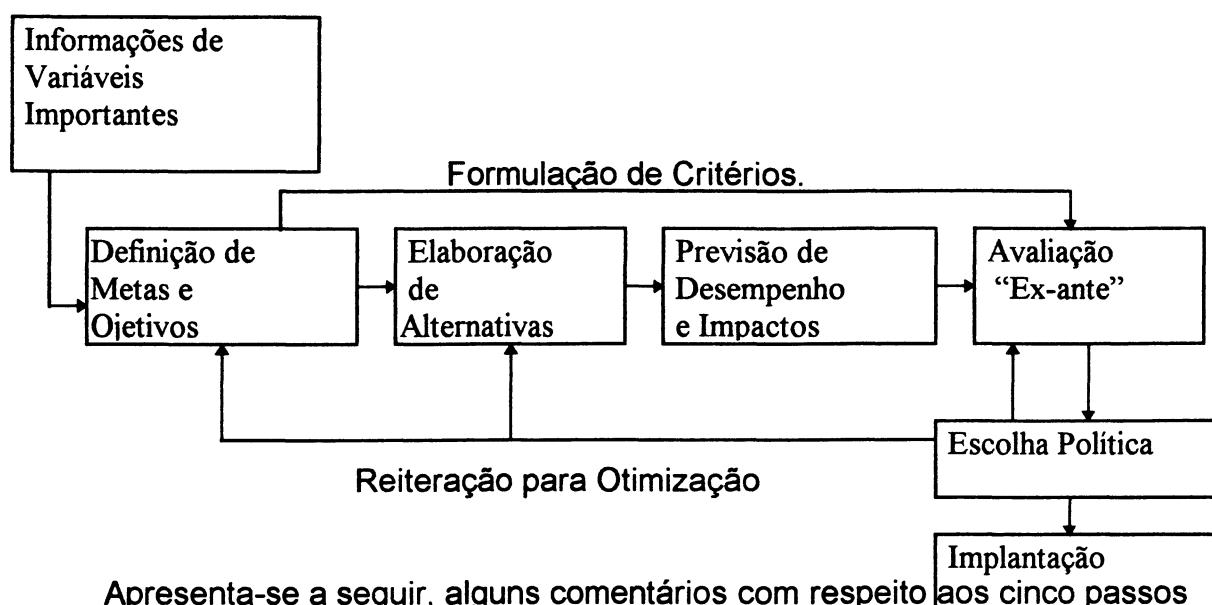
4.2 - O PROCESSO DE PLANEJAMENTO.

A avaliação comparativa de alternativas, incluindo vários modos de transportes, deve se constituir em parte de um processo de planejamento.

Este processo pode ser dividido de forma simplificada em cinco (5) partes principais: 1) definição de metas e objetivos; 2) elaboração de alternativas de planos, regulamentos, programas e projetos; 3) previsão do desempenho e impactos das alternativas; 4) avaliação de resultados e 5) escolha política dos projetos a serem executados.

Estes cinco passos são inter-relacionados como mostra a figura a seguir devendo haver muitas iterações e o processo ser contínuo.

Fig. 4.1 O Processo de Planejamento⁵⁰



Apresenta-se a seguir, alguns comentários com respeito aos cinco passos principais do processo de planejamento e em seguida, apresentam-se os métodos principais de avaliação de alternativas de transportes.

1- As metas e objetivos são definidos com o estabelecimento de critérios e padrões para a avaliação. Por exemplo, a meta poderá ser: proporcionar transporte adequado para toda a produção paranaense; o objetivo poderá ser: construir vias com tráfego permanente, ao longo de todo o ano, em todo o Estado do Paraná; o critério poderá ser: a porcentagem da produção escoada pelas vias de transporte e finalmente o padrão poderá ser: atingir a 95% de toda a produção até o ano 2000.

2- As alternativas deverão ser definidas, visando a melhoria do desempenho do sistema de transportes em relação às metas e objetivos.

⁵⁰Fonte: TRANSPORTS CANADÁ. *Canadian Transit Handbook*. Centre de Developpment des Transports. 1982

3- O desempenho e impacto de cada alternativa pode ser previsto, com o auxílio de métodos estatísticos. Os volumes futuros de tráfego podem ser calculados por exemplo, com o auxílio dos modelos de 4 etapas, a geração de viagens, a divisão modal, a distribuição das viagens e a alocação do tráfego. Os impactos ambientais também devem ser avaliados.

4- A avaliação das alternativas pode estar condicionada pelos passos anteriores. A identificação das metas por exemplo, induz à escolha dos critérios de avaliação das alternativas.

5- A escolha política da alternativa a ser executada é feita através do poder decisório que deverá ponderar os resultados da análise precedente.

4.3 - DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS.

Na formulação das alternativas, há necessidade de se obter informações sobre as condições existentes na região, tais como: características da população e do uso do solo, vias de transporte existentes, características das viagens de pessoas e cargas, fatores institucionais e disponibilidade de recursos.

O número inicial das alternativas pode ser muito elevado pois cada uma delas apresenta uma combinação diferente de estratégias quanto a tecnologia, localização, operação, implantação e demanda atendida.

A redução do número de alternativas para um número prático é, em geral, possível através da análise de elementos básicos, tais como: custos, demanda, capacidade, possibilidade operacional e impactos sociais e ambientais.

Dado o grande número de alternativas razoáveis e dos elementos necessários a serem considerados, é importante que não se perca tempo em excesso na análise de alternativas irrelevantes, embora deva-se ser abrangente e estarem incluídos todos os tipos de projetos (manutenção, reconstrução e novas vias) das diferentes modalidades de transporte.

Inicialmente, os planejadores poderão propor um série de alternativas individualmente; o número destas alternativas será reduzido pelo trabalho da equipe técnica, avaliações iniciais e o envolvimento de autoridades e dos próprios cidadãos.

A avaliação detalhada em geral é efetuada para 3 a 10 alternativas.

As limitações inerentes aos modos de transportes disponíveis podem ser utilizadas para identificar e reduzir a lista das alternativas relevantes.

A análise das alternativas pode ser efetuada com base em técnicas elementares que incluem o julgamento intuitivo, comparações de vantagens e

desvantagens, checagem de itens atendidos em cada alternativa, de uma lista de critérios ou medidas de desempenho e comparação com possíveis valores dos critérios. Também podem ser usados os métodos de avaliação de investimentos (item 3), que não são recomendáveis nos grandes investimentos públicos, por não levar em conta impactos e aspectos técnicos, que não sejam quantificados monetariamente. Finalmente, têm-se os métodos ditos abrangentes, como apresenta-se a seguir, que incluem tanto aspectos de técnicas elementares como de avaliação de investimentos e que são os mais recomendáveis.

4.4 - EXEMPLO DO MÉTODO DE BENEFÍCIO-CUSTO (B-C).

Seja um órgão governamental que possuindo um orçamento de 3,4 milhões de u.m., deseja saber quais dos projetos de estradas dados no quadro 4.1 a seguir devem ser realizados, sendo a taxa de juros considerada como de 8% ao ano.

Quadro 4.1 Exemplos de projetos - Método Benefício - Custo⁵¹. (u.m. 10³)

Projeto No.	Custo Inicial (u.m. 10 ³)	Vida Econômica (anos)	Valor Residual	Mudança nos custos anuais de Manutenção (u.m. 10 ³)	Mudança nos custos anuais dos usuários (u.m. 10 ³)
1	1800	30	0	-10	-180
2	400	15	0	-55	-10
3	600	30	0	-60	0
4	400	20	0	0	-50
5	1100	30	0	0	-100
6	300	15	0	+30	-110
7	500	30	0	+30	-100

Quadro 4.1 (cont.)

Projetos	Custo Anual de Recuperação do Capital (A/P;i;n)	Outros Custos Anuais	Benefícios Anuais	B-C = Benefícios Anuais - Custo Anual de Recuperação + Outros Custos Anuais
1	$1800 \times 0,08883 = 160$	-10	180	30
2	$400 \times 0,1168 = 46,7$	-55	10	18,3
3	$600 \times 0,08883 = 53,3$	-60	0	6,7
4	$400 \times 0,1018 = 40,7$	0	50	9,3
5	$1100 \times 0,08883 = 97,7$	0	100	2,3
6	$300 \times 0,1168 = 35$	+30	110	45
7	$500 \times 0,08883 = 44,4$	+5	100	50,6

⁵¹ Fonte (modificada): HESS, Geraldo; MARQUES, José Luiz; PAES, L.C. Rocha e PUCCINI, Abelardo. **Engenharia Econômica**. Editora Forum, Rio de Janeiro. 2a. Edição, 1971.

Como os projetos apresentam vidas econômicas diferentes foi aplicado o método do custo anual equivalente, sendo feita a subtração entre os valores de benefícios e custos anuais.

Portanto, a ordem de prioridade dos projetos seria: 7; 6; 1; 2; 4; 3 e 5.
Com os recursos disponíveis, seriam executados os projetos: 7;6;1;2 e 4.

4.5 - EXEMPLO DO MÉTODO DE RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO (B/C).

Este método, utilizado de forma isolada, é desaconselhável, conforme veremos no exemplo⁵².

Uma das primeiras dificuldades é saber se, a redução dos custos de manutenção é uma redução de custos ou um aumento dos benefícios, pois os resultados são diferentes, conforme exemplo a seguir:

Exemplo: Dados:- B = 10 C = 4 e Custos de Manut. = -2
Podemos ter qualquer dos resultados a seguir:-

1) $B/C = (10 + 2)/4 = 3$ ou

2) $B/C = 10/(4-2) = 5$

Para o exemplo baseado em HESS⁵², já apresentado no método anterior, considerando os custos de manutenção como uma redução ou um acréscimo dos benefícios, tem-se no quadro 4.2 os valores de B/C (Benefícios/Custos):

Quadro 4.2 Exemplos de Projetos e Relações B/C (u.m. 10³)

Projeto	B = Benefícios - Custos Anuais	Custo Anual de Recuperação do Capital	B/C
1	190	160	1,18
2	65	46,7	1,38
3	60	53,3	1,13
4	50	40,7	1,22
5	100	97,7	1,02
6	80	35	2,29
7	95	44,6	2,11

Verifica-se que a ordem de prioridade de realização dos projetos foi alterada, passando a ser: 6; 7; 2; 4; 1; 3 e 5.

Esta ordem é errada; há necessidade de analisar o que ocorre com os investimentos adicionais, da mesma forma como foi visto no método da taxa interna de retorno. Esta análise é desenvolvida no método seguinte.

⁵²Fonte (modificada): HESS, Geraldo; MARQUES, José Luiz; PAES, L.C. Rocha e PUCCINI, Abelardo. **Engenharia Econômica**. Editora Forum, Rio de Janeiro. 2a. Edição, 1971.

4.6 - EXEMPLO DO MÉTODO DA RELAÇÃO INCREMENTAL DE BENEFÍCIO/CUSTO ($\Delta B/\Delta C$).

Neste método, faz-se uma relação dos projetos por ordem crescente dos investimentos iniciais, e comparam-se os projetos dois a dois, conforme o quadro 4.3 a seguir⁶²:

Quadro 4. 3 Exemplos de Projetos - Método ($\Delta B/\Delta C$). (u.m. 10^3)

Projeto	Investimento	Acréscimo de Benefícios	Acréscimo de Custos	Acréscimo de B/C	Projetos Comparados
6	300	80	35	2,29	6 e nada
2	400	-15	11,7	-	2 menos 6
4	400	-30	5,7	-	4 - 6
7	500	15	9,4	1,6	7 - 6
3	600	-35	8,9	-	3 - 7
5	1100	5	53,3	0,09	5 - 7
1	1800	85	115,6	0,74	1 - 7

Compara-se o projeto de menor investimento com o seguinte, enquanto a relação de acréscimo de B/C for menor que "1". Sendo maior que "1", significa que o projeto seguinte é melhor que o anterior.

No caso do quadro 4.3, verifica-se que o projeto "6" é melhor do que os projetos "2" e "4" porém, é pior do que o projeto "7", que por sua vez, é melhor do que os demais.

Do quadro 4.3 retira-se o projeto "7" como o melhor e é refeito o quadro, sem a inclusão deste projeto.

Quadro 4.4 Exemplos de Projetos - Método ($\Delta B/\Delta C$). (u.m. 10^3)

Projeto	Investimento	Acréscimo de Benefícios	Acréscimo de Custos	Acréscimo de B/C	Projetos Comparados
6	300	80	35	2,29	6 e nada
2	400	-15	11,7	-	2 menos 6
4	400	-30	5,7	-	4 - 6
3	600	-20	18,3	-	3 - 6
5	1100	20	62,7	0,32	5 - 6
1	1800	100	125	0,80	1 - 6

Escolhe-se agora o projeto 6 como o melhor e volta-se a fazer o quadro sem o mesmo e assim, sucessivamente, até se chegar à ordem correta de prioridade dos projetos, ou seja: 7; 6; 1; 2; 4; 3 e 5.

4.7 - TÉCNICAS OU CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO.

As técnicas de avaliação de alternativas, baseadas em critérios de classificação, requerem a análise do desempenho das mesmas segundo uma série de critérios, que devem ser desenvolvidos em cada caso.

Normalmente são atribuídos pesos para cada um dos critérios de forma que o desempenho global de cada alternativa possa ser avaliado, em relação a uma única dimensão.

A grande dificuldade desta técnica reside na atribuição, no caso subjetiva, dos pesos relativos entre os diferentes critérios. Quando possível, a própria comunidade pode colaborar na definição destes pesos, tendo-se o cuidado para que a decisão seja imparcial, não havendo o favorecimento de grupos minoritários mais atuantes.

A segunda maior deficiência é a dificuldade em comunicar-se o desempenho relativo das alternativas às autoridades que decidem, o que faz com que esta técnica possa ser, em muitos casos, mais uma regra de decisão do que prover informações para o poder decisório.

No quadro a seguir, apresenta-se uma lista de critérios ou medidas de objetivos apresentados no “Canadian Transit Handbook” editado pelo órgão canadense responsável pelas diretrizes neste setor.

4.8 - MÉTODO DO CUSTO - EFICÁCIA.

Na técnica anterior ocorrem dificuldades para obter os pesos que reduzem um vetor de critérios de avaliação a um único valor; neste método cada alternativa é avaliada em espaços multi-dimensionais de custo-eficácia.

Neste método os atributos das alternativas são classificados em 1) custos e 2) critérios de avaliação ou medidas de eficácia. Os atributos das alternativas não são reduzidos a um único valor.

O TRB - Transportation Research Board dos Estados Unidos, estabelece as seguintes orientações gerais para aplicação do método de custo-eficácia⁵³ :

- a - O processo de avaliação deve fazer uma distinção cuidadosa entre os custos e as medidas de eficácia (positivas e negativas).
- b - Considerar a incidência dos custos e efeitos sobre os vários grupos da população (definidos por características socio-econômicas e localização).
- c - Efetuar análises marginais avaliando o impacto de investimentos adicionais na eficácia de cada alternativa.
- d - O processo de avaliação deve mostrar as diferenças entre as alternativas de forma a facilitar a decisão.
- e - Analisar incertezas relacionadas com previsões de cada alternativa com análises de sensibilidade.

Quadro no. 4.5 - Critérios para Avaliação de Alternativas ⁵³.

MEDIDAS DE OBJETIVOS DA COMUNIDADE	
- Poluição do ar - Consumo de terrenos - Diferenças de acessibilidade	- Diferenças de custos unitários de deslocamentos. - Gastos em transportes
MEDIDAS DE OBJETIVOS PARA NÃO USUÁRIOS	
- Acessibilidade ao comércio - Desapropriação de residências - Deslocamentos de locais de trabalho	- Impactos de ruídos - Ruptura de vizinhanças - Compatibilidade das Facilidades de Transportes
MEDIDAS DE OBJETIVOS DE USUÁRIOS	
- Acessibilidade pessoal - Tempo total de deslocamento - Tempo de Acesso - Congestionamentos - Custo total da viagem	- Custos diretos da viagem - Área de cobertura - Satisfação dos Usuários - Taxa de acidentes - Atividades Criminais
MEDIDAS DOS OBJETIVOS DOS OPERADORES	
- Receita bruta - Custos de Operação - Custos de Investimentos	- Produtividade - Utilização das facilidades

Neste método, os resultados analíticos são fornecidos pelos técnicos às autoridades, não ocorrendo regras diretas de decisão.

Como exemplo de custos e medidas de eficácia a serem analisados temos os seguintes:

Fatores de projeto - Custos operacionais dos veículos, custos dos acidentes, velocidade média do tráfego, distância de viagem, etc.

Fatores de transporte - Volume médio diário de tráfego, volume de pico, demanda por transporte, etc.

Preferências Pessoais - Conforto e conveniência.

Fatores Sociais - Nível de ruído, poluição do ar, número de famílias removidas devido à obra, número de empregos eliminados ou relocados, etc.

⁵⁰Fonte: TRANSPORTS CANADÁ. *Canadian Transit Handbook*. Centre de Developpment des Transports. 1982

Fatores Comunitários - Área total ocupada, eliminação de áreas de recreação, prejuízos a locais históricos, grau de atendimento de metas da comunidade, etc..

Fatores Estéticos - Obstrução de panoramas, beleza de obras de arte, etc.

Benefícios aos não-usuários - valorização da propriedade, atração de novas indústrias, aumento de atividades comerciais, etc.

A título de exemplo de aplicação deste método, apresenta-se no quadro a seguir os resultados da avaliação das modalidades de transportes públicos considerados no Estudo do Corredor Sul da cidade de Calgary no Canadá (ref. Canadian Transit Handbook⁶³) em 1976.

Obs. (1) Somente os resultados da 2a. alternativa entre 5 outras de pré-metrô estudadas são apresentados.

(2) São apresentados os impactos em uma das 4 áreas estudadas.

(3) Conveniência - medida pela frequência e a integração com outros serviços.

(4) Conforto - medido pela qualidade de viagem, nível no interior dos veículos e % do total dos passageiros que ficam em pé nos horários de pico.

Conforme o exemplo do quadro a seguir, observa-se que este método é muito utilizado para análises de alternativas de investimentos em transportes públicos urbanos em grandes cidades.

A seguir apresentam-se considerações gerais sobre a interdependência entre os critérios de avaliação (método dos triângulos) e sobre os modelos de representação das avaliações.

Quadro no. 4.6 - Exemplo de aplicação do Método de Avaliação Custo-Eficácia - Corredor Sul da cidade de Calgary no Canadá ⁵³.

Critérios de Avaliação	Modalidades de Transportes Públicos.		
	Faixas Exclusivas para ônibus	Pistas Exclusivas para ônibus	Pré-Metro (1).
Objetivos do Transporte Público - aumento do papel do mesmo no corredor.	Capacidade e Nível de Serviço Limitados.	Nível de Serviço equivalente ao Pré-metrô, porém tende a piorar no futuro.	Capacidade e Nível de Serviço suficientes para reforçarem o papel dos transportes públicos.
Considerações Operacionais:-			
. Impacto do Tráfego	alto	pequeno	pequeno
. Flexibilidade p/ aumentar capacidade	difícil	pequena	boa
. Compatibilidade com Malha Futura.	difícil	pequena	boa
. Tempo Percurso anual (10 ⁶ pass/h).	40	33	26 - 28
. Conveniência (3).	boa	adequada a boa	adequada
. Conforto (4).	baixo	médio	médio
. Considerações de Custos (US 106).			
. Custo total de Investimento	17,57	90,41	115,81
. Custo anual de Investimento.	1,82	7,87	10,36
. Custo Anual de Operação.	3,71	3,36	1,90
. Custo Anual total.	5,53	11,23	12,26
Impactos Sociais e Ambientais(2).			
. Intrusão Visual.	-1	-1	-3
. Espaço Aberto	0	0	0
. Residências Destru.	0	0	0
. Prédios comerciais e industriais destru.	0	8 prédios	2 prédios
. Prédios adquiridos.	0	1 prédio	1 prédio
. Conectividade p/pedestres	-1	-1	0
. Ruído.	-2	-2	-1
. Poluição do ar.	-2	-2	0

4.9 - INTERDEPENDÊNCIA ENTRE OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Na avaliação dos projetos de transporte, além dos critérios quantificados monetariamente, como o custo, podem haver outros critérios, como os ligados a poluição do ar, segurança, estética, conforto, etc.

Para que não ocorra a dupla contagem de benefícios, os critérios devem ser de preferência o mais independente possível um do outro.

Os métodos da Teoria dos Conjuntos Aproximativos ou Método dos Triângulos⁵⁴ podem ser utilizados para reduzir as interdependências entre os critérios .

Método da Teoria dos Conjuntos Aproximativos.

Este método agrega critérios indiscerníveis (sem muitas informações) para facilitar a escolha de alternativas de investimentos.

Método dos Triângulos.

Consiste numa abordagem heurística para reduzir o número de critérios.

Neste método elaboram-se figuras triangulares (ver exemplo) nas quais os pares de critérios são confrontados entre si, observando-se de forma subjetiva a interdependência.

Exemplo - Fonte Autran⁵⁴ de Aplicação do Método dos Triângulos

Sejam os seguintes os benefícios atribuídos à construção de uma dada estrada:

A) Para os habitantes de uma dada cidade:

1- Melhoria da qualidade de vida urbana (acesso a serviços médicos e hospitais, ensino de 2o. e 3o. graus, aquisição de bens de consumo, facilidade para viagens e aumento de opções de turismo).

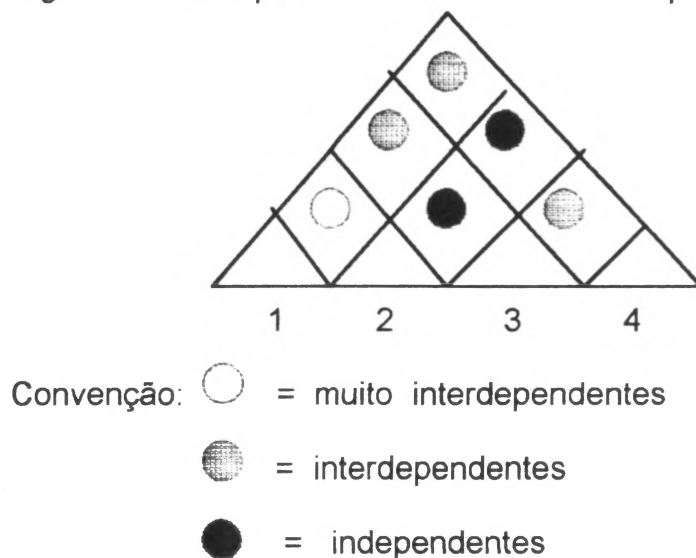
2- Expansão da atividade econômica (escoamento da produção agrícola e industrial em veículos).

3- Melhoria do turismo local (interesse de hotéis, restaurantes e valorização imobiliária).

4- Preservação do conjunto histórico - arquitetônico e ambiental.

⁵⁴ FERREIRA, Anna Christina S. e GOMES, Luiz F. Autran M - **Critérios de Decisão em Transportes - Uma Análise Comparativa de Dois Métodos Analíticos para a Redução de Interdependência**. Recife, ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1994, 10p

Fig. 4.2 - Interdependência entre os critérios pelo método dos triângulos.

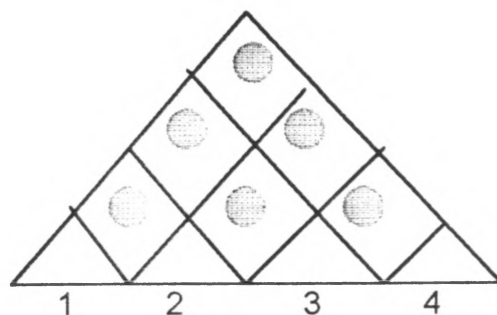


Critérios escolhidos 1 e 2.

B) Para o IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente.

- 1- Minimização de danos às espécies animais e vegetais.
- 2- Melhorar acesso para a fiscalização do meio ambiente.
- 3- Minimizar o desmatamento.
- 4- Minimizar o risco de incêndio.

Fig. no. 4.3 - Interdependência entre os critérios pelo método dos triângulos

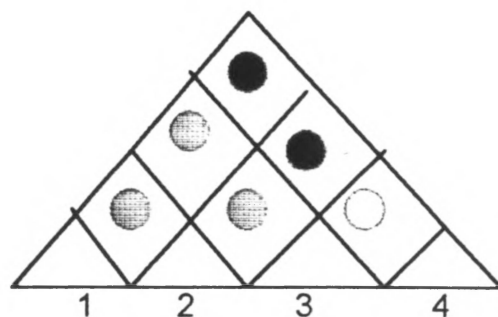


Critérios escolhidos 1 (Impacto Ambiental)

C) Para a Engenharia Rodoviária

- 1- Redução do custo de construção da rodovia.
- 2- Redução do custo de conservação da rodovia.
- 3- Redução do custo de operação dos usuários.
- 4- Minimização de erosão e deslizamento do solo.

Fig. 4.4 - Interdependência entre os critérios pelo método dos triângulos



Critérios escolhidos 1 (Redução de Custos) e 4.

4.10 - ASPECTOS QUE INFLUENCIAM OS TIPOS DE AVALIAÇÃO.

Os tipos de avaliação de investimentos em transportes, considerando-se as formas de decisão, podem ser classificados em:

- Avaliação Analítica - baseada nas racionalidades profissionais dominantes do setor de transportes.

Permite uma primeira triagem entre os projetos e torna mais difícil decisões absurdas. Constitui um guia para a obtenção de informações pertinentes e serve de suporte nas negociações.

- Avaliação Procedural - baseada nos grupos de pressão interessados no encaminhamento da decisão.

Considera a factibilidade política prevendo as reações do ambiente, os estudos alimentam discussões e negociações. As decisões são influenciadas pelas estruturas formais e informais das organizações.

- Avaliação Mobilizadora - baseada na criação de dinâmicas públicas favoráveis, fundadas na exaltação da modernidade das propostas e com justificativas sintéticas de sua eficácia.

Através de técnicas de marketing procura persuadir a opinião pública do bom fundamento do projeto.

No quadro 4.7 a seguir apresenta-se como são considerados alguns aspectos nestes diferentes tipos de avaliação.

Quadro 4.7 - SÍNTESE DOS MODELOS DE REPRESENTAÇÃO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO⁵⁵

Aspectos observados	Avaliação ANALÍTICA	Avaliação PROCEDURAL	Avaliação MOBILIZADORA
LOGICA	A razão dominante	o conflito criador	o marketing estratégico
OBJETIVOS	legitimação no seio do setor profissional	negociação com os grupos de pressão	criação da adesão política
MECANISMO	otimização	negociação	argumentação
PRODUÇÃO	verdade global	elementos não inverossímeis	sinais e símbolos
CONTEÚDO	estudos econômicos	todos estudos	todos discursos
FORMALIZAÇÃO METODOLÓGICA	análise custos-benefícios	análise multi-critério interativa	marketing
INSTÂNCIA DE REFERÊNCIA	econômica	política	ideológica
"CULTURA"	cultura do serviço público monopolístico	cultura do serviço público profissionalizado e democrático	cultura da empresa
ATORES DOMINANTES	administração dos transportes	instituições técnico-políticas locais	empresas de transporte
INTERLOCUTORES DOMINANTES	administração do orçamento	sociedade civil	opinião pública
FUNÇÃO DO EXPERT	juiz-árbitro	advogado	prescritor
MODELO DE DECISÃO (Sfez 1984)	"homem certo"	"homem provável"	"homem aleatório"
PARADIGMA DA MUDANÇA	causalidade	sistema	supercodificação
OBJETO PRIVILEGIADO	rede rodoviária	transporte coletivo urbano	adaptação das redes
CONTEXTO SOCIO-ECONÔMICO	crescimento e consenso social	crise econômica social	gestão da "crise"

⁵⁵Fonte. INRETS. **Les grands projets de transports. Langages de l'évaluation, discours de la décision.** Synthèse INRETS n.10, Département Economie et Sociologie des Transports, Mission Prospective, novembre, 1987. In: BRALOWAS, Branca e BODMER, Milena. Evolução dos métodos de avaliação e as decisões em transportes. VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET. Recife, 21 a 25/11/94.

5 APLICAÇÕES DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES.

5.1 INTRODUÇÃO.

A programação linear baseia-se na solução de sistemas de equações lineares. Esta técnica também pode ser aplicada na escolha de investimentos na área dos transportes, pelo que inclui-se alguns exemplos de aplicação da mesma neste trabalho.

Normalmente define-se uma função “objetivo” que deverá ser maximizada, no caso de lucros ou minimizada, no caso de custos.

A função objetivo é sujeita a uma série de restrições representadas pelas chamadas equações de “restrição”.

Esta técnica é também muito utilizada pelas indústrias para a definição das quantidades a serem produzidas de diferentes produtos.

A seguir apresentamos um exemplo desta metodologia, mostrando como a mesma pode ser aplicada à análise de alternativas de transporte.

5.2 EXEMPLO 1 - CONSTRUÇÃO DE VIAS DE TRANSPORTES.

No quadro 5.1 abaixo têm-se equipes responsáveis pela execução dos serviços principais da construção tanto de rodovias como de ferrovias.

Considerando um trecho de 10 km de uma rodovia e um trecho de 10 km de uma ferrovia independentes, com os tempos de construção dos diferentes serviços e os benefícios para a comunidade de cada projeto, pergunta-se: Quantos quilômetros devem ser feitos por ano de cada modalidade de transporte de forma que os benefícios para a coletividade sejam maximizados?

Quadro 5.1 - Equipes e Tempo de Realização dos Serviços.

	Rodovia (10 Km)	Ferrovia (10 Km)
Equipe de Terraplanagem A	4 meses	---
Equipe de Terraplanagem B	---	6 meses
Equipe de Drenagem	3 meses	4 meses
Equipe de Superestrutura	2 meses	6 meses

Os valores atuais (ver método do valor atual) dos custos e benefícios de cada projeto são apresentados no quadro 5.2 a seguir:

Quadro 5.2 - Custos e Benefícios dos Projetos.

Modalidade	Custo de Construção	Redução de Custos de Operação (Benefícios).
Rodovia	R\$ 1.000.000,00	R\$ 2.000.000,00
Ferrovia	R\$ 5.000.000,00	R\$ 7.000.000,00

Solução:

$$\text{Lucro da Rodovia (R)} = (2 \times 10^6 - 1 \times 10^6) = \text{R\$ } 1 \times 10^6$$

$$\text{Lucro da Ferrovia (F)} = (7 \times 10^6 - 5 \times 10^6) = \text{R\$ } 2 \times 10^6$$

Portanto a equação objetivo será maximizar o lucro total dado por:

$$L = 1 \times 10^6 \times R + 2 \times 10^6 \times F$$

Sujeita as seguintes inequações de restrição;

$R \leq 3$ (A equipe A de terraplanagem só pode realizar 3 trechos rodoviários de 10 km por ano).

$B \leq 2$ (A equipe B de terraplanagem só pode realizar 2 trechos ferroviários de 10 km por ano).

$3.R + 4.F \leq 12$ (A equipe de drenagem leva 3 meses para fazer um trecho rodoviário de 10 km e 4 meses para fazer um trecho ferroviário de 10 km).

$2.R + 6.F \leq 12$ (a equipe de superestrutura leva 2 meses para fazer o pavimento de um trecho rodoviário de 10 km e 6 meses para fazer a parte de lastro, dormentes e trilhos num trecho ferroviário de 10 km).

$R \geq 0$ (a quantidade de rodovias a serem construídas não pode ser negativa).

$F \geq 0$ (idem para a ferrovia)

Considerando a equação objetivo:

$$L = 1 \times 10^6 \cdot R + 2 \times 10^6 \cdot F$$

Este problema pode ser resolvido graficamente, desenhando num mesmo gráfico todas as equações de restrição. Estas equações definirão uma área do gráfico onde se encontram as soluções possíveis.

Para encontrar a melhor solução traçam-se linhas de isolucro (função objetivo), arbitrando valores para o lucro.

Pode-se arbitrar valores para duas variáveis (L e R por exemplo) e encontrar a terceira variável de modo a poder traçar num gráfico a função objetivo.

Para $L = 0$ e $R = 1$

$F = -0,5$

O que resulta na reta de lucros "1" da figura 5.1.

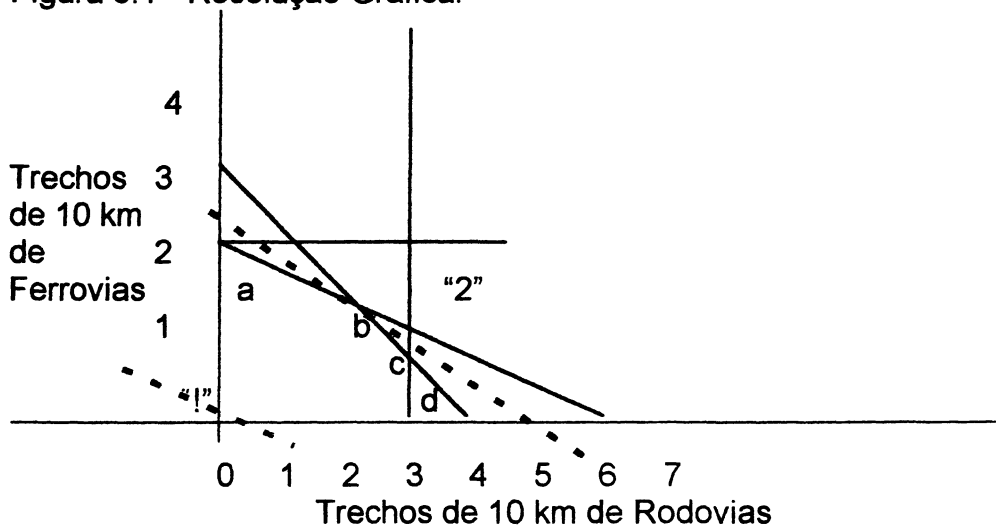
Para $L = 6 \times 10^6$,

se $R = 0$; $F = 3,0$
 se $R = 1$; $F = 2,5$
 se $R = 2$; $F = 2$
 se $R = 4$; $F = 1$
 se $R = 6$; $F = 0$

Os pontos acima definem a reta "2" da figura 5.1.

Verifica-se que a linha de isolucro se desloca sempre paralelamente a si mesmo, estando o lucro máximo no ponto onde a linha de isocusto tangência esta área, conforme a figura 5.1 a seguir.

Figura 5.1 - Resolução Gráfica.



Em a , $L = 2 \cdot 2 \times 10^6 = \underline{4 \times 10^6}$

Em d , $L = 3 \cdot 1 \times 10^6 = \underline{3 \times 10^6}$

Em b ,

$1/4 \cdot R + 1/3 \cdot F \leq 1$

$1/6 \cdot R + 1/2 \cdot F \leq 1$

$R + 4/3 \cdot F \leq 4$

$R + 3 \cdot F \leq 6$

$3 \cdot F - 4/3 \cdot F = 2$

$5 \cdot F = 6$

$$F = 1,2 ; R = 6 - 3.1,2 = 2,4$$

Para $R = 2,4$ e $F = 1,2$,

$$\text{Em } \underline{b}, L = 1,2 \cdot 2 \times 10^6 + 2,4 \cdot 1 \times 10^6 = \underline{4,8 \times 10^6}$$

Em $\underline{c}$, para $R = 3$;

$$1/4.R + 1/3.F \leq 1$$

$$F = 0,75$$

$$L = 1 \times 10^6 \cdot 3 + 2 \times 10^6 \cdot 0,75 = \underline{4,5 \times 10^6}$$

Conclui-se que a melhor posição é em $\underline{b}$, onde $R = 2,4$ e $F = 1,2$ tendo um lucro de $4,8 \times 10^6$ u.m.

O método de programação linear permite ver também as folgas nas equipes (ou fatores de produção) de forma a otimizar o dimensionamento das equipes. Neste exemplo temos:

Folga Anual :

	FOLGA
- Equipe de Terraplanagem A → trabalham $4 \cdot 2,4 = 9,6$ meses	2,4 meses
- Equipe de Terraplanagem B → trabalham $6 \cdot 1,2 = 7,2$ meses	4,8 meses
- Equipe de Drenagem → trabalham $2,4 \cdot 3 + 4 \cdot 1,2 = 12$ meses	-----
- Equipe de Superestrutura → trabalham $2,4 \cdot 2 + 1,2 \cdot 6 = 12$ meses	-----

Pode ser aconselhável reduzir o dimensionamento das equipes de terraplanagem de forma a reduzir as folgas.

No exemplo apresentado não foram consideradas algumas variáveis como a possibilidade de ocorrência de chuvas prolongadas que poderiam atrasar o cronograma dos serviços.

Caso fossem considerados mais de 2 (dois) meios de transporte, a resolução na forma gráfica não é possível na maioria dos casos, devendo-se utilizar métodos matemáticos para resolução de inequações (Método Simplex, por exemplo). Podem ser também utilizados programas de computador já desenvolvidos, como o "QSB" (ref. 7).

A programação linear, pode ser também utilizada nos problemas de transporte de mercadorias, podendo ser estas mercadorias inclusive utilizadas em obras de construção de vias de transporte, conforme os exemplos a seguir.

5.3 EXEMPLO 2 - TRANSPORTE DE MERCADORIAS - MINIMIZAR CUSTOS.

Supõe-se que 3 (três) diferentes tipos de cargas a serem transportadas apresentem os mesmos valores de receitas para uma dada empresa de transportes. A empresa dispõe de um só equipamento de carga e de 2(dois) trabalhadores e trabalha 8 (horas) por dia.

Os tempos de carga (ou descarga), em função das horas de uso dos equipamentos (Eh) e das horas de utilização do pessoal (Hh) são os seguintes:

Blockret - 0,1 horas de equipamento(Eh) e 0,5 horas de pessoal(Hh).

Postes - 0,45 horas de equipamento(Eh) e 0,7 horas de pessoal(Hh).

Tubos - 0,15 horas de equipamento(Eh) e 0,4 horas de pessoal(Hh).

Além disso, o custo da mão-de-obra (Hh) é de 6 reais por hora e o custo do equipamento hora (Eh) é de 4 reais por hora.

Supondo que a empresa deseja efetuar 20 (vinte) carregamentos por dia, pede-se determinar que carregamentos devem ser escolhidos?

Resolução: Os custos de uma operação de carga para os diferentes tipos de materiais são dados por:

Blockret - $0,1 \times 4 + 0,5 \times 6 = \text{R\$ } 3,40$

Postes - $0,45 \times 4 + 0,75 \times 6 = \text{R\$ } 6,30$

Tubos - $0,15 \times 4 + 0,4 \times 6 = \text{R\$ } 3,00$

Portanto a equação “objetivo” de custo total (CT) a ser minimizado será dada por:

$$CT = 3,4 \times B + 6,3 \times P + 3 \times T \quad \text{ou} \quad CT = 6 \times Hh + 4 \times Eh$$

As equações de restrição neste exemplo são:

$$0,1 \times B + 0,45 \times P + 0,15 \times T \leq 8 \text{ horas}$$

$$0,5 \times B + 0,75 \times P + 0,4 \times T \leq 16 \text{ horas}$$

$$B + P + T = 20 \text{ carregamentos.}$$

Além disso o número de carregamentos de blockret, tubos ou postes não podem ser negativos.

Traça-se um gráfico (fig. 5.2), colocando-se nos eixos as quantidades de horas disponíveis em termos de equipamento e de trabalhadores. Neste gráfico traçam-se vetores que correspondem as possibilidades de produção de cada tipo de carregamento. Neste gráfico podem ser traçadas as curvas de isoquantas e a linha de isocusto que determinarão os tipos de carregamentos de custos mínimos.

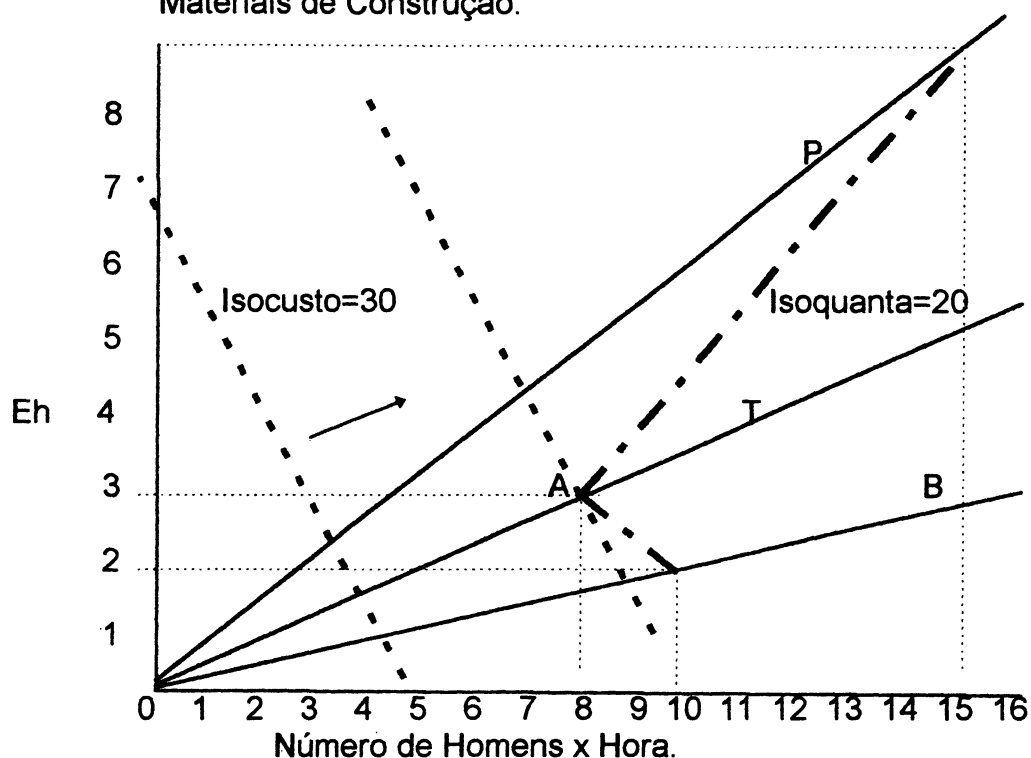
Este exemplo pode também ser resolvido por métodos matemáticos inclusive com o uso de programas de computador, como o QSB (ref.7).

A linha de isocusto se desloca, na figura 5.2 de forma paralela e o primeiro ponto da curva de Isoquanta (20) que encontra é o ponto “A”. Ou seja o custo mínimo para a produção de 20 carregamentos de tubos será de $20 \times 3 = 60$ reais.

A empresa de transportes neste caso escolheria fazer 20 carregamentos de tubos, desde que todas as receitas fossem iguais. O custo mínimo será de:

$$20 \times 3 = \underline{60 \text{ reais.}}$$

Figura 5.2 Solução Gráfica - Minimização de custos de Transporte de Materiais de Construção.



5.4 EXEMPLO 3 - TRANSPORTE DE MERCADORIAS - MAXIMIZAR LUCROS.

Supondo que no exemplo anterior, as receitas sejam diferentes, ou seja ocorram lucros diferentes. Sejam por exemplo os seguintes lucros por carregamento:

Lucro por carregamento de Blockret = 30 reais.

Lucro por carregamento de Poste = 50 reais.

Lucro por carregamento de Tubos = 70 reais.

Neste exemplo a função "objetivo", constitui o lucro a ser maximizado:

$$L = 30 \times B + 50 \times P + 70 \times T$$

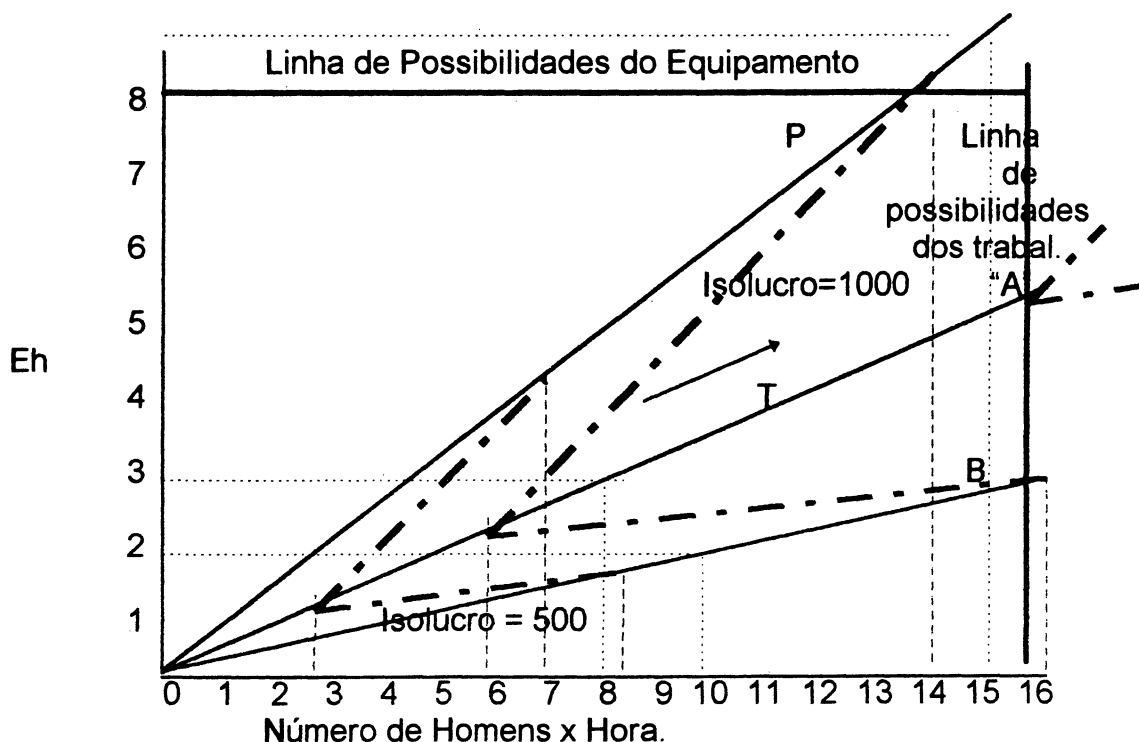
Neste caso no desenho anterior traçam-se as linhas de isolucros e as linhas de possibilidades de produção. Para as linhas de isolucros arbitra-se valores dos lucros (por exemplo 500 reais e 1000 reais) e verifica-se as quantidades de carregamentos necessários, conforme quadro 5.3 a seguir:

Quadro 5.3 - Número de Carregamentos Necessários.

Lucro	Blockret		Poste		Tubo	
	Número	Hh	Número	Hh	Número	Hh
500	16,66	8,33	10	7	7,14	2,856
1000	33,33	16,66	20	14	14,28	5,712

Na figura 5.3 a seguir verifica-se que as linhas de isolucros, traçadas com as quantidades da tabela anterior, são paralelas, sendo que a linha de maior lucro tem um ponto na linha de possibilidades de produção "A".

Figura 5.3 - Solução Gráfica - Exemplo de Maximização de Lucros no Transporte de Materiais para a Construção de vias.



O lucro máximo será dado pelo transporte de tubos, sendo produzidos $16/0,4 = 40$ carregamentos, e obtendo-se o lucro total diário de $40 \times 70 = \underline{2800}$ reais.

5.5 CRÍTICAS À UTILIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR.

A programação linear considera equações com valores fixos para os coeficientes das variáveis ou seja, os rendimentos ou valores de custos ou tempos de realização de serviços são sempre constantes, portanto, a Lei dos

Rendimentos Decrescentes da Produção Marginal não é aplicável. No caso do problema, cada 10 km de rodovia eram sempre realizados em 4 meses pela equipe de terraplanagem independentemente do número de trechos que fossem realizados. O número de trabalhadores nas equipes, caso seja aumentado, não haverá a mesma produtividade marginal, podendo haver inclusive redução da produtividade global.

Em geral, as análises de programação linear são ditas de curto prazo, já que os custos fixos permanecem constantes. Este aspecto não ocorre no exemplo apresentado.

Todas as unidades das variáveis consomem a mesma quantidade dos recursos, a equipe de terraplanagem "A" sempre levava 4 meses para efetuar 10 km de rodovia e a equipe de terraplanagem "B" sempre levava 6 meses para fazer 10 km de ferrovia independentemente do número de trechos que fossem realizados. Devido a prática adquirida é normal que a produtividade aumente. Neste caso não se está alterando o número de trabalhadores por equipe. Não existe desta forma qualquer economia de escala; sabe-se que na realidade quando uma dada tarefa se torna repetitiva surgem reduções de custos inclusive com a possibilidade de mecanização dos processos.

Os benefícios são considerados na equação objetiva como sendo iguais, na verdade deverão ser diferentes para cada trecho a ser considerado. Eventualmente pode inclusive haver prejuízos ao invés de benefícios, em um trecho mal executado, o que não é considerado nas inequações formuladas.

Os custos fixos também não são considerados na resolução dos problemas por programação linear. Podem ocorrer custos fixos mesmo sem nenhuma realização de serviços.

Uma função linear também tem que ser aditiva, ou seja:-

$$f(X_1 + \dots + X_n) = f(X_1) + \dots + f(X_n)$$

A contribuição de cada variável " X_j " não depende da presença ou ausência das outras variáveis. No caso do exemplo, a construção de um trecho rodoviário poderia aumentar os benefícios de um trecho ferroviário, o que não é considerado.

As variáveis " X_j " devem ser além de não negativas, contínuas. Ou seja os resultados podem ser fracionários. No exemplo dado, valores fracionários podem ser admitidos; porém, em outros casos estes resultados não são admitidos, devendo ser feita uma aproximação para os números inteiros mais próximos analisando qual o melhor resultado.

Resumindo , segundo. HILLIER E LIEBERMAN⁵⁶ as limitações da programação linear podem ser agrupadas em quatro tipos principais:

1- Proporcionalidade - a medida de efetividade do uso dos recursos deve ser proporcional ao nível de cada atividade conduzida individualmente (e não podem haver custos fixos).

2- Aditividade - não pode haver influência (iterações) entre as atividades no que diz respeito à medida de efetividade ou utilização dos recursos.

3- Divisibilidade - na solução ótima podem haver resultados fracionários.

4- Determinística - todos os coeficientes do modelo de programação linear devem ser constantes com valores conhecidos. (Em geral os valores são baseados em previsões futuras e na realidade podem ser inclusive variáveis aleatórias).

Estas críticas no entanto não impedem que este método seja bastante utilizado, conduzindo a resultados em muitos casos aceitáveis.

⁵⁶ HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN. Gerald J. **Introduction to operation research**. 11a. ed. São Francisco, EUA: Holden Day, 1973.

6 APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA EM INVESTIMENTOS DE TRANSPORTES

6.1 INTRODUÇÃO.

A Programação Dinâmica constitui-se também, numa das ferramentas a serem consideradas na programação dos investimentos, na área dos transportes, motivo pelo qual, são incluídas algumas considerações a respeito da mesma neste trabalho.

A escolha das vias de transporte que devem merecer investimentos por parte do governo, não deve ser feita considerando-se os custos e benefícios das diversas ligações de forma isolada.

Deve-se analisar os efeitos de modificações no tráfego, que possivelmente irão ocorrer em todos os segmentos da malha viária existente, quando é implantado ou melhorado um segmento qualquer.

Deverá ser determinada uma sequência ótima para o desenvolvimento do sistema de transportes (malha futura prevista), analisando as redes em um processo de múltiplos estágios, conforme a figura abaixo:

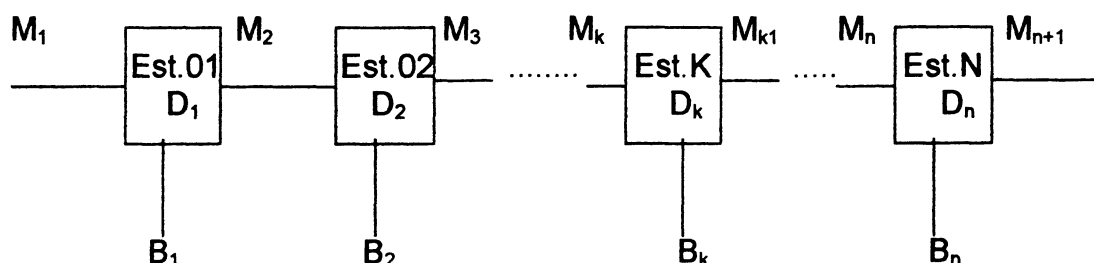


Fig. 6.1 -Sequência de Decisões para Otimização das Malhas de Transporte.

A análise das malhas, que poderão ser inclusive de diferentes modalidades de transporte, é feita numa sequência de decisões, sendo que a decisão em um período afeta as decisões nos períodos seguintes.

A partir da malha existente (M_1) toma-se a decisão (D_1) a respeito das vias a serem melhoradas ou construídas, obtendo-se os benefícios (B_1), (por exemplo com reduções de custos de operação, tempos de viagem e acidentes).

Para um novo estágio, entra-se com a nova malha (M_2) e assim sucessivamente.

O conjunto de todos os benefícios ($B_1; B_2; \dots; B_n$) na malha completa, levados ao mesmo instante de tempo pela(s) taxa(s) de juro(s) mais apropriada(s), deve ser maximizado (função a ser maximizada), evitando-se a análise isolada de trechos.

A solução pode ser encontrada através da programação dinâmica ou em estágios, partindo-se da decisão ótima para o último estágio (D_n), completando-se uma malha final proposta, após a consideração de todas as possíveis configurações de malhas intermediárias.

Considerando-se a disponibilidade cada vez maior dos computadores, a programação dinâmica pode ser cada vez mais utilizada para a avaliação dos investimentos em vias de transportes de forma global e otimizada, verificando-se não só se um investimento isolado é viável, mas também se o mesmo é o mais viável entre todos aqueles possíveis (da malha total) e quais as influências de cada investimento nos demais.

O exemplo apresentado a seguir, tem a finalidade de tão somente mostrar a possibilidade de uso da programação dinâmica, tendo sido feitas muitas simplificações, sobretudo no que diz respeito à projeção e alocação do tráfego em todos os trechos dos tipos de malhas e no cálculo dos benefícios globais. Para as etapas simplificadas existem diversos modelos, inclusive já computadorizados (programas TRANSCAD, TNET ou baterias de programa da UMTA) que poderão ser utilizados.

6.2 EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA APLICADA EM UMA MALHA DE TRANSPORTES.

Supõe-se que se deseja determinar a sequência de investimentos na malha da figura abaixo. Para simplificação será considerada uma única modalidade (ferrovia, por exemplo).

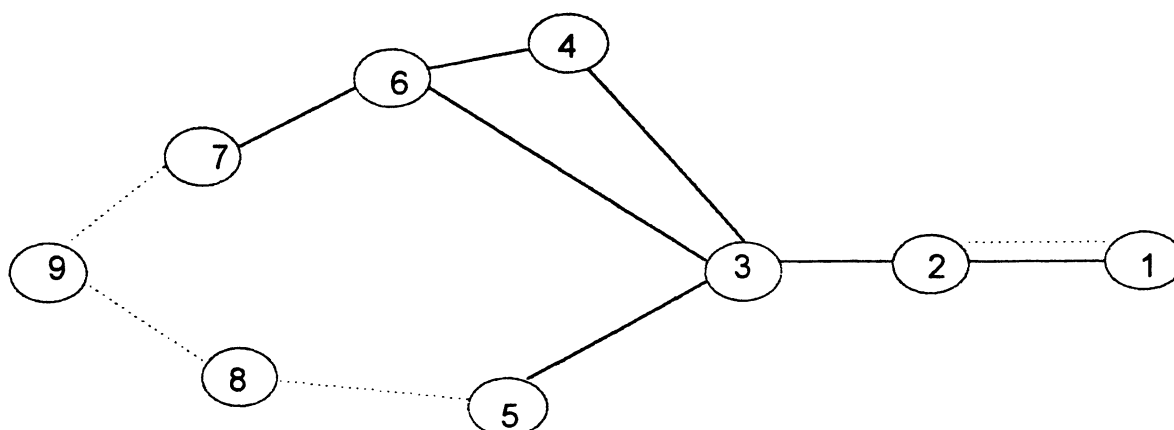


Fig. 6.2 - Exemplo de Malha de Transportes.

Existem 9 (nove) nós (cidades importantes por exemplo) a serem conectados.

As ligações entre as cidades 76; 64; 63; 34; 32 e 53 supõe-se que estejam em "boas condições" e com relativa folga de capacidade.

A ligação 21 necessita ser melhorada.

As ligações 97, 98 e 85 ainda não foram construídas.

Suponha-se que deverá ser formulado um plano de aplicação de investimentos para 3 anos, dividido em períodos ou estágios de 1 ano, para efeito de simplificação. Além disso, considera-se que em cada período só possa ser construída ou melhorada uma ligação. (Só seria feito 1 " link " da malha por ano devido à restrições financeiras ou de equipamentos).

Do exame prévio da malha, pode-se estabelecer que a ligação 98 deve aguardar a construção das ligações 85 ou 97 (supõe-se que o tráfego de longa distância por exemplo, escoamento de safras, seja mais importante que o tráfego local).

Com o uso da programação linear (ou de algum algoritmo, como o de Moore) pode-se com certa facilidade fazer a alocação do tráfego nas diferentes possibilidades de malha, ano a ano, e com estes valores calcular os valores atuais dos benefícios líquidos (benefícios brutos menos custos de construção e manutenção trazidos para uma mesma data) dos possíveis arranjos das ligações executadas em cada um dos períodos:

Neste exemplo fictício, apresentado como trabalho prático na disciplina de Métodos Quantitativos⁵⁷ supõe-se que após os cálculos citados tenha-se chegado ao seguinte quadro de benefícios líquidos:

Quadro 6.1 - Benefícios Líquidos

Novas Ligações Construídas ou Melhoradas	Benefícios Líquidos Obtidos para "todo" o Sistema		
	a-)Implantação no 1º ano	b-)Implantação no 2º ano	c-)Implantação no 3º ano
0	0	0	0
21	10	12	13
85	20	25	27
97	15	17	18
21 e 85	35	40	45
21 e 97	30	35	40
85 e 97	40	45	50
85 e 98	38	40	42
97 e 98	25	30	32
21, 85 e 97	50	52	55
21, 85 e 98	45	47	50
21, 97 e 98	42	45	48
85, 98 e 97	48	50	52
21, 85, 89 e 97	55	60	65

⁵⁷ CLEMENTE, Ademir. Notas de aula da disciplina de métodos quantitativos em economia. 1992

Em geral, devido ao aumento do tráfego, o benefício líquido no futuro para a mesma ligação pode ser maior, mesmo quando trazido ao valor atual (a taxa de retorno do capital ou seja os juros, seria neste caso, inferior à taxa de crescimento do tráfego); podem haver casos, contudo, em que ocorra diminuição nestes valores devido a construção de outras ligações que desviem o tráfego ou alguns casos com perda de benefícios, devido aos congestionamentos.

É preciso, contudo, deixar bem claro que o tráfego em cada ramo depende das outras possíveis opções e todo o sistema precisa ser considerado em cada alternativa de investimento individual.

Seguindo com o exemplo, monta-se a partir de observações dos benefícios líquidos do 3º ano (último período) do Quadro 6.1, o Quadro 6.2 que apresenta a decisão ótima que deve ser tomada no 3º período.

Neste quadro 6.2, relacionam-se:

- 1-) Possíveis configurações da malha no início do 3º período.
- 2-) Diferentes benefícios líquidos para a rede total com a adição de somente uma ligação (restrição de construção ou melhoria por período). Estes valores são retirados da 4ª coluna do quadro 6.1.
- 3-) Configuração da malha no final do 3º período, considerando o melhor benefício líquido de cada situação.

Quadro 6.2 - Ótima Decisão para o 3º ano

Configuração da malha no início do 3º período. Malha Atual (+)	Valor atual do benefício líquido para todo o sistema considerando cada ligação que poderá ser construída no 3º período.					Configuração da malha no final do 3º período, com a ótima decisão. Malha Atual (+)
	0	21	85	97	98	
(+) Nada	0	13	27	18	---	(+) 85
(+) 21	13	---	45	40	---	(+) 21 e 85
(+) 85	27	45	---	50	42	(+) 85 e 97
(+) 97	18	40	50	---	32	(+) 97 e 85
(+) 21 e 85	45	---	---	55	50	(+) 21, 85 e 97
(+) 21 e 97	40	---	55	---	48	(+) 21, 97 e 85
(+) 85 e 97	50	55	---	---	52	(+) 85, 97 e 21
(+) 85 e 98	42	50	---	52	---	(+) 85, 98 e 97
(+) 97 e 98	32	48	52	---	---	(+) 97, 98 e 85

A seguir, faz-se o mesmo para o 2º período, mas ao olhar o lucro líquido (benefício líquido) para o sistema total (3ª coluna do quadro 6.1), supõe-se que

no 3º período será tomada a decisão ótima e acrescenta-se o lucro líquido ótimo deste período.

Quadro 6.3- Ótima Decisão para o 2º ano

Configuração da malha no início do 2º período . Malha Atual (+)	Benefício líquido para todo o sistema para os estágios 2 e 3 considerando cada ligação a ser feita no estágio 2 e a ótima decisão no estágio 3.					Configuração da malha ao final do 2º período com a ótima decisão . Malha Atual (+)
	0	21	85	97	98	
(+) Nada	0+27	12+45	25+50	17+50	---	(+) 85
(+) 21	12+45	---	40+55	35+55	---	(+) 21 e 85
(+) 85	25+50	40+55	---	45+55	40+52	(+) 85 e 97
(+) 97	17+50	35+55	45+55	---	30+52	(+) 97 e 85

Finalmente, examinam-se as ligações que podem ser feitas no primeiro período, somando os benefícios líquidos nas ótimas opções dos estágios “2” e “3” cada um dos benefícios líquidos das alternativas do 1º período (coluna nº 2 do quadro 6.1).

Quadro 6.4 - Ótima Decisão para o 1º ano

Configuração atual da malha (no início do 1º ano)	Benefício Líquido total a ser obtido com decisões otimizadas nos períodos 2 e 3 e cada uma das ligações a serem construídas no 1º período.					Configuração da malha no final do 1º período com a decisão ótima
	0	21	85	97	98	
Malha Atual	0+25+50	10+45+55	20+45+55	14+45+55	---	Malha Atual (+) 85

Chega-se, portanto, à conclusão de que no primeiro ano deve-se construir a ligação 85, no segundo ano a ligação 97 e no último período a ligação 21 (melhoria), obtendo-se um benefício líquido em valor atual igual a 120 (20+45+55) que é o máximo possível após os 3 anos para este exemplo.

Com este procedimento, em algumas situações reais, pode ser que a ligação que no 1º ano parece ser a mais viável, não deva ser construída em primeiro lugar.

Os quadros efetuados apresentam um procedimento ótimo para todas as possíveis condições iniciais: se por qualquer razão a ligação 85 não fosse executada no 1º ano, sabe-se quais seriam os trechos a serem construídos ou melhorados nos anos seguintes, assim:

Quadro 6.5 Trechos a serem Implantados conforme a decisão do 1o. ano.

Se no 1º ano	No 2º ano deve-se construir	No 3º ano deve-se construir
Nenhuma ligação fosse feita	85	97
A ligação 21 fosse construída	85	97
A ligação 97 fosse construída	85	21

6.3 CONCLUSÕES.

1-) Um problema real, seria evidentemente resolvido com o auxílio de computadores, caso em que a malha seria composta por um número maior de trechos.

2-) A solução poderia ser obtida também graficamente através dos processos ditos de “árvore de expansão”, contudo o número de alternativas a serem avaliados poderia ser muito maior.

3-) Cada trecho (existente ou proposto) apresenta um benefício diferente em cada configuração da malha e período de tempo, podendo ser desenvolvidos modelos relacionado os volumes de tráfego e os custos de operação.

4-) A metodologia fornece a série otimizada dos investimentos para um número fixo de períodos, existe a possibilidade de obter-se resultados diferentes se outro período for acrescentado e a malha não estiver fechada.

5-) Os valores dos benefícios e custos são considerados num mesmo instante de tempo (valor atual) com o uso de uma dada taxa de juros; se esta taxa variar ao longo dos períodos a solução ótima pode ser diferente (Altas taxas favorecem os investimentos menores e de menor duração - por exemplo rodovias; com taxas baixas os investimentos em ferrovias ou rodovias mais onerosas apresentam mais vantagens).

6-) Da mesma forma, a variação dos custos de conservação e operação depende do tráfego, que pode não se comportar conforme as estimativas, assim, após cada período é conveniente fazer uma monitorização, para comprovar e ajustar as soluções e inclusive acrescentar novos períodos.

7-) A utilização das matrizes de origem e destino na solução dos investimentos é bastante trabalhosa, pois haveria necessidade de se ter uma matriz para cada tentativa de malha, assim sugere-se o emprego de capacidades de atração e geração das diversas áreas e a seguir com modelos já transformados em programas de computador, fazer a distribuição e alocação do tráfego em cada situação.

8-) Ao analisar-se um projeto isolado, procura-se fazer a análise de custos e benefícios marginais (para chegar a maior diferença entre os benefícios e os custos, ou obter as maiores taxas de retorno para os investimentos); desta forma constrói-se a via, com certas inclinações máximas para as rampas, raios mínimos de curvas horizontais e verticais, número de faixas mais adequadas, etc..., fazendo com que o custo total fique por exemplo o mais distante possível dos benefícios proporcionados e otimizando portanto os benefícios líquidos (usa-se também, para isso o conceito da 30ª hora do ano com tráfego mais intenso, por exemplo). Para uma análise global, de todas as tentativas de malha, pela metodologia exposta, deverão ser também analisadas alternativas em que os investimentos isolados não sejam os otimizados pelo processo descrito, o que dá a este método, muitas outras possibilidades de obter ganhos adicionais para a coletividade, além daqueles que a análise por trecho isolado possibilita.

7 - CONCEITOS ECONÔMICOS DE CUSTOS E BENEFÍCIOS PARA INVESTIMENTOS EM VIAS DE TRANSPORTE.

Na avaliação de investimentos na infra-estrutura dos transportes, ocorrem algumas particularidades que a diferenciam da avaliação de investimentos privados e mesmo dos investimentos públicos, em outros setores.

Na avaliação de investimentos em infra-estrutura viária, interessa analisar a sociedade em seu conjunto, sendo desenvolvidos esforços para que os recursos sejam aplicados, em toda a comunidade.

Neste caso, o conceito de receita das empresas é substituído pelo conceito de melhores condições de vida para a população.

Os custos das empresas privadas são substituídos pelo "custo de oportunidade" ou pelo valor social renunciado. Em vez de ganho, usa-se o excesso de benefício social em relação aos custos.

Neste caso, deverão ser considerados alguns aspectos particulares, sendo necessário que sejam feitas algumas considerações sobre alguns conceitos econômicos de custos e benefícios, tais como:

- 1) *Excedente do Consumidor.*
- 2) *Distinção entre benefícios e pagamentos por transferência.*
- 3) *Preços-sombra.*
- 4) *Economias e Deseconomias Externas.*
- 5) *Critérios de Análise de Investimentos.*
- 6) *Problemas de Incerteza.*
- 7) *Problemas de Riscos de Acidentes.*
- 8) *Benefícios Intangíveis.*
- 9) *Custos Marginais Sociais.*

A seguir serão feitas algumas considerações a respeito destes diferentes aspectos, mostrando a maneira como normalmente são considerados nas avaliações dos investimentos em transportes.

7.1 - EXCEDENTE DO CONSUMIDOR.

O conceito de excedente do consumidor pode ser entendido através da figura abaixo:

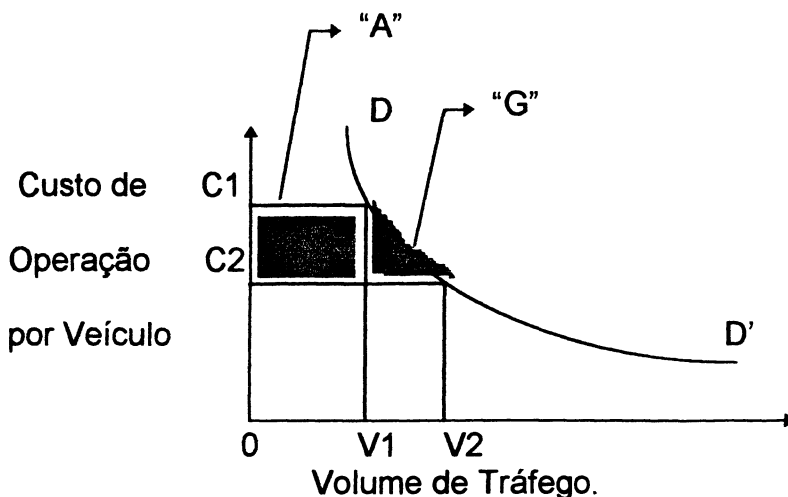


Fig. 7.1 - Excedente do Consumidor.

Na figura acima verifica-se que, caindo o custo de viagem de " $C1$ " para " $C2$ ", o número de viagens atuais " $OV1$ " teria uma economia de custo total igual à área do retângulo " A ". Além disso, com o custo de operação mais baixo, devem haver " $V1V2$ " viagens adicionais. O ganho extra dessas viagens é igual à área do triângulo " G ".

" $C1C2$ " representa a diferença entre o custo de operação anterior e o novo custo de operação, como por exemplo, devido à construção de uma nova via de transporte. O benefício dado pela diferença entre estes dois custos deverá ser atribuído ao tráfego já existente, dito também tráfego normal sendo além disso atribuído ao tráfego "desviado" de uma outra rota.

" $V1V2$ " constitui o chamado tráfego "gerado"; para o mesmo, o benefício será dado pela área do triângulo do excedente do consumidor " G ".

A economia obtida com a redução do custo de operação, representa um incremento do excedente do consumidor (neste caso dos usuários da via). O retângulo considerado, neste caso, representa um valor conservador atribuído ao benefício, já que não se consideram os benefícios (excedentes do consumidor) que ocorrerão com os bens adicionais, que poderão ser adquiridos devido à redução dos custos de operação (não considera, por exemplo, quilômetros adicionais, que poderão ser efetuados pelos usuários, em outras vias).

Os cálculos dos benefícios dos usuários das vias de transporte (excedente do consumidor) deverão ser efetuados durante toda a vida prevista para o projeto, ou seja, deverão ser previstos os volumes de tráfego futuro. Para

estes cálculos, é importante a análise dos possíveis aumentos da população e da renda real per capita, entre outros aspectos.

Havendo vias alternativas, o excedente do consumidor deverá ser calculado verificando a soma máxima (em termos de custos de operação) que os usuários potenciais estão dispostos a pagar quando já têm à disposição uma outra facilidade.

Nos cálculos dos benefícios, é preciso, também, que os gostos dos consumidores permaneçam inalterados durante o período considerado nos cálculos. Se, por exemplo, através de publicidade, as viagens forem deslocadas do transporte rodoviário para o ferroviário ou aéreo, poderão ocorrer prejuízos sociais (as rodovias não teriam os volumes de tráfego previstos em seus projetos, por exemplo). No aumento da renda dos usuários, também este tipo de consideração deverá ser levada em conta.

7.2 - DISTINÇÃO ENTRE BENEFÍCIOS E PAGAMENTOS POR TRANSFERÊNCIA E DUPLA CONTAGEM DE BENEFÍCIOS.

Na análise dos investimentos em transportes, deve-se ter o cuidado de distinguir bem os benefícios dos pagamentos por transferência.

Por exemplo, na construção de uma estrada local (municipal), o Governo Federal poderá enviar determinada quantidade de recursos monetários para a construção da obra.

Esta ajuda do Governo Federal no exemplo, constitui uma simples transferência dos contribuintes da nação para os atuais e futuros habitantes da localidade e não deve, nos cálculos econômicos, ser considerada como um benefício do projeto. A avaliação econômica poderá ser efetuada considerando esta ajuda somente para efeitos políticos (deve-se deixar claro que os cálculos estariam, neste caso, sujeitos a limitações políticas).

Outro erro comum que pode surgir nas avaliações econômicas de projetos de transporte é o de dupla contagem de benefícios. Com a construção de uma estrada, deverá em geral, haver uma **valorização imobiliária** dos imóveis situados em sua proximidade. Esta valorização se deve ao fato dos proprietários poderem obter maiores lucros com o aumento da produção e redução dos custos de transportes. O benefício devido ao aumento da valorização imobiliária, no entanto, já deverá ter sido considerada nos benefícios de redução dos custos de operação, tanto para o tráfego atual como o gerado.

Uma nova facilidade de transporte também pode com a redução dos tempos de viagem, aumentar a conveniência de viagens, oferecendo novas oportunidades de **emprego**, fazendo aumentar a renda das pessoas. Este benefício também não deve ser considerado na avaliação econômica, pois já deverá estar incluído no cálculo do excedente do consumidor da nova facilidade.

O excedente do consumidor é considerado na avaliação dos custos de viagem para o tráfego gerado.

As vias de transporte também reduzem os **custos de produção** (dos agricultores, por exemplo). A elevação dos ganhos dos agricultores, dos comerciantes, banqueiros, etc. não deve também ser computada como benefícios adicionais do projeto, já que também se trata de simples transferências de valores (o custo mais baixo de produção é distribuído entre consumidores, agricultores e intermediários); o benefício desta redução e custos de produção também é computado na redução dos custos de viagem.

7.3 - PREÇO-SOMBRA.

Representa o custo (real) para a sociedade, é o valor que o técnico responsável pela avaliação dos projetos, deverá atribuir a um bem ou fator, argumentando que este valor é mais apropriado para o cálculo econômico do que o preço vigente.

Nos cálculos dos custos de operação dos veículos, pode-se utilizar o preço dos combustíveis derivados do petróleo, utilizados no mercado internacional, ao invés dos valores dos custos nacionais. Da mesma forma no custo de construção, a mão-de-obra que sem as novas construções de vias de transporte ficaria ociosa, deve levar em conta o seu custo de oportunidade e não o valor realmente pago (salários); neste último caso, considera-se o benefício de reduzir o número de pessoas desempregadas.

Valores de preço-sombra utilizados nas avaliações econômicas dos projetos de transportes, também são obtidos quando da resolução de inequações matemáticas, em programação linear (solução do problema "dual").

Geralmente, há grandes discrepâncias nas avaliações dos valores do preço-sombra de uma mesma variável, principalmente quando este conceito é estendido para benefícios ou perdas sociais, que não tem preços ou que tem preços inadequados.

Nas estradas de rodagem, é difícil calcular os benefícios que podem ser trazidos por uma área de descanso ou recreação, ao lado da via.

As avaliações de investimentos, mesmo públicos, consideram sobretudo, os benefícios e custos que possam ser mensuráveis. Em alguns casos, os projetos são viabilizados supondo que os preços-sombra de benefícios não medidos possam fazer com que o seu total ultrapasse os custos totais.

No caso de vias de transporte, os preços-sombra são considerados nos custos de bens importados (principalmente petróleo), considerando-se custos menores que os praticados internamente, já que, a moeda nacional, muitas vezes se encontra supervalorizada (por meio de controles cambiais) e pode não refletir adequadamente os custos destes bens.

7.4 - ECONOMIAS E DESECONOMIAS EXTERNAS.

Os projetos ocasionam alterações no meio ambiente original, afetando mesmo a não usuários do projeto. Estes efeitos são chamados de "efeitos externos", "externalidades", "efeitos de vizinhança", "efeitos colaterais" ou mesmo de "efeitos de derramamento".

Na construção de uma estrada podem ocorrer efeitos nocivos à flora e fauna e, dependendo da posição da via, pode haver, inclusive, ruptura nas relações entre os membros da comunidade (trazidas, por exemplo, pela dificuldade de cruzar uma nova via de transportes) e mesmo um acréscimo nos atropelamentos de pessoas por veículos.

No Brasil, já é exigido por lei que, para a construção de novas vias ou mesmo para a pavimentação de rodovias existentes, seja efetuado um estudo do meio-ambiente, o qual é apresentado nos relatórios chamados de RIMA (Relatório de Impacto no Meio Ambiente); com base nestes estudos, os projetos podem sofrer ajustes (para minimizar os impactos) e, em alguns casos, podem ser até eliminados.

Um viaduto pode amenizar ou prejudicar o panorama (por exemplo, um viaduto da Primeira Perimetral da cidade de Porto Alegre prejudicou a vista dos hóspedes do Hotel Plaza San Rafael, um dos mais luxuosos da cidade); além de prejuízos estéticos, os ruídos dos veículos, principalmente à noite, nas áreas residenciais (viaduto Minhocão, em São Paulo, ou viaduto Paulo de Frontin, no Rio de Janeiro), os congestionamentos e os acidentes de tráfego são, também, exemplos de externalidades nos projetos de transportes.

As externalidades são de natureza incidental ou não-intencional de atividades legítimas segundo MISHAN⁵⁸ porém, devem ser levadas em conta por sua importância, na avaliação dos grandes projetos, como o são as facilidades públicas de transporte.

A internalização ou a consideração das externalidades nas avaliações dos projetos viários, nem sempre pode ser efetuada com precisão elevada em seus valores. Algumas externalidades são difíceis de serem quantificadas na forma monetária, como, por exemplo, o ruído do tráfego.

As externalidades podem ser negativas (custos) ou positivas (benefícios). A construção de uma estrada pode ajudar na proteção de recursos hídricos (evitando que a população construa casas muito próximas do leito dos rios - por exemplo, as vias de fundo de vale, na cidade de Salvador, protegem e colaboram com a canalização de córregos, minimizando efeitos de inundação e poluição).

⁵⁸ Página 120 de MISHAN, E.J. **Análise de custos - benefícios - uma introdução informal**. Tradução de Ruy lungmann - Rio de Janeiro. Zahar Editores. 488 p. il.

A equidade na distribuição dos benefícios e, inclusive, a contribuição dos projetos de transporte para a melhor distribuição da renda entre a população, também deve ser considerada nas avaliações. Neste caso, para não favorecer os projetos nas áreas mais ricas, procura-se usar sempre a renda média da população como um todo (no cálculo dos benefícios devido à redução dos tempos de viagem), na avaliação de todos os projetos, ao invés de utilizar a renda somente da população lindeira ou dos usuários e das pessoas beneficiadas especificamente pelo projeto.

7.5 - CRITÉRIOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES.

Neste item apresentam-se, também, alguns aspectos gerais dos critérios de análise de investimentos em transportes, visto que, em outros itens (3 e 4), foram apresentados os diferentes métodos de análise, com suas particularidades.

Entre os vários conceitos gerais, que nas avaliações econômicas de projetos de transportes merecem algumas considerações, têm-se:

1) Tamanho dos períodos de tempo, onde são alocadas as quantidades monetárias correspondentes aos custos e benefícios. Normalmente, o período adotado neste caso é o ano, dado que, em geral, os investimentos na área dos transportes são a longo prazo.

2) Impostos pagos pelos usuários não são considerados na avaliação dos benefícios sociais. Nos custos, contudo, são considerados valores econômicos (ao invés de financeiros) ou seja, calculam-se os custos da obra para o Governo (valores pagos, menos arrecadações em impostos e taxas, devido à realização da obra). No cálculo dos benefícios (redução dos custos de operação, por exemplo) não são considerados os impostos, já que se desconhecem os lucros ou renda dos proprietários dos veículos.

3) São considerados como custos todos os dispêndios monetários do projeto, em qualquer ocasião de sua vida. Todos os valores de externalidades serão subtraídos ou somados aos dos benefícios sociais, na época em que ocorrerem.

4) São separados os custos de capital dos de manutenção e/ou conservação das vias. As reduções dos custos de manutenção e/ou conservação são consideradas como redução de custos, ao invés de acréscimos nos benefícios. Pode-se ver que, conforme a metodologia de avaliação adotada (ver capítulo específico sobre este assunto), a redução de custos conduz a resultados diferentes do que quando o mesmo valor é considerado como aumento de benefícios.

5) A taxa de juros utilizada nas avaliações deve ser aquela prevista para investimentos públicos (em geral, esta taxa é menor do que a dos investimentos privados, que terão que pagar impostos sobre os lucros).

6) O período de vida do projeto não necessita, em geral, ultrapassar 20 (vinte) anos, já que dependendo do valor da taxa de juros utilizada, um valor daqui a 20 (vinte) anos trazido para a época atual, representaria uma quantidade muito pequena (por exemplo, para uma taxa de juros de 10% ao ano, um valor de 100 unidades monetárias daqui a 20 (vinte) anos, seria representado pelo valor atual inferior a 15 (quinze) unidades monetárias, ou seja menos de 15%). Normalmente, para valores futuros distantes, as precisões alcançadas para os valores das estimativas são muito baixas.

7) No capítulo relativo aos métodos de avaliação, apresenta-se outros critérios específicos de cada um dos métodos, para que possam ser válidos (no método do valor presente líquido, o tempo de duração dos projetos deve ser igual em todas as alternativas).

7.6) PROBLEMAS DE INCERTEZA.

Na avaliação dos projetos são feitas previsões sobre os valores dos custos e benefícios futuros ou seja, ocorrem incertezas ou imprecisões em relação aos valores dos fluxos de caixa das alternativas.

Inovações tecnológicas e alterações na demanda, ao longo do tempo, afetam os preços dos insumos e serviços futuros (por exemplo, veículos mais econômicos no futuro, apresentarão outros valores de custos de operação).

Nestes casos deve-se analisar os resultados da avaliação das diferentes alternativas de projeto, formulando hipóteses sobre variações (em geral tomadas na forma percentual) dos valores das principais variáveis, de forma isolada ou mesmo em conjunto.

Deverão ser analisados os pontos de equilíbrio, ou seja, até que variação da(s) variável(eis) a alternativa escolhida ainda é melhor do que as demais. Assim, se analisa o grau de sensibilidade da alternativa, em relação à possível variação nos resultados dos custos e benefícios futuros estimados.

Havendo mudança entre as alternativas escolhidas, com uma pequena variação na(s) variável (eis) considera-se que a(s) alternativa(s) são sensíveis ao valor desta(s) variável(eis) e neste caso, procura-se obter uma melhor precisão para os valores previstos desta(s) variável(eis).

Pode-se, também, na avaliação econômica de projetos de transporte, associar aos valores futuros de variáveis, estimativas subjetivas de probabilidades.

Entre as principais variáveis das avaliações dos projetos de transporte, para as quais são efetuadas análises de sensibilidade quanto à incerteza dos valores, têm-se:

- Custos de Construção.
- Custos de Operação.

- Custo de Combustíveis.
- Salários.
- Velocidades de operação dos veículos (influem diretamente nos custos de operação).
- Taxas de juros.
- Taxas de crescimento futuro da população.

7.7 - PROBLEMAS DE RISCOS DE ACIDENTES.

No caso dos investimentos públicos em transportes, há necessidade de serem analisados os riscos de que o projeto não possa ser implantado adequadamente ou de que os benefícios previstos não possam ser alcançados.

Entre os aspectos que envolvem riscos mais comuns nos projetos de transportes, têm-se:

1) Dificuldades Institucionais.

Os órgãos públicos, encarregados do projeto frequentemente, não possuem mão-de-obra especializada para a adequada implantação do projeto da via de transporte ou para a manutenção da via.

Pode também, não haver equipamentos adequados que assegurem a qualidade e até a própria realização dos trabalhos de conservação.

2) Durante a construção da via ou após sua conclusão, podem ocorrer os seguintes fenômenos que prejudiquem a obtenção dos benefícios:

- Inundações.
- Queda de barreiras, devido a chuvas intensas ou falhas na execução do projeto.
- Descarrilamentos de vagões em estradas de ferro ou acidentes de tráfego de elevadas proporções em rodovias.
- Congestionamentos que aumentem os custos operacionais ou que restrinjam os volumes de tráfego previstos.
- Corrosão de pontes metálicas.
- Explosões ou acidentes com o transporte de cargas perigosas.
- Mudanças na política, que dificultem a continuidade das obras.
- Matéria-prima inadequada para as obras de construção (asfalto ou trilhos, por exemplo).

7.8 - BENEFÍCIOS INTANGÍVEIS.

Neste item, devem ser considerados os benefícios de difícil quantificação em termos econômicos. Entre estes temos a redução dos tempos de viagem, aumento de conforto e redução de acidentes.

É inegável que a redução dos tempos de viagem representa um benefício importante no caso da construção ou melhoria das vias de transporte. A

quantificação deste benefício depende de uma série de fatores, entre os quais, os seguintes:

- Motivo da viagem, viagens a negócio e a trabalho tem certamente um maior valor para a redução dos tempos de viagem.
- Hora do dia; nas viagens pela manhã, as reduções de tempos de viagem são consideradas mais importantes.
- Dia da semana; as reduções de tempos de viagem em fins de semana, de dias feriados, tem menor valor.
- Tipo de usuário; os congestionamentos e maiores tempos de viagem são valorizados de forma diferente pelas pessoas.
- Tipo de carga; é importante o valor da mercadoria e o fato de ser ou não perecível.

As condições de conforto dependem do tipo de veículo, além das condições da via e, também, são muito difíceis de serem consideradas.

Quanto aos acidentes, sua quantificação pode ser feita através de comparações com outras vias, contudo existem muitos fatores além da via que influem no número de acidentes. Campanhas de educação de trânsito podem contribuir significativamente para a redução no número de acidentes.

7.9) CUSTOS MARGINAIS SOCIAIS.

Na análise dos investimentos em transportes, também é desejável que sejam estudados os custos marginais de operação, principalmente nos casos em que exista a possibilidade da via ter elevados volumes de tráfego.

Por exemplo, o custo do congestionamento imposto por qualquer veículo adicional a todos os que usam correntemente uma dada via.

Este conceito pode ter várias aplicações práticas, como a seguir:

- 1) Exemplo da determinação do pedágio de uma via.

Seja a figura 7.2 a seguir, onde tem-se:

Curva CM - Curva dos custos médios por viagem, para um dado volume de tráfego (custos de operação e valor do tempo de viagem, por exemplo).

Vemos pela figura 7.2 que o custo médio é constante até o volume de tráfego "OV_o", (região onde não ocorrem congestionamentos) aumentando após esse volume. Verifica-se que após "OV_o" é elevado o custo médio para todas as viagens.

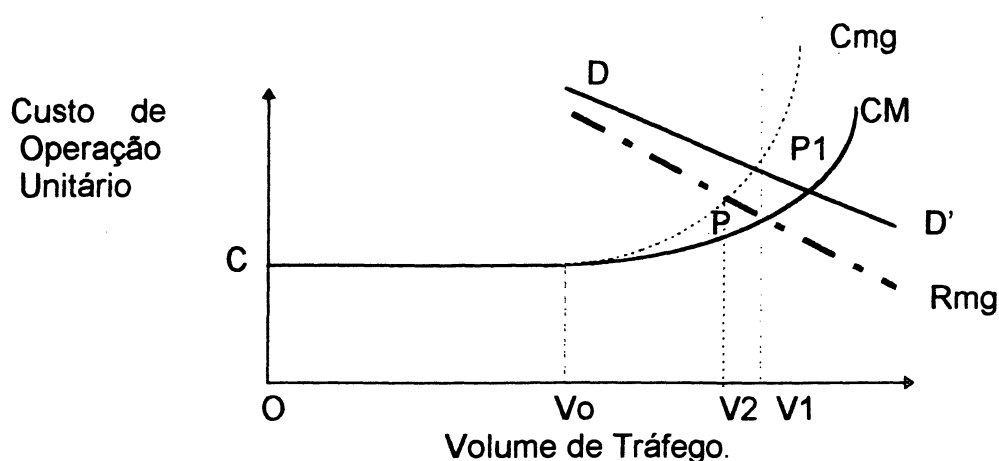


Fig. 7.2 - Determinação do Pedágio de uma Via. Fonte: MISHAN⁵⁸

Curva Cmg - Curva dos custos marginais para cada novo veículo que é introduzido na corrente de tráfego.

Curva DD' - Curva de demanda (número de veículos) que depende dos custos totais de operação.

Curva Rmg - Curva das receitas marginais para cada novo veículo que é introduzido na corrente de tráfego.

Sem qualquer restrição em termos de pedágio, o volume de tráfego tenderia a acomodar-se em "OV1" (onde o valor da receita marginal seria igual ao custo da viagem).

Considerando-se que o volume deva ser aquele em que o custo marginal é igual ao valor da receita marginal, como se define nos estudos de microeconomia, onde se analisa o equilíbrio da empresa, o volume ótimo de tráfego deveria ser limitado em "OV2". Para obter-se esse volume ótimo, deveria ser cobrada a taxa de pedágio "P" (igual a diferença entre os custos marginais e médios para o volume de tráfego "OV2").

Os custos médios são calculados com base em metodologias disponíveis, nas diferentes organizações de transporte, como por exemplo, com base no Manual de custo de Operação do DNER⁵⁹ ou na Metodologia do Banco Mundial - HDM III⁶⁰.

⁵⁹ DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de custo de operação**. Rio de Janeiro, 1976.

⁶⁰ BIRD - Banco Mundial, **The highway design and maintenance standards model**. Editora John Hopkins University Press, Baltimore, EUA, 1987.

Para o cálculo dos custos marginais pode-se utilizar a equação abaixo, desde que com base em pesquisas, seja determinada a elasticidade do volume de tráfego, ao variar os custos de operação:

$$CMg = CM(1 + \frac{1}{E}) \quad *$$

* Obs. Ver dedução em anexo.

Onde:

CMg = custo marginal para o volume de tráfego "OV2".

CM = custo médio para o volume de tráfego "OV2".

E = elasticidade do volume de tráfego em relação aos custos de operação.

$$P = CMg - CM = CM(1 + \frac{1}{E}) - CM = CM(\frac{1}{E})$$

Num caso real, o pedágio deveria ter valores variáveis, em função dos tipos de veículos e até conforme os diferentes tipos de cargas. Seria também necessário conhecer as características da via e as variações dos fluxos de tráfego, ao longo do dia, além de externalidades (influências gerais na sociedade como um todo), se fosse o caso.

2) Exemplo de Alargamento de Rodovias.

Seja a figura abaixo, com as mesmas curvas da figura anterior, para um dado trecho de uma rodovia sem alargamento(1) e com alargamento(2).

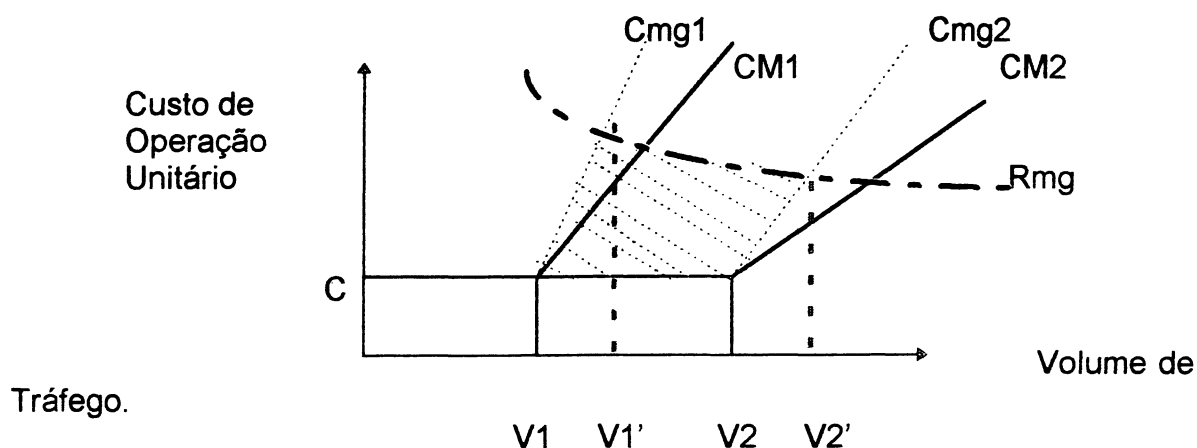


Fig.7.3 - Alargamento de Rodovias

Fonte: MISHAN⁶¹

O volume de tráfego ótimo, sem alargamento, seria V1' e com o alargamento V2', conforme exemplo anterior.

⁶¹ MISHAN, E.J. **Análise de custos - benefícios - uma introdução informal**. Tradução de Ruy lungmann - Rio de Janeiro. Zahar Editores. 488 p. il.

Este alargamento poderá ser avaliado com base nos benefícios que proporcionaria. No caso da figura 7.3, a área hachurada representa os ganhos em termos da redução dos custos marginais de operação, à medida que o volume de tráfego aumenta.

8 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO.

8.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.

A função de produção é uma relação técnica entre insumos e produto, permanecendo inalterada enquanto a tecnologia permanecer inalterada.

A análise do ponto de vista da oferta das empresas é efetuada através da função de produção e é mais complexa do que o estudo da demanda, devido aos diferentes tipos de competição entre as empresas que influenciam a oferta global.

Não só as indústrias, mas também os comerciantes, bancos, parques de diversões segundo BRENNAN⁶² e acrescentaríamos os órgãos públicos que realizam ou contratam serviços e obras ou seja, todos os que comprem recursos (fatores de produção) para a produção, podem aplicar estes conhecimentos.

A função de produção é o termo usado para descrever a relação em uma empresa, entre os resultados alcançados na produção e as quantidades alternativas de recursos humanos e não humanos.

Independente do preço dos recursos ou do preço do produto final, esta função depende do estágio da tecnologia utilizada; considera-se que a técnica mais eficiente disponível é utilizada, de forma que o resultado (produção obtida) de cada alternativa de quantidades de insumos é o máximo.

Uma mudança na tecnologia pode alterar toda a função de produção, por exemplo, descoberta de um novo método construtivo ou de novo tipo de veículo, no caso dos transportes.

A Função de Produção define a maior quantidade de produção possível para quantidades especificadas dos insumos e/ou fatores de produção.

No caso de uma empresa, a função de produção é dada normalmente por equações do tipo:-

$$Q = f(K, T)$$

Sendo:

Q = quantidade produzida num dado período de tempo.

K = equipamentos (recursos de capital empregados).

T = mão-de-obra (recursos em termos de trabalhadores utilizados).

A produção máxima com os insumos definidos constitui a função de produção. As variáveis e os parâmetros desta função independem da organização, custos ou preços do mercado. É uma relação técnica que mostra como os insumos são transformados em produtos.

⁶² BRENNAN, Michael J. *Theory of economic statics*. 2ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, EUA, 1970, 437p. il.

Os produtos intermediários de outras empresas ou importados podem não aparecer, explicitamente, na função de produção.

Em geral a terra (fator natureza) é um fator fixo de produção que não sofre alterações, podendo ser excluído da função de produção segundo KLEIN⁶³.

De acordo com De NEUFVILLE e STAFFORD⁶⁴ o sistema produtivo da economia pode ser representado pela figura a seguir:

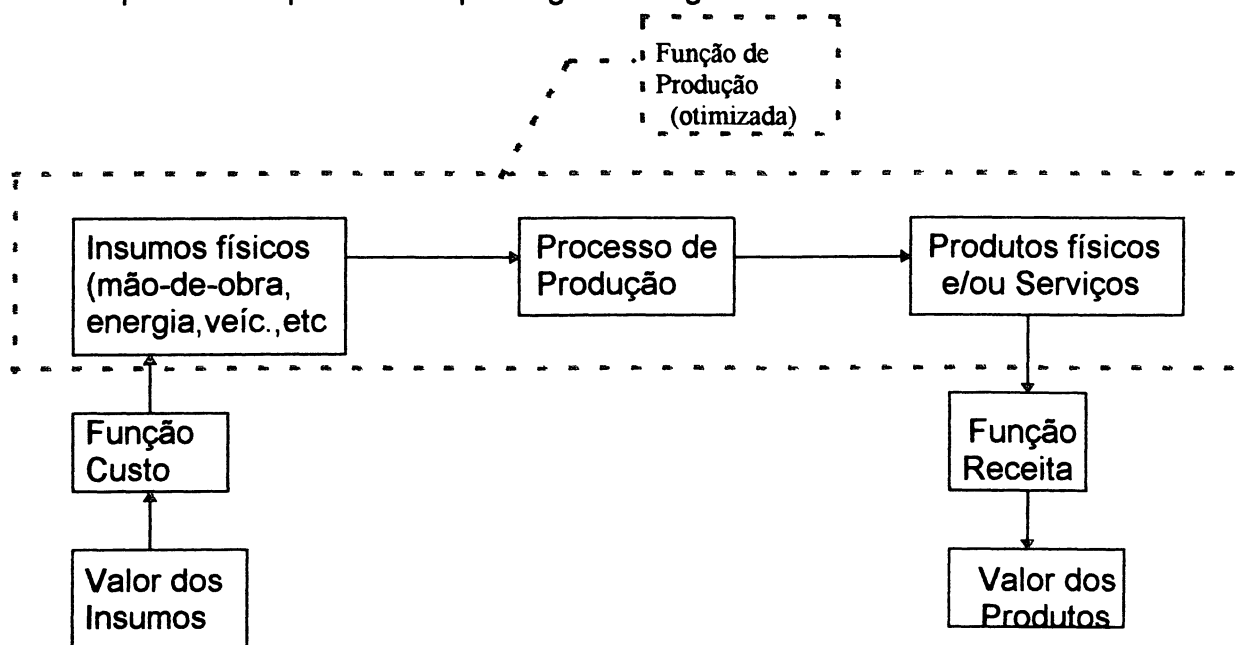


Fig. 8.1 - Esquema Geral de um Processo Produtivo

No esquema da figura anterior vemos que a função de produção e a função de custos são interdependentes na obtenção da quantidade dos produtos.

8.2 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS SOBRE A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO.

Considera-se, em geral, que a mesma quantidade de produtos "Q" pode ser produzida com diferentes combinações de capital e trabalho ou seja, que existe possibilidade de quantidades de um fator de produção serem substituídas por quantidades de um outro fator.

O período de curto prazo é definido como aquele em que a quantidade de pelo menos um fator de produção permanece constante. A longo prazo, as quantidades de todos os fatores de produção são variáveis. As empresas operam no curto prazo mas planejam a longo prazo.

⁶³ KLEIN, Laurence Robert. *Introdução à econometria*. Tradução de Carlos Roberto Vieira de Araujo, São Paulo, Atlas, 1978, 304p. il.

⁶⁴ DE NEUFVILLE, Richard e STAFFORD, Joseph H. *Systems Analysis for Engineers and Managers*. New York, McGraw-Hill. 1971, 353 p. il.

A produtividade marginal (Pmg) é dada pela mudança na quantidade de produção total, devido à mudança de 1 (uma) unidade na quantidade de um dos fatores de produção ou pela primeira derivada da função de produção com respeito ao fator de produção variável. Por exemplo, supondo fixa a capacidade instalada de produção, bem como os demais recursos de capital, tem-se o trabalho como fator variável.

$$Pmg_T = \Delta Q / \Delta T = dQ/dT$$

A produção média (PM) é a quantidade produzida, por unidade, do fator de produção variável utilizado.

$$PM_T = Q/T$$

A Lei de Redução da Produtividade Marginal estabelece que aumentando as quantidades do fator de produção variável e mantendo-se fixas as quantidades dos demais fatores, chegar-se-á a um ponto onde a produtividade marginal começará a decrescer.

A Receita de Produtividade Marginal (RPmg) é obtida multiplicando-se a produção marginal Pmg) pela receita marginal (Rmg).

$$RPmg = Pmg \times Rmg$$

A Função de Receita da Produtividade Marginal (RPmg) de um fator produtivo constitui a curva de demanda daquele fator, conforme figura a seguir:

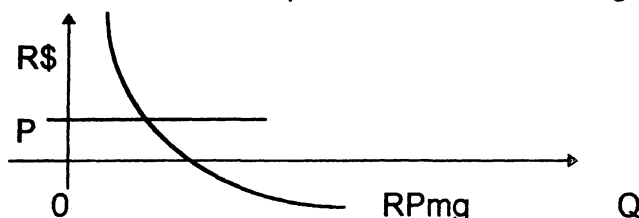


Fig. 8.2 - Curva de Demanda de Fator Produtivo.

Nas empresas, unidades adicionais de um fator de produção devem ser utilizadas até que o valor da produtividade marginal, daquele fator, seja igual ao preço do mesmo.

8.3 FUNÇÃO DE COBB E DOUGLAS.

C.W. Cobb e P.H. Douglas, em 1928, publicaram no volume XVIII, pp.139-65 da American Economic Review, um estudo sobre a teoria da produção (A Theory of Production), onde propuseram a seguinte equação geral para a função de produção:

$$Q = A \cdot T^a K^b U \quad (1)$$

Sendo:

Q = produção
 T = insumo de trabalho
 K = insumo de capital
 A, a e b = coeficientes.
 u = perturbação aleatória

Esta função apresenta elasticidade constante de variação da produção, ao variarem os insumos de trabalho ou capital.

Considerando as elasticidades (" a " e " b ") menores do que 1 (um), a produtividade marginal cai com o crescimento do insumo.

A função de "produção Cobb-Douglas" como é chamada, pode ser linearizada através de logaritmos.

Para níveis constantes de capital (K), a equação (1) em gráfico, apresenta-se na forma da figura a seguir:

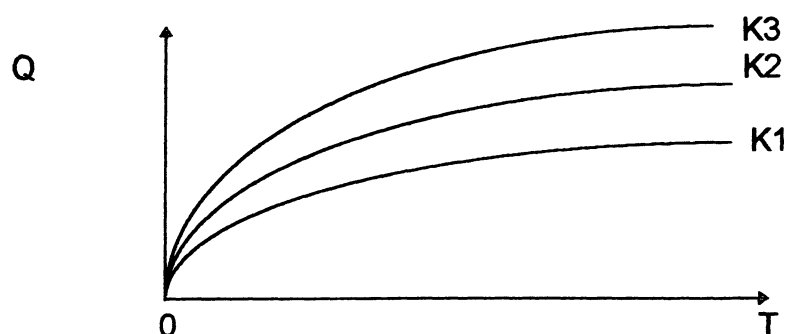


Fig. 8.3 - Função de Produção Cobb-Douglas

Ao se variar, ao mesmo tempo, os fatores capital (K) e trabalho (T) e considerar-se uma mesma quantidade de produção (Q), a representação dar-se-á na forma de curvas isoquantas, como figura a seguir:

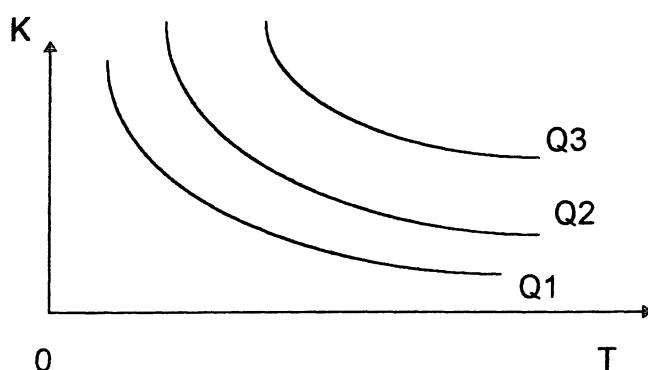


Fig. 8.4 - Linhas Isoquantas representando funções de produção.

Outra função, com curvatura semelhante e que pode ser linearizada seria a da parábola.

$$Q = \alpha_0 + \alpha_1.T + \alpha_2.K + \alpha_3.T^2 + \alpha_4.K^2 + \alpha_5.T.K + u.$$

Esta função, embora apresentando bem mais parâmetros que a função de Cobb-Douglas também pode ser utilizada (ver capítulo de aplicações).

8.4 A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E OS TRANSPORTES.

Os conceitos da função de produção apresentam analogia para o caso dos transportes.

Os transportes transformam insumos (mão-de-obra, energia, capital, etc.) em produtos que são representados pelo deslocamento de pessoas e de mercadorias.

O sistema de transportes (oferta) pode ser oferecido com diferentes variações em termos de tecnologias e formas de operação ("insumos"), tais como:

- Diferentes tecnologias - tipos de veículos, tipos de vias, sistemas de controle, etc.
- Diferentes formas de operação e prestação de serviços - frequência, locais de parada, percursos, número máximo de pessoas por veículo, tempos de percurso, confiabilidade, pontualidade, nível de conforto.
- Diferentes formas de obtenção de recursos econômicos - estrutura tarifária, subsídios, donativos, etc.

8.5 PRODUÇÃO COM DOIS FATORES DE PRODUÇÃO VARIÁVEIS - ISOQUANTAS E FUNÇÃO DE ISOCUSTO.

Uma Isoquanta mostra todas as combinações de quantidades de fatores de produção que irão produzir a mesma quantidade de produto numa dada unidade de tempo.

Aplica-se o mesmo aparato formal da teoria do consumidor onde são analisadas as curvas de indiferença.

Restringe-se, em geral, a análise da função de produção a duas variáveis, cujas quantidades são medidas ao longo de dois eixos.

Uma isoquanta é uma curva, cujos pontos representam combinações de quantidades dos recursos que conduzem à mesma quantidade produzida.

A função de produção é descrita como um sistema de inúmeras isoquantas.

A declividade de uma isoquanta é a taxa marginal de substituição técnica ou a taxa à qual uma unidade de um fator pode ser substituída por certa quantidade de outro fator, mantendo-se o mesmo total de produção.

Em geral, a taxa marginal de substituição diminui quando se utiliza mais de um fator de produção e menos de outro, conforme pode ser visto na figura 8.5 a seguir.

Como no caso das curvas de indiferença, as isoquantas têm declividades negativas (ao aumentarem as quantidades de um insumo, o outro diminui ou vice-versa), não se interceptam umas com as outras e são convexas em relação à origem dos eixos.

Uma das diferenças, em relação às curvas de indiferença do consumidor, é que no caso das isoquantas, existe sempre uma quantidade mínima de cada um dos recursos considerados, para que seja possível a produção (pontos M e N por exemplo, na figura 8.5, para obter a quantidade produzida Q5). Essas quantidades, inclusive, limitam a região válida das curvas isoquantas (região com declividades negativas).

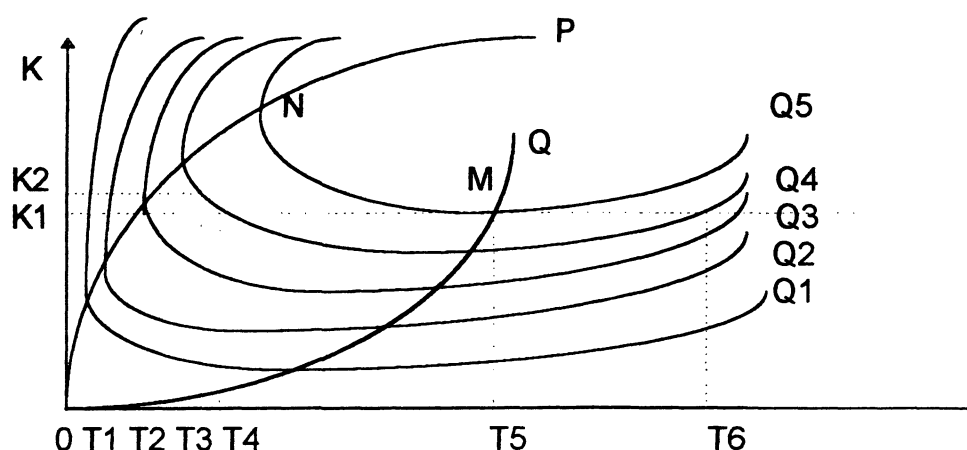


Fig. 8.5 - Função de Produção Expressa por Isoquantas.

Obs. "T" e "K" representam fatores ou insumos de produção.

"Q1"; "Q2"; "Q3"; "Q4" e "Q5" representam quantidades produzidas.

A região válida das linhas isoquantas é limitada pelas linhas de cresta ou fronteira (linhas OP e OQ da figura 8.5).

Mantendo fixas as quantidades de todos os tipos de recursos menos um (mudanças de escala da empresa, ocorre a lei de rendimentos decrescentes de escala).

Essas leis são válidas a partir de determinadas quantidades (os retornos são crescentes até determinado ponto).

A Função de Isocusto representa o conjunto de todas as combinações de capital e trabalho que podem ser utilizadas, com um custo total especificado. Considerando os custos unitários "r" e "w" para capital(K) e trabalho(T), respectivamente, a função de isocusto é dada por:

$$Co = r.K + w.T$$

Mudanças no nível de orçamento, "Co", fazem com que a linha de isocusto se desloque paralelamente. Mudanças nos custos unitários, tanto de trabalho como de capital, fazem com que a declividade e a interseção, com os eixos da função de isocusto, se modifiquem.

A Produção Eficiente requer que a função de isoquanta seja tangente à função de isocusto. Neste ponto, as produtividades marginais (Pmg) divididas pelos custos unitários dos fatores de produção são iguais, ou seja:

$$Pmg_T/w = Pmg_K/r$$

Se a condição de produção eficiente não for atendida, existirá alguma substituição de quantidades de um dos fatores de produção por outro, que fará com que ocorra um aumento na produção sem alteração do custo total.

A maximização dos lucros requer que sejam utilizadas quantidades dos fatores de produção até que a receita da produtividade marginal de cada fator (RPmg) seja igual ao seu custo unitário.

$$RPmg_T = w \quad \text{e} \quad RPmg_K = r$$

Se o custo de um ou de vários fatores de produção mudarem, a empresa deverá substituir os fatores de produção entre si, passando a empregar maiores quantidades do(s) fator(es) que se tornaram relativamente mais em conta.

A empresa expande sua produção movendo-se de um ponto de produção eficiente (onde as funções de isocusto e isoquanta sejam tangentes entre si) para outro. Os pontos de eficiência definem o caminho de expansão da empresa.

Usando-se a função de produção e a condição de produção eficiente em conjunto, pode-se determinar a quantidade ótima de cada fator de produção para um dado volume de produção.

8.6 DETERMINAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PRODUÇÃO E DE CUSTOS.

As funções de produção e de custos podem ser estimadas em vários níveis de agregação: para uma empresa, indústria (conjunto de empresas de um

mesmo setor) e para a economia, como um todo. As dificuldades de obtenção dos dados e de interpretação das relações estimadas aumentam com o nível de agregação.

Estudos do tipo "cross-section" são utilizados para estimar funções de custo ou de produção para uma empresa típica ou de porte médio, num grupo de empresas sob estudo. Estudos do tipo "time - series" são utilizados para estimar as funções de custo ou de produção para uma empresa, uma indústria ou para a economia.

A função de produção de Cobb-Douglas pode ser estimada usando um método de regressão de soma dos quadrados mínimos dos desvios; esta função deve ser transformada numa relação linear, obtendo-se o logaritmo de cada um dos termos:

$$\log Q = \log A + a. \log K + b. \log T$$

Os parâmetros "a" e "b" da função de produção de Cobb-Douglas correspondem às elasticidades da produção com respeito aos fatores de produção, capital e trabalho, respectivamente.

Exemplo: Cálculo da elasticidade da função produção em relação ao Capital.

$$E = \frac{\frac{\Delta Q}{Q}}{\frac{\Delta K}{K}} = \frac{K}{Q} \times \frac{\Delta Q}{\Delta K}$$

$$E = \frac{K \cdot a \cdot A \cdot K^{a-1} \cdot T^b}{A \cdot K^a \cdot T^b} = a$$

Portanto, os expoentes "a" e "b" representam a mudança percentual na produção, quando muda 1% a quantidade do fator de produção considerado.

Exemplo: Para $a = 0,8$, um aumento de 10% na quantidade do fator de produção capital faz com que a produção de unidades do produto considerado aumente aproximadamente 8%.

A soma dos parâmetros "a" e "b" pode ser usada para determinar retornos de escala. Se $(a+b) > 1$, os retornos de escala são crescentes (a empresa obtém variações na produção mais do que proporcionais a variações nas quantidades dos fatores de produção), se $(a+b) = 1$, os retornos de escala são constantes, e se $(a+b) < 1$, os retornos de escala são decrescentes.

Considerando uma função de produção do tipo Cobb-Douglas, retornos marginais decrescentes para o fator de produção capital requerem que o

expoente da variável capital seja menor do que 1 (um), assim como retornos marginais decrescentes para o fator de produção trabalho requer que o expoente da variável trabalho seja menor do que 1 (um).

Para a estimativa da função de custos, deve-se levar em conta a possibilidade de que os custos dos fatores de produção ou insumos variem, como também, que possa haver mudança tecnológica durante o período estudado. Há necessidade também de ajustar os dados contábeis, de forma a refletirem bem os custos de oportunidade, além da dificuldade de separar os custos, no caso das empresas que produzem múltiplos produtos.

Para estimar a função de isocusto são utilizadas, em geral, equações na forma linear.

O método de sobrevivência (survivor) considera mudanças ao longo do tempo, nas participações no mercado, para as empresas de diferentes tamanhos, para estimar a forma aproximada da curva de custos médios, a longo prazo.

Pelo princípio da dualidade, conhecendo-se a função de produção e os custos dos fatores de produção, pode-se determinar todas as funções relevantes de custos.

8.7 EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DE FUNÇÃO DE PRODUÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DE VIAS DE TRANSPORTE.

No caso dos transportes, pode-se ter o exemplo abaixo, para ilustrar analogias com os rendimentos decrescentes da função de produção:

Exemplo: Seja um acesso ferroviário, ligando uma estação da linha principal com uma estação em uma linha secundária. Analisa-se a quantidade de km de rodovias que seriam executadas para trazer a produção até esta nova estação.

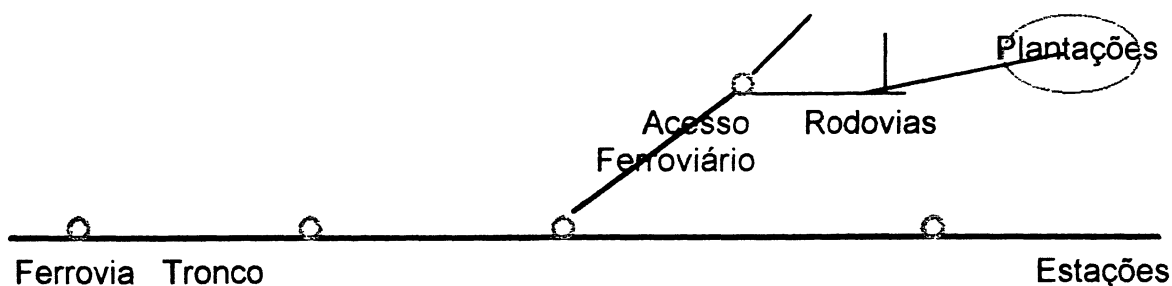


Fig. 8.6 Trechos de Rodovias e Acesso ferroviário a serem construídos.

Quadro 8.1 - Exemplo de Função Análoga à Função de Produção Aplicada aos Transportes e Variação em somente 1 modalidade.

Km de Ferrovia	Km de Rodovia	Total (t x km)*	Prod. Marginal da Rodovia (t x km)*	Prod. Média p/ Km da Rodovia (t x km)*	Estágios de Produção
30	0	0	0	0	Estágio 01
30	1	10	10	10	
30	2	30	20	15	
30	3	60	30	20	
30	4	100	40	25	
30	5	125	25	25	Estágio 02
30	6	138	13	23	
30	7	147	9	21	
30	8	152	5	19	
30	9	153	1	17	
30	10	153	0	15,3	Estágio 03
30	11	151	-2	13,7	
30	12	144	-7	12	

Obs. t x km = tonelada x quilômetro.

Neste exemplo, supõe-se que a extensão ferroviária seja sempre a mesma.

As terras mais férteis não se encontram ao lado da nova estação ferroviária, por isso, de início, a produção em t x km (tonelada x quilômetro) é crescente. Quando a rodovia atinge as terras mais férteis, a produção marginal começa a decrescer, podendo-se tornar até negativa quando por exemplo, as rodovias ocupam áreas que antes eram destinadas ao cultivo ou quando os congestionamentos impedem o transporte de maior quantidade de cargas.

Ao invés de t x km, como unidade de produção, pode-se utilizar também os benefícios menos custos ou benefícios líquidos (B - C) em valor presente do novo sistema de transportes; neste caso, os custos de construção de rodovias seriam inferiores aos benefícios alcançados. O total de benefícios seria reduzido nos casos de produção marginal negativa.

É interessante notar que nem sempre o trecho mais rentável de uma nova via (rodovia) seria o primeiro a ser construído; nestes casos, é importante a continuidade do sistema. A programação dos investimentos nos sistemas viários deve ser efetivada de forma dinâmica, conforme exemplo apresentado em anexo, neste estudo.

Colocando num gráfico os dados do total de quilômetros de rodovias e os correspondentes valores da "produção" do sistema de transportes (t x km ou B-C),

encontramos a curva que representa a função análoga à função de produção, considerando a variação de um único fator.

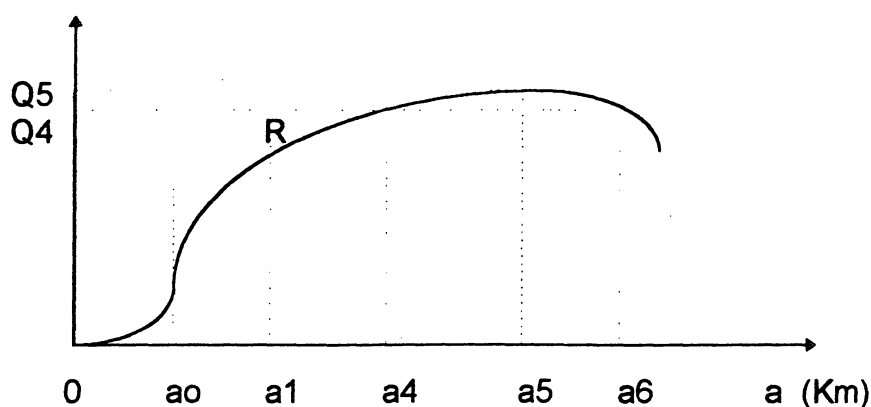


Fig. 8.7 - Função de Produção para variação de um único "Fator de Produção" (a = quilometragem).

Considerando os valores da "produção marginal"; e "produção média" por Km, ao variar-se a quilometragem, tem-se o gráfico abaixo:

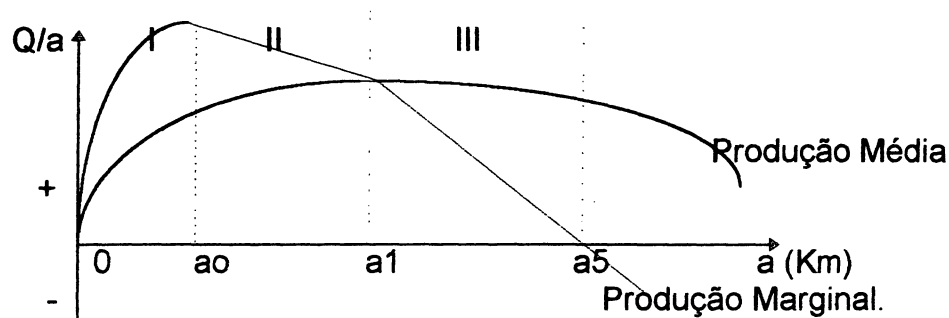


Fig. 8.8 - "Produção Marginal" e "Produção Média" ao variar um único "Fator" de Produção.

Na figura anterior são definidos os três (3) estágios de produção conforme a seguir:

Estágio 01 - Retornos crescentes - aumento da produção total, aumento da produção média, aumento e redução da produção marginal.

Estágio 02 - Retornos decrescentes - aumento da produção total, redução da produção média e redução da produção marginal que se mantém positivas.

Estágio 03 - Retornos negativos - redução na produção total, redução da produção média, produção marginal negativa.

Apresenta-se a seguir, um exemplo com a variação de dois fatores de produção ou no caso do exemplo aplicado aos transportes, com variações no número de quilômetros de rodovias e ferrovias.

Quadro 8.2 - Exemplo de Função Análoga à Função de Produção Aplicado aos Transportes - Variação de 2 modalidades. (km de Ferrovia/km de Rodovia = 1).

Km de Ferrovia	Km de Rodovia	Total (t x km)*	Produção Marginal (t x km)*	Estágios de Produção
0	0	0	0	Retornos Crescentes
1	1	5	5	
2	2	12	7	
3	3	25	13	
4	4	40	13	
5	5	50	10	Retornos Constantes
6	6	60	10	
7	7	70	10	
8	8	78	8	Retornos Decrescentes
9	9	85	7	
10	10	90	5	
11	11	92	2	
12	12	93	1	

Obs. t x km = toneladas x quilômetro.

Os dados desse quadro podem ser colocados num gráfico, como a seguir, onde têm-se as isoquantas de produção:

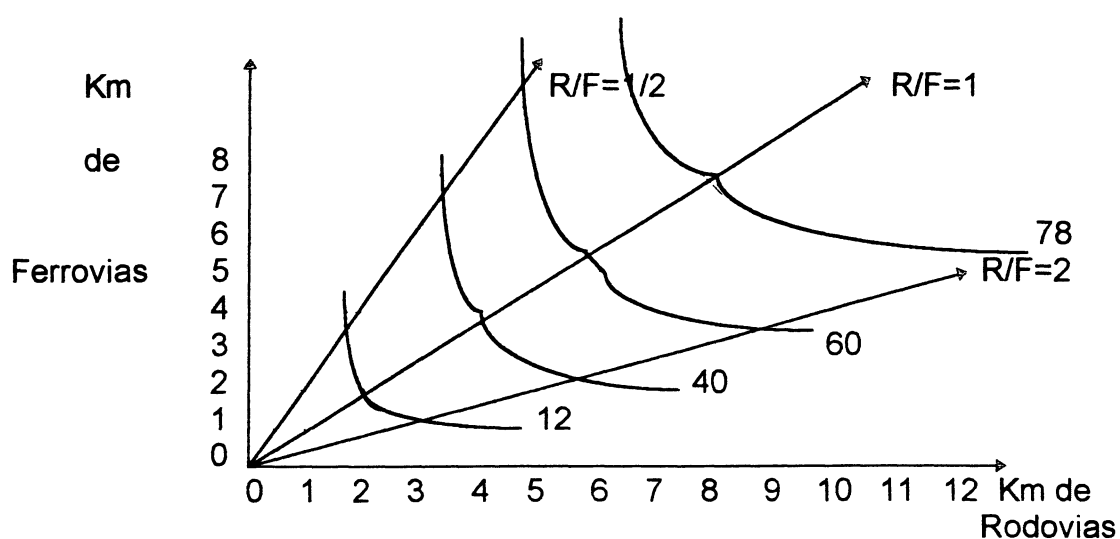


Fig. 8.9 Retornos de Escala Expressos por Isoquantas.

Na figura anterior os raios a partir da origem representam relações fixas entre as quantidades de quilômetros de rodovias divididas por quantidades de quilômetros de ferrovias. O quadro anterior representava o total de $t \times km$ para a relação igual a 1 (um) entre quilômetros de rodovias e quilômetros de ferrovias, (podem haver outras relações como na figura 8.9).

A função, análoga à função de produção, para os transportes, variando-se dois fatores de produção, pode ser representada na figura 8.10 a seguir:

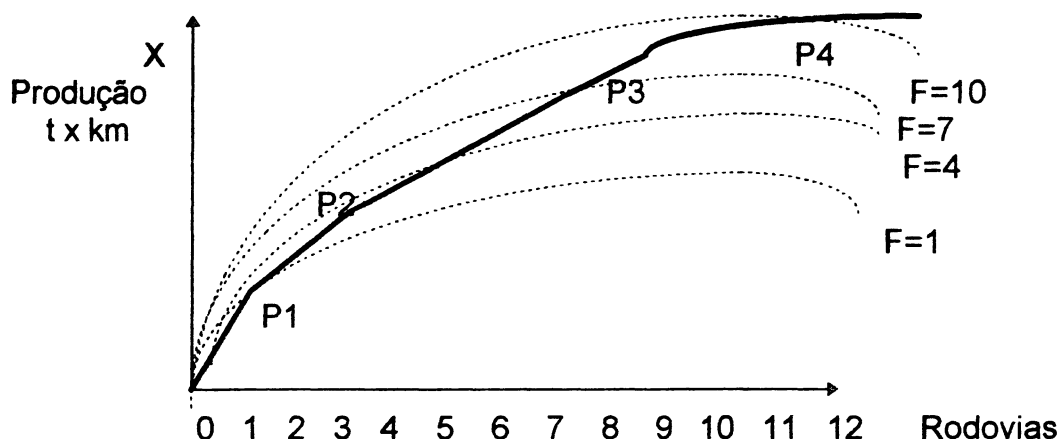


Fig. 8.10 Retornos de Escala na Função análoga à Função de Produção.

Na figura anterior, foram consideradas quatro quantidades fixas para o número de quilômetros de ferrovias (F).

Normalmente só se conhecem relações aproximadas para as funções de produção fazendo com que as empresas no dimensionamento das equipes de trabalho, equipamentos e materiais utilizem resultados de experiências práticas sem especificar as funções de produção.

O dimensionamento depende também dos preços relativos dos diferentes fatores.

No caso, por exemplo dos transportes, o DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem apresenta o Manual de Composição de Custos e Tabelas de Custos Unitários⁶⁵, onde baseado na prática, são fornecidas as equipes de trabalho, equipamentos e materiais para a obtenção dos melhores rendimentos nas atividades ligadas à construção de estrada (desde as atividades mais simples como a roçada e capina até atividades mais técnicas como a confecção da capa de rolamento asfáltico).

O avanço da tecnologia pode alterar os preços relativos, fazendo com que uma ou outra modalidade de transporte possa ficar mais ou menos competitiva.

⁶⁵ DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Composição de Custos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 1972.

9. O PRINCÍPIO DA SUBSTITUIÇÃO APLICADO À ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES.

No caso de investimentos em vias de transporte, dispõe-se de um montante de recursos monetários para a aplicação em diferentes tipos de vias e em diferentes modalidades de transporte. Os recursos públicos poderão ser aplicados em rodovias, ferrovias, aquavias, dutovias, aeroportos, portos, terminais ferroviários, terminais rodoviários, terminais de integração modal, centros de distribuição de mercadorias, etc. Os recursos podem ser aplicados na melhoria dos transportes de passageiros, de cargas ou para ambos os casos.

Dentro de uma mesma modalidade de transporte, também existem inúmeras opções. No meio rodoviário, os recursos podem ser utilizados na construção de novas vias pavimentadas, na duplicação de vias pavimentadas, na restauração de vias pavimentadas, na manutenção preventiva das vias pavimentadas, na construção de vias troncais ou alimentadoras; na melhoria do traçado de vias existentes como, por exemplo, com construção de túneis ou viadutos; com a melhoria da sinalização como, por exemplo, com a instalação de pórticos de sinalização dinâmica.

Igualmente, no caso urbano, as opções de investimentos são muito variadas, podendo ser construídas facilidades com prioridades para os transportes públicos, com faixas exclusivas, pistas exclusivas ou mesmo vias exclusivas, terminais de integração para os transportes públicos, melhoria na sinalização horizontal, vertical ou semaforica, pavimentação de itinerários de linhas alimentadoras de transportes públicos, etc..

Tendo em vista esta diversidade de investimentos, as autoridades públicas na área dos transportes, principalmente, contam com muitas opções de investimentos e dado que sempre os recursos são escassos, necessitam muitas vezes de apoio técnico para fazerem da forma mais apropriada, a alocação dos recursos disponíveis.

Normalmente, as obras necessárias ultrapassam os recursos disponíveis e em alguns casos são esquecidos setores importantes, podendo haver grandes prejuízos para os transportes como um todo.

Analisando os conceitos econômicos de função de produção, curvas isoquantas, curvas de indiferença, linha de orçamento e as leis de redução da utilidade (ou da receita marginal) e da igualdade das utilidades marginais (ou das receitas marginais), verifica-se que os mesmos podem ser aplicados de forma semelhante à escolha dos investimentos a serem efetuados em facilidades de transportes.

Existe uma analogia entre uma pessoa que decide como dividir seu salário entre os bens que necessite ou entre um empresário ao decidir entre as quantidades de fatores de produção ou insumos que poderá utilizar em sua

empresa e a autoridade de transportes que necessita escolher a melhor maneira de aplicar os recursos públicos.

Da mesma forma que a utilidade marginal de um dado tipo de alimento varia para o consumidor a medida que disponha de quantidades diferentes do mesmo, os ganhos trazidos por uma nova estrada para a população de uma dada área variam em função da disponibilidade de outras estradas.

Desta maneira, é possível, fazer uma relação de obras por ordem de prioridade em cada um dos setores de transporte. O setor rodoviário, apresentaria suas obras mais prioritárias em cada sub-setor ou seja novas vias, melhorias e manutenção de vias existentes, dispositivos de sinalização, terminais de cargas e de passageiros etc..

Sendo a seguir estimada uma função semelhante a função de produção, que represente os benefícios totais com a realização de quantidades distintas dos diferentes tipos de obras.

Por exemplo, hipoteticamente, pode-se ter no setor rodoviário:

$$Q = a.Nr^b.Mr^c.Sr^d.Tr^e.Or^f \quad (1)$$

Sendo:

Q = benefícios totais a serem maximizados.

Nr = quilômetros (ou recursos aplicados) de novas rodovias a serem construídas.

Mr = quilômetros de manutenção de rodovias existentes.

Sr = quilômetros de sinalização de rodovias.

Tr = número de terminais de cargas (ou de passageiros).

Or = recursos aplicados em outros elementos necessários.

a; b; c; d; e; f = coeficientes (a serem determinados com análises estatísticas de regressão, por exemplo).

Esta função análoga à função de produção pode ser determinada analiticamente ou ser representada graficamente, com auxílio, das curvas isoquantas, conforme apresenta-se no item seguinte.

Tem-se também a linha de orçamento, que seria representada pelo total de recursos disponíveis e os custos unitários médios, conhecidos, de cada um dos tipos de obras.

Por exemplo:

$$O = cn.Nr + cm.Mr + cs.Sr + ct.Tr + co.Or \quad (2)$$

Sendo:

O = orçamento disponível.

cn = custo médio por quilômetro para a construção de novas vias (Nr).

cm = custo médio por quilômetro para a manutenção de vias (Mr).

cs = custo médio por quilômetro da sinalização (Sr).

ct = custo médio para os terminais (Tr).

co = custo médio para outros tipos de obras (Or).

A melhor aplicação do orçamento "O" seria dada pelos valores de "Nr"; "Mr"; "Sr"; "Tr" e "Or" que seriam obtidos resolvendo-se o sistema de equações formado pela linha de orçamento (2) e pelas derivadas da função análoga à função de produção em relação a cada tipo de obra (1) divididas pelos custos unitários médios respectivos. Ou seja, estas últimas equações representam uma aplicação análoga da lei de igualdade das utilidades (ou benefícios) marginais ou do princípio da substituição.

Por exemplo:

$$dQ/dNr = b \cdot a \cdot Nr^{b-1} \cdot Mr^c \cdot Sr^d \cdot Tr^e \cdot Or^f$$

As equações análogas à lei de igualdade das utilidades (ou benefícios) marginais representam o seguinte conjunto de equações a serem resolvidas em conjunto com a linha de orçamento:

$$\begin{aligned} (b \cdot a \cdot Nr^{b-1} \cdot Mr^c \cdot Sr^d \cdot Tr^e \cdot Or^f) / cn &= (c \cdot a \cdot Nr^b \cdot Mr^{c-1} \cdot Sr^d \cdot Tr^e \cdot Or^f) / cm \\ (b \cdot a \cdot Nr^{b-1} \cdot Mr^c \cdot Sr^d \cdot Tr^e \cdot Or^f) / cn &= (d \cdot a \cdot Nr^b \cdot Mr^c \cdot Sr^{d-1} \cdot Tr^e \cdot Or^f) / cs \\ (b \cdot a \cdot Nr^{b-1} \cdot Mr^c \cdot Sr^d \cdot Tr^e \cdot Or^f) / cn &= (e \cdot a \cdot Nr^b \cdot Mr^c \cdot Sr^d \cdot Tr^{e-1} \cdot Or^f) / ct \\ &\vdots \\ (e \cdot a \cdot Nr^b \cdot Mr^c \cdot Sr^d \cdot Tr^{e-1} \cdot Or^f) / ct &= (f \cdot a \cdot Nr^b \cdot Mr^c \cdot Sr^d \cdot Tr^e \cdot Or^{f-1}) / co \end{aligned}$$

Equações semelhantes são desenvolvidas para a consideração de obras em diferentes modalidades de transportes ou seja, é possível analisar em conjunto os investimentos em rodovias, ferrovias e hidrovias.

9.1 TEORIA DA LOCALIZAÇÃO DE WALTER ISARD.

No estudo desenvolvido para a análise concomitante de investimentos em diferentes modalidades de transporte são utilizadas similitudes com a Teoria da Produção e com o Método de Substituição.

Este procedimento foi utilizado por Walter ISARD em seus estudos sobre a Teoria de Localização. A primeira publicação de ISARD "Location and Space Economy"⁶⁶ de 1956, procura desenvolver uma teoria geral de localização de fábricas.

ISARD coloca grande importância na fusão da teoria da localização com outros ramos da teoria econômica através do princípio da substituição. ISARD cita que Andreas Predöhl (1928)⁶⁶ parece ter sido a primeira pessoa a pregar que este princípio poderia ser utilizado na análise de localização. O empresário define os gastos nos vários fatores de produção, usando o princípio da substituição, durante a escolha da localização de sua empresa. GREENHUT⁶⁶ resume o uso do princípio de substituição na teoria da localização, da seguinte maneira:

A teoria da localização das fábricas é um segmento da teoria econômica. Ela, também, se apoia no princípio da substituição. A quantidade de trabalho que pode ser substituída por capital ou terra e vice-versa é basicamente o mesmo problema que a escolha do local de fábrica entre locais alternativos. Ambas as decisões procuram maximizar os resultados. O objetivo é alcançado quando meios escassos são alocados entre resultados competitivos da maneira ótima.

ISARD coloca os transportes, inicialmente referido à distâncias, no mesmo nível que os outros quatro fatores de produção reconhecidos convencionalmente (natureza, trabalho, capital e espírito empreendedor). Não reconhece os transportes como outro fator de produção, mas enfatiza seu papel importante no processo de produção e consumo.

A análise de ISARD do equilíbrio locacional da empresa considerando os transportes, ilustra como o princípio da substituição é aplicado. Um triângulo é utilizado com o mercado num dos vértices (C), e as fontes de dois insumos nos outros vértices (M1 e M2) e as distâncias como mostrado na Figura 9.1. O problema inicial consiste em encontrar a localização ótima, dadas certas hipóteses com relação aos valores dos fretes e quantidades de insumos necessários; para uma fábrica a uma distância fixada de um dos vértices do triângulo, por exemplo a três quilômetros do mercado (C). O arco "TS" na figura 9.1 representa os pontos possíveis de localização. O próximo passo é transpor este arco para a chamada "linha de transformação" num gráfico no qual as distâncias das fontes de insumo (M1 e M2) aparecem nos eixos (figura 9.2). Movendo-se ao longo da linha de transformação de "S" para "T" a distância da fonte "M1" diminui e da fonte "M2" aumenta; ou seja os custos de transporte de um ponto estão sendo substituídos pelos de outro. Por exemplo, seja o custo por quilômetro igual à "x reais", uma fábrica localizada em "S" distante 4,5 km de M1 e

5 km de M2 terá custos de transporte de 4,5x reais para os carregamentos vindos de M1 e 5x reais para os carregamentos vindos de M2; se a fábrica for localizada em "T" os carregamentos de M2 custarão mais caros (7x reais) e os carregamentos de M1 mais baratos (2x reais), ou seja custos de transporte de M1 foram substituídos por custos de transporte de M2.

Para encontrar a localização ótima de menor custo total ao longo da curva "ST" é necessário acrescentar "linhas de mesmos custos" à figura 9.2. Considerando que a produção requer uma tonelada do material M1 e uma tonelada do material M2 e que os custos de transporte sejam os mesmos e proporcionais à distância estas linhas serão retas e terão uma inclinação negativa de um por um, conforme mostra a figura 9.3. A localização ótima, ou posição de equilíbrio ao longo da curva "ST" é o ponto em que a linha de menor custo total seja tangente à curva (ponto X). Qualquer outro ponto ao longo da curva "ST" estará sobre outra "linha de mesmo custo" com custo total maior, ou seja não se ganha nada pela substituição de uma distância por outra (no caso da função de produção não se ganhava nada ao substituir um fator de produção por outro). Este exemplo proporcionaria o melhor local para a empresa situada a uma distância fixa de 3 km do vértice "C", para encontrar a verdadeira posição ótima o processo requer ser repetido mantendo-se constante as distâncias de "M1" e depois de "M2".

ISARD afirma que usando o conceito dos dados de transporte num processo de substituição, os estudos de localização de WEBER orientados pelos transportes podem ser integrados na teoria de produção, dependente do princípio da substituição entre os fatores, porém acha que a solução do triângulo de pesos de WEBER, as construções geométricas de LAUNHARDT e PALANDER, como o modelo mecânico de VARIGNON, as isodapanes ou técnicas de linhas de contorno abreviam o processo de encontrar na prática a localização ótima. Os outros métodos são mais diretos do que o seu envolvendo "curvas de transformação" e "linhas de mesmo custo", a única vantagem é conceitual em termos da análise por substituição.

66 ISARD, Walter. **Locacion and Space Economy**, MIT Press, Cambridge, Mass. 1956
In: SMITH, D.M.(71) **Industrial Location: An Economic Geographical Analysis**. John Wiley & Sons N. Y, 1971.

Fig. 9 - O Problema do Triângulo de Localização, interpretado por uma estrutura de Substituição.

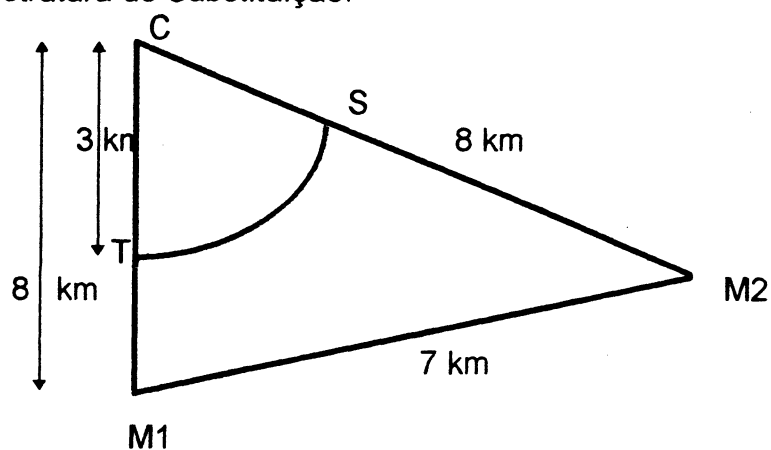


Fig. 9.1

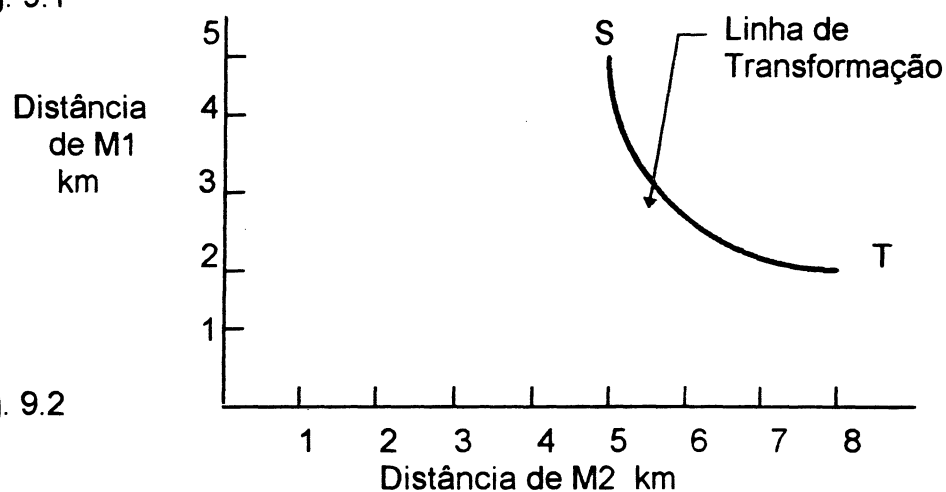


Fig. 9.2

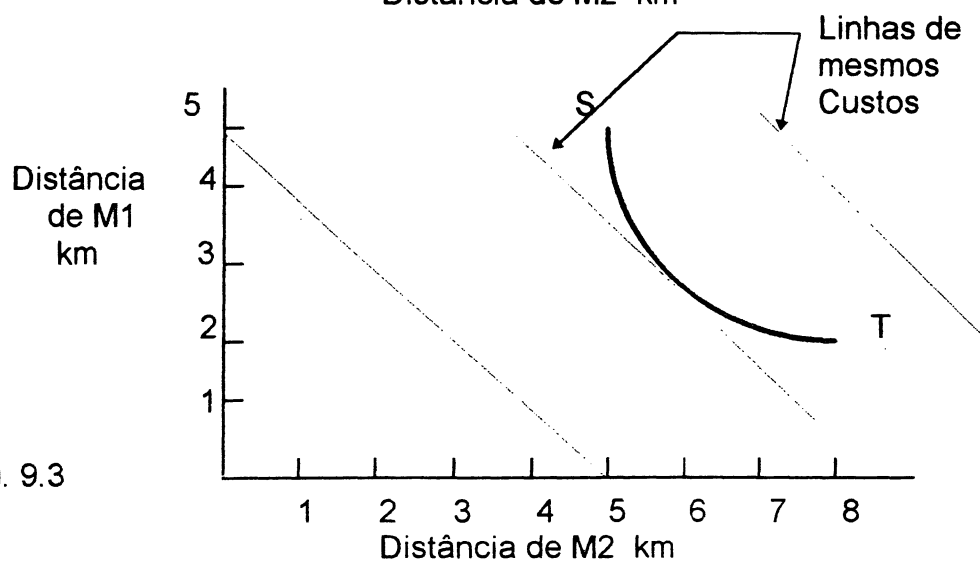


Fig. 9.3

10 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.

ALOCÇÃO ÓTIMA DE RECURSOS ORÇAMENTARIOS DE ORGÃO GOVERNAMENTAL EM VIAS DE TRANSPORTE.

10.1 EXEMPLO - CURVAS ISOQUANTAS COM BASE NO NÚMERO DE USUÁRIOS x KM x DIA.

Este exemplo refere-se à aplicação da metodologia estudada em investimentos relacionados com os transportes públicos urbanos. Os dados apresentados são fictícios, embora tenha-se procurado obter valores próximos da realidade.

Suponha-se que estejam disponíveis R\$ 200 milhões para a construção de vias troncais (ou com prioridades para o transporte público) e vias secundárias (ou vias normais de transporte público), no orçamento plurianual de uma dada cidade.

Deve-se obter as curvas isoquantas (indiferença) dadas neste caso pelo número de passageiros transportados x km por dia, a serem acrescentados ao sistema de transporte público com os investimentos previstos. Esta variável é considerada, neste caso como a "produção" dos transportes.

As curvas isoquantas serão traçadas num gráfico, com base em dados de tráfego (usuários x km x dia) e quilometragem de vias troncais e secundárias já colocadas em ordem de prioridade (por volume de usuários) com base em dados levantados, supostamente pelos técnicos do setor, conforme o quadro abaixo:

Quadro 10.1 - Relação Prioritária de Vias Troncais e Secundárias conforme a Meta (usuáriosxkmxdia) desejada.

	Meta - usuários x km x dia		
	500.000	600.000	700.000
(VA) km de vias secundárias	(VT) km de vias de troncais		
800	120	170	220
1600	80	120	180
2400	50	90	130
3200	30	70	110

Além disso deve ser traçada, no mesmo gráfico das curvas isoquantas, a linha de orçamento, a qual é obtida considerando-se o custo de implantação médio por quilômetro das vias troncais e das vias secundárias. Por exemplo:

Custo médio de 1 km de via troncal (VT) = R\$ 1 milhão
Custo médio de 1 km de via secundária(VA) = R\$ 50 mil.

Linha de Orçamento $1.000.000 VT + 50.000VA = 200.000.000$

Máxima quantidade possível de vias troncais (ou de transp. de massa) = 200 km

Máxima quantidade possível de vias secundárias = 4.000 km

A seguir apresenta-se um gráfico (figura 10.1) com as curvas isoquantas (linearizada entre os pontos dados na tabela) e a linha de orçamento, através do qual pode-se observar que a melhor alternativa em termos da maximização do número de usuários x km x dia, com o orçamento dado é aproximadamente = 1600 km de vias secundárias e 120 km de vias troncais. Neste caso o número máximo de usuários x km x dia é de aproximadamente 600.000 usuários x km x dia.

Em muitos casos a linha de orçamento não é tangente a nenhuma das curvas isoquantas dadas, neste caso pode-se obter os dados para novos valores de curvas isoquantas ou obter a equação representativa da função de produção.

Obtida a função análoga à de produção pode-se utilizar também de forma semelhante a Lei da Igualdade das Utilidades Marginais (ou receitas marginais) para obter equações que junto com a equação da linha de orçamento fornecem os valores otimizados das quilometragens a construir de cada um dos tipos de vias.

Resolve-se o mesmo exemplo anterior, adotando-se o procedimento acima e adotando-se para a função análoga à função de produção a forma linear, multiplicativa e da parábola.

No caso do exemplo, utilizando-se os programas de computador "TOOLS" e "TSP", para os dados do quadro 10.1, relacionando usuários x km x dia com os quilômetros previstos, foram obtidas as seguintes equações para a função de produção:

1) Forma Linear:

$$Q = 177.264,6536 + 89,6980.VA + 2.131,4387.VT \quad (1)$$

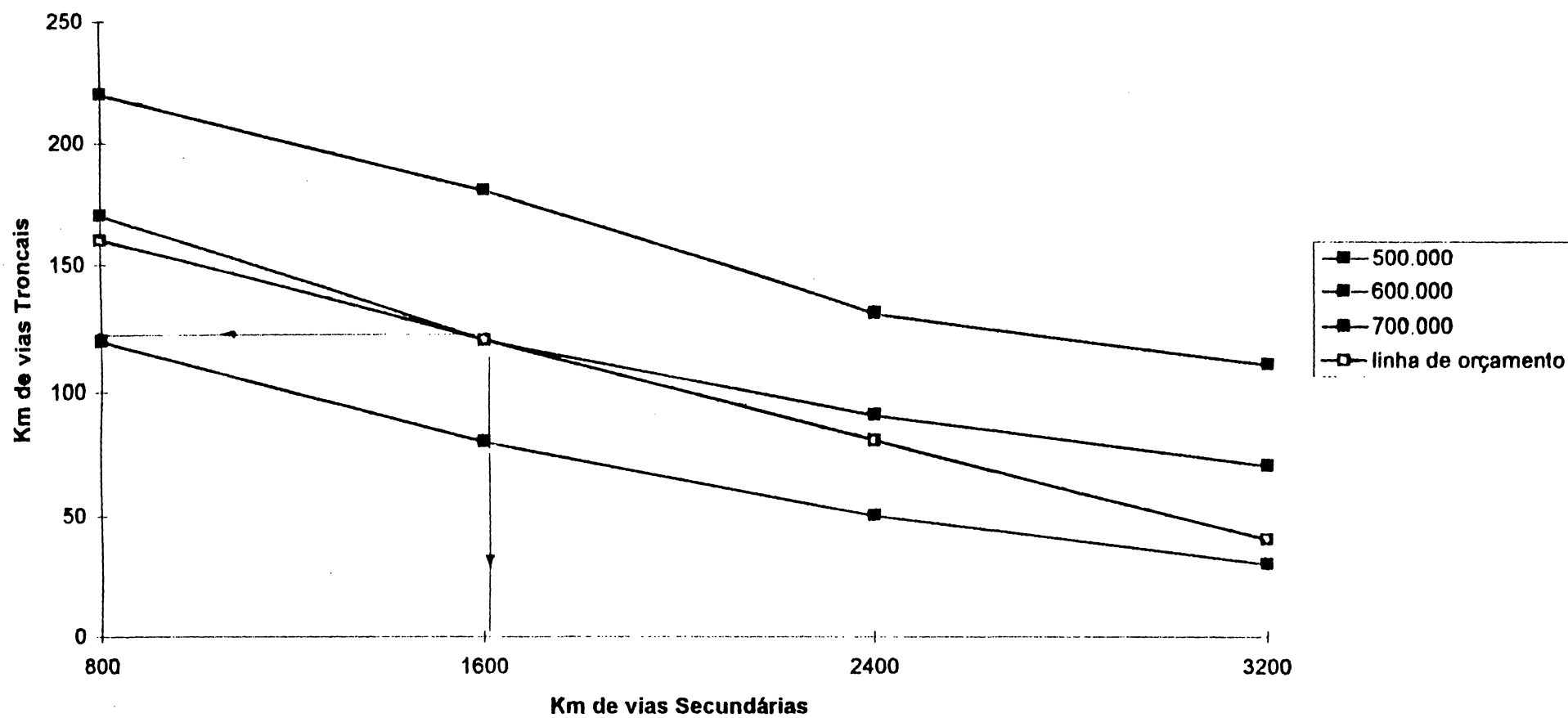
Com valores "t" (teste estatístico) dos coeficientes, iguais respectivamente a: 5,53 ; 10,30 e 14,54 e valor de " R^2 " = 0,9591.

Nesta equação, considerando-se VA = 1600 km e VT = 120 km temos o valor de Q (número de usuários x km x dia) = 576.554,1741.

Neste caso os valores de VA e VT podem ser obtidos através da programação linear, considerando-se a equação (1) como função objetiva e como equações de restrição a linha de orçamento e os valores máximos de VA e VT.

Contudo, verifica-se que nestes casos o máximo valor de "Q" é obtido com a construção de 200 km de vias troncais, o que apresenta uma distorção em relação a solução gráfica inicial (fig. 10.1).

Fig.10.1 Alocação de Recursos entre Vias Troncais e Secundárias



Deve-se, portanto no caso de solução analítica, evitar-se a equação linear para representação da função análoga à função de produção.

2) Forma Multiplicativa:

$$Q = 24.372,2483 \cdot VA^{0,2272} \cdot VT^{0,3243} \quad (2)$$

Com valores "t" (teste estatístico) dos coeficientes, iguais respectivamente a: 15.712,52 ; 5,68 e 8,43 e valor de " R^2 " = 0,8875.

Nesta equação, considerando-se VA = 1600 km e VT = 120 km temos o valor de Q (número de usuários x km x dia) = 615.462,2827.

Aplicando de forma semelhante a Lei de igualdade das utilidades marginais nesta equação tem-se:

$$(5537,37481 \cdot VA^{-0,7728} \cdot VT^{0,3243}) / 50.000 =$$

$$= (7903,92012 \cdot VA^{0,2272} \cdot VT^{-0,6757}) / 1.000.000$$

ou

$$0,1107475 \cdot VA^{-0,7728} \cdot VT^{0,3243} = 0,00790392 \cdot VA^{0,2272} \cdot VT^{-0,6757}$$

$$\text{ou } 14,0117175 \cdot VT = VA \quad (3)$$

Considerando a linha de orçamento tem-se:

$$1.000.000 VT + 50.000VA = 200.000.000$$

$$\text{ou } VT + 0,05 \cdot VA = 200 \quad (4)$$

Resolvendo-se (3) e (4) encontra-se:

$$VA = 1648 \text{ km}; \quad VT = 118 \text{ km} \quad \text{e} \quad Q = 616.168,66 \text{ pass.km.dia}$$

Valores bastante próximos aos encontrados com o gráfico inicial (fig. 10.1) e mostrados na figura 10.2 . Portanto, a solução, no caso de dois tipos de obras pode ser obtida graficamente ou analiticamente.

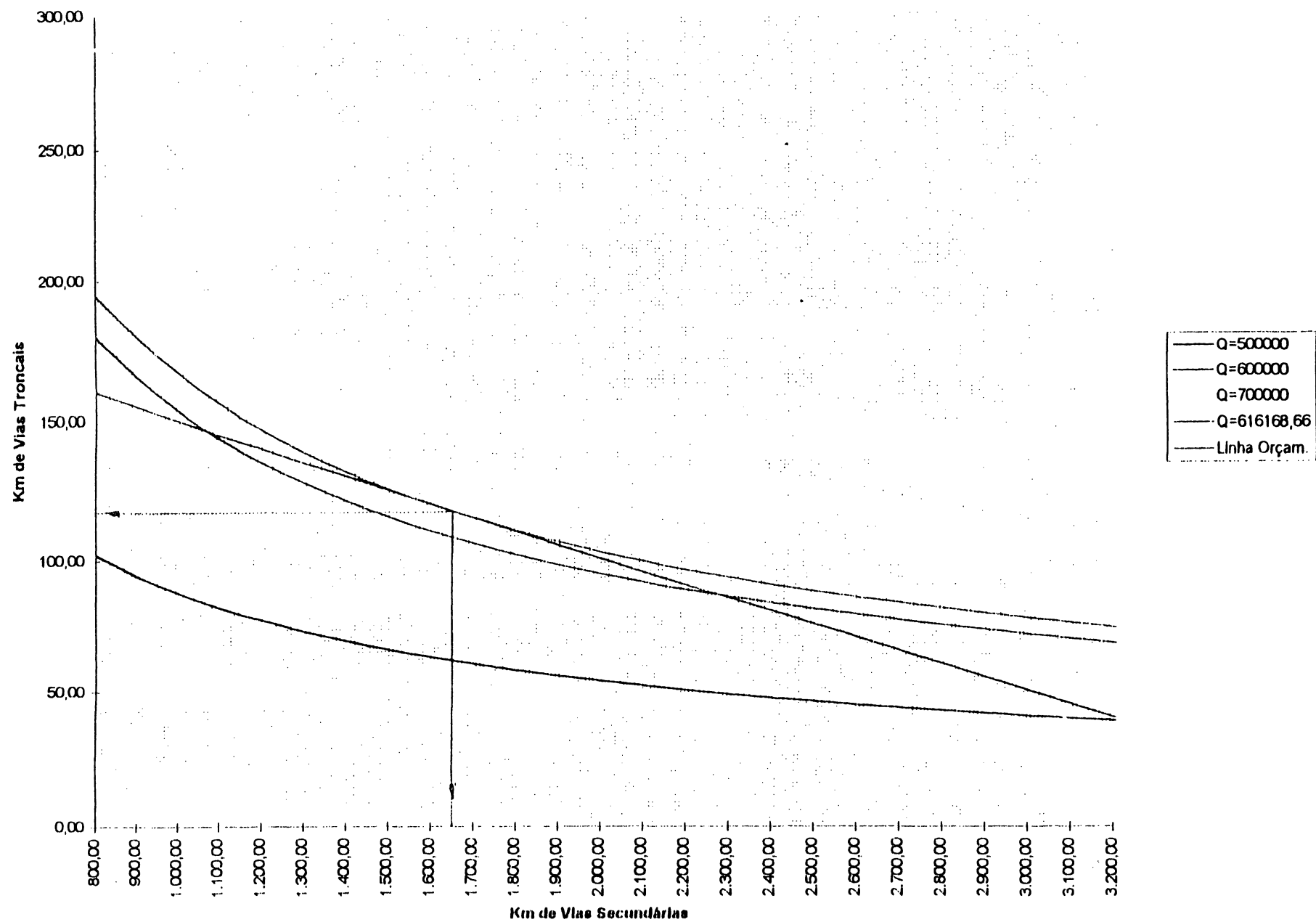
A forma de equação multiplicativa é mais adequada do que a equação linear, para os cálculos analíticos.

3) Forma de Parábola:

$$Q = 62.720,341 + 163,354.VA + 3.072,748VT -$$

$$- 0,0166079VA^2 - 3,2901047VT^2 - 0,0428434VAVT$$

Fig.10.2 Alocação de Recursos entre Vias Troncais e Secundárias - Multiplicativa



Com valores “t” (teste estatístico) dos coeficientes iguais respectivamente a:

0,606; 3,195; 3,016; - 2,367; - 1,317 e - 0,187 e valor “R²” = 0,99385.

Nesta equação, considerando-se VA=1600 km e VT=120 km temos o valor de Q (número de usuáriosxkmxdia) = 594.696,837.

Aplicando a Lei de Igualdade das Utilidades Marginais tem-se:

$$(163,354 - 2 \times 0,0166079VA - 0,0428434 \times VT) / 50.000 =$$

$$(3072,748 - 2 \times 3,2901047VT - 0,0428434VA) / 1.000.000$$

$$3267,08 - 0,664316VA - 0,856868VT = 3072,748 - 6,5802094VT - 0,0428434VA$$

Considerando a Linha de Orçamento:

$$200.000.000 = 1.000.000VT + 50.000VA$$

ou

$$4000 = 20VT + VA$$

ou

$$VA = 4000 - 20VT$$

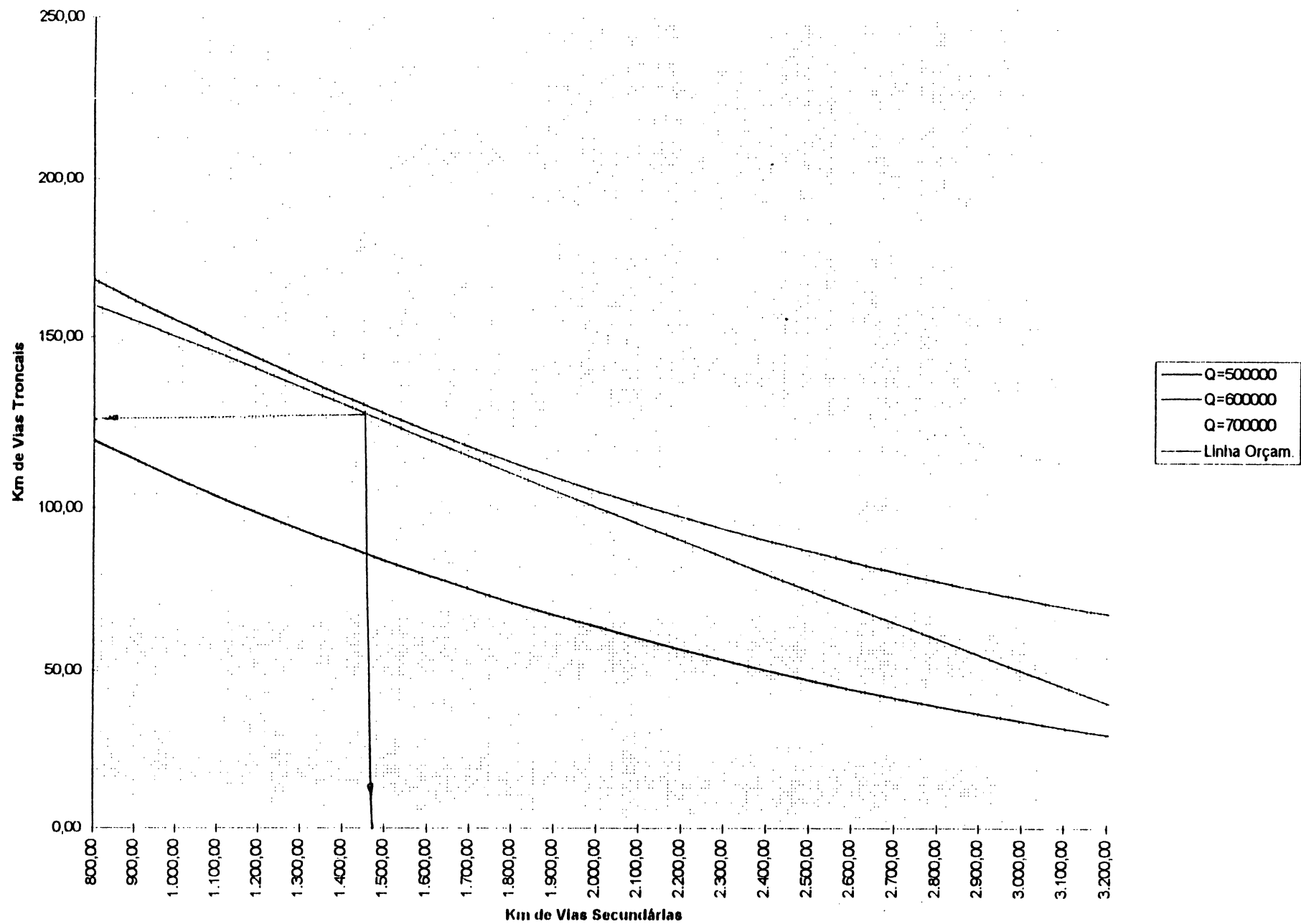
Substituindo na equação anterior resulta:

$$VT = 126,237 \text{ km} \quad \text{e} \quad VA = 1475,267 \text{ km}$$

$$\text{e } Q = 691.605,596$$

Esses resultados são mostrados na figura 10.3 a seguir. As curvas isoquantas representadas pela equação da parábola mostraram-se adequadas. Pode ser dada preferência pela forma multiplicativa, por ser mais fácil a obtenção da equação de regressão como também pela facilidade de obter os valores das elasticidades.

Fig.10.3 Alocação de Recursos entre Vias Troncais e Secundárias - Equação da Parábola



10.2 EXEMPLO - CURVAS ISOQUANTAS COM BASE NO NÚMERO DE TONELADAS x Km x DIA.

Este exemplo refere-se à aplicação da metodologia estudada para a escolha de investimentos em diferentes modalidades de transporte. Os dados apresentados são fictícios, embora tenha-se procurado valores próximos da realidade.

Supondo-se que estejam disponíveis R\$ 470 milhões para rodovias troncais e ferrovias, no orçamento plurianual do Governo.

Suponha-se que deve-se obter curvas análogas as curvas isoquantas de produção, dadas neste exemplo pelo número de toneladas x km x dia; esta variável é considerada como a produção do sistema de transportes previsto.

As curvas similares às curvas isoquantas de produção são traçadas num gráfico, com base em dados de tráfego em tonelada x quilômetro x dia (t x km x dia) e a quilometragem dos diferentes tipos de vias considerados. As vias são colocadas em ordem de prioridade, supostamente pelos técnicos de cada setor, em função das toneladas diárias.

Com os dados de tráfego (txkmxdia) e quilometragem das vias é preparada tabela seguinte:

Quadro 10.2 - Relação Prioritária de Rodovias Troncais e Ferrovias conforme a Meta (t x km x dia)* desejada.

	Metas em termos de tonelada x quilômetro x dia		
	250.000	300.000	350.000
Km Rodovias Troncais	Km de Ferrovias		
1000	600	800	1040
2000	360	500	700
3000	280	380	560
4000	200	300	500

* Obs. t x km x dia = tonelada x quilômetro x dia

Na mesma figura 10.4 das curvas similares às curvas isoquantas de produção, traçada com os dados do quadro anterior, é desenhada a linha de orçamento. A qual é obtida considerando o custo de implantação médio por quilômetro das rodovias troncais e das ferrovias.

No exemplo, sendo o custo médio por quilômetro das rodovias troncais de R\$ 100 mil, o custo médio por quilômetro das ferrovias de R\$ 500 mil e o orçamento plurianual de R\$ 470 milhões, a linha de orçamento é dada por:

$$100.000 \times \text{Km Rod.} + 500.000 \times \text{Km Ferr.} = 470.000.000$$

A seguir, apresenta-se um gráfico (figura 10.4) com as linhas similares às curvas isoquantas de produção (ou mesmo às curvas de indiferença do consumidor) e a linha de orçamento, através do qual pode-se observar que, para os valores dados, a melhor solução é a construção de 1780 km de rodovias troncais e 580 km de ferrovias.

Verifica-se neste segundo exemplo, que a linha de orçamento não tangencia nenhuma das curvas similares às curvas isoquantas de produção; neste caso pode-se obter novos dados e traçar uma nova curva, por exemplo de 315.000 t x km x dia. Este valor é a maior quantidade possível de t x km x dia que pode ser acrescentada ao sistema, com o orçamento disponível.

Em muitos casos a linha de orçamento não é tangente a nenhuma das curvas similares às curvas isoquantas dadas, devendo-se obter novos dados para outras curvas ou obter a equação representativa da função análoga à função de produção.

Obtida análoga à função de produção pode-se utilizar considerações análogas à Lei da Igualdade das Utilidades Marginais (ou receitas marginais) para obter equações que junto com a equação da linha de orçamento fornecem os valores otimizados das quilometragens a construir de cada um dos tipos de vias.

No caso deste exemplo, utilizando-se o programa de computador "TOOLS", para os dados da tabela dada, relacionando t x km x dia com os quilômetros previstos, foram obtidas as seguintes equações para a função análoga à função de produção:

1) Forma Linear:

$$Q = 81.091,701 + 37,5041. \text{ KmRod.} + 241,443. \text{ KmFerr.} \quad (1)$$

Com valores "t" (teste estatístico) dos coeficientes, iguais respectivamente a: 2,20 ; 4,82 e 6,42 e valor de " R^2 " = 0,8209.

Nesta equação, considerando-se KmRod. = 1780 km e KmFerr. = 580 km tem-se o valor de Q (número de t x km x dia) = 287.886,00.

Neste caso os valores de KmRod. e KmFerr. podem ser obtidos através da programação linear, considerando-se a equação (1) como função objetiva e como equações de restrição a linha de orçamento e os valores máximos de KmRod. e KmFerr.

Contudo, verifica-se que nestes casos o máximo valor de Y é obtido com a construção de 940 km de ferrovias, o que apresenta uma distorção em relação a solução gráfica.

Deve-se, portanto, como no caso do exemplo anterior, para a solução analítica, evitar a equação linear para representação da função de produção.

2) Forma Multiplicativa:

$$Q = 1.703,1784 \cdot \text{KmRod.}^{0,3051} \cdot \text{KmFerr.}^{0,4572} \quad (2)$$

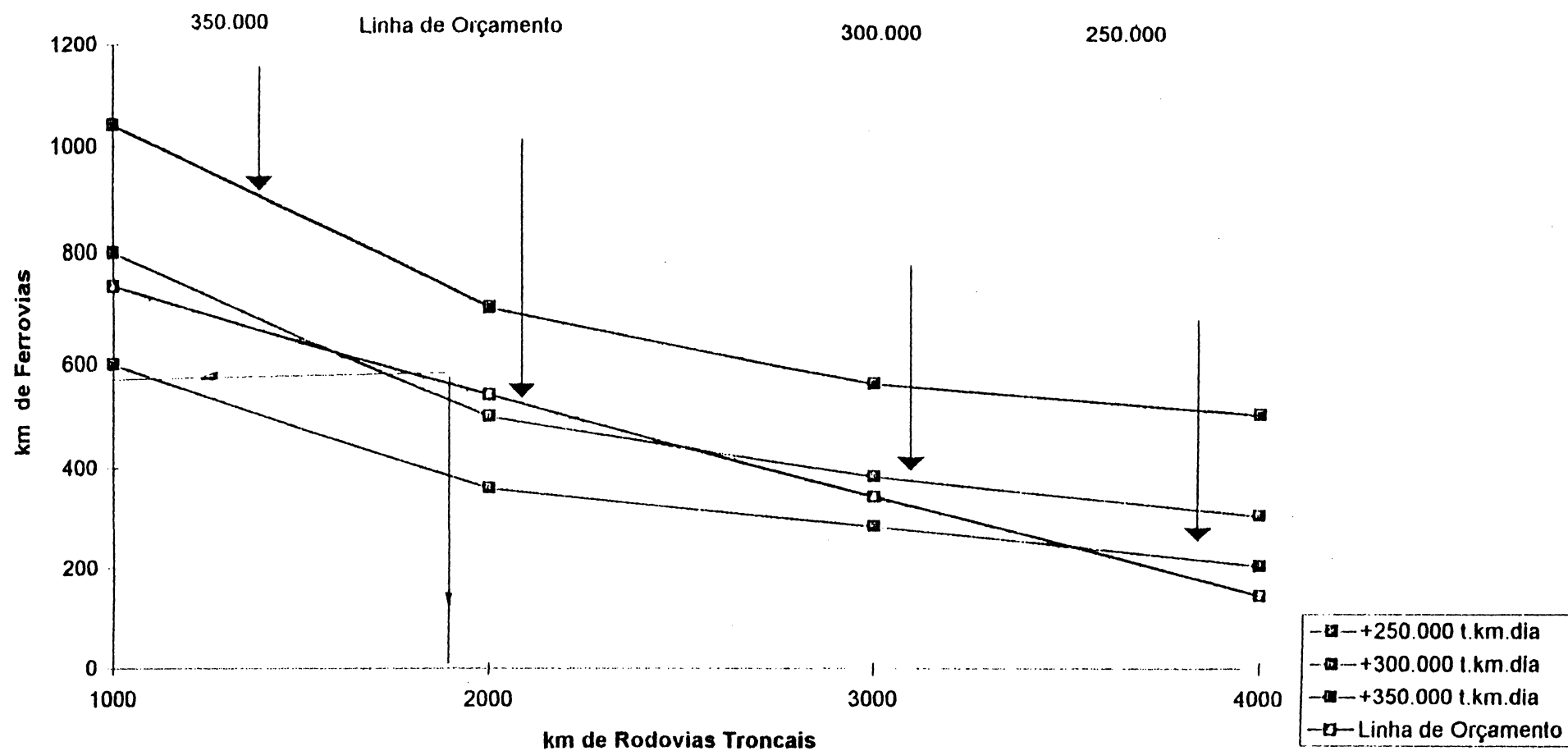
Com valores "t" (teste estatístico) dos coeficientes, iguais respectivamente a: 1.144,43 ; 10,62 e 13,92 e valor de " R^2 " = 0,9556.

Nesta equação, considerando-se KmRod. = 1780 km e KmFerr. = 580 km temos o valor de Q (número de t x km x dia) = 306.525,6452.

Considerando a analogia com a Lei de igualdade das utilidades marginais desta equação tem-se:

Fig.10.4

Alocação de Recursos entre Rodovias e Ferrovias



$$(519,63973 \cdot \text{KmRod.}^{-0,6949} \cdot \text{KmFerr}^{0,4572}) / 100.000 =$$

$$= (778,693164 \cdot \text{KmRod.}^{0,3051} \cdot \text{KmFerr}^{-0,5428}) / 500.000$$

ou

$$0,0051963973 \cdot \text{KmRod.}^{-0,6949} \cdot \text{KmFerr}^{0,4572} =$$

$$= 0,00155739 \cdot \text{KmRod.}^{0,3051} \cdot \text{KmFerr}^{-0,5428}$$

$$\text{ou } 3,33661417 \cdot \text{KmFerr.} = \text{KmRod.} \quad (3)$$

Considerando a linha de orçamento tem-se:

$$100.000 \cdot \text{KmRod} + 500.000 \cdot \text{KmFerr} = 470.000.000$$

$$\text{ou } \text{KmRod} + 5 \cdot \text{KmFerr} = 4.700 \quad (4)$$

$$3,33661417 \cdot \text{KmFerr.} = 4.700 - 5 \cdot \text{KmFerr.}$$

Resolvendo-se (3) e (4) encontra-se:

$$\text{KmRod.} = 1881 \text{ km} \quad \text{e} \quad \text{KmFerr.} = 564 \text{ km}$$

Valores bastante próximos aos encontrados na figura 10.4. Portanto, não sendo encontrada a solução pelo gráfico, a forma de equação multiplicativa é mais adequada que a equação linear, para os cálculos analíticos. Com um maior número de dados tanto o gráfico como as equações fornecem valores mais precisos.

Da mesma forma que no exemplo anterior ao invés da equação multiplicativa pode ser utilizada a equação da parábola, embora a regressão possa ser mais trabalhosa e os valores das elasticidades sejam mais difíceis de serem obtidos.

10.3 EXEMPLO - CURVAS DE INDIFERENÇA COM BASE EM VALORES MONETÁRIOS DE BENEFÍCIOS MENOS CUSTOS.

Neste exemplo fictício procura-se aplicar a metodologia estudada a diferentes tipos de obras do setor rodoviário. Neste exemplo são efetuados estudos de sensibilidade para analisar os resultados obtidos.

Supõe-se a existência de um orçamento de R\$ 10.000.000,00 (dez milhões de reais) para aplicação em rodovias nos próximos 3 anos. Os recursos poderão ser aplicados em pavimentação de novas rodovias, recuperação de vias pavimentadas anteriormente e na manutenção preventiva de rodovias.

São definidas as rodovias mais prioritárias dos 3 casos acima através dos valores atuais de benefícios menos custos, conforme quadro a seguir:

Quadro 10.3 Relação Prioritária de Novas Rodovias, Rodovias a Recuperar e Rodovias para Manutenção Preventiva com Custos e Benefícios.

Novas Rodovias

Trecho	Extensão (km)	Custo R\$ 10 ³	Benefício R\$ 10 ³	Custo - Benefício R\$ 10 ³
N1	20	2.000	4.000	2.000
N2	25	2.500	3.500	1.000
N3	15	1.500	2.000	500
N4	15	1.500	1.800	300
N5	12	1.200	1.400	200
N6	8	800	900	100

Rodovias a Recuperar

Trecho	Extensão (km)	Custo R\$ 10 ³	Benefício R\$ 10 ³	Custo - Benefício R\$ 10 ³
R1	20	1.000	2.000	1.000
R2	16	800	1.600	800
R3	16	800	1.400	600
R4	16	800	1.200	400
R5	12	600	800	200

Rodovias para Manutenção Preventiva.

Trecho	Extensão (km)	Custo R\$10 ³	Benefício R\$ 10 ³	Custo - Benefício R\$ 10 ³
M1	160	800	2.600	1.800
M2	140	700	2.000	1.300
M3	120	600	1.600	1.000
M4	160	800	1.500	700

Além disso, são determinados os seguintes custos médios de execução por quilômetro conforme o tipo de serviço:

Custo médio de construção p/ 1 km de via nova pavimentada (KmN) = R\$ 100.000,00.

Custo médio de recuperação de 1 km de via pavimentada (KmR) = R\$ 50.000,00.

Custo médio do km de via para manutenção preventiva (KmM) = R\$ 5.000,00.

Resolução:

A linha de orçamento é dada por:

$$10.000.000,00 = 100.000,00 \times \text{KmN} + 50.000,00 \times \text{KmR} + 5.000,00 \times \text{KmM}$$

ou, simplificando: $2.000 = 20 \times \text{KmN} + 10 \times \text{KmR} + \text{KmM}$

Neste caso queremos maximizar os benefícios com base no orçamento disponível.

A função análoga à função de produção terá como variável dependente neste caso o valor dos benefícios-custos e como variáveis independentes os quilômetros de novas vias; vias a recuperar e vias a manter.

Observando os quadros dos trechos prioritários em cada setor, obtém-se na tabela a seguir diferentes alternativas para conjuntos de vias dos três tipos a serem implantadas e os valores globais de benefícios - custos:

Quadro 10.4 - Conjuntos de Alternativas Construtivas.

Alternativas Construtivas	Q=Benefício - Custo R\$10 ³	km de Novas Vias (KmN)	km de Vias a Recuperar (KmR)	km de Vias a Manter (KmM)
N1+R1 +M1	4.800	20	20	160
N1+N2+R1+M1	5.800	45	20	160
N1+R1+R2+M1	5.600	20	36	160
N1+R1+M1+M2	6.100	20	20	300
N1+N2+N3+R1+M1	6.300	60	20	160
N1+R1+R2+R3+M1	6.200	20	52	160
N1+R1+M1+M2+M3	7.100	20	20	420
N1+N2+N3+N4+R1+M1	6.600	75	20	160
N1+R1+R2+R3+R4+M1	6.600	20	68	160
N1+R1+M1+M2+M3+M4	7.800	20	20	580

(Cont.)

Quadro 10.4 - Conjuntos de Alternativas Construtivas (cont.)

Alternativas Construtivas	Q= Benefício - Custo R\$ 10 ³	kmN	kmR	kmM
N1+N2+N3+N4+N5+R1+M1	6.800	87	20	160
N1+R1+R2+R3+R4+R5+M1	6.800	20	80	160
N1+N2+R1+M1+M2+M3+M4	8.800	45	20	580
N1+R1+R2+M1+M2+M3+M4	8.600	20	36	580
N1+N2+N3+N4+N5+N6+R1+M1	6.900	95	20	160

Efetuada a análise de regressão múltipla, usando o programa "TOOLS" resulta para a equação de forma multiplicativa usando as cinco primeiras alternativas:

$$Q = 147.968,6 \times \text{KmN}^{0,2444} \times \text{KmR}^{0,2654} \times \text{KmM}^{0,3842} \quad (1)$$

$$\text{Com } R^2 = 0,9982$$

A mesma regressão usando as dez primeiras alternativas do quadro anterior resulta:

$$Q = 151.256,5 \times \text{KmN}^{0,2405} \times \text{KmR}^{0,2616} \times \text{KmM}^{0,3851} \quad (2)$$

$$\text{Com } R^2 = 0,9961$$

A mesma regressão usando todas as alternativas do quadro anterior resulta:

$$Q = 233.702,9 \times \text{KmN}^{0,2134} \times \text{KmR}^{0,2311} \times \text{KmM}^{0,3387} \quad (3)$$

$$\text{Com } R^2 = 0,9873$$

Verifica-se que ao serem consideradas novas alternativas construtivas, nas quais foram incluídas mais rodovias, com menor relação Benefício - Custo, o coeficiente linear aumenta e os expoentes das variáveis independentes (valores de elasticidade) se tornam menores.

Desta forma a seguir serão obtidos os valores de KmN, KmR e KmM para a última equação ajustada e em seguida feita uma análise de sensibilidade para ver a variação dos resultados ao variarem os valores das elasticidades.

Aplicando a Lei de Igualdade das Utilidades Marginais considerando a equação (3) resulta:

$$\begin{aligned}
 & (49.872,2 \times \text{KmN}^{-0,7866} \times \text{KmR}^{0,2311} \times \text{KmM}^{0,3387}) / 100.000 = \\
 & = (54.008,7 \times \text{KmN}^{0,2134} \times \text{KmR}^{-0,7689} \times \text{KmM}^{0,3387}) / 50.000 = \\
 & = (79.155,2 \times \text{KmN}^{0,2134} \times \text{KmR}^{0,2311} \times \text{KmM}^{-0,6613}) / 5.000
 \end{aligned}$$

ou

$$\begin{aligned}
 & 498,722 \times \text{KmN}^{-0,7866} \times \text{KmR}^{0,2311} \times \text{KmM}^{0,3387} = \\
 & = 1.080,2 \times \text{KmN}^{0,2134} \times \text{KmR}^{-0,7689} \times \text{KmM}^{0,3387} = \\
 & = 15.831,0 \times \text{KmN}^{0,2134} \times \text{KmR}^{0,2311} \times \text{KmM}^{-0,6613}
 \end{aligned}$$

ou

$$0,4616941307 \times \text{KmR} = \text{KmN}$$

$$0,031502874 \times \text{KmM} = \text{KmN}$$

$$0,0682332 \times \text{KmM} = \text{KmR}$$

A linha de orçamento é dada por:

$$2.000 = 20 \times \text{KmN} + 10 \times \text{KmR} + \text{KmM}$$

Resolvendo o sistema de equações resulta:

$$2.000 = 20 \times 0,4616941307 \times \text{KmR} + 10 \times \text{KmR} + 1/0,0682332 \times \text{KmR}$$

$$2.000 = 9,233882614 \times \text{KmR} + 10 \times \text{KmR} + 14,6556222 \times \text{KmR}$$

$\text{KmR} = \underline{59,015320849}$ quilômetros. (Serão recuperados os 3 trechos mais prioritários: R1, R2 e R3).

$\text{KmM} = \underline{864,90624577185}$ quilômetros. (Serão efetuadas todas as manutenções preventivas: M1, M2, M3 e M4).

$\text{KmN} = \underline{27,24703248236}$ quilômetros. (Será construída a rodovia nova mais prioritária: N1).

A seguir efetua-se uma análise de sensibilidade dos resultados em relação aos valores das elasticidades.

Na tabela a seguir as elasticidades variam dentro das seguintes faixas de valores:

Elasticidade de "Q" em relação à "KmN" de 0,15 até 0,30.

Elasticidade de "Q" em relação à "KmR" de 0,15 até 0,30.

Elasticidade de "Q" em relação à "KmM" de 0,25 até 0,40.

Quadro 10.5 - Elasticidades x Variação das quilometragens por tipo de obra.

Elastic.KmM	Elastic.KmR	Elastic.KmN	KmR	KmM	KmN
0,25	0,15	0,15	54,55	909,09	27,27
		0,20	50,00	833,33	33,33
		0,25	46,15	769,23	38,46
		0,30	42,86	714,29	42,86
	0,20	0,15	66,67	833,33	25,00
		0,20	61,54	769,23	30,77
		0,25	57,14	714,29	35,71
		0,30	53,33	666,67	40,00
	0,25	0,15	76,92	769,23	23,08
		0,20	71,43	714,29	28,57
		0,25	66,67	666,67	33,33
		0,30	62,50	625,00	37,50
	0,30	0,15	85,71	714,29	21,43
		0,20	80,00	666,67	26,67
		0,25	75,00	625,00	31,25
		0,30	70,59	588,24	35,29
0,30	0,15	0,15	50,00	1.000,00	25,00
		0,20	46,15	923,08	30,77
		0,25	42,86	857,14	35,71
		0,30	40,00	800,00	40,00
	0,20	0,15	61,54	923,08	23,08
		0,20	57,14	857,14	28,57
		0,25	53,33	800,00	33,33
		0,30	50,00	750,00	37,50
	0,25	0,15	71,43	857,14	21,43
		0,20	66,67	800,00	26,67
		0,25	62,50	750,00	31,25
		0,30	58,82	705,88	35,29
	0,30	0,15	80,00	800,00	20,00
		0,20	75,00	750,00	25,00
		0,25	70,59	705,88	29,41
		0,30	66,67	666,67	33,33
0,35	0,15	0,15	46,15	1.076,92	23,08
		0,20	42,86	1.000,00	28,57
		0,25	40,00	933,33	33,33
		0,30	37,50	875,00	37,50
	0,20	0,15	57,14	1.000,00	21,43
		0,20	53,33	933,33	26,67
		0,25	50,00	875,00	31,25
		0,30	47,06	823,53	35,29

Quadro 10.5 (cont.) - Elasticidades x Variação das quilometragens por tipo de obra.

Elastic.KmM	Elastic.KmR	Elastic.KmN	KmR	KmM	KmN
0,35	0,25	0,15	66,67	933,33	20,00
		0,20	62,50	875,00	25,00
		0,25	58,82	823,53	29,41
		0,30	55,56	777,78	33,33
	0,30	0,15	75,00	875,00	18,75
		0,20	70,59	823,53	23,53
		0,25	66,67	777,78	27,78
		0,30	63,16	736,84	31,58
0,40	0,15	0,15	42,86	1.142,86	21,43
		0,20	40,00	1.066,67	26,67
		0,25	37,50	1.000,00	31,25
		0,30	35,29	941,18	35,29
	0,20	0,15	53,33	1.066,67	20,00
		0,20	50,00	1.000,00	25,00
		0,25	47,06	941,18	29,41
		0,30	44,44	888,89	33,33
	0,25	0,15	62,50	1.000,00	18,75
		0,20	58,82	941,18	23,53
		0,25	55,56	888,89	27,78
		0,30	52,63	842,11	31,58
	0,30	0,15	70,59	941,18	17,65
		0,20	66,67	888,89	22,22
		0,25	63,16	842,11	26,32
		0,30	60,00	800,00	30,00

Verifica-se, pela tabela anterior, que a sensibilidade do número de quilometragem de cada tipo de obra quanto à variação das elasticidades é pequena.

A seguir efetua-se uma análise de sensibilidade dos resultados em relação aos valores dos custos médios unitários de implantação dos diferentes tipos de obras.

No quadro 10.6 a seguir os custos médios unitários de implantação por quilômetro variam de:

R\$ 300.000,00 à R\$ 100.000,00 para "KmN".
R\$ 150.000,00 à R\$ 50.000,00 para "KmR".
R\$ 50.000,00 à R\$ 5.000,00 para "KmM"

Quadro 10.6 - Custos Médios Unitários x Resultados em quilometragens por tipo de obra.

Custos Médios Unitários de Implantação			Quilometragem de Via a ser Implantada		
KmN R\$	KmR R\$	KmM R\$	KmN	KmR	KmM
300.000	150.000	50.000	4,52	11,21	143,50
		40.000	5,28	13,41	167,54
		30.000	6,34	16,69	201,26
		20.000	7,94	22,10	251,98
		10.000	10,61	32,68	336,86
		5.000	12,76	42,97	405,09
	100.000	50.000	4,75	11,87	150,89
		40.000	5,60	14,37	177,70
		30.000	6,81	18,21	216,10
		20.000	8,68	24,84	275,68
		10.000	11,99	39,06	380,60
		5.000	14,81	54,73	470,05
	50.000	50.000	5,01	12,62	159,08
		40.000	5,96	15,49	189,17
		30.000	7,35	20,04	233,30
		20.000	9,59	28,36	304,30
		10.000	13,78	48,54	437,40
		5.000	17,64	75,34	559,83
200.000	150.000	50.000	4,73	11,25	150,30
		40.000	5,57	13,47	176,88
		30.000	6,77	16,78	214,89
		20.000	8,62	22,25	273,71
		10.000	11,87	33,02	376,85
		5.000	14,63	43,56	464,35
	100.000	50.000	4,99	11,92	158,42
		40.000	5,93	14,44	188,24
		30.000	7,31	18,32	231,89
		20.000	9,51	25,04	301,90
		10.000	13,62	39,55	432,45
		5.000	17,38	55,69	551,76
	50.000	50.000	5,28	12,67	167,47
		40.000	6,34	15,56	201,16
		30.000	7,93	20,16	251,81
		20.000	10,60	28,62	336,56
		10.000	15,98	49,30	507,30
		5.000	21,41	77,17	679,71

Quadro 10.6 - (cont.) Custos Médios Unitários x Resultados em quilometragens por tipo de obra.

Custos Médios Unitários de Implantação			Quilometragem de Via a ser Implantada		
KmN R\$	KmR R\$	KmM R\$	KmN	KmR	KmM
100.000	150.000	50.000	4,97	11,29	157,77
		40.000	5,90	13,52	187,32
		30.000	7,26	16,87	230,49
		20.000	9,44	22,41	299,53
		10.000	13,47	33,37	427,62
		5.000	17,13	44,16	543,91
	100.000	50.000	5,25	11,96	166,74
		40.000	6,30	14,51	200,11
		30.000	7,88	18,42	250,17
		20.000	10,51	25,24	333,63
		10.000	15,77	40,05	500,66
		5.000	21,04	56,68	667,84
	50.000	50.000	5,57	12,72	176,80
		40.000	6,77	15,64	214,77
		30.000	8,62	20,29	273,51
		20.000	11,86	28,88	376,48
		10.000	19,02	50,07	603,79
		5.000	27,25	79,10	864,91

Pelo quadro anterior verifica-se que os resultados são bastantes sensíveis aos custos médios unitários de implantação considerados. Sobretudo no caso das vias a serem mantidas as variações das quilometragens foram bastante elevadas.

Há necessidade, portanto para a aplicação da metodologia de que os custos médios unitários de implantação de cada tipo de obra sejam bem conhecidos.

10.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS.

Pelos exemplos hipotéticos, pode-se observar que:

A especificação da função análoga à função de produção, através da forma Multiplicativa ou de Cobb-Douglas apresentou resultados adequados e facilidade para ser obtida, tendo a vantagem de mostrar explicitamente os valores das elasticidades da "produção" em relação a cada uma das variáveis independentes utilizadas.

Ao serem consideradas mais de duas variáveis independentes a solução gráfica deve ser substituída pela analítica, quando é utilizada a analogia com a Lei da Igualdade da produtividade marginal para ser obtido um conjunto de equações que são agrupadas com a equação da Linha de Orçamento para fornecer as quantidades ótimas das variáveis independentes.

Verifica-se através do quadro 10.5 apresentado no exemplo 10.3 que os resultados são pouco sensíveis à variação dos valores das elasticidades, (expoentes das variáveis independentes na equação multiplicativa) pelo que a regressão para a obtenção da "função análoga à função de produção" que representa as curvas isoquantas, não necessita de muitos pontos (conjuntos de alternativas construtivas).

Através do quadro 10.6 apresentado no exemplo 10.3 pode-se constatar que a solução depende sobretudo dos custos médios unitários de implantação dos tipos de obras consideradas. Pequenas variações percentuais dos custos médios alteram os resultados. As obras com menores custos, podem com mais facilidade apresentar variações percentuais elevadas nestes valores alterando acentuadamente os resultados.

A variação dos resultados é diretamente proporcional à variação do orçamento total destinado a implantação dos projetos. Trata-se do efeito renda que faz a linha de orçamento deslocar-se paralelamente.

A metodologia mostrou-se válida para diferentes variáveis consideradas como o acréscimo de "Produção" (pass. x km x dia; t x km x dia ou benefício - custo), podendo se utilizada mesmo com variáveis não quantificáveis monetariamente, o que representa uma vantagem em relação às metodologias baseadas somente em aspectos econômicos.

10.5 - EXEMPLO PRÁTICO DE APLICAÇÃO.

De forma a comprovar a possibilidade prática do uso da metodologia estudada, obteve-se junto a Secretaria de Estado dos Transportes do Paraná, relações de rodovias a serem construídas, com os custos e dados de tráfego estimados conforme a seguir.

O Governo do Estado do Paraná, pretende iniciar neste ano (95), o **Programa de Concessão de Rodovias**⁶⁷, já tendo publicado (04/95) uma versão preliminar deste programa na qual estão previstos os investimentos para ampliação da capacidade da malha rodoviária apresentados no quadro 10.7 a seguir:

Quadro 10.7 Intervenções previstas no Programa de Concessão de Rodovias⁶⁷.

Tipo de Intervenção*	Extensão (km)	Custo Estimado (US \$ mil)	Custo por Km (US \$ mil)
Ajustes Viários - Interseções	----	17.200	-----
Ampliação 3a. faixa	12	4.200	350
Ampliação 3a. faixa	20	7.000	350
Ampliação 3a. faixa	100	35.000	350
Diversos	----	15.000	-----
Duplicação Cascavel - Campo Mourão	172	86.000	500
Duplicação Foz do Iguaçu - Cascavel	142,8	71.400	500
Duplicação Ponta Grossa - Apucarana	220	125.000	568,18
Duplicação Rolândia - Mandaguari	55	27.500	500
Interseções em Desnível	2	4.000	2.000
Marginal Londrina - Cambé	7	5.600	800
Marginal Maringá - Sarandi	4	3.200	800
Obras Viárias Maringá-Londrina	---	19.350	-----
Variante Andirá	5	2.500	500
Variante Cambará	5	2.500	500
Variante Ibiporã	6	4.800	800
Variante Mauá - Califórnia	16	12.800	800
Variante Ponta Grossa	15	12.000	800
Variante Rolândia	8	6.400	800
Variante Virmond - Cantagalo	10	5.000	500
Total:	----	466.450	-----

* Obs. Para algumas intervenções os locais específicos não foram apresentados.

Estes investimentos deverão ocorrer entre o 1o. e o 6o. ano de concessão conforme o quadro 10.8 a seguir:

Quadro 10.8 - Investimentos previstos no Programa de Concessão de Rodovias⁶⁷.

Ano	1	2	3	4	5	6	Total
Investimento Total (US \$ 10 ⁶).	33	157,7	176,3	84,45	12,5	2,5	466,45

⁶⁷ Fonte: **Programa de Concessão de Rodovias**. Secretaria de Estado dos Transportes. Versão Preliminar 04/95.

O Governo do Estado do Paraná, através da Secretaria de Estado dos Transportes e do Departamento de Estradas de Rodagem - DER, também elabora na Assessoria de Planejamento o **Programa de Estradas Rurais - Os Caminhos da Educação**⁶⁸.

Por este programa serão pavimentadas vias secundárias que tenham as seguintes características:

- Atendam às linhas de ônibus escolares.
- Que não sejam indutoras de tráfego de veículos.
- Permitam rápido acesso aos Postos de Saúde.
- Interliguem um número considerável de pequenas propriedades agrícolas.
- Facilitem o transporte de insumos agrícolas e o escoamento de produção rural com baixa densidade de cargas.

As vias serão pavimentadas na largura de somente uma faixa de tráfego (3,50m), pelo que os moradores e usuários potenciais devem ser conscientizados quanto ao aspecto de segurança e das condições inéditas de trafegabilidade.

No quadro 10.9 são apresentados os trechos que foram escolhidos para projetos piloto:

Quadro 10.9 - Projetos Piloto do Programa de Estradas Rurais - Os Caminhos da Educação⁶⁸.

Trecho	Município	Extensão km	TMD*	Custo p/km R\$	Custo Total R\$
Araçatuba - Timbu Velho	Campina Grande Sul	11,1	50	22.800	253.100
Br-277 - Vila Matinhos	Guarapuava	20,0	5000 pessoas	35.700	714.000
São Luiz - Ouro Fino	Londrina	8,1	35 (2000 hab)	32.580	263.900
Colorado - Japira	Colorado	7,7	240 pessoas	37.800	291.100
Pr - 583 - Linha União	Pérola do Oeste	8,2	10	37.000	303.400
			Média	33.176	

* Obs. TMD = Tráfego médio diário.

Com base nos dados dos quadros apresentados pode-se mostrar um exemplo de prático de aplicação do método estudado baseado na função de produção para a decisão entre diferentes tipos de investimentos rodoviários.

Pode-se selecionar, para aplicação da metodologia estudada, dos quadros anteriores os tipos de obras apresentadas no quadro 10.11 a seguir, classificadas pela sua importância a partir do valor do tráfego médio diário (TMD).

⁶⁸ Fonte: **Programa de Estradas Rurais - Os Caminhos da Educação**. Secretaria do Estado dos Transportes - 06/95

Quadro 10.10 - Projetos Escolhidos para o Exemplo Prático.

Tipo de Obra	Trecho	Extensão km	Custo Total US \$ 1000**	Custo por km US \$1000**	TMD (1995) *	TMDx km 10 ³
Duplicações	Foz do Iguaçu - Cascavel	142,8	71.400	500	7500	1.071
	Cascavel - Campo Mourão	172	86.000	500	4000	688
	Ponta Grossa - Apucarana	220	125.000	568,18	3400	748
	Rolândia - Mandaguari	55	27.500	500	3000	165
Variantes	Ibiporã	6	4.800	800	3000	18
	Rolândia	8	6.400	800	2500	20
	Ponta Grossa	15	12.000	800	2000	30
	Mauá - Califórnia	16	12.800	800	1500	24
Estradas Rurais	Araçatuba - Timbu Velho (Campina G. do Sul)	11,1	253,1	22,8	50	0,555
	Br-277 - Vila Matinhos (Guarapuava)	20,0	714	35,7	40	0,800
	São Luiz - Ouro Fino (Londrina)	8,1	263,9	32,58	35	0,283 5
	Colorado - Japira (Colorado)	7,7	291,1	37,8	20	0,154
	Pr - 583 - Linha União (Pérola do Oeste)	8,2	37,8	37,0	10	0,082

* Valores estimados com base em contagens de tráfego disponíveis para alguns trechos.

** Os custos em reais das vias do Programa de Estradas Rurais foram transformados em dólar na base de 1 R\$ = 1 US \$.

Desta forma, aplicando-se a metodologia estudada, pode-se analisar quais as obras a serem executadas de forma a maximizar a quantidade de "TMD x km" (tráfego médio diário x quilômetro) a partir de um dado orçamento.

Neste caso devem ser obtidas as equações que representam as curvas de isoquanta (que neste caso com três tipos de obras, graficamente assumem a forma de uma figura tipo "calota" com 3 dimensões).

As equações representativas das curvas de isoquantas são obtidas através do ajuste de curvas aos pontos fornecidos pelo quadro 10.11 a seguir:

Quadro 10.11 - Projetos e Alternativas Construtivas do Exemplo Prático.

Tipo de Obra (Extensão)	Q=TMD x km 10 ³
Duplicações (D)	
D1 (142,8 km)	1.071
D2 (172 km)	688
D3 (220 km)	748
D4 (55 km)	165
Variantes (V)	
V1 (6 km)	18
V2 (8 km)	20
V3 (15 km)	30
V4 (16 km)	24
Estradas Rurais (R)	
R1 (11,1 km)	0,555
R2 (20 km)	0,800
R3 (8,1 km)	0,2835
R4 (7,7 km)	0,154
R5 (8,2 km)	0,082
Alternativas Construtivas (1a. parte)	
D1+V1+R1	1089,555
D1+D2+V1+R1	1777,555
D1+V1+V2+R1	1109,555
D1+V1+R1+R2	1090,355
D1+D2+D3+V1+R1	2525,555
Alternativas Construtivas (2a. parte)	
D1+V1+V2+V3+R1	1139,555
D1+V1+R1+R2+R3	1090,6385
D1+D2+D3+D4+V1+R1	2690,555
D1+V1+V2+V3+V4+R1	1163,555
D1+V1+R1+R2+R3+R4	1090,7925

Observa-se grande diferença entre os valores de “TMDxkm”, o que é devido aos volumes de tráfego e as extensões previstas para as rodovias consideradas.

Utilizando-se o programa “TOOLS” para regressão com equações multiplicativas, e usando-se as 5 (cinco) primeiras alternativas construtivas têm-se:

$$Q = 43,8772 \times D^{0,6353} \times V^{0,0258} \times R^{0,0043}$$

Com o valor de $R^2 = 0,9998$

Usando-se as 10 (dez) alternativas construtivas propostas:

$$Q = 41,9549 \times D^{0,6398} \times V^{0,0342} \times R^{0,0060}$$

Tendo-se o mesmo valor para $R^2 = 0,9998$

Nas equações acima verifica-se que as diferenças nos valores das elasticidades (expoentes) ocorrem após a primeira casa decimal, pelo que adota-se a última equação obtida como satisfatória. Caso fosse preciso maior precisão seriam propostas novas alternativas construtivas para obter mais pontos das curvas (superfícies, neste caso) isoquantas.

Tendo-se a “função análoga à função de produção” anterior e a linha de orçamento, pode-se aplicar a analogia com lei da igualdade das utilidades marginais conforme a seguir:

Derivando a equação “Q” em relação a cada uma das variáveis independentes tem-se:

$$dQ/dD = 26,84274 \times D^{-0,3602} \times V^{0,0342} \times R^{0,0060}$$

$$dQ/dV = 1,434857 \times D^{0,6398} \times V^{-0,9658} \times R^{0,0060}$$

$$dQ/dR = 0,251729 \times D^{0,6398} \times V^{0,0342} \times R^{-0,994}$$

Os custos médios de construção por Km são:

Custo médio de 1 km de duplicação (D) = US 525.432,00

Custo médio de 1 km de variante (V) = US 800.000,00

Custo médio de 1 km de estradas rurais (R) = US 33.176,00

Dividindo as equações anteriores pelos custos médios e igualando duas a duas resulta:

$$dQ/dD/PD = dQ/dV/PV$$

$$0,051087 \times D^{-0,3602} \times V^{0,0342} \times R^{0,0060} = 0,001793 \times D^{0,6398} \times V^{-0,9658} \times R^{0,0060} \quad \text{ou}$$

$$\underline{28,48340 \times V = D}$$

$$dQ/dD/PD = dQ/dR/PR$$

$$0,051087 \times D^{-0,3602} \times V^{0,0342} \times R^{0,0060} = 0,007587 \times D^{0,6398} \times V^{0,0342} \times R^{-0,994} \quad \text{ou}$$

$$\underline{6,732878 \times R = D}$$

$$dQ/dV/PV = dQ/dR/PR$$

$$0,001793 \times D^{0,6398} \times V^{-0,9658} \times R^{0,0060} = 0,007587 \times D^{0,6398} \times V^{0,0342} \times R^{-0,994} \quad \text{ou}$$

$$\underline{0,236379 \times R = V}$$

A linha de Orçamento é dada por:

$$\text{Orçamento}/1000 = 525,4316 \times D + 800 \times V + 33,176 \times R$$

Para um orçamento de US \$ 100.000.000,00 (cem milhões de dólares) tem-se:

$$100000 = 14966,08 \times V + 800 \times V + 140,3508 \times V \quad \text{ou}$$

$$100000 = 15906,43 \times V \quad \text{donde:}$$

V = 6,286764 km (Podendo ser executada a 1a variante)
 R = 26,59612 km (Podendo ser executada a 1a estrada rural)
 D = 179,0684 km (Podendo ser executada a 1a via duplicada)

A medida que os recursos disponíveis (orçamento) forem crescendo, outros trechos poderiam ser incluídos na lista dos que serão executados. Desta forma para um orçamento de US \$ 200.000.000,00 (duzentos milhões de dólares) tem-se:

$$V = 12,57352 \text{ km}$$

$$R = 53,19224 \text{ km (Outros 3 trechos de estradas rurais poderão ser executados)}$$

$$D = 358,1369 \text{ km (Outra das rodovia duplicadas previstas poderá ser executada.)}$$

Cada uma das opções construtivas “só deve ser iniciada, com a disponibilidade dos recursos para sua conclusão”. Através da metodologia estudada pode-se fazer diversas simulações de forma a definir os novos trechos que devem ser construídos a medida que os recursos sejam obtidos, sempre maximizando neste caso, a quantidade de TMD x km (tráfego médio diário x km).

Os melhores resultados sempre poderão ser comprovados através de substituição e resolução da equação objetivo (função análoga à função de produção).

10.6 - ESTUDO DOS GANHOS.

Para a aplicação da metodologia desenvolvida necessita-se conhecer para cada projeto individualizado qual sua contribuição em termos dos ganhos proporcionados.

Conforme apresentado nos exemplos, a unidade utilizada para os ganhos poderá ser dentre outras, em função do tipo dos projetos examinados, uma das seguintes:

- Aumento do número de usuários x quilômetro x dia.
- Aumento do número de toneladas x quilômetro x dia.
- Benefício menos custo.
- Tráfego Médio Diário x quilômetro.

Além disso, o valor do ganho, que por similaridade, representaria a produção no caso da Função de Produção, deve ser considerado no caso dos projetos de transporte como os ganhos a serem auferidos durante toda a vida do projeto.

Nos projetos de transporte, conforme apresentado no item 7.5 - Critérios de Análise de Investimentos em Transportes, os períodos de tempo utilizados são anuais. Há necessidade, portanto, de serem conhecidos os ganhos anuais para cada um dos projetos considerados durante toda sua vida ou período de análise.

Os ganhos anuais, quando apresentados na forma monetária, podem ser transladados com o uso de taxa de juros, em geral para o valor presente, quando são somados.

Nos projetos que recebem financiamentos externos, por exemplo do Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID ou do Banco Mundial - BIRD, existem orientações, na forma, inclusive, de manuais de avaliação de projetos, para os cálculos dos benefícios (ganhos para a coletividade) e dos custos.

Os ganhos ou benefícios dos projetos de transporte aceitos pelas entidades de financiamento são dados pelas diferenças entre os custos de operação dos veículos na situação sem o projeto e os custos de operação com o projeto.

A diferença entre os custos de operação de cada tipo de veículo deve ser multiplicada pelo número de veículos anuais do tipo correspondente. Os custos de operação por tipo de veículos, para várias condições das vias, pode ser calculado com o uso de diferentes metodologias, sendo atualmente mais recomendados os procedimentos do Banco Mundial apresentados no HDM III⁶⁹.

⁶⁹ BIRD - Banco Mundial. **The Highway Design and Maintenance Standards Model - HDM III**. Editora Johns Hopkins University Press, Baltimore, EUA, 1987.

O número de veículos projetado anualmente pode ser obtido através do uso de uma série variáveis socio-econômicas e de modelos conforme apresentado no item 2.4 - Metodologia.

Dependendo do projeto podem ser usadas séries históricas mostrando valores de estatísticas anteriores de tráfego no local do projeto. O tráfego existente na via, chamado de tráfego normal, é em geral projetado desta maneira.

No caso do exemplo prático apresentado neste trabalho (item 10.5) os dados de tráfego estão disponíveis através do Programa de Concessões de Rodovias - Contagens Volumétricas 1995 - Secretaria dos Transportes do Estado do Paraná.

Para que as contagens reflitam o TMDA - Tráfego Médio Diário Anual são necessários corrigir os dados de campo com base em fatores de ajustes mensais e semanais, normalmente obtidos através de contagens permanentes ao longo de todo o ano realizadas em pontos chaves das rodovias.

Não havendo dados suficientes para formar uma série histórica adequada, procuram-se dados socio-econômicos que estejam disponíveis, como os dados de população, renda, consumo de combustível (indicado para as variações sazonais), produção agrícola, produção industrial e outros.

Podem ser obtidos em alguns casos projeções dos dados socio-econômicos que serão correlacionados com os dados de tráfego.

Com a construção de novas vias, pode haver além do tráfego normal, tráfego gerado (que aparece em função da existência da nova via) e tráfego desviado (que utilizava antes outra via ou mesmo outro meio de transporte). Cada um desses tipos de tráfego deverá ser projetado para os diversos anos do horizonte do projeto.

Os volumes de tráfego, nos casos mais complexos podem ser obtidos com o uso dos modelos chamados de quatro etapas (geração, distribuição, alocação e divisão modal), podendo todo o processo ser acompanhado por meio de fluxogramas de planejamento de transportes, que constam de referências específicas⁷⁰.

⁷⁰ LEITE, José Geraldo Maderna. **Transportes Públicos - Teoria e Prática**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.

11. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA METODOLOGIA PROPOSTA.

11.1 VANTAGENS.

1) A grande vantagem desta metodologia é a análise em conjunto de investimentos em setores diferentes. Pode-se aplicá-la para otimizar recursos em sub-setores de uma mesma modalidade de transporte, como também para decisões envolvendo ao mesmo tempo vários modos de transporte. É possível portanto a análise ao mesmo tempo de *vários projetos de setores* e mesmo de *diferentes modalidades* de transporte.

2) Método baseado em *similaridades com a Teoria Econômica* usando analogias com a Função de Produção, o Princípio de Substituição e Leis da Redução e da Igualdade de Receitas ou Utilidades Marginais.

3) A solução, n caso de decisão entre dois setores de transporte, pode ser mostrada e *comprovada graficamente*, facilitando a exposição e compreensão por parte dos técnicos, autoridades e outros interessados.

4) Valorização de *aspectos técnicos e econômicos* na tomada de decisões. Procura otimizar uma função objetivo elaborada com base em conhecimentos técnicos e econômicos.

5) *Complementa os métodos tradicionais* de avaliação de alternativas de investimentos possibilitando estudos integrados e mais completos. Há necessidade de antes de aplicar a metodologia, que os investimentos tenham sido priorizados por setores ou sub-setores, através de um método tradicional de análise de alternativas.

6) Permite que a escolha de investimentos em vias de transportes seja feita com uma abordagem mais completa, evitando-se por exemplo, que novas vias sejam construídas sem que se mostrem mais viáveis do que a recuperação e a manutenção das vias existentes. Normalmente, antes de serem implantadas novas vias, as vias existentes deverão estar em bom estado. Ou seja a metodologia favorece a perfeita *manutenção de vias existentes* de alto volumes de tráfego.

7) Permite o trabalho *conjunto de equipes* técnicas responsáveis pelos estudos de viabilidade de investimentos de diferentes setores ou modos distintos de transportes o que favorece as soluções que contemplem a *integração modal*, muita vantajosa para alguns tipos de transportes.

8) Utiliza os *aperfeiçoamentos* que ocorrem nas metodologias existentes. Por exemplo, os benefícios rodoviários relativos à redução dos custos de operação podem ser calculados pela nova metodologia do HDM III- VOC -

Highway Design and Maintenance Standards Model - Estimating Vehicle Operating Costs, apresentada pelo Banco Mundial em 1993.

9) Através dos exemplos e dada a semelhança com os conceitos básicos de economia, a compreensão da metodologia é facilitada. A utilização da metodologia é *bastante simples*.

10) Utiliza métodos estatísticos e de matemática, para os quais já estão *disponíveis programas* de computador. Para a determinação da equação da função de produção ou das equações das linhas isoquantas pode-se utilizar o programa microTSP (MicroTSP for regression and forecasting for use with the IBM Personal Computer. McGraw-Hill, 1983) ou o programa TOOLS (Petersen, Craig H.; Lewis W. Tools Ware for Managerial Economics. New York: Macmillan Publishing Company, 1990).

11) Favorece os setores ou modalidades de transporte que estejam menos desenvolvidos na região estudada. Caso existam poucas ferrovias em relação a rodovias, com certeza a metodologia deverá mostrar a necessidade de aplicação, inicialmente, de maiores recursos no *modo mais carente* já que os benefícios das primeiras ligações em geral são mais elevados que das seguintes.

12) Projetos de integração modal, tais como *Terminais* de Integração e Centrais de Mercadorias poderão ser considerados em conjunto com projetos de vias de transportes, desde que possam ser priorizados com o mesmo tipo de benefício (redução de custos de operação, aumento de $t \times km$, etc.).

13) Embora seja um método de decisão, apresentando a melhor forma de serem efetuados os investimentos, pode ser usado em conjunto com outros métodos dando liberdade às autoridades para que considerem *outros* tipos de *benefícios*.

11.2 DESVANTAGENS.

1) Há necessidade de uma unidade comum de “produção” ou tipo de benefício a ser proporcionado por todos os tipos de investimentos. A função análoga à função de produção requer que todos os projetos em consideração possam ser avaliados a partir de *uma mesma unidade* ($t \times km$, passageiros transportados, redução de custos de operação, etc.).

2) Requer no caso de análise de muitos setores ao mesmo tempo, grande quantidade de dados e análise com o *uso de programas de computador*. Nestes casos, a solução não pode ser visualizada de forma gráfica.

3) Benefícios *intangíveis* ou que não possam ser quantificados, não são considerados na análise diretamente. Estes benefícios contudo, como apresentados no método de Custo-Eficácia, poderão ser utilizados em cada setor

ou modalidade de transporte para priorizar os projetos antes e/ou depois da aplicação deste método.

4) Os investimentos devem ser *priorizados inicialmente* através do uso de metodologia tradicional de análise de alternativas, aplicadas em cada setor ou modalidade de transporte.

5) O uso desta metodologia pode *desestimular* os esforços dos setores ou modalidades de transporte que tenham maior utilização e, portanto, menores ganhos marginais com novas obras.

6) Há necessidade de que existam *equipes técnicas* em cada uma das modalidades de transporte e que as mesmas apresentem a análise de viabilidade e a ordem de prioridade de seus projetos, para posteriormente ser aplicada esta metodologia. Projetos de hidrovias e tubovias, por exemplo, poderão não ser considerados caso não sejam apresentados estudos de viabilidade dos mesmos.

7) Há necessidade de ser criado um setor responsável, que mantenha um *banco de dados* com os estudos de viabilidade e ordem de prioridade de todos os setores e modalidades de transporte.

8) Esta metodologia deve ser aplicada por *autoridades públicas*, responsáveis por investimentos em diferentes setores e modalidades de transporte. Investimentos privados em um único setor de uma mesma modalidade, deverão continuar sendo estudados com as metodologias existentes.

12. NOVOS CAMPOS DE ESTUDO PARA O APERFEIÇOAMENTO DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES.

Existem muitos aspectos a serem aperfeiçoados nas metodologias de análise de investimentos em transporte e, principalmente na metodologia estudada, entre os quais citam-se:

1) Como considerar os *benefícios intangíveis* na definição das prioridades de investimentos em transportes. Uma rodovia pode ser considerada estratégica, em termos militares, para a proteção do território; ou como levar em conta interesses sociais: por exemplo, uma determinada comunidade isolada, necessitaria de uma via de transporte que pode não ser justificada economicamente.

2) Seria interessante elaborar *novos exemplos* de aplicação, para dispor de outras equações, que possam representar funções análogas às funções de produção para o caso de investimentos em transporte e para aprimorar a metodologia a ser seguida na obtenção dos diversos coeficientes a serem utilizados. Novas equações que considerem diversos setores e modalidades de transporte ao mesmo tempo, poderão ampliar o campo de aplicação da metodologia estudada.

3) Aplicações da metodologia estudada, em *casos reais*, certamente trarão uma série de outros aspectos a serem considerados. A metodologia estudada, poderia ser divulgada junto ao Ministério dos Transportes, Secretarias dos Transportes dos Estados ou aos Departamentos de Estradas de Rodagem - DERs, no sentido de serem efetuadas aplicações práticas da mesma.

4) Seria conveniente estudar a aplicação da presente metodologia considerando *variações* ao longo do tempo no *valor orçamentário* ou seja, no valor dos recursos reservados para os investimentos em transportes. Sabe-se que na prática, em geral, os valores previstos nos planos orçamentários acabam sendo modificados.

5) Avanços tecnológicos alteram a função análoga à função de produção. Novos veículos mais econômicos e novas técnicas construtivas podem modificar os cálculos dos custos e benefícios previstos, alterando os resultados da aplicação da metodologia. Seria conveniente, incluir na presente metodologia, orientações para a realização de *estudos de sensibilidade*, que possam levar em conta os aspectos citados.

6) A realização dos projetos não dependem somente dos estudos de viabilidade econômica, financeira e de ordem de prioridade, objeto principal desta metodologia. Existem *outros estudos de viabilidade* necessários, tais como: viabilidade técnica, viabilidade ambiental, viabilidade política, viabilidade

institucional, etc. Por exemplo, uma entidade rodoviária ou hidroviária, pode não dispor de capacidade técnica para a execução da quantidade de obras definida pela aplicação da metodologia. É conveniente que estes aspectos sejam melhor explorados, para ver como a metodologia desenvolvida deveria considerá-los.

7) Nos setores rodoviário, aeroviário e ferroviário quando estudados de forma isolada existem grande número de informações; já para os transportes intermodais, ocorre grande *falta de dados* estatísticos; por exemplo, no que se refere aos custos de implantação de obras, e dos custos de manuseio das cargas e de operação de veículos nos terminais. Seria interessante dispor destes dados para facilitar a aplicação da metodologia.

8) É possível que com o uso de uma metodologia que analise investimentos em vários setores ao mesmo tempo, se torne evidente que alguns tipos de investimentos são sempre mais prioritários; é o caso, por exemplo, dos investimentos em manutenção preventiva. Neste caso, os investimentos nos demais setores ficariam condicionados a que não houvesse mais necessidades de recursos financeiros para este setor. Ocorre, que além do efeito político, *certas fontes de financiamento* podem ser voltadas só para outros setores, havendo necessidade de adaptar-se a metodologia desenvolvida para estes casos.

9) A metodologia conforme apresentada é *bastante genérica* podendo ser aplicada tanto para projetos de transporte em áreas urbanas como rurais. Da mesma forma podem ser considerados projetos envolvendo novas construções ou simples melhorias operacionais. Os campos de aplicação poderão ser melhor delineados com as várias aplicações.

13. CONCLUSÕES.

Neste trabalho foram apresentados vários métodos para a análise de investimentos em vias de transporte e proposto um novo método, baseado na **Teoria Econômica**, para que seja efetuada a análise dos investimentos públicos de forma conjunta, para os vários tipos de projetos de uma mesma modalidade de transporte ou envolvendo projetos de modalidades diferentes.

A metodologia proposta baseia-se na **analogia** entre o comportamento dos benefícios dos projetos de transporte, com a utilidade dos bens para os consumidores ou as receitas marginais dos fatores de produção para as empresas. Utilizam-se analogias com as leis econômicas da redução e da igualdade das produtividades marginais considerando os benefícios devido a implantação de novos projetos de transporte.

Os projetos em **diferentes áreas** são considerados de forma análoga aos bens de um consumidor ou os insumos ou fatores de produção em uma empresa onde, uma maior quantidade faz com que as utilidades ou receitas marginais tendam a decrescer.

Constata-se facilidade na definição de curvas similares às curvas de indiferença ou curvas isoquantas, considerando-se os conjuntos de projetos de transportes de diferentes áreas e seus benefícios. A seguir, com a linha de orçamento formada pelo orçamento conjunto dos órgãos de transporte e os custos médios dos projetos de cada área, verifica-se qual o benefício total máximo, possível de ser alcançado para os transportes como um todo.

A principal finalidade do trabalho é mostrar que os investimentos públicos em projetos de transportes, devem ser priorizados, levando em conta ao mesmo tempo, os **diferentes setores e modalidades**.

No item correspondente a introdução do trabalho, mostram-se as inúmeras distorções que podem ocorrer quando os investimentos em transportes são analisados de forma isolada; podendo-se relegar a manutenção das vias, face a implantação de novas vias ou abandonar totalmente as vias de uma modalidade de transporte, priorizando-se unicamente os projetos de uma outra modalidade.

Na revisão da literatura, verifica-se a existência de diversas metodologias para a análise de investimentos públicos em vias de transporte, principalmente no caso rodoviário. Foram desenvolvidas metodologias pelo GEIPOT e DNER com o apoio do Banco Mundial que são utilizadas em diferentes países do mundo (HDM-III). Algumas metodologias, como a de Custo-Eficácia, são utilizadas para a análise de investimentos de diferentes alternativas modais, porém em um mesmo projeto.

Constata-se a falta de uma metodologia mais ampla, que considere diferentes setores ou alternativas modais, com a totalidade dos projetos prioritários existentes. Ou seja, não são considerados ao mesmo tempo, todos os projetos da malha prevista em cada setor ou modalidade de transporte.

Verifica-se a **existência de inúmeros dados** de tráfego das rodovias, no DER/PR e DNER; dados de tráfego nas ferrovias, na RFFSA - SR 5; dados socio-econômicos dos municípios do Estado do Paraná, no banco de dados do IPARDES e COPEL e dados sobre o número de veículos, nos municípios no DETRAN/PR. Não ocorre contudo, uma centralização dos dados por setores de investimentos (novas vias, vias a serem recuperadas e manutenção de vias, por exemplo) e com os dados das diferentes modalidades, dados estes que poderiam ser utilizados para a priorização de investimentos em conjunto.

O desenvolvimento da metodologia constitui a parte mais importante do trabalho e foi dividido em nove partes: síntese da metodologia; métodos gerais de análise de investimentos; métodos de análise de investimentos públicos em infra-estrutura viária; conceitos econômicos de custos e benefícios, utilizados na análise de investimentos em transportes; considerações sobre a função de produção; método análogo às curvas isoquantas para a análise de investimentos em transportes ou a aplicação do Princípio da Substituição à análise de investimentos em transportes; exemplos de aplicação; vantagens e desvantagens da metodologia proposta e novos campos de estudo para o aperfeiçoamento das metodologias de análise de investimentos em transportes.

Na síntese da metodologia ressalta-se, na introdução, a necessidade das **autoridades públicas disporem de uma metodologia que considere ao mesmo tempo, projetos de diversas áreas**. Em seguida, na motivação, mostra-se a viabilidade do uso de analogia com a Teoria Econômica para o desenvolvimento deste tipo de metodologia; neste item ainda são apresentados os objetivos propostos para o trabalho, onde é dada ênfase à necessidade do tratamento estatístico adequado dos dados. Finalmente, são apresentados comentários sobre a metodologia deste trabalho, apontando as entidades e os dados disponíveis relacionados com os transportes, além dos modelos de equações para projeção dos dados e para a obtenção das funções de produção ou equações das linhas isoquantas.

Entre os métodos gerais de análise de investimentos são escolhidos para análise, incluindo exemplos, os métodos do Custo Anual ou do Valor Uniforme Equivalente, método do Valor Atual ou do Valor Presente Líquido e o método da Taxa Interna de Retorno. Estes métodos são os mais utilizados no caso de estudos de viabilidade econômica de investimentos e, se utilizados corretamente, deverão conduzir ao mesmo resultado, em termos de escolha da melhor alternativa.

Nos métodos de análise de investimentos públicos, em infra-estrutura viária, mostram-se as particularidades existentes, incluindo a necessidade de que os benefícios sejam calculados para toda a comunidade e a maior complexidade das avaliações. Em seguida são feitas algumas considerações, mostrando que os investimentos em transportes, no setor público, devem fazer parte de um **processo global de planejamento**, com a definição de um grande número de projetos e alternativas que serão reduzidas à medida que os estudos sejam aprofundados.

Para a análise dos investimentos públicos em infra-estrutura viária são analisados, com a apresentação de exemplos, os métodos de Benefício - Custo, Relação Benefício/Custo, Relação Incremental de Benefício/Custo, Técnicas ou Critérios de Classificação e do Custo - Eficácia. Também são apresentados alguns comentários sobre o Método dos Triângulos, utilizado para reduzir a interdependência entre os critérios e evitar que alguns benefícios sejam contados mais de uma vez. Finalmente, mostra-se um quadro síntese com tipos de avaliações e aspectos observados de forma a mostrar a diversidade de elementos que podem ser considerados, principalmente na avaliação de grandes investimentos públicos, como o são, em geral, aqueles da área dos transportes.

Diante das **particularidades dos investimentos públicos em transportes**, houve necessidade de serem feitas algumas considerações sobre conceitos de custos e benefícios para este caso. Desta forma são analisados os seguintes aspectos: Excedente do Consumidor, mostrando como os benefícios são calculados para o tráfego gerado com a construção da via; Distinção entre Benefícios e Pagamentos por Transferência, de forma a evitar a contagem dupla de alguns benefícios; Preços-Sombra para corrigir distorções dos preços; Economias e Deseconomias Externas mostrando alguns cuidados com possíveis externalidades dos projetos; Critérios de Análise de Investimentos em Transportes, mostrando algumas particularidades gerais das avaliações; Problemas de Incertezas indicando a forma de contorná-las através da análise de sensibilidade; Problemas de Riscos e Acidentes que possam impedir a implantação dos projetos ou reduzir os benefícios; Benefícios Intangíveis com algumas considerações sobre o valor do tempo de viagem, acidentes, conforto e conveniência e Custos Marginais Sociais com algumas aplicações práticas e a importância de sua consideração.

Tendo em vista as analogias com a teoria econômica do método de análise de investimentos no setor de transportes proposto, houve necessidade de apresentar alguns conceitos da Teoria Econômica; desta forma, no item 8, são apresentadas diversas considerações sobre a **Função de Produção e o Processo Produtivo**, incluindo a Função de Cobb e Douglas, Isoquantas e Função de Isocusto. Também é importante, para aplicação na metodologia estudada, a determinação das funções análogas à função de produção e de custos; esta parte é apresentada, inicialmente através de um exemplo aplicado aos transportes, com a função análoga à função de produção sendo determinada

com a variação da quilometragem de diferentes vias, em uma única modalidade de transportes e com a mesma variação em duas modalidades de transportes.

O Método Análogo às Curvas Isoquantas para a análise de investimentos em transportes, foi apresentado inicialmente de forma teórica, mostrando-se a equação hipotética da função análoga à função de produção na forma multiplicativa, que na resolução dos exemplos, mostrou-se como a mais adequada.

Foram desenvolvidos **três exemplos teóricos** de aplicação, considerando-se: 1) vias troncais e vias secundárias de transporte (que no caso urbano poderiam ser vias com prioridade para os transportes públicos e vias alimentadoras); 2) rodovias troncais e ferrovias e 3) novas rodovias a serem pavimentadas (duplicações), contornos rodoviários em cidades e rodovias rurais de baixo volume de tráfego a serem pavimentadas.

Foi desenvolvido **um exemplo prático** de aplicação onde foram utilizados dados reais, embora sem a parte de projeção do tráfego para a priorização das vias e com custos de implantação estimados previstos pela Secretaria de Estado dos Transportes do Paraná em estudos preliminares.

No caso dos exemplos envolvendo dois setores de investimentos, foi possível apresentar a solução gráfica, que forneceu resultados mais precisos; e a solução analítica, onde as equações na forma multiplicativa (Cobb e Douglas) e da parábola, foram as mais convenientes. No caso dos exemplos com três setores, houve dificuldades para a apresentação gráfica, sendo mais conveniente nestes casos, a solução analítica, que deverá ser elaborada a partir do maior número de dados, para os pontos das curvas isoquantas, quanto possível.

As variáveis escolhidas para a representação da "produção", foram: passageiros x km x dia, toneladas x km x dia, benefícios menos custos e valores do volume médio diário de tráfego x km. Conforme pode-se observar, a metodologia não apresentou dificuldades para aplicação contudo, ao serem analisados vários setores ao mesmo tempo, pela impossibilidade de ter-se a solução gráfica, os resultados são comprovados em equações com grau de complexidade crescente.

Os ganhos podem ser valores quantificados ou não na forma monetária. As vantagens desta metodologia são inúmeras e dada a disponibilidade atual de computadores, inclusive com programas estatísticos para o tratamento dos dados, deve ser considerada como um instrumento adicional para a otimização dos recursos aplicados em transportes.

Além das vantagens e desvantagens da metodologia estudada, apresentam-se também novos campos para o seu aperfeiçoamento, na verdade, os avanços tecnológicos do setor de transportes alteram as soluções de investimento, pelo que há necessidade de um acompanhamento contínuo, incluindo o detalhamento de metodologias como esta, para que o setor esteja sempre com seus recursos otimizados.

Durante o desenvolver deste trabalho, constatou-se que as técnicas de programação linear e programação dinâmica também são muito úteis para a análise dos investimentos na área dos transportes, pelo que, são apresentados alguns exemplos de aplicações em investimentos de transportes que foram estudados com estas técnicas. Em especial, recomenda-se também a utilização da programação dinâmica para as análises de longo prazo dos investimentos em vários trechos das redes de transportes.

Verifica-se que a metodologia pode ser aplicada na análise de alternativas envolvendo o transporte intermodal o qual embora ainda pouco utilizado no Brasil, é um moderno indutor do progresso com o aproveitamento racional e otimização sistemática das atuais disponibilidades modais terrestres, marítimas e aéreas.

ANEXOS

Deduções de Equações Utilizadas no Texto

1) Relação entre Custo Marginal de Operação (Cmg), Custo médio de operação (CM) e Elasticidade do volume de tráfego em relação ao custo de operação (E).

$$Cmg = CM.(1+1/E)$$

Sendo:

Cmg = Custo Marginal de operação.

CM = Custo Médio de operação por Unidade.

E = Elasticidade do Volume de Tráfego em Relação à Variações no Custo de Operação.

Seja o Custo Total = $CT = CM.V$

Sendo:

V = Volume Tráfego Considerado (ou quantidade de produtos produzidos).

Tem-se também que,

$$Cmg = dCT/dV = d(CM.V)/dV$$

$$Cmg = CM + V.(dCM/dV)$$

$$Cmg = CM.[1 + (V/CM).(dCM/dV)]$$

Por definição:

$$E = (\Delta V/V)/(\Delta C/CM) = (\Delta V/V).(CM/\Delta C) = (CM/V).(\Delta V/\Delta C)$$

$$E = (CM/V).(dV/dCM)$$

Logo, $Cmg = CM.[1+1/E]$

SIGLAS UTILIZADAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

BDE - Base de Bancos de Dados do Estado do Paraná (IPARDES)

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento

BIRD - Banco Mundial/Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento

CEE - Centro Estadual de Estatística (IPARDES/BDE)

COPEL - Companhia Paranaense de Energia Elétrica

DER/PR - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná

DETRAN/PR - Departamento de Trânsito do Estado do Paraná

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

EBTU - Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos

FIBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes

HDM III - Highway Design and Maintenance Standards Model

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico Social

IPC - Instituto Panamericano de Carreteras

IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias

PICR - Pesquisa Sobre o Interrelacionamento dos Custos de Construção e Utilização de Rodovias(GEIPOT)

RFFSA-SR5 - Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima - Quinta Superintendência Regional

UFPR - Universidade Federal do Paraná

NOTAÇÕES UTILIZADAS

B/C = Relação Benefício/Custo
 CA = Custo Anual
 CM = Custo Médio
 Cmg = Custo Marginal
 Co = Orçamento
 CT = Custo Total
 D = Vias a serem duplicadas
 F = Lucro das Ferrovias
 F = Valor Futuro ou Montante
 i = Taxa de Juros
 K = Fator de Produção Capital
 km = quilômetro
 L = Lucro Total
 N = Fator de Produção Natureza
 P = Valor Presente ou Atual
 PIB = Produto Interno Bruto
 PM = Produção Média
 Pmg = Produtividade Marginal
 Q = Produção
 R = Estradas Rurais (Programa Caminhos da Educação)
 R = Lucro das Rodovias
 Rmg = Receita Marginal
 RPmg = Receita de Produtividade Marginal
 t = tonelada
 T = Fator de Produção Trabalho
 TIR = Taxa Interna de Retorno
 TMA = Taxa Mínima de Atratividade ou Taxa de Mercado
 V = Variantes a serem construídas
 V = Volume de Tráfico de Veículos
 VAUE = Valor Anual Uniforme Equivalente
 Vi = Valor Inicial
 Vr = Valor Residual

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AASTHO - American Association of State Highways and Transportation Officials, A Manual on User Benefit Analysis of Highway and Bus-Transit Improvements. Washington, E.U.A. 1977, 189 p.il.

ADLER, Hans A., Economic Appraisal Of Transport Projects - A Manual With Case Studies. Edição Revisada e Expandida. Baltimore, E.U.A. Economic Development Institute - EDI e The Johns Hopkins University Press. 1987, 235 p. Series in Economic Development il.

BIRD - Banco Mundial, The Highway Design and Maintenance Standards Model. Editora:- The Johns Hopkins University Press , Baltimore, EUA, 1987 Volume 1 - Description of the HDM-III Model Vehicle Operating Costs Evidence from Developing Countries- Vehicle Speeds and Operating Costs Models for Road Planning and Management- Road Deterioration and Maintenance Effects Models for Planning and Management. Volume 2 - User's Manual for the HDM -III Model.

BLANK, Leland e TARQUIN, Anthony. Ingeniería Económica. Editorial Calypso, S.A., México, 1986.

BRENNAN, Michael J. Theory of economic statics. 2ed. Prentice Hall, Englewood Clifs, New Jersey, EUA, 1970, 437p.il.

CABALLERO,Blás Enrique Nunez. Notas de aula da Disciplina de Econometria - 1993

CASAROTTO, Nelson Filho e KOPITKE, Bruno Hartmut. Análise de Investimentos. 5a. Edição. São Paulo. Editora Revista dos Tribunais Ltda. 1992, 350 p. il.

CHANG, Yih-Long and SULLIVAN, Robert S. Quantitative Systems for Bussiness - QSB -version 1.5.-: Prentice Hall, Inc., 1986.

CHIANG, Alpha C. Matemática para Economistas. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil: Editora da Universidade de São Paulo. 1982, 684 p. il.

CLEMENTE, Ademir e SOUZA, Alceu. Decisões Financeiras e Análise de Investimentos, Fundamentos, Técnicas e Aplicações. São Paulo. Editora Atlas S.A., 1995, 142 p. il.

CLEMENTE, Ademir. Economia Regional e Urbana. Editora Atlas S.A., 1994, 170p.il.

CLEMENTE, Ademir. Notas de aula da Disciplina de Metodos Quantitativos em Economia. - 1992.

COPEL- Companhia Paranaense de Energia Elétrica e IPARDES - Fundação Edison Vieira . **Articulação Socio-Econômica e Energética no Paraná**. -1986

DE NEUFVILLE, Richard e STAFFORD, Joseph H. - **Systems Analysis for Engineers and Managers**. New York, McGraw-Hill. 1971, 353 p.il.

DER - PR, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, Divisão de Estudos e Projetos, Seção de Estudos Especiais - **Anuários Estatísticos de Tráfego**. 1980 até 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Composição de Custos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 1972.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Custo de Operação**. Rio de Janeiro , 1976.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Custo de Construção**. Rio de Janeiro, 1976.

EBTU - Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos. **Manual Operacional** - Vol. I - Avaliação de Projetos de Transportes Urbanos. Brasília, 1987.

ENTE AUTONOMO DEL PORTO DI TRIESTE. **Plano de Intervenções para o Desenvolvimento Integrado da Infraestrutura Portuária, de Armazenagem e Transporte no Estado do Paraná** - Brasil. Curitiba. Governo do Estado do Paraná - Brasil e Ministero Degli Affari Esteri - Itália. Seção III - Tomo IV Projeto do Centro de Mercadorias na Área de Curitiba e Projeto dos Terminais de Calcário. 1992, 283 p. il.

FARO, Clovis de . **Elementos de Engenharia Econômica**. Editora Atlas. São Paulo, 1979.

FERREIRA, Anna Christina S. e GOMES, Luiz F.Autran M. - **Crítérios de Decisão em Transportes** - Uma Análise Comparativa de Dois Métodos Analíticos para a Redução de Interdependência. Recife, ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1994, 10p.

GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Pesquisa Sobre o Inter-Relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias**. Brasília, 1981. Volume 1 - Síntese. Volume 2 - Métodos e Organização. Volume 3 - Instrumental de Medição. Volume 4 - Indicador Estatístico. Volume 5 - Estudo sobre Custos dos Usuários. Volume 6 - Estudo de Tráfego. Volume 7 - Estudo sobre Deterioração de Pavimentos. Volume 8 - Modelo de Inter-relacionamento dos Custos Rodoviários - MICR. Volume 9 - Modelo de Tempo e Combustível - MTC. Volume 10 - Modelo de Simulação de Tráfego - MST. Volume 11 - Equações Fundamentais. Volume 12 - Indicador Documental.

GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Custos Operacionais Rodoviários para Estudos Econômicos e de Viabilidade**. Rio de Janeiro, 1971.

GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Custos Operacionais Ferroviários para Estudos Econômicos de Viabilidade**.

GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Metodologia de Cálculo de Custos Operacionais de Veículos Rodoviários; Cálculos Simplificados com o uso de Tabelas**. Brasília, 1989. 105p. il.

GRANT, Eugene L. e IRESON, W. Grant. **Principles of Engineering Economy**. Nova York, EUA, 1964.

HESS, Geraldo; MARQUES, José Luiz; PAES, L.C. Rocha e PUCCINI, Abelardo. **Engenharia Econômica**. Editora Forum, Rio de Janeiro. 2a. Edição, 1971.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introduction to operation research**. 11 ed. San Francisco: Holden Day, 1973.

HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia econômica e análise de custos**. 5.ed. São Paulo. Editora Atlas, 1992, 465 p. il.

IPARDES, Fundação Édison Vieira. **Banco de Dados do Estado BDE**, Curitiba, 1990.

IPC - Instituto Panamericano de Carreteras. **Anais do Seminário Pro-vial** São Paulo, 1993.

ISARD, Walter. **Locacion and Space Economy**, The MIT Press, Cambridge, Mass. 1956. Massachusetts Institute of Technology. Citado em SMITH, D. M., **INDUSTRIAL LOCATION: An Economic Geographical Analysis**. John Wiley & Sons. N.Y. 1971 (cap. 8 - pg. 148 - 156).

KAMPSAX, Consulting Engineers & Economists. **Estudos de Transportes do Brasil - Fase II - Estudos Rodoviários**. Rio de Janeiro. Grupo de Estudos Para Integração da Política de Transportes - GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes). 1969, 414 p. vol. XII - B. Coordenação dos Estudos, Princípios, Metodologias e Procedimentos. II.

KLEIN, Lawrence Robert - **Introdução à Econometria**. Tradução de Carlos Roberto Viera de Araújo, São Paulo, Atlas, 1978, 304 p. il.

LEITE, José Geraldo Maderna. **Transportes Públicos - Teoria e Prática**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.

MANSFIELD, Edwin. **Microeconomia - Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro. Editora Campus Ltda. 1978, 481p. il.

MASSÉ, Pierre. **Le Choix des Investissements**. Editora Dunod, Paris, 1968.

MISHAN, E.J. **Análise de Custos - Benefícios** - Uma Introdução Informal. Tradução de Ruy lungmann - Rio de Janeiro Zahar Editores. 488 p.il.

NEVES, César das. **Análise de Investimentos - Projetos Industriais e Engenharia Econômica**. Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 1982.

NOVAES, Antonio Galvão - **Sistemas de Transportes**. Vol. 1 - Análise da Demanda. Vol. 2 - Análise da Oferta e Vol. 3 - Equilíbrio Oferta-Demanda. São Paulo, Edgard Blücher, 1986, 424 p.il.

ODIER, Lionel. **Os Benefícios Econômicos das Realizações Rodoviárias**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR/DNER - Publicação 512 , Rio de Janeiro, 1970.

PEUMANS, Herman. **Théorie et Pratique des Calculs D'Investissement**. Editora Dunod, Paris, 1971.

QUEIROZ, Cesar. **Technical and economic issues in road deterioration and maintenance**. Seminário Provial - Instituto Panamericano de Carreteras - IPC. São Paulo, 1993.

RECK, Garrone. **Análise Econômica das Empresas de Transporte Rodoviário de Carga**. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia UFRJ - COPPE. Rio de Janeiro. 1983, 104 p. il.

RICHARDSON, Harry W., **Economia Regional - Teoria da Localização, Estrutura Urbana e Crescimento Regional**. Zahar, Rio de Janeiro, 1981.

SALVATORE, Dominick - **Estatística e Econometria** .McGraw-Hill do Brasil Ltda. São Paulo - 1983

SECRETARIA DO ESTADO DOS TRANSPORTES DO PARANÁ. **Programa de Estradas Rurais - Os Caminhos da Educação**. 06/95.

SECRETARIA DO ESTADO DOS TRANSPORTES DO PARANÁ. **Programa de Concessão de Rodovias**. Versão Preliminar 04/95.

TAYLOR, George A. - **Ingeniería Económica**. Cidade do México. Editorial Limusa, 2a. edição, 1985, 640p. il.

TOOLS . PETERSEN, Craig H.; LEWIS, Cris W. **Tools ware for Managerial Economics**. New York: Macmillan Publishing Company, 1990.

TRANSPORTS CANADÁ. **Canadian Transit Handbook**. Centre de Développement des Transports. 1982.

VALENTE, Amir Mattar. Um Método Prático para a Escolha do Traçado Mais Econômico de uma Rodovia. Estado de Santa Catarina. Secretaria de Estado dos Transportes e Obras. Departamento de Estradas de Rodagem. Diretoria de Estudos e Projetos. 1993

WAYNE, Edison. Plano Intermodal de Transportes para o Estado do Paraná. Revista do Instituto de Engenharia do Paraná.

WICKHAM, Sylvain. Économie des Transports. Paris - França. Éditions Sirey. 1969, 429 p. il.